

98  
2 eje.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

ANALISIS DE FALLAS TECNICAS EN LA  
CONSTRUCCION DE EDIFICIOS

T E S I S  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO CIVIL  
P R E S E N T A :  
REYES AVILA, JORGE



ASESOR

ING. ALBERTO CORIA ILIZALITURRI

CIUDAD UNIVERSITARIA,

JULIO 1994

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



## **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.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA  
DIRECCION  
60-1-141/93

Señor  
**JORGE REYES AVILA**  
Presente.

En atención a su solicitud, me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor ING. ALBERTO CORIA ILIZALITURRI, que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de INGENIERO CIVIL.

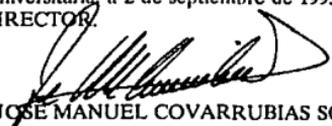
**"ANÁLISIS DE FALLAS TÉCNICAS EN LA CONSTRUCCIÓN DE EDIFICIOS"**

- I. GENERALIDADES
- II. CAUSAS Y AGENTES MAS FRECUENTES QUE OCASIONAN DESPERFECTOS
- III. FALLAS EN CIMENTACION Y ESTRUCTURA
- IV. FALLAS CARACTERISTICAS EN MUROS
- V. FALLAS CARACTERISTICAS EN PISOS
- VI. FALLAS CARACTERISTICAS EN CUBIERTAS
- VII. DEFORMACIONES EN PUERTAS Y VENTANAS, CAUSAS QUE LAS OCASIONAN
- VIII. FALLAS PRINCIPALES EN INSTALACIONES HIDRAULICA Y SANITARIA
- IX. FALLAS APARENTES
- X. CONCLUSIONES

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional.

Atentamente  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"  
Cd. Universitaria, a 2 de septiembre de 1993.  
EL DIRECTOR



ING. JOSÉ MANUEL COVARRUBIAS SOLIS

JMCS/RCR\*mcem

**DEDICO ESTA TESIS A MI MADRE LA SRA. GLORIA AVILA DE REYES  
Y A MI PADRE EL SR. JORGE REYES AGUILAR. YA QUE GRACIAS A  
SU APOYO Y MOTIVACION LLEGUE A CONCLUIR ESTE ULTIMO  
TRABAJO DE MI LICENCIATURA.**

A MIS HERMANAS Y HERMANOS  
POR SU COMPRENSION Y CARIÑO

**GUADALUPE HORTENCIA REYES AVILA**

**MARIA TERESA REYES AVILA**

**IGNACIO REYES AVILA**

A MIS SOBRINOS

**VANESA YAZMIN ARREOLA REYES**

**JULIO CESAR ARREOLA REYES**

A TODOS MIS FAMILIARES

Y EN ESPECIAL A MI ABUELA LA SRA. **GUADALUPE AGUILAR REYES**

Y A MI PRIMA **LUCIA LUNA AVILA**

**AL INGENIERO ALBERTO CORIA ILIZALITURRI**  
**COMO MAESTRO Y DIRECTOR DE TESIS.**  
**POR SU VALIOSA AYUDA DURANTE LA ELABORACION**  
**DEL PRESENTE TRABAJO.**

**MI SINCERO AGRADECIMIENTO A TODOS MIS**  
**MAESTROS, COMPAÑEROS DE CLASES Y**  
**AMIGOS, POR LO QUE APRENDI DE CADA**  
**UNO DE ELLOS.**

**A LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA**  
**DE MEXICO, Y EN ESPECIAL A LA**  
**FACULTAD DE INGENIERIA.**

# INDICE

## CAPITULO I

### GENERALIDADES

	Página
Generalidades .....	1 - 4

## CAPITULO II

### CAUSAS Y AGENTES MAS FRECUENTES QUE OCASIONAN DESPERFECTOS

Introducción .....	5 - 7
Fallas por errores en la etapa de planeación .....	7 - 13
Errores en el diseño estructural .....	7 - 12
Errores en los planos .....	12 - 13
Fallas por errores en la construcción .....	13 - 16
Material defectuoso .....	13 - 14
Errores de construcción propiamente dichos .....	14
Supervisión .....	14 - 15
Fallas en las cimbras .....	15
Negligencia y deshonestidad .....	15 - 16
Causas y agentes que ocasionan fallas durante la vida útil del edificio .....	16 - 38
Humedad .....	16 - 20
Influencias climatológicas .....	20 - 21
Acción química (Efecto de aguas agresivas sobre el concreto) .....	22 - 23
Corrosión .....	23 - 25
Variaciones dimensionales .....	25 - 26
Impactos .....	26
Sismos .....	27 - 29
Varios .....	32 - 38
Fotografías y figuras .....	32 - 38

## CAPITULO III

### FALLAS EN CIMENTACION Y ESTRUCTURA

Introducción .....	39 - 41
Fallas por un mal dimensionamiento .....	41 - 43

Fallas por el desconocimiento del terreno .....	43 - 48
Fallas en las excavaciones .....	48 - 50
Fallas en las estructuras .....	50 - 79
<b>Comportamiento a la falla</b>	
Falla por flexión .....	50 - 51
fallas por cortante .....	51 - 52
Falla por compresión .....	52 - 53
falla por torsión .....	53 - 54
Falla por efectos de esbeltez .....	54 - 56
Mención de algunos casos que ocasionaron fallas en los edificios, durante los sismos de 1985 .....	56 - 59
Análisis de algunos casos frecuentes de fallas en cimentación y estructura .....	61 - 69
Figuras .....	70 - 79

## **CAPITULO IV FALLAS CARACTERISTICAS EN MUROS**

Introducción .....	80 - 82
Fallas por errores constructivos en la fabricación de muros de mampostería .....	83 - 84
Comportamiento ante fuerzas sísmicas .....	84 - 86
Agrietamiento de muros por deflexiones excesivas .....	86 - 87

Otras causa que producen agrietamiento en muros

Investigación de las grietas .....	87 - 90
Análisis numérico de la forma del agrietamiento en los muros de un edificio, debido al hundimiento de la cimentación .....	91 - 100
Fallas más comunes en muros .....	100 - 105
Figuras y fotografías .....	106 - 111

## **CAPITULO V FALLAS CARACTERISTICAS EN PISOS**

Introducción .....	112
Errores en la dosificación de los materiales para la fabricación del concreto .....	112
<b>Fallas más frecuentes en pisos</b>	
Baja resistencia a la compresión .....	113
Superficies polvosas que se erosionan fácilmente .....	113 - 115

Superficie agrietada a edad temprana .....	115 - 116
Agrietamiento y combadura en pisos, por contracción durante el fraguado y envejecimiento .....	116
Agrietamiento por no colocar juntas de aislamiento entre la estructura y el piso .....	116 - 117
Análisis numérico de los efectos de temperatura en los pisos de concreto .....	117 - 120
Fallas en los revestimientos de pisos .....	127 - 129

## **CAPITULO VI**

### **FALLAS CARACTERISTICAS EN CUBIERTAS**

Introducción .....	130 - 132
Comportamiento de falla de las losas de concreto .....	132

#### Casos de fallas más comunes

Losas perimetralmente apoyadas .....	133 - 134
Mal comportamiento de las losas reticulares .....	134 - 137
Figuras y fotografías .....	140 - 142

## **CAPITULO VII**

### **DEFORMACION DE PUERTAS Y VENTANAS, CAUSA QUE LAS OCASIONAN**

Introducción .....	143
Expresiones experimentales de la Universidad de California (U.S.A.) para predecir la falla por rotura de vidrios, al presentarse una distorsión de sus marcos. ..	144
Análisis numérico de la falla por rotura de vidrios debido a la deformación de sus marcos. (Empleando las expresiones de la Universidad de California). .....	144 - 146
Revisión por rotura de vidrios según el R.C.D.F. ....	146 - 147
Comparación de los resultados de los análisis anteriores .....	147
Fallas en puertas y ventanas por falta de mantenimiento y colocación deficiente .....	148 - 149
Figuras .....	150

## **CAPITULO VIII**

### **FALLAS PRINCIPALES EN INSTALACIONES HIDRAULICA Y SANITARIA**

Introducción .....	151
Fallas más comunes en instalación hidráulica	
Golpe de ariete .....	152 - 158
Fallas por oxidación galvánica o bimetálica .....	158
Descripción de algunos casos de falla .....	159 - 160
Fallas principales en la instalación sanitaria	
Introducción .....	151
Posibles fallas provocadas durante su construcción	
Fallas por sifonamiento .....	162
Disminución del diámetros de la tubería aguas abajo .....	162 - 164
Disminución de la pendiente hidráulica aguas abajo .....	164 - 165
Descarga ahogada .....	165
Cambio de dirección en albañales .....	165
Fallas constructivas propiamente dichas .....	165 - 166
Fallas principales durante sus período de servicio .....	166 - 167
Figuras .....	168 - 172

## **CAPITULO IX**

### **FALLAS APARENTES**

Introducción .....	173
Fallas por efectos sísmicos .....	173 - 174
Fallas constructivas en los acabados .....	174 - 179
Fallas en los revestimientos .....	179
Descripción de algunos casos de falla en acabados .....	184 - 181
Figuras y fotografías .....	181 - 183

## **CAPITULO X**

### **CONCLUSIONES**

Conclusiones .....	185 - 186
Bibliografía .....	187 - 188

# CAPITULO I

## GENERALIDADES

Las fallas tales como colapsos estructurales, agrietamientos, grandes deflexiones, vibraciones excesivas, desprendimientos de aplanados, etc. pueden aparecer en cualquier edificio, destinado a cualquier tipo de uso, como puede ser para vivienda, comercios, para escuelas, hospitales, iglesias, etc. Los cuales pueden ser muy grandes o muy pequeños, tal como sucede con la vivienda mínima, que es aquella que cuenta cuando menos con una pieza habitable y servicios completos de cocina y baño.

Aquí es importante mencionar que en este tipo de construcciones (vivienda mínima) es donde más frecuentemente se presentan el mayor número de fallas, ya que generalmente debido a sus escasos recursos económicos, ellos mismos autoconstruyen sus viviendas sin ningún asesoramiento técnico, o la mandan a construir por albañiles que si no son supervisados, suelen cometer muchas irregularidades.

Por otra parte podemos comenzar por preguntarnos **¿Que es una falla?**

Pues bien algunos libros técnicos la definen como la ruptura o colapso completo de una estructura, algunos otros como un comportamiento estructural inestable, comportamiento que hace necesarias las reparaciones y también como un comportamiento de un edificio que no cumple con las condiciones de funcionalidad. Pero nosotros podemos irnos más lejos definiéndola como: **Toda discrepancia entre los resultados esperados en un proyecto y los que en realidad se obtienen.**

Con esta última definición podemos afirmar que una falla puede ser desde un pequeño desprendimiento, agrietamiento o disgregación de un aplanado, hasta daños graves en la cimentación y estructura, así como un mal funcionamiento del edificio.

Ya que si nos limitamos a decir que una falla se presenta cuando existe algún colapso estructural, las fallas resultarían muy pocas.

Por otro lado haciendo un poco de historia. Desde la antigüedad el hombre siempre se ha preocupado por la eliminación o reducción de las fallas de diferente magnitud, que muy frecuentemente se presentan en los edificios. Tal como lo podemos constatar en leyes antiguas, como las del **Código de Hamurabi**, escrito 2200 años antes de cristo por Hamurabi rey de Babilonia:

#### **Código de Hamurabi (2200 a.c.)**

Si un constructor hace una casa para otro hombre, y no hace que la construcción sea firme y la casa que ha construido se derrumba y provoca la muerte del propietario de la casa, el constructor será condenado a muerte.

Si provoca la muerte del hijo del propietario de la casa, se condenara a muerte a un hijo del constructor.

Si provoca la muerte de un esclavo del propietario de la casa, dará a éste un esclavo de igual valor.

Si se destruyen propiedades, restituirá todo lo destruido, y puesto que no hizo firme la casa que él construyó y se derrumbo, la construirá a su propia costa.

Si un constructor construye una casa para otro hombre y no hace que su construcción cumpla con los requerimientos y se desploma una pared, ese constructor reforzará la pared a su propia costa.

Hoy en día las fallas en la construcción se procuran evitar mediante reglamentos y normas, no tan rígidas como en la antigüedad, afortunadamente.

Actualmente contamos principalmente con el **Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal y sus Normas Técnicas Complementarias**, para el caso particular del D.F. en los que se especifican elementos que refuerzan la estabilidad y seguridad de los edificios.

Pero a pesar de todo siguen ocurriendo fallas de diferente magnitud por diversas causas y agentes, por esto es necesario que todos los involucrados en la industria de la construcción nos preocupemos por el estudio del surgimiento, comportamiento y las causas que las producen. Ya que en base a este conocimiento nos será más fácil evitarlas y proponer una solución para remediarlas cuando se lleguen a presentar.

Es por esto que en este trabajo escrito, reúno información de las causas y agentes más frecuentes, que producen o pueden producir fallas de diferente magnitud, en los elementos que constituyen a los edificios, como son: Cimentación, estructura, muros, pisos, cubiertas, etc.

Por otra parte la falla se podrá reparar adecuadamente si la causa que la produce se diagnóstica acertadamente, y esto solo se logra si se cuenta con toda la información de los "síntomas", así como de su correcta interpretación. Ya que si se realiza una investigación incompleta de los "síntomas" y/o una mala interpretación, dan origen a tomar medidas de reparación erróneas que además de ser caras, muchas veces aumentan el daño al edificio.

Por lo tanto un diagnóstico correcto dependerá de:

- a) Reunión de datos suficientes de la falla.
- b) Conocimiento de la conducta de los materiales.
- c) Conclusiones acertadas.

**Reunión de datos:** Se debe reunir cuantos datos sea posible y aunque la velocidad con que debe solucionarse el problema es grande, es necesario que la recopilación de datos se haga en un tiempo suficiente, para no obtener conclusiones precipitadas.

Dicha información se obtendrá de una inspección visual y manual de la falla; de las pruebas que se le hagan, de la interrogación de los ocupantes del edificio, quienes vieron seguramente su surgimiento y desarrollo, de la consulta de planos, especificaciones y demás documentos relativos a la construcción y de estudios de laboratorio, si es que se requieren.

Y como herramientas complementarias para obtener dicha información es bueno contar mínimo con los siguientes **aparatos**:

- **Binoculares:** Para inspeccionar las partes altas de los edificios.
- **Grabadora portátil y libreta de apuntes:** Para registrar la información oral.
- **Cámara fotográfica o de video:** Para tener un registro permanente de la información y que pueda ser transmitido de una persona a otra.
- **Lupa:** Para inspeccionar a detalle el estado de los materiales, por ejemplo si una grieta es reciente o no, mediante la observación de pintura en sus bordes y presencia de hongos, etc.
- **Plomada:** Que se empleara para checar la verticalidad del edificio en estudio.

- Etc.

Después de recopilar toda la información que sea posible de la falla y del edificio, ya que se debe estudiar en conjunto. Entonces se procederá a comparar los "síntomas" o manifestaciones que presenta el desperfecto con el comportamiento que tendrían los materiales implicados, sometidos a diversas condiciones y agentes.

Después de esto se obtendrá la causa que produce la falla. Pero hay que tener en mente que una falla puede ser por más de una causa y que en ocasiones un tipo de falla pueden ser similares pero producidas por distintas causas.

## CAPITULO II

### CAUSAS Y AGENTES MAS FRECUENTES QUE OCASIONAN DESPERFECTOS

Las fallas en los edificios son producto de una gran cantidad de causas y agentes, ya sean propios de la naturaleza o producto de errores humanos.

Las cuales se pueden originar en cualquiera de las tres etapas fundamentales del proyecto como son:

- a) En la etapa de planeación
- b) En la construcción o ejecución de la obra
- c) En el tiempo de servicio, es decir durante la vida útil del edificio.

Estas causas y agentes las presento a continuación, clasificándolas según la etapa del proyecto en la que se pueden presentar.

#### PLANEACION

- Errores de diseño
- Errores en los planos

#### CONSTRUCCION

- Mano de obra no calificada.
- Material defectuoso.
- Retiro prematuro de la cimbra.
- Negligencia.
- deshonestidad.
- falta de supervisión.
- Cambiar el diseño sin consultar al estructurista.
- Demasiados orificios provisionales, en las losa para dar paso a los ductos de las instalaciones

**SERVICIO**

- Humedad
- Influencias climatológicas
- Acción química
- Sismos
- Corrosión
- Variaciones dimensionales por cambios de temperatura y por absorción de agua.
- Impactos
- Vibraciones de maquinaria
- Falta de mantenimiento
- Viento
- Nieve
- Granizo
- Un uso del edificio distinto para el que fue diseñado.
- Ampliaciones y remodelaciones de la vivienda.
- Incendios, etc.

Todas estas causas y agentes afectan en menor o mayor grado la integridad estructural del edificio, que podemos definirla como: El estado íntegro sin deterioro ni defecto de un edificio o estructura, que una vez terminado y debidamente conservado, asegura que ni la estructura ni sus componentes, fallaran.

Todas las causas y agentes producen en los edificios ciertos desperfectos que suelen desencadenar en:

- a) **Cambios en la construcción.**
- b) **Cambio en la composición y características de los materiales.**
- c) **Cambios de aspecto.**

a) **Cambios en la construcción.** Que pueden ir desde una pequeña grieta o fisura que no afectan la estabilidad del edificio hasta daños graves que pueden ocasionar derrumbes, que producirá grandes pérdidas de tiempo, dinero, trabajo y sobre todo la

pérdida de vidas humanas, que es lo que más nos debe preocupar.

Pudiendo ser atribuidos a las fuerzas aplicadas sobre la estructura, movimientos del terreno, cambios volumétricos de los materiales, incendios, etc.

**b) Cambios en la composición o características de los materiales** empleados en la fabricación del edificio, afectando la resistencia, adherencia y sobre todo la durabilidad del material.

De tal manera que el material que en un principio fue elegido correctamente, después de ser atacados por dichas causas y agentes, ya no cumplirá con su función satisfactoriamente; Surgiendo así una falla.

**c) Cambios de aspecto.** Nos referimos principalmente a los desperfectos y deterioro que se presenta en los acabados, que si no son reparados rápidamente, dejan al descubierto a la estructura, propiciando por ejemplo la oxidación y corrosión del acero de refuerzo de las estructuras de concreto, que es un caso muy común que puede producir fallas importantes, por la reducción de resistencia de los elementos estructurales, debida a la pérdida de sección de las varillas.

A continuación Describiremos en forma breve algunas de las causas y agentes más frecuentes que pueden ser generadoras fallas en nuestros edificios, comenzando por algunos errores que podemos cometer en la primera etapa del proyecto que es la planeación y posteriormente con las causas y agentes que se pueden presentar durante la construcción y finalmente durante el período de servicio o vida útil del edificio.

## ERRORES EN LA ETAPA DE PLANEACION

En la **planeación del proyecto** podemos cometer errores graves que se pueden presentar en la etapa de diseño y el la elaboración de los planos estructurales.

**Errores de diseño:** Un tipo de error muy frecuente en la actualidad suele ocurrir por lo siguiente. Hoy en día la práctica del diseño estructural tiende hacia una automatización, impulsada principalmente por que las computadoras se popularizan día a día; Por lo que

ya es muy común el empleo de programas de cómputo para el análisis estructural, para el dimensionamiento, para la elaboración de planos estructurales y hasta para la elaboración de especificaciones.

Y es muy cierto que el empleo de las computadoras trajo muchos beneficios para el diseño estructural, pues se tiene con ellos mucha rapidez y precisión. Pero se suelen cometer errores graves cuando el diseñador pierde el control del significado de los números que se están generando en el programa, además de que se cometen errores graves por no conocer que limitaciones existen para su uso, por emplear unidades incorrectas y por una mala interpretación de los resultados.

Por otra parte durante todo el proceso de diseño, existen incertidumbres y errores que ponen en riesgo la integridad del edificio, produciéndose fallas graves que pueden generar múltiples daños al sobrepasarse los estados límite de la estructura como son:

- a) Estado límite de falla.
- b) Estado límite de servicio.

ESTADO LIMITE DE FALLA	ESTADO LIMITE DE SERVICIO
<b>Colapso</b> <b>Inestabilidad</b> <b>Fatiga</b> <b>Daño irreversible</b> ...	<b>Flechas</b> <b>Desplazamientos horizontales</b> <b>Vibraciones</b> <b>Agrietamientos</b> ...

a) **Estado límite de falla:** Este corresponde cuando la estructura sufre una falla total o parcial, o simplemente sufre daños que afecta su capacidad para resistir nuevas acciones; por ejemplo la falla de una sección por cortante, flexión, carga axial, pandeo, fatiga, etc.

b) **Estado límite de servicio:** Este se presenta cuando sin poner en juego la seguridad de la estructura, afectan el correcto funcionamiento de la construcción comprendiendo grandes deflexiones, agrietamientos, vibraciones excesivas y daños a elementos no estructurales de la construcción.

Las incertidumbres y errores de las que hablamos arriba se derivan de la variabilidad

de las propiedades (mecánicas y geométricas) de los materiales empleados, empleo de modelos muy simplificados para la representación de acciones y la estructura y la falta de precisión de los métodos de cálculo de la resistencia.

Podemos afirmar que los errores en el diseño comienzan desde que se realiza el cálculo de las acciones (cargas) que actúan sobre el edificio, como son las:

- 1) **Acciones permanentes**
- 2) **Acciones variables**
- 3) **Acciones accidentales**

Estas acciones las modelamos como un sistema de fuerzas concentradas, lineales y uniformemente distribuidas, modelos que resultan ser muy burdos, y que nos pueden llevar a cometer errores muy importantes.

Por ejemplo la carga muerta que se considera permanente, en realidad si varía con el tiempo, debido a su contenido de humedad y desgaste por su uso e intemperismo. La carga viva que modelamos como una carga uniforme sufre grandes variaciones por el peso de muebles, personas y sobre todo cuando se realiza un cambio de uso del edificio (Ver figura II-1), que es una de las causas que ha producido más fallas como lo pudimos constatar en los sismos ocurridos en 1985 con el que muchos edificios se vinieron abajo por soportar pesos excesivos de maquinaria y archivos, principalmente.

Ahora en lo referente al **cálculo de la resistencia de los materiales**, las teorías generalmente se basan en ciertas hipótesis que debemos conocer para poderlas aplicar, ya que si la utilizamos indistintamente, sera un factor más que contribuirá a producir una falla, que aunado a la variabilidad de las propiedades mecánicas y geométricas de los materiales, aumentando el riesgo de una falla, que ni con los factores de seguridad que se emplean se podrán evitar.

### **Fallas por un modelo equivocado de la estructura**

Continuando con las fallas cometidas en nuestros modelos, hablemos ahora del

modelo geométrico y del modelo de las condiciones de continuidad de la estructura.

**Modelo geométrico:** Este es un modelo que representa las principales características geométricas de la estructura. Que representa las partes del edificio que desarrollan funciones estructurales, eliminando por lo tanto las partes que no influyen en la respuesta de la estructura, comprende losas, vigas, columnas, etc. (Ver figura II-1').

En este modelo los errores comienzan desde que la estructura es idealizada como un conjunto de marcos planos, pero esto no es un factor decisivo en la generación de fallas, lo grave es cuando se ignora la contribución estructural de algunos componentes del edificio, que muchas ocasiones toman carga que la transmiten a otra parte de la estructura que no fue diseñada para resistirla. ejemplos claros de esto son las escaleras de concreto, que tienen una gran rigidez, por lo cual se ha observado que actúan como puntales, y que cuando se encuentran ligados con la estructura producen grandes torsiones y concentraciones de esfuerzos, efectos que se presentan al ocurrir algún sismo. Esto produce que durante algún terremoto lo primero que se desplome sean el área de las escaleras, como se pudo observar durante los sismos del 19 y 20 de Septiembre.

Otro ejemplo de falla es cuando no se desligan los muros divisorios de la estructura, lo cual les producirá un agrietamiento diagonal al deformarse la estructura. Otro error igualmente frecuente es colocar pretilas ligados a las columnas. los que al producir un empotramiento las hace trabajar como columnas cortas, haciéndolas fallar por falta de refuerzo transversal en la zona de empotre, ante la presencia de algún sismo.

Otra causa que nos ha llevado a cometer terribles errores es hacer un mal modelos de las condiciones de continuidad.

**Modelo de condiciones de continuidad:** Aquí nos referimos principalmente a las condiciones de continuidad de los elementos de la estructura y del tipo de apoyo de esta con su cimentación.

Los elementos de continuidad entre las partes de una estructura dependen principalmente del detalle constructivo, de como se resolverá la conexión, siendo este

un factor que ocasiono graves fallas locales en los edificios del D.F. durante los sismos de 1985, muchas conexiones viga-columna resultaron insuficientes para poder transmitir los esfuerzos de un miembro a otro.

Ya que en muchos casos fue muy frecuente la interrupción del acero transversal en la columna en su zona de intersección con el sistema de piso, lo que resulta ser erróneo, ya que debe proporcionarse confinamiento al concreto y restricción al acero longitudinal en esa zona, lo que se logra colocando la misma distribución de estribos que en los extremos de la columna.

Otra causa de falla fue que en la uniones extremas, las columnas no tenían el ancho necesario para proporcionar la longitud de anclaje al acero longitudinal de la viga, el cual debe ser calculado por las siguientes expresiones:

$$\frac{0.06A_v f_y}{\sqrt{f'_c}} F \dots \dots \dots 1$$

$$l_{db} = (0.006 db f_y) F \dots \dots \dots 2$$

Donde  $l_{db}$  = Longitud básica de desarrollo

$A_v$  = Area de la barra

$db$  = Diámetro de la barra

$F$  = Factor

$F = 1.4$  Para barras de lecho alto

$F = 1.3$  Para concreto ligero

$F = 1.0$  Para los demás casos

$$l_{dh} = \frac{320db}{\sqrt{F \cdot C}} F \dots \dots \dots 3$$

Expresión para calcular la longitud de desarrollo de un gancho estándar.

Igualmente podemos afirmar que muchas de las fallas estructurales que afectan la integridad de los edificios, se puede deber entre otras causas a un diseño por personas que desconocen el RCDF y sus NTC, así como a precipitaciones para entregar el trabajo, y a honorarios insuficientes para efectuar un diseño lo suficientemente profundo y exhaustivo, lo que se traduce a que se entregue un proyecto estructural "recetado" que por su puesto representara un diseño incorrecto, cuyas deficiencias se tratan de solucionar especificando secciones y refuerzo sobrados, que no necesariamente la estructura resultara más segura, pues el sobrediseño de algunas partes de la estructura no es conservador en el diseño sismorresistente, ya que las secciones sobrediseñadas no participan en la deformación inelástica, es decir no alcanzan a fluir, dejando a un número reducido de secciones la función de disipar la energía; Además de que al ser más pesada, ante un sismo se presentarían mayores fuerzas de inercia.

### **Errores en los planos**

Los planos estructurales del proyecto de un edificio son uno de los documentos más importantes, pues a través de estos se muestra la posición, tamaño y demás características que deben tener los miembros estructurales.

Los errores más frecuentes que se cometen en su elaboración son: Asignar dimensiones equivocadas a los elementos estructurales (Ancho y peralte), o también indicar incorrectamente alguna especificación tal como el  $f_c$  y el  $f_y$ , la longitud, cantidad y colocación del acero de refuerzo y sobre todo los diámetros. Tal como se muestra el siguientes caso que resulta muy ilustrativo.

Nos relata Jacob Feld, ingeniero consultor de Nueva York. Se trataba de un muro de retención de 6 m, para el cual se había especificado un acero de 1 1/4", pero cuando el dibujante hizo los planos colocó el 1 de 1 1/4" sobre la línea de acotación, con lo cual quedó visible solo el 1/4", y por su puesto se construyó con este acero de 1/4", ocurriendo la falla (Ver figura II-2). Caso que nos demuestra que en ocasiones no se cuenta con ninguna supervisión.

### **Errores en la construcción**

Los errores durante la construcción se pueden deber a algunas las siguientes causas:

-Mano de obra no calificada.

-Material defectuoso.

-Retiro prematuro de la cimbra.

-Negligencia y deshonestidad.

-falta de supervisión.

-Cambiar el diseño sin consultar al estructurista.

-Demasiados orificios provisionales, en las losas para dar paso a los ductos de las instalaciones.

- Etc.

A continuación comentaremos las causas más frecuentes que pueden ocasionar una falla.

#### **a) Material defectuoso**

El material que más frecuentemente presenta graves defectos es el cemento, como producto de un almacenamiento muy prolongado o inadecuado. que trae como consecuencia una disminución de la resistencia de los concretos y morteros que producen elementos poco resistentes, poco duraderos y fácilmente atacables por el medio ambiente y humedad, pudiendo ocasionar colapsos estructurales, pero afortunadamente la mayoría de las veces se detecta a tiempo mediante los cilindros de

prueba.

En lo referente a los **agregados**, los defectos que pueden presentar son por que en ocasiones se encuentran mezclados con ciertas substancias silíceas o carbonatadas que al reaccionar con los álcalis del cemento producen una expansión anormal que producirá una disgregación del concreto, en México no se han tenido noticias o no han difundido pero en Estados Unidos si se han presentado frecuentemente.

Y con lo que respecta a los **aditivos**, cuando se han empleado de manera indiscriminada ocasionan una reducción considerable de la resistencia del concreto o incluso han ocasionado efectos de corrosión en el acero de refuerzo.

Y en lo referente al **acero de refuerzo** no es común que se presenten defectos importantes, lo único es que en ocasiones puede ser atacado por agentes agresivos, cuando no es protegido convenientemente, como lo mencionaremos más adelante.

#### **b) Errores de construcción propiamente dicha**

Los errores de construcción que más frecuentemente se presentan son la omisión de varillas, o colocarlas fuera de los sitios indicados en los planos estructurales. Fallas importantes por estos motivos se han presentado más constantemente en los volados y marquesinas, las cuales presentan grandes deflexiones y agrietamientos en su empotre, generados principalmente por que el acero es defasado del lecho superior por el tránsito de los trabajadores.

Otros casos son por un deficiente curado, mal vibrado, y una deficiente colocación. Causas que reducirán notablemente la resistencia de los elementos.

#### **c) Supervisión**

Muchas de las fallas ocurren principalmente en la etapa de la construcción, durante o después de ella, debidas a una mala supervisión. y los casos más comunes son los siguientes:

- Colocación de acero de refuerzo incorrectamente.
- Concretos hechos en obra mal dosificados.
- Curado insuficiente.
- Mala interpretación de los planos estructurales.
- Mal uso de aditivos.
- Disgregación del concreto.
- Dejar taponos de madera o papel en uniones de trabe-columna.
- No limpiar las superficies de unión de concreto viejo con nuevo, como sucede al colar castillos y columnas.

#### **d) Fallas en las cimbras**

Durante la construcción de edificios, la mayoría de las fallas técnicas ocurren por fallas en las cimbras, que se deben principalmente a una falta de estabilidad lateral, puesto que la mayoría de las fallas que se han producido en un gran número de edificios, son por no considerar las fuerzas horizontales producidas por el viento, el frenado y arranque de carretillas durante el colado, por la colocación del concreto, el vibrado; y También pueden fallar por emplear materiales de mala calidad, tales como piezas de acero corroídas y dañadas, elementos reparados inadecuadamente, madera agrietada, con nudos y podrida o muy desgastada, que es muy común pues las cimbras se utilizan una y otra vez; Y otro caso muy frecuentes de falla que he observado es el hundimiento de puntales por el reblandecimiento del terreno por el agua que escurre durante el colado, es resultado de colocar rastras muy pequeñas.

Por otra parte el retiro prematuro de las cimbras son otra causa de fallas, que pueden ir desde pequeños agrietamientos y deflexiones, hasta colapsos graves. Los errores pueden ser por los mismos trabajadores al quitar algunos puntales que requieren en otra parte de la obra, o puede ser por presiones de tiempo y económicas. Un caso muy ilustrativo fue el que sucedió en el edificio Skylin Plaza E.U. en el que se ordeno el retiro prematuro de los puntales de la losa del piso 23, lo que produjo un derrumbe progresivo

hasta el terreno.

#### **e) Negligencia y deshonestidad**

Ejemplos muy claros de negligencia y deshonestidad ocurren muy frecuentemente principalmente en construcciones pequeñas, donde no se cuenta con supervisión, Ya que cuantas veces nos hemos encontrado con columnas y trabes que tienen menos acero de refuerzo, que a una columna no se le colo zapata, que a los cimientos de piedra en su parte inferior no se les coloco mortero en sus juntas, que el material esta desapareciendo, que los elementos estructurales están desplomados, que las varillas de las columnas fueron dobladas para colocarlas en su posición correcta, etc. Causas que generalmente se delatan al aparecer ciertos desperfectos.

### **causas y agentes que ocasionan fallas durante la vida útil del edificio**

A continuación mencionaremos y describiremos la forma en que atacan a las construcciones, algunas causas y agentes, y que pueden llegar a ocasionar terribles daños de diferente magnitud a nuestros edificios, incluso conducirlos al colapso y que atacan principalmente durante su periodo de vida útil, como ha ocurrido en varios edificios del centro de la ciudad que se han venido abajo por un acelerado deterioro, por el ataque de varias de estas causas y agentes. comenzaremos por la humedad que es una de las que más problemas nos causan en la construcción (Ver figura 11-3).

## **HUMEDAD**

La humedad es una de los problemas que más frecuentemente se presentan en los

edificios, trayendo graves daños a su aspecto y para la salud de los habitantes por vivir en un medio húmedo y el que más nos interesa es el deterioro que produce a los materiales de construcción. Y es una de las más problemáticas en lo referente a la localización de su origen. Por lo que a continuación daremos una descripción de los diferentes orígenes del agua que ocasionan humedades.

### **1.- Agua empleada para la construcción del edificio**

En la construcción de toda obra se requiere del empleo de grandes cantidades de agua, para la fabricación de morteros, concreto, preparación de yeso para los recubrimientos, para pastas de los acabados, lechadas de cemento, para el curado, etc. Una gran parte de este líquido utilizado se evapora durante el período de secado. Pero en algunos casos donde se emplean recubrimientos decorativos con pastas impermeables, tal como sucede con el tirol plástico o ciertas clases de pinturas que impiden que el agua se evapore con facilidad, se forman zonas húmedas, produciendo desprendimientos de los recubrimientos y deterioro en general de todos los materiales.

### **2.- Agua de lluvia**

El segundo origen de las humedades es el agua de lluvia ya que es muy frecuente que en época de lluvias en muchos edificios el agua penetre a través de los defectos de las losas, muros, serramientos exteriores, o por absorción ya que el agua circula fácilmente por las fisuras de la estructura o en los acabados y a trabes de las juntas no estancas. Además es importante mencionar que aunque el agua cae de arriba hacia abajo, la acción del aire la desplaza en todas direcciones, lo que facilita su penetración al interior formando zonas húmedas.

### **3.-Agua del subsuelo**

El tercer origen es el agua del subsuelo ya que el agua de lluvia después de infiltrarse al terreno, puede llegar al interior de la construcción por medio de la capilaridad. Por eso es que es muy importante proteger las construcciones con barreras antihumedad.

### **4.- Agua de condensaciones**

Y el cuarto origen es el agua de condensaciones, como sabemos el aire del medio ambiente contienen vapor de agua, que al entrar en contacto con un medio frío se condensa, por lo que es fácil de suponer que la humedad producto de condensaciones puede aparecer en el interior de cualquier vivienda; con sus posibles consecuencias como es el crecimiento de hongos, surgimiento de eflorescencias, deterioro de materiales en general, etc.

También hay que tener en cuenta que el vapor del agua que se usa para cocinar, el vapor de la regadera, el vapor de la respiración ( 9 horas de respiración de una persona = 0.5 lts. de agua), etc. Agravan el problema de las humedades por condensación.

Esta agua produce zonas húmedas que se manifiestan por la presencia de manchas características con textura untuosa y un brillo aterciopelado, ofreciendo dificultad a la adherencia de los recubrimientos de pasta y pintura.

Y sin duda alguna el signo principal de la humedad es el cambio de color que produce en la superficie atacada, subiendo la tonalidad del color de fondo.

### **Consecuencias de la humedad**

Como consecuencia las humedades producen los siguientes desperfectos, que pueden deteriorar a tal grado al edificio, que le pueden ocasionar daños de diferente magnitud:

- **Destrucción del yeso, aplanados y recubrimientos decorativos, que en su primera**

etapa presentaran abombamientos y exfoliaciones, los cuales darán paso a desprendimientos y agrietamientos.

- Desprendimientos de plafones por falta de adherencia.

- Disgregación superficial por dilución.

- Aparición de eflorescencias por el transporte de sales desde el suelo o del interior de los mismos materiales.

- Corrosión de muros y tabiques con la aparición de grietas y resquebrajaduras producto de las heladas.

- Oxidación y corrosión de metales de puertas, ventanas, barandales y sobre todo del acero de refuerzo de las estructuras de concreto que es lo más grave.

- Y por último la formación de mohos.

Por esto es que todo constructor debe prever una protección para prevenir un deterioro acelerado del edificio, que afectara en menor o mayor grado su integridad estructural.

A continuación hablaremos un poco de las eflorescencias, pues es un desperfecto que muy comúnmente aparecen en las construcciones como producto de la humedad.

### **Eflorescencias y materiales higroscópicos**

Se denominan materiales higroscópicos aquellos que absorben y retienen la humedad, por ejemplo: ladrillos, concretos, morteros y piezas cerámicas. En estos materiales por la acción de la humedad ciertas sales son disueltas y transportadas al exterior, en cuya superficie el agua se evapora y dichas sales se cristalizan formando un cuerpo pulvulento y blanquecino, conocido como **salitre**.

Dicho **salitre** puede dar origen a un daño superficial, provocando erosión (cripto-eflorescencia), que puede llegar al punto de producir desprendimientos y disgregación total.

Generalmente las sales que producen eflorescencias son: Los sulfatos alcalinos (**sulfato de calcio, sulfato de sodio, y sulfato de manganeso**), algunos nitratos y carbonatos. Que por lo general se encuentran en:

- Los propios materiales de arcilla, por ejemplo tabiques, ladrillos y algunos tipos de losetas de barro.
- En el terreno si es especialmente arcilloso.
- En los aires salobres marinos.
- E Indirectamente se produce en los materiales tales como el concreto, morteros, y yeso que contienen carbonato de calcio y que al entrar en contacto con el aire contaminados con gases de azufre se convierte en sulfato de calcio.

En la ciudad de México es muy frecuente que en los edificios que no cuenten con una barrera antihumedad (Impermeabilización) en su cimentación, se presente este problema del salitre, el cual ocasiona desprendimientos de pintura, y acabados en general.

## INFLUENCIAS CLIMATOLOGICAS

El clima es el promedio de los estados del tiempo calculado durante un período muy largo. Es decir para obtener el clima de un lugar es necesario obtener, durante un período de 5 años consecutivos, los promedios de la temperatura, la presión, los vientos y las precipitaciones del lugar.

Un buen ejemplo de daño atribuido al clima es la helada, pues las construcciones que tienen materiales mezclados con agua sufren tensiones que producen agrietamientos, por la expansión del hielo.

La durabilidad de los materiales expuestos a los agentes atmosféricos disminuye. Algunos por la erosión, por cambios bruscos de temperatura, dilución, etc. Pero es importante recordar que este proceso es lento, por lo que cualquier desperfecto repentino se deberá a otros factores.

### Clasificación de las condiciones climáticas adversas

Estas condiciones climáticas las podemos clasificar en 4 grupos que son:

- a) **Caluroso húmedo.**
- b) **Caluroso seco.**
- c) **Frió húmedo.**
- d) **Frió seco.**

Cada tipo de clima exigirá diseños y precauciones especiales para evitar fallas inesperadas en edificios nuevos, que en síntesis ahora mencionaremos.

**Caluroso húmedo:** Los efectos destructores de las áreas tropicales son por la combinación de las altas temperaturas, alta humedad y grandes precipitaciones.

Los requisitos constructivos de conservación son: Protección contra la corrosión en todos los materiales, tratamiento a presión para la madera, impermeabilización de las mamposterías, control de hongos en todas las superficies y empleo de materiales que no absorban mucha humedad por que se expanden. Este tipo de clima lo tenemos en Tabasco, parte de Campeche y la zona norte de Chiapas, en donde la mayor parte del año se presentan altas temperaturas y alta humedad.

**Caluroso seco:** En este tipo de clima los problemas principales son producto de las grandes variaciones de temperatura que ocurren durante el día. efectos que detallaremos más adelante. Este clima caluroso seco lo tenemos al norte del país, principalmente en Sonora, Baja California, Chihuahua y parte de Coahuila.

**Frió húmedo:** Aquí los problemas más serios son por la escarcha permanente y las nieves acumuladas. pues cuando el agua de un material húmedo se congela aumenta de volumen y los agrieta por el mismo empuje, o hace que se esponje como ocurre con los suelos húmedos afectando la cimentación. Este clima tan extremo se presenta en México, en las zonas altas de la sierra Madre Occidental, en parte de Sonora y en algunas sierras de Baja California.

**Frió seco:** Este clima es típico de las regiones árticas, en el que no ocurre lo del caso anterior, pues los efectos por disgregación por heladas se reduce al mínimo. En México

no se presenta este clima tan extremo.

## ACCION QUIMICA

El comportamiento de las reacciones químicas del concreto con agentes destructores es un tema muy interesante y extenso. Por lo que solo mencionaremos los agentes destructores más frecuentes, así como sus reacciones.

### Efectos de aguas agresivas

El concreto se descompone por la acción de numerosos productos contenidos en las tierras o disueltos en las aguas siendo estas últimas las más frecuentes.

Entre las principales aguas agresivas citaremos las siguientes:

- 1.- Aguas químicamente puras.
- 2.- Aguas que hayan circulado por terrenos que contienen sulfatos.
- 3.- Aguas que hayan circulado por terrenos que contienen cloruros.
- 4.- Aguas ácidas naturales.

**1.- Aguas químicamente puras:** Estas aguas disuelven la cal del cemento, reduciendo su compacidad y por consiguiente su resistencia, tanto de concretos como de morteros, este problema se soluciona empleando cementos de poca cal libre: cementos de escoria, puzometalúrgicos y cementos aluminosos.

**2.- Aguas que hayan circulado por terrenos que contienen sulfatos:** por ejemplo sulfato de cal o yeso (aguas selenitosas), sulfato de magnesio (aguas magnésicas). Las primeras se combinan con uno de los componentes del clinker que es el aluminato tricálcico (principal componente del cemento portland), formando un sulfoaluminato, mejor conocida como SAL DE CANDLOT, sustancia temiblemente expansiva, que produce tales tensiones en el concreto que lo hace estallar. Esto sucederá en todos los materiales que contengan cemento tales como los morteros, concretos, tabicones, etc.

Para evitar este tipo de daño recomienda emplear cementos con bajo contenido de aluminato tricálcico (tipo V), tales como el cemento de escoria de clinker CLK, cementos con elevado contenido de sílice y cementos aluminosos.

**3.- Aguas que hayan circulado por suelos que contengan cloruros** (Cloruro de sodio y cloruro de potasio) y las aguas de mar.

Estas aguas son peligrosas por que retrasan el tiempo de fraguado y propician la corrosión del acero, ya que el concreto húmedo con la presencia de sales es conductor; por lo que las corrientes eléctricas como las tomas de tierra o las fugas de corriente, pueden generar un efecto electrolítico sobre el acero y corroerlo.

**4.- Aguas ácidas naturales.** Por ejemplo aguas que contienen ácido carbónico en disolución. Este tipo de agua al reaccionar con los cementos portlan corrientes se forman bicarbonatos solubles que arrastran la cal del cemento.

Otro efecto indeseable de las aguas ácidas es que al entrar en contacto con el concreto no solo lo corroe si no que desprende burbujas de gas, quedando un concreto débil y poroso fácilmente atacable por los agentes atmosféricos.

## CORROSION

La corrosión es el desgaste más o menos lento que sufren los materiales tales como:

- a) Acero
- b) Rocas
- c) Concretos y morteros
- d) yeso, etc.

### a) Corrosión del acero:

La corrosión del acero es el principal problema de conservación de estructuras

metálicas en general. Los síntomas son una superficie picada con placas o escamas de óxido que se desprenden fácilmente.

Y un problema particularmente grave es la **corrosión del acero de refuerzo** de estructuras concreto. Cuando este es colocado con un recubrimiento escaso, entra en contacto con el aire y con la humedad; oxidándose. **El volumen del óxido es ocho veces el del metal sano**, lo que produce fisuras y disgregación del recubrimiento, produciendo una aceleración en la corrosión del acero con sus consecuentes pérdidas de sección. Reduciéndose de esta forma la resistencia de los elementos **(Ver foto II-1)**.

**b) Corrosión en rocas:** La corrosión en las rocas se manifiesta por capas, que se agrietan y desprenden, dejando a la vista una superficie pulverulenta de roca descompuesta.

La experiencia demuestra que las calizas son las más atacadas y que las areniscas son alteradas nada más que en función de los carbonatos cálcicos que presentan en el cementante que las une.

Este carbonato es poco soluble al agua: 0.0014 % a 25 °C, pero si el agua contiene gas carbónico la solubilidad es de 0.13 % por la formación de un bicarbonato de calcio. Y si el agua contiene ácido sulfúrico el carbonato se convierte en sulfato cuya solubilidad es de 0.209 % .

De esta manera se disolverán las finas partículas que sirven de aglutinante y la piedra se disgregará como si fuera un terrón de azúcar.

### **c) Corrosión de concretos y morteros**

Los cementos, cuyos principales componentes son silicatos bicálcicos y tricálcicos y aluminato tricálcico, contienen muchas veces cal libre hidratada después del fraguado, ya que los silicatos se hidratan para dar una sal monocálcica con liberación de cal. Una parte de esta cal es aprovechada por el aluminato tricálcico, que se transforma en tetracálcico, pero queda un sobrante de cal libre.

Concluimos con esto que los derivados del cemento, concreto y mortero, son sensibles

a la acción disolvente del agua sobre la cal. Pero también son sensibles a las aguas selenitosas; pues se forma un sulfoaluminato que produce un aumento de volumen y dislocación parcial (Bacilo del cemento).

**d) Corrosión del yeso:** El yeso es un material que se corroe generalmente por dilución.

El yeso al amasarlo con agua fragua rápidamente por la formación de cristales de bihidrato que se imbrican.

En teoría hace falta solo 20 % de agua para producir el fraguado, pero los yeseros le agregan del 80 al 100 % de agua para poder manipularlo y tener tiempo de colocarlo. Esta cantidad de agua hace que se tenga un yeso muy poroso que se diluye fácilmente y se disgrega hasta con el aire.

## VARIACIONES DIMENSIONALES

Los cambios de temperatura dan origen a cambios dimensionales en todos los materiales. Si tales cambios son restringidos por la estructura, se producirán esfuerzos en las columnas, vigas, losas, pisos, muros, etc. que puede fisurarlos.

En las construcciones pequeñas estos efectos no causan muchos problemas, pero en las de gran tamaño, la dilatación de una parte puede ocasionar grietas que no tienen por que aparecer en la parte dilatada, si no que lo harán en la otra adyacente, que habrá sido desplazada de su parte original (**Ver figura II-4**).

Estas variaciones de volumen también pueden deberse a cambios de temperatura interna. Por ejemplo las variaciones de temperatura del concreto durante su fraguado que puede ser considerable en colados de gran volumen, con su consecuente agrietamiento.

Dicha **variación dimensional** no solo ocurre por cambios de temperatura, si no que también por **absorción de agua**. Ya que los materiales porosos de construcción aumentan de dimensión con el incremento de su contenido de agua y viceversa. Generalmente, estas variaciones son insignificantes pero otras producen deterioros de gran magnitud.

Los materiales más seriamente dañados son ciertos productos cerámicos como

ladrillos, losetas azulejos, etc. y pisos de madera; pues al aumentar de volumen por la humedad producen agrietamientos y levantamientos de las piezas.

A continuación presentaremos las variaciones volumétricas que sufren algunos materiales como consecuencia de la temperatura y la humedad.

#### Desplazamiento libres de los materiales de construcción

(Expresados en mm por cada 3 m de longitud)

Material	Variación por temperatura	Variación por humedad
Aluminio	2.100	_____
Cobre	1.450	_____
Vidrio	0.950	_____
Ladrillos de arcilla cocida	0.425-0.600	0.075-0.300
Ladrillos calizos	1.200	0.300-1.500
Concreto y morteros	0.825-1.200	0.600-1.800
Recubrimiento de yeso	1.500-1.750	_____
Yeso	1.000-1.250	_____
Mármol y piedra caliza	0.475	_____
Madera	_____	0.025

## IMPACTOS

Existen deterioros que proceden de impactos, cuyo efecto puede ser una pequeña deformación, tales como abollar un elemento, despostillar una esquina, agrietar o desprender acabados. Pero existen choques violentos que pueden acarrear la destrucción de los elementos causando fallas importantes a la estructura.

Estos últimos generalmente son causados por el choque de automóviles sobre los edificios, que causan enormes daños a las construcciones principalmente a los muros de las fachadas, pero pudiendo también dañar muros de carga, columnas, etc. en cuyo caso si es grave, que pueden llegar a producir colapsos progresivos (Ver figura II-5).

## SISMOS

Los sismos podemos afirmar que es uno de los fenómenos naturales, que ha sido causante de un gran número de daños a las estructuras, y a continuación hablaremos un poco de sus efectos sobre las construcciones.

**Origen:** Un terremoto se origina en un plano de debilidad o en una fractura de la corteza terrestre, llamada falla. El terreno a un lado de la falla se desliza horizontal y/o verticalmente con respecto al terreno del otro lados, y esto genera una vibración que es transmitida hacia afuera en forma de ondas elásticas que se propagan por el interior y superficie de la tierra (Ver figura II-6 y II-7).

**Fuerzas ejercidas:** El deslizamiento a lo largo de una falla ocurre súbitamente. Es una liberación de energía que en forma gradual se acumula en las rocas de la corteza, y aunque el movimiento sísmico es en todas direcciones, las componentes horizontales son las que deben preocuparnos, por que son las que causan más daño a las estructuras (Ver figura II-8).

**Otros efectos del terremoto:** Las vibraciones y aceleraciones sobre los edificios son los más importantes efectos de un terremoto, sin embargo existen otros efectos sísmicos excepcionales que no dependen de las aceleraciones; éstos son debidos principalmente a la inestabilidad del suelo sobre la que está desplantada la estructura. Por ejemplo los fenómenos de licuación que ocurren cuando arenas poco densas saturadas, por efecto de la vibración producida por el sismo, pierde su fricción interna y se comporta prácticamente como un líquido, con lo que su capacidad de carga se vuelve casi nula, dando lugar a grandes hundimientos e inclusive al volteamiento de las estructuras en ellas desplantadas. otros ejemplos son los deslizamientos y derrumbes de laderas que pueden arrastrar con ellos las construcciones, y los movimientos relativos de los bordes de una falla que puede provocar rupturas en toda estructura que la cruce.

Y ejemplos claros de estos daños los vimos en los sismos ocurridos el 19 y 20 de

Septiembre de 1985 en la ciudad de México, donde un gran número de edificios se vinieron abajo y otros más sufrieron diferentes fallas. Edificios que se desplomaron verticalmente, otros que se inclinaron, algunos se defasaron sus pisos intermedios y excepcionalmente algunos se voltearon completamente.

Las vibraciones de la estructuras produjeron presiones sobre el suelo, excediendo su propia capacidad de carga e introdujeron fuerzas muy elevadas principalmente en las columnas y muros de carga que resultaron insuficientes para resistirlas.

Y estudios realizados por el Instituto de Ingeniería de la UNAM, concluyeron que los edificios dañados tenían las siguientes características inadecuadas (figura 11-9).

- **Cambios bruscos en la rigidez estructural o en la resistencia de un nivel a otro, lo que ocasiono amplificaciones locales del movimiento.**
  
- **Pisos Innecesariamente pesados.**
  
- **Carencia de integridad estructural, caracterizada por un detallado inadecuado de las conexiones viga-columna y viga losa, ya que como sabemos el efecto sísmico siempre trata de localizar las zonas más débiles de la estructura para disipar allí su energía, ocasionando fallas locales.**
  
- **Separación inadecuada entre los edificios colindantes, los cual ocasiono daños por impactos.**
  
- **Condiciones de columna cautiva, creadas por muros de relleno de altura parcial.**
- **etc.**

Tal como lo podemos observar en los siguientes datos estadísticos, donde se muestran los porcentajes de los casos en que se observó tal característica.

CARACTERISTICA	PORCENTAJE
Asimetría notable de rigidez	15 %
Edificio de esquina	42 %
Primer piso flexible	8 %
Columnas cortas	3 %
Sobrecarga excesiva	9 %
Hundimientos diferenciales previos	2 %
Problemas de cimentación	13 %
Choque con edificios cercanos	15 %
Daños previos por sismo	5 %
Punzonamiento de losas reticulares	4 %
Falla en pisos superiores	38 %
Falla en pisos intermedios	40 %

Todos los estudios realizados a raíz de los sismos nos dieron una gran lección, pues a través de análisis de las fallas y de sus causas, podemos aprender mucho, para que en un futuro seamos mejores. Y así debería ser con todas las fallas que se presentan en los edificios, para que todos los involucrados en la construcción aprendamos de ellas.

### VARIOS

Otras causas y agentes que producen fallas a los edificios son los siguientes. No los desarrollaremos por que su acción perjudicial es muy obvia sobre la construcción, y estos son:

- Vibraciones de maquinaria que genera agrietamientos y fatiga en los materiales.
- Falta de mantenimiento, que lógicamente produce fallas por el deterioro de los materiales.

- Viento que produce roturas en acristalamientos y levantamiento de techos, que estén mal diseñados.
- Uso del edificio distinto para el que fue diseñado, que origina cargas adicionales a la estructura y cimentación.
- Granizo que hace fallar los techos mal diseñados.
- Ampliaciones de la vivienda que afecta la cimentación.
- Incendios.

Estas causas y agentes de las que hemos hablado, que pueden llegar a producir fallas durante el período de vida útil del edificio. Podemos afirmar que las que más frecuentemente atacan a los edificios del D.F. son:

Los impactos, por choque de vehículos, que se estrellan frecuentemente sobre las fachadas de los edificios, que afortunadamente en muchos casos no han pasado de la simple destrucción de muros, pero en algunos otros casos si se han producido colapsos parciales de la estructura como sucedió recientemente, en el quinder Hellen Keller, ubicado en Basco de Quiroga # 1945, col Santa Fe, que al estrellarse un trailer el pasado 13 de Agosto de 1993, causo un colapso casi total de la estructura. También no hay que descartar la posibilidad de la destrucción de columnas de la planta baja de algún edificio que puede causar un colapso progresivo.

Y los agentes que han afectado en gran medida a los edificios, son la humedad, variaciones volumétricas por temperatura y por absorción de humedad y las heladas que aunque no son muy severas si llegan a producir congelamiento de los materiales que se encuentran mezclados con agua, ocasionando disgregación; Todos estos agentes al actuar principalmente en conjunto han ocasionado un deterioro muy severo en muchos edificios, especialmente las vecindades de la zona centro del D.F. a las que prácticamente no se les ha realizado ningún tipo de mantenimiento, pues afirman los dueños que para ellos resulta antieconómico por el congelamiento de las rentas, por otro lado los habitantes que en su mayoría son de escasos recursos, no están dispuestos a invertir sus pocos ahorros en el mantenimiento de los edificios, por que no son de ellos.

Debido al gran descuido en que se encuentran estos edificios (vecindades), se presentan diferentes fallas en varios de sus elementos estructurales y no estructurales, tales como: Desprendimiento de acabados, corrosión del acero de refuerzo, flechas excesivas en través y losas, zonas húmedas y goteras que se presentan en épocas de lluvias, corrosión por dilución de tabiques y bloques de concreto de los muros, los cuales presentan perforaciones y zonas ya muy socavadas, etc.

Este deterioro ha llegado a tal grado, que ha ocasionado colapsos muy aparatosos, con pérdida de vidas humanas. Y como ejemplo menciono los siguientes casos ocurridos recientemente: El 2 de Agosto de 1993, debido al alto grado de deterioro que presentaba la estructura de una vecindad ubicada en Av. Jalisco # 67, Col. Héroes de 1810, construida a base de muros de carga, sufrió un colapso parcial en el que tres viviendas se desplomaron.

Otra vecindad ubicada en Saragoza # 88, Col. Guerrero, tuvo que ser apuntalada con polines y vigas, para que no se viniera abajo, puesto que presentaba grandes agrietamientos diagonales en sus muros y grandes deflexiones en sus techos.

Y respecto al ataque de sulfatos al concreto, no se han presentado casos de fallas en cimentación y estructura de edificios en México, pero en Estados Unidos si se han presentado fallas graves, que han producido colapsos.

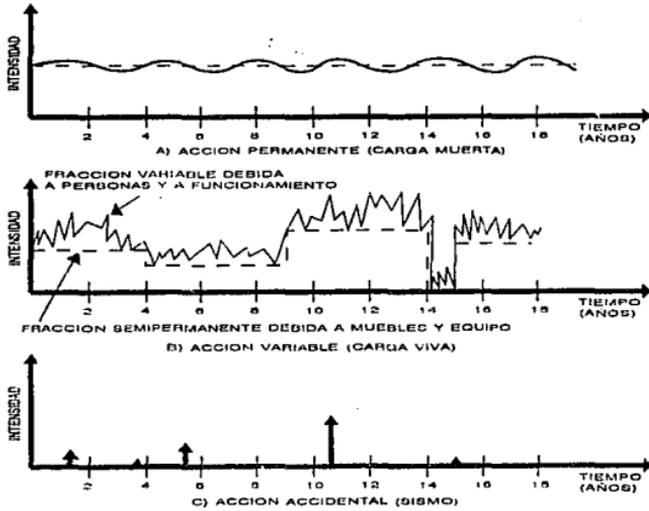


FIGURA II-1 VARIACION CON EL TIEMPO DE ACCIONES PERMANENTES, VARIABLES Y ACCIDENTALES.

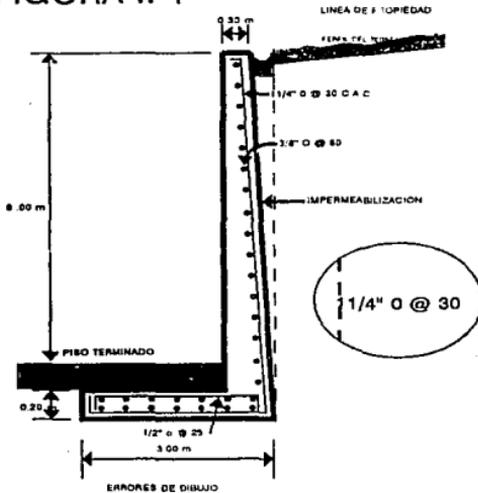
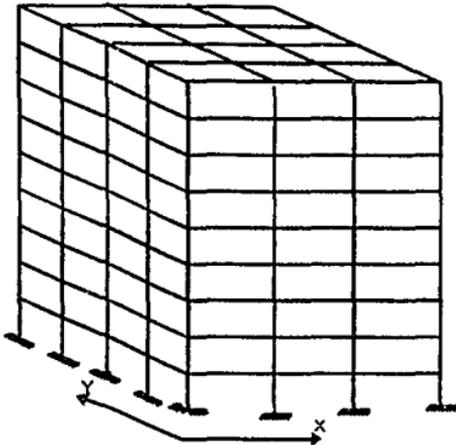
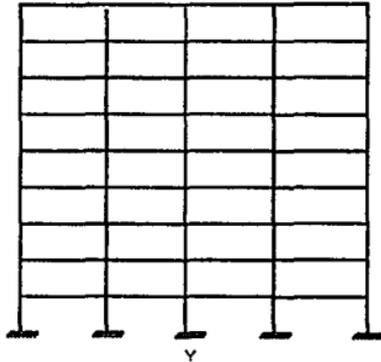
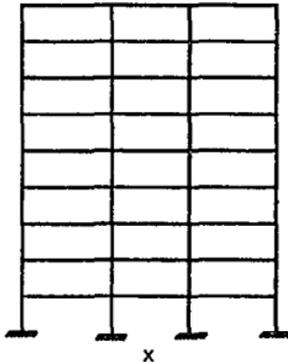


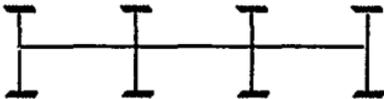
FIGURA II-2 ERRORES EN LOS PLANOS



A) MARCO TRIDIMENSIONAL



B) MARCOS PLANOS EN DOS DIRECCIONES



C) MARCO ELEMENTAL PARA UN ANALISIS DE SISTEMAS DE PISO

FIGURA II-1' DIFERENTES MODELO PARA EL ANALISIS DE UN EDIFICIO

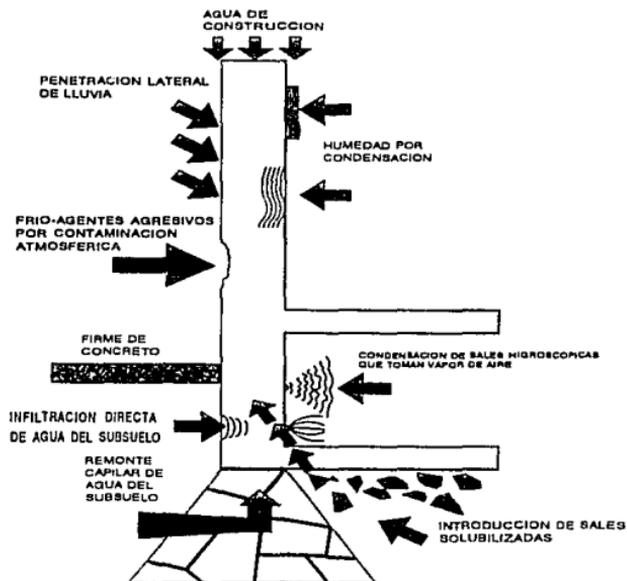


FIGURA II-3 FUENTES DE HUMEDAD

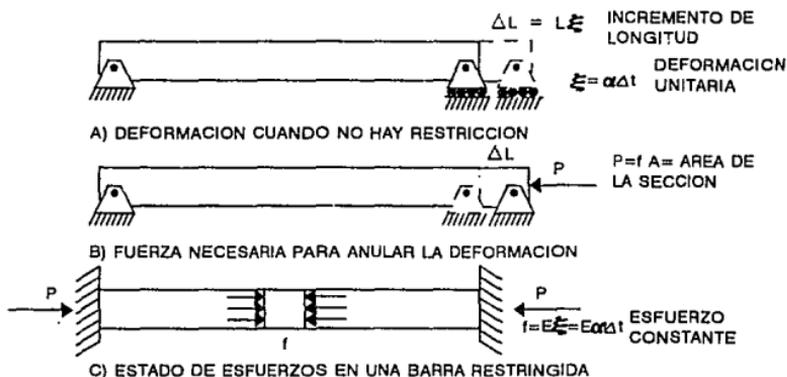


FIGURA II-4 EFECTOS DE TEMPERATURA

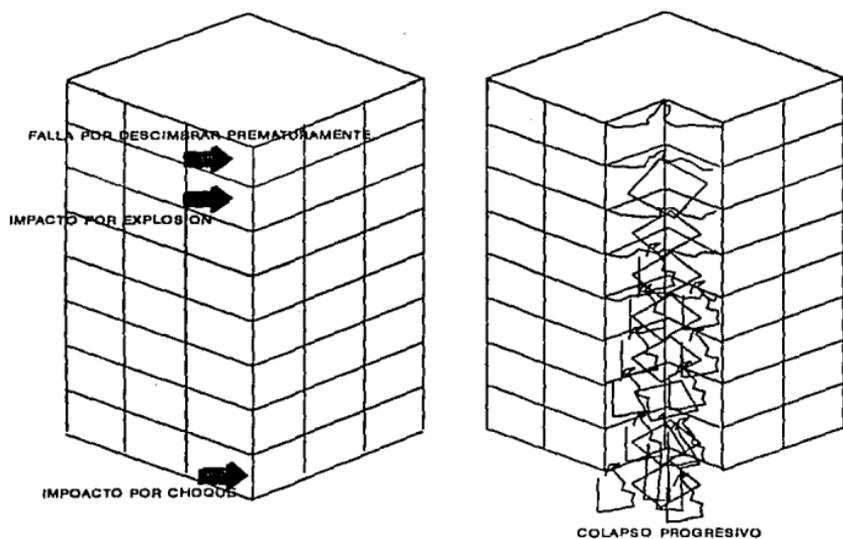
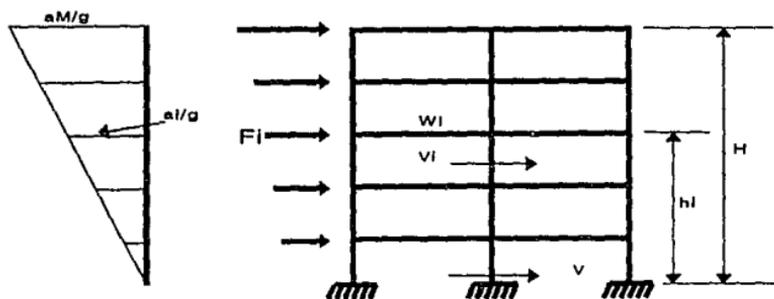


FIGURA II-5 COLAPSOS PROGRESIVOS



$$F_i = (W_i/g) a_i$$

$$a_i = a_M (h_i/H)$$

$$V = \sum F_i$$

FIGURA II-8 FUERZAS LATERALES POR SISMO

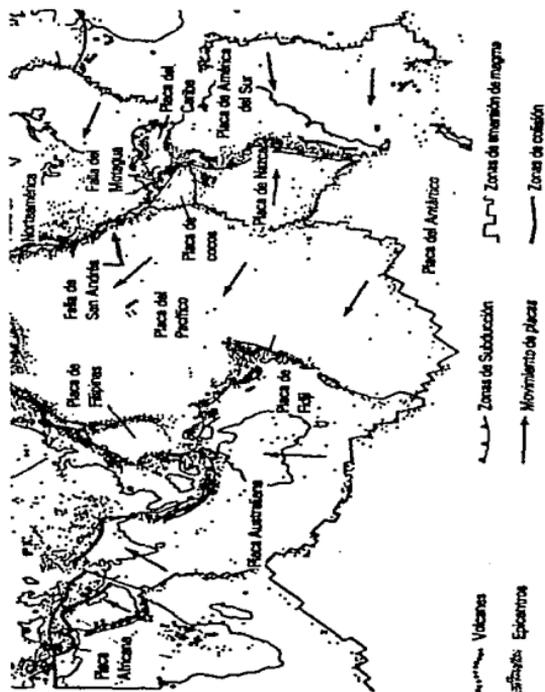


FIGURA III-6

Mapa que muestra la relación entre las principales placas tectónicas y la localización de los epicentros de terremotos y de los volcanes (de Bal, referencia).

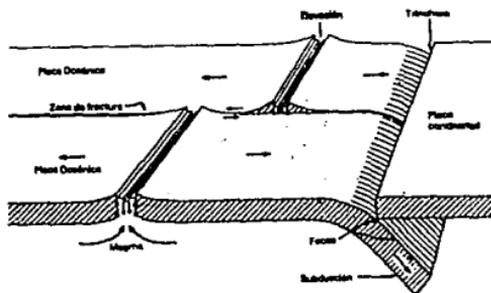


FIGURA III-7  
MOVIMIENTOS DE LAS PLACAS

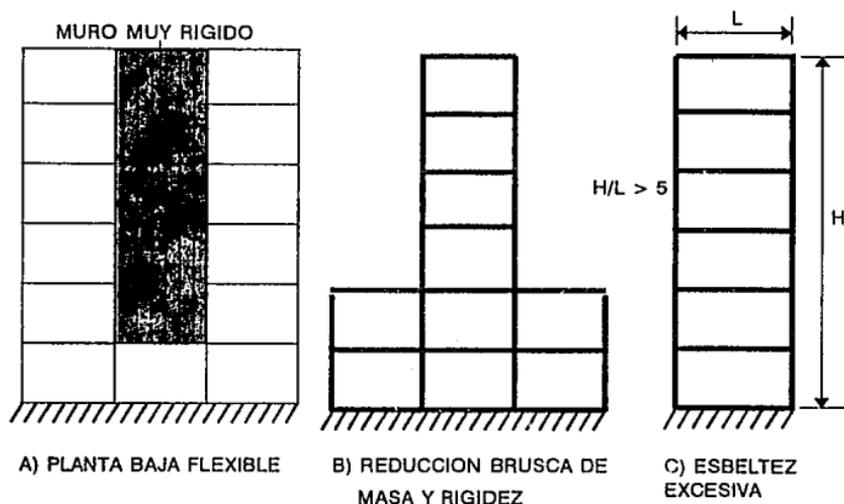
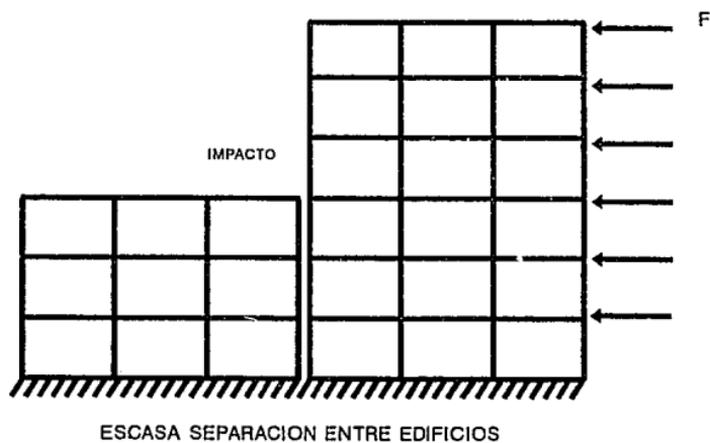


FIGURA II-9 CONFIGURACIONES POCO CONVENIENTES EN EL ELEVACION PARA EDIFICIOS





**FOTOGRAFIA II-1 OXIDACION DEL ACERO DE REFUERZO  
PRODUCTO DE LA HUMEDAD.**

# CAPITULO III

## FALLAS EN CIMENTACION Y ESTRUCTURA

### Introducción

**Definición de cimentación:** Es un elemento de transición entre la estructura del edificio y el suelo, cuya función es lograr que las fuerzas que se presentan en la base de la estructura se transmitan adecuadamente al suelo, en que esta se apoya.

La estabilidad de una estructura depende en gran medida del tipo de suelo donde se desplante. Este tipo de suelo puede ser de buena o mala calidad, entendiéndose por suelo de buena calidad, aquellos de alta resistencia al corte y baja deformabilidad y para comprenderlo mejor a continuación mencionaremos algunos de estos.

**Suelos de buena calidad:** Estos suelos no presentan problemas para las cimentaciones, pero es recomendable anclar los edificios a estos materiales para que resistan las acciones laterales por sismo. Y entre estos tenemos a la **tobas** (Que en ocasiones se les denomina tepetates), **grabas y arenas compactas, basaltos, etc.**

**Suelos de mala calidad:** En este tipo de suelo tenemos.

- Arcillas expansivas.
- Arcillas compresibles.
- Suelos granulares sueltos.

**Arcillas expansivas.** Son suelos de alta plasticidad que tienen la característica que al absorber agua aumentan de volumen y al perder agua sufren contracciones importantes. Este tipo de arcilla, debido a la infiltración de agua pluvial, o a la rotura de tuberías de agua potable o alcantarillado aumenta de volumen, ocasionando un levantamiento del suelo bajo las cimentaciones y pisos, pudiendo ocasionar fallas en la cimentación y



Muros de acabado sensible "

"= 0.001

Por otra parte las emersiones y asentamientos, principalmente diferenciales, generan esfuerzos adicionales a una estructura, pudiendo además afectar a las construcciones vecinas, produciendo fallas locales que se manifiestan por la formación de grietas en los muros y un pandeo en la traveses y losas, producidas como ya mencione por un asentamiento diferencial o un levantamiento de la cimentación del edificio colindante, tal como se muestra en la **Figura III-1**.

**Suelos granulares sueltos:** Estos son muy peligrosos, pues aunque los asentamientos producto del peso de la edificación no son grandes, los ocasionados por un sismo si lo son, por que producen una densificación o compactación de éste. Por ejemplo cuando se trata de arenas saturadas, con un sismo se puede llegar a licuar (Drástica reducción de la resistencia al corte)

Aquí es importante mencionar que en ocasiones el suelo de buena calidad se pueden presentar discontinuidades que pueden hacer fallar a los edificios, como es el caso de:

**Basaltos.** Presentan cavernas producidas por gases atrapados durante el enfriamiento de la lava.

**Calizas:** Pueden tener cavernas por la dilución de carbonato de calcio.

**Tobas:** (Caso en la zona de lomas en la Cd. de México) Presentan minas artificiales hechas por el hombre para la extracción de arena.

Por otro lado un gran número de fallas en la cimentación y por consiguiente en la estructura son generadas por un mal dimensionamiento por no determinar correctamente dos datos fundamentales de la mecánica de suelos, como son:

a) **Capacidad de carga.**

b) **Asentamientos.**

**Capacidad de carga del suelo:** Para el diseño de las cimentaciones, el dato fundamental es la capacidad de carga que soporta el suelo, pues sin este dato no será posible dimensionar las zapatas o el tipo de cimentación que se requiera. Esta capacidad

fundamental es la capacidad de carga que soporta el suelo, pues sin este dato no será posible dimensionar las zapatas o el tipo de cimentación que se requiera. Esta capacidad de carga puede ser calculada con las siguientes teorías:

TEORIA	TIPO DE CIMENTACION	TIPO DE SUELO
Meyerhof $q_d = C N_c + P_d N_q + 1/2 \gamma B N_\gamma$	Superficial	Cohesivo friccionante
Terzaghi $q_d = C N_c + P_d N_q + 1/2 \gamma B N_\gamma$	Superficial	Cohesivo friccionante
Skempton $q_d = C N_c + P_d$	Superficial y profunda	Cohesivo
Seevaert $q_d = (\gamma D_f N_q + 1/2 \gamma B N_\gamma) X$ (Dr+0.1)	Superficial y profunda	Cohesivo y friccionante

Pero también se puede calcular con el método empírico: basado en la experiencia adquirida en terrenos similares. Este método es recomendable solo en construcciones de uno o dos niveles pues para construcciones de mayor importancia resulta riesgoso.

### Fallas por asentamientos

Las presiones que se aplican en un suelo dado se traducen en la compactación del mismo y en los consecuentes asentamientos de los edificios.

Si la capa compresible tiene un espesor constante y la construcción no es más pesada en un extremo que el otro (Es decir si el centro de gravedad de las cargas está cerca del centro de gravedad de los cimientos), el edificio se asentará uniformemente sin perder su verticalidad. En caso contrario ocurrirán asentamientos diferenciales que generarán una pérdida de verticalidad.

Estos asentamientos traen sin duda fallas a la edificación afectando su buen funcionamiento. Teniéndose problemas en el nivel de acceso peatonal o de vehículos,

roturas en las tuberías de drenaje o contrapendientes que evitan la salida de aguas negras, además de la rotura de todo tipo de líneas o ductos que llegan desde la calle.

Y lo más importante es que cualquier pérdida en la verticalidad del edificio produce un desplazamiento de su centro de gravedad y de aquí la aparición de solicitaciones inesperadas e irregulares en la superficie del suelo agravando el problema de desplome, que puede originar:

- Fisuras inclinadas en muros y en general toda la estructura.
- Aberturas de juntas en las colindancias en estructuras rígidas.

### **Fallas por el desconocimiento del terreno**

Por otra parte un gran número de fallas se deben al desconocimiento del terreno, **por no realizar ningún reconocimiento del Sitio** antes de comenzar la construcción, es decir no se investiga si el predio fue usado en el pasado como depósito de desechos, o fue nivelado con rellenos colocados sin compactación, o si el terreno presenta grietas u oquedades subterráneas.

Y por no realizar ninguna investigación de la historia de las cargas que ha soportado el suelo del predio, lo que puede traer como consecuencia asentamientos diferenciales.

Igualmente pueden suceder **por no realizar exploraciones del terreno**, ya sea mediante pozos a cielo abierto o sondeos con equipo de penetración estándar, o por errores debido a la gran variabilidad de las características del terreno de un lugar a otro; por ejemplo un pozo a cielo abierto o un sondeo puede mostrarnos un suelo de buenas características, pero a un metro o dos puede presentar algún tipo de discontinuidad, tal como una caverna, grieta, etc.

Y en términos generales los suelos que más problemas han causado a las construcciones son los siguientes:

- 1.- Materiales de relleno.**
- 2.- Terrenos inestables (Zonas minadas).**

- 3.- Terrenos alterados por el agua.
- 4.- Zonas de deslizamientos.
- 5.- Terrenos que presentan grietas de tensión.

#### **Materiales de relleno**

Estos materiales de relleno suelen ocasionar graves fallas en la cimentación, y los podemos emplear de dos formas que serían, como:

- a) **terreno de cimentación.**
- b) **Material de aporte para nivelación.**

En el primer caso, cuando lo empleamos como terreno para desplantar nuestra cimentación, las fallas surgen por no tomar en cuenta la compresibilidad y heterogeneidad del material, como podría suceder con un depósito de basura, escombros, cascajo, etc. que son muy frecuentes, tanto en el D.F. como en las grandes ciudades de todo el país; en los que por su rápido crecimiento poblacional los lleva a ocupar estos terrenos, que alguna vez estuvieron en sus límites urbanos.

Y mencionando una vez más, las edificaciones que más fallas sufren son las populares que constan de uno o dos niveles. Como sabemos las cimentaciones en este tipo de terrenos, debe ser a base de pilotes, pilas, losas de cimentación o se le debe dar un tratamiento al suelo, lo que resulta sumamente caro, y que por su puesto estas familias no lo hacen. Surgiendo así problemas de diferente magnitud en sus viviendas, a corto plazo, pudiéndose presentar los siguientes casos:

- Cimentación sobre un relleno reciente, que sin duda tendría un gran asentamiento.
- Cimentación sobre un relleno de espesor variable el cual presentara enormes asentamientos diferenciales.
- Y por último las cimentaciones apoyadas parcialmente en un relleno, que si no es diseñada adecuadamente presentara asentamientos diferenciales.

En el segundo caso. Muchas ocasiones se cimienta "adecuadamente" pero lo

desagradable surge cuando se agregan rellenos al terreno para nivelar patios, estacionamientos, etc. pues estos rellenos ejercen una presión sobre el terreno natural; que según las ecuaciones de BOUSSINESQ se hace sentir a grandes profundidades y si se trata de terrenos compresibles presentara asentamientos importantes, tal como se muestra en la **figura III-2**.

El relleno alrededor de los pilotes también es responsable de su falla, ya que al producirse un asentamiento del terreno este tiende a colgarse del pilote produciendo una fricción negativa, haciéndolo descender o fallar.

Otra fuente de fallas es la cimentación en terreno inestable.

### **Cimentaciones en terrenos inestables (Zonas minadas)**

Aquí nos referimos a las cimentaciones desplantadas sobre zonas de explotación minera, pues es un problema que se presenta en la zona de lomas al noroeste de la ciudad de México, donde se encuentran grandes terrenos de donde en épocas pasadas se extraía arena. Y que actualmente sufren grandes hundimientos en forma de cubeta, en cuyos bordes se dan los problemas más graves para las viviendas ahí asentadas, tal como se muestra en la **figura III-4**.

Este tipo de terrenos los podemos encontrar en los lomeríos del poniente de área metropolitana, así como en los alrededores del cerro de la estrella, delegación Alvaro Obregón, Miguel Hidalgo, Contreras, Cuajimalpa, Coyoacán, Tlahuac e Iztapalapa, ocupando un área de más de 150 Km<sup>2</sup>, ocupados tanto por fraccionamientos residenciales como por asentamientos irregulares.

**Las colonias de más alto riesgo son:**

En el estado de México

**Lomas de Cadete**

**México 68**

**Minas Coyote**

**Lomas Lindas**

**La Higuera**

**Tierra de Enmedio**

**Ahuehuetes**

**El puerto**

En el D.F. Delegación A. Obregón

**Golondrinas**

**Arturo Martínez**

En todas estas colonias se han presentado diferentes daños, incluso colapsos, y los casos más recientes son los siguientes:

a) En el mes de Abril de 1993 en la calle San Juan Capula # 7 y 8 colonia Golondrinas, en la Delegación A. Obregón, se detectaron cavernas (minas) bajo las viviendas, lo que ha ocasionado asentamientos en la cimentación, con el consecuente desplome y agrietamientos diagonales en muros, rotura de pisos, descuadra de los marcos de puertas y ventanas y rotura del drenaje.

b) En el mes de Septiembre de 1993 en la calle antigua Vía la Venta ocurrió un hundimiento de más de 15 m de profundidad, que hizo que dos casas se colapsaran, y otro problema grave que surgió en estas mismas fechas fue en la colonia Arturo Martínez de la Delegación A. Obregón, ya que en la calle Andador No. 1, varias casas han sido afectadas, por hundimientos diferenciales que sufren sus cimentaciones por que en este lugar recientemente emergió una mina bajo una de las viviendas, por el reblandecimiento de su techo por la filtración de aguas negras de fosa sépticas.

#### **Cimentaciones en terrenos alterados por el agua**

El contenido de agua en terrenos de grano grueso tiene efectos despreciables, pero no así en suelos finos como las arcillas, pues se producen en ellos varios fenómenos como son:

- **Variación volumétrica por contenido de agua.** El fenómeno de contracción y expansión de las arcillas son de los que más problemas nos causan, el fenómeno de retracción puede ser originado por un intenso asoleo o por la extracción de agua por las raíces de un árbol, produciendo con esto asentamientos diferenciales. La hidratación de las arcillas también puede producir ciertos levantamientos en las cimentaciones (**Figura III-5**).

- **Disminución de la capacidad de carga del suelo por contenido de agua.** El contenido de agua disminuye la capacidad de carga de todos los suelos, pero en especial de las arcillas, pues se reduce su cohesión y ángulo de fricción interna y según Tersagui pierden su resistencia de **4 Kg/cm<sup>2</sup> a 0.25 Kg/cm<sup>2</sup>**.

Este fenómeno ocurre muy frecuentemente cuando las sanjas de cimentación son rellenadas con el cascajo de la obra, pues el agua penetra y se acumula fácilmente bajo la cimentación, ocurriendo la alteración de la resistencia del suelo.

### **Zonas de deslizamientos**

Debido a la inestabilidad que ocasionan las minas al suelo, en 1968, se prohibió la explotación de materiales pétreos por medio de minas, por eso es que desde esa fecha se ha procedido a la explotación con frentes a cielo abierto, con equipo pesado, sin embargo esto ha producido otro problema, como son los deslizamientos de taludes y laderas, que son puestas en inestabilidad, debido a que la extracción del material del cuerpo o del pie del mismo se realizó sin ninguna técnica. De tal manera que al surgir la urbanización y construcción se presentan graves daños, incluso colapsos parciales y totales; Problemas que se presentan más frecuentemente en épocas de lluvias, como sucedió en Julio de 1992 en el cerro del Chiquihuite y un cerro de la colonia San Fernando Del. A. Obregón, en donde dos viviendas se vinieron abajo por el deslizamiento de tierras.

Y otros casos menos graves, son el derrumbe y agrietamiento de muros de contención mal diseñados, ocurridos frecuentemente en la delegación Tlalpan.

### **Terrenos que presentan grietas de tensión**

Las grietas de tensión se presentan en terrenos arcillosos de gran extensión, y expuestos a fuerte evaporación durante las estaciones cálidas y a inundaciones durante las lluvias. Pero igualmente se presentan en zonas que han estado afectados por una fuerte extracción de agua de sus mantos freáticos, que es lo que sucede en el D.F. Presentándose dichas grietas en Echeagaray Santa Martha Acatitla y en Xochimilco principalmente.

Los casos de fallas más recientes de los que hemos tenido noticias, son los ocurridos en la unidad Rinconada del Sur, en donde existen grietas de más de 1 m de ancho y el estacionamiento se ha hundido cerca de 1.5 m, además de que existen edificios que se han separado 70 cm en su parte más alta.

Algo semejante ocurre en la unidad INFONAVIT Bosques de Sur, ubicada en el pueblo de Sta. María Nativitas, así como en varias casas de Tulyehualco y Tepepan, cuyos agrietamientos de suelo afectan pisos banquetas pavimentos y la estructura de las viviendas.

Y antes de pasar a mencionar el comportamiento de las fallas estructurales, describiremos en forma breve las fallas que se pueden presentar durante la excavación que se hace para contruir la cimentación.

## **FALLAS EN LAS EXCAVACIONES**

Durante las excavaciones para una cimentación se pueden presentar fallas de diferente magnitud que pueden sobrepasar los estados límite como son:

### **A) Estado límite de falla**

**B) Estado límite de servicio**

El **estado límite de falla** se presenta cuando hay colapsos de taludes, fallas en los cimientos de las construcciones colindantes y falla de fondo por cortante o subpresión.

El **estado límite de servicio** se refiere a los movimientos verticales y horizontales producidos en el área de excavación y sus alrededores debidos a la descarga del terreno.

Fallas que a continuación numeramos y comentamos brevemente:

**1.- La falla de taludes** se puede presentar por que sobre el terreno gravitan sobrecargas de gran magnitud que no se consideraron, vibraciones de la maquinaria y equipo o por el reblandecimiento del terreno por el agua de lluvia.

**2.- Falla de fondo**

Este fenómeno es una de las causas de falla más frecuentes y peligrosas en excavaciones además hechas en arcillas.

Caracterizándose por un asentamiento del terreno vecino, y un levantamiento rápido del fondo de la excavación; Aquí lo que sucede es que el material vecino fluye hacia el centro de la excavación, debido a una falla por cortante o por subpresión del agua freática, ocasionando su elevación, tal como se muestra en la **figura III-6**.

Donde  $CNc$  representa la resistencia del terreno a lo largo de una superficie de falla, en tanto que el término  $\gamma Df + q$  representa el esfuerzo a nivel de desplante debido al peso del suelo y a las sobrecargas que hubiera, para evitar este tipo de falla debemos siempre tener un factor de seguridad mayor que 1.

$$fs = \frac{CNc}{\gamma Df + q} > 1$$

**3.- Falla por subpresión.** Esta se puede producir en edificios a base de cimentaciones compensadas, y es como producto del empuje vertical del agua que los hace practicamente flotar sobre el terreno, por esto es necesario que se tenga un control

estricto del agua freática por medio de carcamos de bombeo, para disminuir esta presión.

#### **4.- Asentamiento del terreno natural adyacente a las excavaciones:**

En el caso de los cortes adomados en arcillas blandas las fallas en las construcciones vecinas son ocasionadas por un asentamiento del terreno natural adyacente a las excavaciones, debido a un mal diseño de los soportes que permiten un movimiento horizontal muy grande de los ademes.

Pero también debemos tener en cuenta que un gran número de fallas pueden ocurrir por mal diseño, negligencia, e incluso **vibraciones**, tal como sucedió en el pasado mes de Mayo de 1993, en el que ocurrió un derrumbe de un talud, de una excavación que se hacia para un cajón de cimentación, ocasionado por la vibración que produjo el pilotaje. Esto ocurrió en la calle Montes Urales No. 480 de Las Lomas de Chapultepec en una obra a cargo de la empresa Cimentaciones Mexicanas.

## **FALLAS EN LAS ESTRUCTURAS**

Las causas principales que producen fallas en las estructuras son las siguientes:

**Falla de cimentación:** Como se vio al principio de este capítulo una de las principales causas que ocasionan desperfectos a las estructuras de los edificios es la falla de la cimentación, pues de esta depende su estabilidad.

### **Falla por flexión**

Una insuficiente armazón a flexión de los elementos de las estructuras imponen al concreto trabajar a esfuerzos de tensión que no le corresponden.

La falla a flexión se manifiesta por la formación de grietas verticales al centro de las vigas llegando hasta el eje neutro y en las vigas continuas cerca de las columnas con recorrido de arriba hacia el eje neutro, que se van incrementando tanto en número como en abertura, siendo esto un síntoma de que el acero está fluyendo, y a medida de que

aumenta la longitud de las grietas la zona de compresión se va reduciendo, hasta que el concreto en esta zona es incapaz de tomar la compresión y se aplasta llagándose así a la falla del elemento.

### **Mecanismo de agrietamiento de las fallas por flexión**

Comienza por la formación de grietas primarias perpendiculares al acero de refuerzo con la aplicación de cargas relativamente bajas, que se prolongan hasta el eje neutro. Posteriormente se forman grietas secundarias semejantes a las anteriores pero sin llegar al eje neutro, en algunos casos se pueden ver grietas secundarias muy pequeñas que llegan hasta la altura del acero longitudinal. Y finalmente se presentan grietas longitudinales (que podríamos llamar terciarias) a la altura del acero de tensión y nos indican que el elemento está a punto de fallar (figura III-7).

En las fallas por flexión podemos distinguir dos tipos que son:

**a) Falla dúctil**

**b) Falla frágil**

Un miembro tiene **falla dúctil** cuando en el momento de su colapso, presenta grandes deflexiones. Esto es como resultado de que el acero alcanza a fluir antes de que se presentara la carga máxima de falla.

La **falla frágil** ocurre cuando el acero de refuerzo no fluye antes del aplastamiento del concreto en compresión, ocasionándose con esto que se tengan una mínima deflexión del elemento antes de su colapso. Es decir es una falla súbita como ocurre al romperse un cristal.

### **Falla por cortante**

En las fallas de este tipo se forman grietas inclinadas a  $45^\circ$ , antes de la falla la grieta inclinada puede aparecer súbitamente y extenderse inmediatamente hasta producir el colapso, en este caso se identifica como **falla por tensión diagonal**. Por otra parte puede

sucedan que la grieta inclinada se desarrolle gradualmente y que el colapso ocurra por aplastamiento de la zona en compresión en el extremo de la grieta inclinada; en este caso se trata de una falla de compresión por cortante.

Existe otro tipo de falla llamada de adherencia por cortante que se caracteriza por que la resistencia se alcanza cuando se presentan extensos agrietamientos longitudinales a nivel del acero de tensión (Figura III-8).

### Falla por compresión

Si nos encontramos frente a fallas por aplastamiento, el problema es tan grave que posiblemente la estructura ya esté en el suelo o esté a punto de desplomarse, pues los muros de carga y columnas que son los que resisten principalmente la compresión son los elementos que contribuyen en mayor medida a mantener en pie la estructura.

Este tipo de falla consiste en la pérdida de cohesión ya sea de un muro de carga o de una columna, lo que determina que este tipo de estructuras verticales ya no sean capaces de resistir carga axial, produciéndose como consecuencia un debilitamiento en sentido transversal afectando el grosor del elemento, aproximadamente en su parte media.

La formación de una grieta interna nace en el punto más débil de la zona aplastada y que se va abriendo poco a poco, provocando un ensanchamiento del muro o de la columna, hasta perder el equilibrio y caer.

Este tipo de falla se desarrolla en tres etapas.

- 1.- Las juntas de mortero comienzan a reducir su espesor visiblemente (para el caso de muros).
- 2.- Se produce una expansión transversal con grietas en dirección de la carga.
- 3.- Finalmente todas estas grietas que se han ido produciendo se juntan en una sola cuyo tamaño aumenta sin parar. **Siendo este el último aviso de la falla.**

Las causas de este grave desequilibrio pueden ser por:

- Insuficiencia inicial de la sección transversal.
- Deterioro de los materiales por envejecimiento.
- Aumento de las cargas permanentes y accidentales (Por ampliaciones).
- Hundimientos de los cimientos que han transferido sobre algunos elementos cargas mayores para las que fueron diseñados.

### Fallas por torsión

La falla se inicia formándose una grieta inclinada de tensión en una de las caras mayores de las vigas, esta grieta se abre rápidamente y se extiende a las caras menores de esta y la falla ocurre por aplastamiento del concreto en la cara mayor opuesta.

Este proceso de falla es similar al de flexión, en el que la grieta de tensión se inicia en la cara inferior, extendiéndose después las caras laterales, y aplastándose finalmente el concreto de la cara superior. Por consiguiente se puede decir que la falla por torsión es por flexión en un plano de 45° con respecto al eje longitudinal de la viga.

Para evitar fallas por torsión debemos revisar su nuestras piezas con las siguientes expresiones.

Cuando

$$\frac{Tu^2}{TOR} + \frac{Vu^2}{VCR^2} > 1$$

Se requiere acero por torsión

Donde:

Tu = Momento torsionante de diseño

TOR = Momento torsionante resistente

Vu = Fuerza cortante de diseño

VCR = Fuerza cortante que resiste el concreto

$$TOR = 0.6 FR \sum X SUP 2 Y \sqrt{F * C}$$

$$FR = 0.8$$

X, Y = Dimensiones mayor y menor de los rectángulos en que queda descompuesta la sección.

TCR = 0.25 TOR Momento de torsión que soporta el concreto

$$ASV = \frac{S(Tu - TCR)}{FR(\Omega X1 Y1 fyv)}$$

X1, Y1 = lado mayor y menor de un estribo

S = Separación de estribos

fyv = Esfuerzo de fluencia del acero de los estribos

$\Omega = 0.67 + 0.33 Y1/X1 < 1.5$

$$S = 2 \frac{ASV}{S} (X1 + Y1) \frac{FYV}{FY}$$

### Falla por efectos de esbeltez

Se entiende por efectos de esbeltez a la reducción de resistencia de un elemento estructural sujeto a compresión o flexo-compresión, debido a que la longitud del elemento es grande en comparación con su sección transversal. Es decir reducción de resistencia por pandeo.

**Pandeo de columnas:** Si a una columna corta de cualquier material se le aplica una carga axial creciente, esta fallara cuando la carga aplicada produzca un esfuerzo de

compresión igual al valor de resistencia del material  $f_c$  y  $f_y$ , en el caso del acero. Pero esto no sucede en columnas largas, pues la longitud es un factor que afecta el comportamiento de los elementos sujetos a carga axial. Cuando a una columna larga se le aplica una carga axial creciente, se observa que cuando la carga llega a un valor determinado, se produce una flexión súbita, y si se incrementa la carga se produce de inmediato el colapso de la pieza. A esta carga se le conoce como carga crítica.

$$P_{CR} = \frac{\pi^2 EI}{(KL)^2}$$

Donde:

E = Modulo de elasticidad

I = Momento de inercia

L = Longitud de la columna

K = Factor de longitud efectiva que depende de los apoyos de la columna

**Pandeo en vigas:** Cuando se usan vigas esbeltas ( $L/b > 20$ ), es muy probable que la falla se produzca por inestabilidad antes del desarrollo de la resistencia a flexión. Esta falla por inestabilidad toma la forma de pandeo lateral acompañado de torsión. Pudiendo presentarse en vigas que no tienen apoyo lateral, si la rigidez a la flexión en el plano de flexión es muy grande comparada con su rigidez lateral.

Y el momento correspondiente a la falla por pandeo lateral recibe el nombre de momento crítico.

$$M_{Cr} = \frac{\pi}{L} \sqrt{EI_y GJ \left( 1 + \frac{EC_w \pi^2}{GJ L^2} \right)}$$

L = longitud de la viga.

I = Momento de inercia respecto al eje Y.

E = Módulo de elasticidad del material.

G = Módulo de elasticidad en cortante =  $3/8 E$

$J =$  Momento polar de inercia  $= b^3 / 3$

$C_w =$  Constante de alabeo

$$C_w = 1.75 + 1.05 \frac{M_1}{M_2} + 0.3 \left( \frac{M_1}{M_2} \right)^2 < 2.3$$

Asta aquí hemos mencionado el comportamiento de falla de los elementos estructurales de una manera simplista, por lo que ahora mencionaremos algunas causas graves de fallas estructurales que pueden ocasionar colapsos, haciendo referencia a los daños ocurridos en los sismos de 1985.

Pues bien una causa muy frecuente que ocasiono colapsos a múltiples edificios, fue que el primer pisos tenía escasa rigidez a cargas laterales, esto se presento por que en sus pisos superiores hay abundancia de muros, pero no así en la planta baja, la cual en muchos casos se dejo libre para estacionamiento, salones o vestíbulo de hoteles, pero la causa o error que llevo a muchos edificios al colapso, es que se eliminaron muros de carga, en la planta baja, para colocar cancelas y cortinas, para formar locales comerciales, ocasionando fallas frágiles por cortante y compresión.

Otra causa de falla fue la escasa separación entre edificios, especificada en el RCDF, agregando además, que muchas de las colindancias se habían convertido en verdaderos basureros, en donde fue frecuente encontrar trozos de madera, concreto y cascajo. Lo que produjo que algunos edificios colindantes, al momento del sismo, chocaran entre si, produciendose un efecto denominado **chicoteo y perforación de muros**.

También causas importantes de colapsos fueron:

- **Exceso o deficiencia en el armado**, ya que en algunos casos se pudo observar un exceso de armado que no permitió el paso del concreto al colar, igualmente se observaron armados en posición incorrecta, falta de anillos o sunchos suficientes en las columnas, etc.

- **Fallas estructurales en edificios previamente dañados**, los cuales presentaban asentamientos diferenciales, como por ejemplo el edificio Nuevo León.

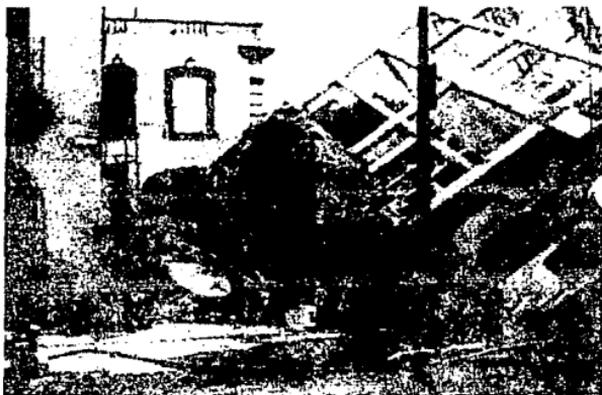
- Asimetría en planta, que principalmente se presentó en edificios de esquina, ocasionando una **torsión excesiva**.

- Y por su puesto se produjeron colapsos por fallas en columnas, por **cortante y flexo-compresión**. Propiciado principalmente por escasez de refuerzo transversal y la excesiva separación del acero longitudinal de la columna, lo que dio lugar al pandeo de las barras de refuerzo y a un confinamiento muy pobre del concreto contenido en el núcleo de la columna.

Otro factor que contribuyó a la pérdida de la capacidad de carga de las columnas, fue la excesiva concentración de refuerzo longitudinal en paquetes en las esquinas, produciendo grandes concentraciones de esfuerzo de adherencia alrededor de los paquetes, dando lugar al desgarramiento del concreto.

- etc.

Todos estos tipos de fallas y algunas más las pudimos observar muy claramente en muchos edificios de la ciudad de México, que resultaron dañados durante los sismos de 1985, tal como nuestro en las siguientes fotografías.



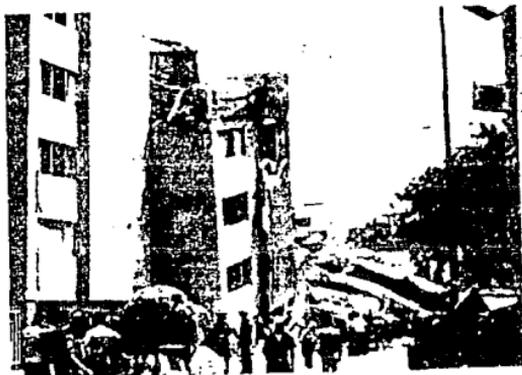
Edificio en Zacatecas y Orizaba, colonia Roma. Edificio en esquina con excesivo momento de volteo que no fue capaz de soportar la cimentación.



Edificio en Abraham González y Barcelona. Es un edificio en esquina con una excesiva torsión, lo que ocasiono una falla frágil en las columnas de la fachada en el primer piso, lo cual provocó el volteo del edificio.

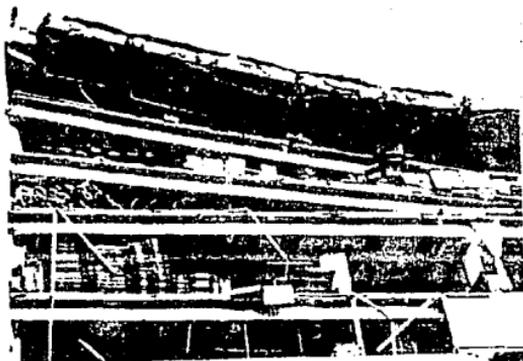


Edificio en Monterrey y Guanajuato. Es un edificio de esquina, con excesiva torsión, lo produjo una falla frágil en las columnas.



Edificio de departamentos ubicado en la calle de Edison.

Se trata de dos edificios en forma de H; el primero de ellos como se puede observar falló en su primer nivel, por chocar con el edificio colindante.



Este es un edificio ubicado en San Antonio Abad.

El cual falló por que se hizo un mal uso de él, que como se puede observar tenía una sobrecarga excesiva en sus pisos superiores



Edificio en Laredo y Avenida Tamaulipas, ubicado en una esquina, en el que fallaron sus últimos pisos por torsión.



Teatro en Av. Cuahuémoc.  
En este edificio ocurrió una falla frágil en columnas, ya que como podemos observar había columnas muy largas y la estructura era totalmente asimétrica.



Es el hotel De Carlo (Plaza de la República).

Ocurrió la destrucción de los pisos intermedios por el choque con los edificios vecinos.

Edificio en San Antonio Abad.  
En este edificio se observa una falla frágil en las columnas por una excesiva torsión.

## Análisis de algunos casos frecuentes de fallas en cimentación y estructura

### I.- Asentamientos diferenciales

Este es un problema que se presenta muy frecuentemente en el D.F. principalmente en la zona de terreno compresible y en la zona de lomerío donde los hundimientos diferenciales son producto de las minas que hay en el subsuelo como ya lo hemos mencionado.

Estos asentamientos diferenciales producen en toda estructura hiperestática un incremento de esfuerzos que pueden llegar a sobrepasar los esfuerzos permisibles, ocasionando agrietamientos.

Este incremento de esfuerzos lo podemos estudiar por medio de un modelo simplificado que simule el comportamiento de un edificio asentado; este modelo puede ser un marco plano de dos crujeas y dos niveles, tal como se muestra en la figura III-9.

El asentamiento lo simularemos aplicando en el apoyo 3 (que se desplaza verticalmente) una carga concentrada  $p$  que producirá una deformación vertical, similar a la producida por el hundimiento del terreno.

Posteriormente se analizará la estructura con un programa de computadora (que analiza marcos planos por el método de la rigideces) para poder ir variando la carga  $P$  y obtener más fácilmente los elementos mecánicos y registrar el incremento de esfuerzos.

Los resultados se muestran a continuación:

Carga $p$ Ton	Desplazamiento $\Delta Y$		Reacciones			M <sub>max</sub> Barra M	V <sub>max</sub> Barra	AXIAL x Barra
	m	cm	1	2	3			
1	0.0037	0.37	-8.1	1.81	-1	5 1.18	5 1.10	5 0.5
2	0.0074	0.74	-1.6	3.6	-2	5 2.36	5 2.21	5 1.1
4	0.0147	1.47	-3.2	7.2	-4	5 4.72	5 4.43	5 2.3
6	0.0221	2.27	-4.8	10.8	-6	5 7.08	5 6.65	5 3.4
8	0.0295	2.95	-6.5	14.5	-8	5 9.44	5 8.87	5 4.6
10	0.0332	3.32	-7.3	16.3	-9	5 10.6	5 9.98	5 5.1

De este modelo aunque es muy simple se pueden sacar conclusiones muy valiosas como las que a continuación se mencionan:

a) El desplazamiento de un apoyo incrementa los elementos mecánicos sobre todos los componentes de la estructura, lo que explica el agrietamiento y flexión provocada durante un hundimiento.

b) Las cargas que llegan a la cimentación se ven modificadas, ya que mientras en la zapata lateral disminuye la carga axial, en la central se incrementa en forma considerable, pudiendo llegar a ser tan grande que en un momento dado ocasiona falla por punzonamiento o incluso puede producir el aplastamiento de la columna.

### II Disminución de la capacidad de carga por un aumento en el N.A.F.

Las expresiones para el cálculo de la capacidad de carga del suelo están en función de  $P_d$  (Presión efectiva) como a continuación se muestra.

$$\text{Skemton} \quad q_c = C N_c + P_d \dots\dots\dots 1$$

$$\text{Tersaghi} \quad q_c = 2/3 C N_c + P_d N_q + 0.5 B N \dots\dots 2$$

Etc.

Y la presión efectiva esta en función del N.A.F. ya que  $P_d = P - U$  donde  $U = \gamma_{\text{sat}} H$ ;  $H$ = altura del N.A.F a partir de la base de la cimentación **Figura III-10a**.

En esta expresión se ve que al aumentar la altura  $H$ , aumentan los esfuerzos neutros  $U$ , haciendo disminuir los esfuerzos efectivos  $P_d$  y al verse disminuidos los esfuerzos efectivos en las expresiones 1 y 2 la capacidad de carga también disminuirá; generando asentamientos con sus consecuentes problemas.

Los asentamientos son producidos por un incremento en la relación de vacíos al aumentar el N.A.F. que repercute en la compresibilidad de los suelos finos, lo cual podemos notar analizando las expresiones empleadas para medir los hundimientos.

$$\text{Coeficiente de compresibilidad} \quad a_v = \Delta e / \Delta P \dots\dots\dots 1$$

$$\text{Coeficiente de cambio volumétrico} \quad m_v = a_v / (1 + e_0) \dots\dots\dots 2$$

Hundimiento  $H = mv (\Delta P) H$  ..... 3

De la expresión 1 se observa que al incrementarse la relación de vacíos y mantenerse constante el esfuerzo  $\Delta P$ , el coeficiente de compresibilidad  $av$  aumenta; sucediendo lo mismo con el coeficiente de cambio volumétrico. Y por lo tanto el hundimiento aumentará (Ver figura III-10b).

Con este análisis numérico concluimos que si en el diseño de una cimentación no se toman en cuenta la variación del nivel freático pueden surgir problemas de estabilidad en toda la estructura.

### III.- Modelo equivocado de las condiciones de apoyo de las cimentaciones a base de pilotes de fricción.

Es frecuente que las trabes de liga de las cimentaciones a base de pilotes de fricción se modelen para su análisis como una viga con cargas concentradas, apoyada sobre apoyos libres, es decir solo se invierte para ser resuelta por el método de Cross tal como se muestra en la Figura III-11a.

Este modelo está equivocado, ya que los pilotes de fricción no se comportan como apoyos fijos, pues sufren pequeños asentamientos al penetrar en el terreno, además de que en este modelo no se considera la reacción del suelo.

Dando como resultado elementos mecánicos que difieren mucho de la realidad, ya que si son comparados con los obtenidos con el método de Newmark que si toma como apoyo toda la superficie del suelo verían mucho, pues si comparamos el diagrama de momento flexionante obtenido por Cross (figura III-11b), con el obtenido por Newmark (Figura III-11c) se puede observar dicha variación.

Con este simple análisis nos podemos dar cuenta de la importancia que tienen los modelos dentro del análisis y diseño estructural.

#### **IV.- Variación de la capacidad de carga en los pilotes de fricción, debido a la adherencia de la arcilla en sus costados.**

Pueden ocurrir fallas importantes en las cimentaciones por este fenómeno, principalmente en proyectos a cargo de personas de poca experiencia, que no toman en cuenta en su diseño que la arcilla se adhiere a los costados del pilote disminuyendo su área lateral.

Este fenómeno se presenta en pilotes de una gran área lateral, como los de sección tipo I (figura III-12a).

Gente sin experiencia puede pensar que si construye y utiliza pilotes de una gran área lateral (sección en "estrella" como el de la figura III-12b) se incrementara la capacidad del pilote, pero esto no es cierto ya que al deslizarse el pilote la arcilla se adhiere a sus costados disminuyendo el área lateral.

Otra problema se puede generar durante el incado de los pilotes, ya que cuando son colocados sin una perforación y sin humedecerlos previamente, la arcilla se adhiere acumulándose en la punta, dejando un espacio entre el pilote y el suelo, como se muestra en la Figura III-12.

#### **V.- Trabes de liga poco rígidas.**

Un error que puede ser cometido es el colocar trabes de liga muy flexibles para zapatas, de tal manera que no son capaces de soportar sin flexionarse la carga que sobre estas gravita, carga que en bodegas o edificios industriales resulta ser muy grande.

Este tipo falla puede ser analizado con un caso que sucedió en una bodega que almacenaba tornillos. Era un local de 10 X 20 m cuya cimentación era a base de zapatas unidas con trabes de liga; con el paso del tiempo el piso de la bodega registro un asentamiento creciente así como un agrietamiento de los muros.

En este caso lo que sucedió es que las trabes de liga en el sentido largo que servían

de apoyo a las trabes en el sentido corto y al piso, no tenían el peralte necesario para resistir la flexión; produciéndose la deflexión que generó momentos muy grandes en los extremos de la trabe, que fueron transmitidos a la zapata, siendo esta la causa de los desperfectos (Figura III-13).

**VI.- Desplazamiento del acero de refuerzo por el tránsito de personas durante el colado.**

Este problema se presenta en los volados de las losas que trabajan en cantiliver, donde el acero se coloca en la parte superior; Aquí lo que suele suceder es que durante el colado el acero es desplazado hacia abajo por el peso de las personas y carretillas, haciendo que el peralte efectivo de la losa disminuya, aunque el peralte total se mantenga constante.

Esta reducción de peralte le ocasiona una disminución de resistencia, ya que si analizamos las siguientes expresiones nos podemos dar cuenta de que al disminuir el peralte efectivo  $d$  el coeficiente de refuerzo  $q$  disminuye y el porcentaje de acero  $P$  aumenta, de lo que se deduce que como  $q$  disminuye y  $P$  aumenta el porcentaje de acero la resistencia a flexión disminuirá.

$$0.5q - q^2 + \frac{M}{FRbd f''c} = 0$$

$$P = q \frac{f''c}{f_y}$$

Por ejemplo para  $M_u = 1761 \text{ Kg.m}$

$$b = 100 \text{ cm}$$

$$d = 10 \text{ cm}$$

Se obtiene  $q = 0.130$ ,  $P = 0.0049$  y  $S = 13.3 \text{ cm}$

y si reducimos el peralte  $d = 8$  cm, se obtiene

$$q = 0.2581$$

$$p = 0.0095$$

$$S = 9.3 \text{ cm}$$

Esto significa que al no modificar la separación del acero la resistencia disminuirá.

#### VII.- Falla frágil en columnas por colocar muros a media altura ligados a la estructura.

Este tipo de fallas ocurren por un aumento en la fuerza cortante, como resultado de colocar muros a media altura, ya que producen un empotramiento a las columnas, haciéndolas trabajar como columnas cortas, para lo cual no fueron diseñadas.

Este aumento en la fuerza cortante se puede estudiar con dos marcos que soportan una carga horizontal, similar a la producida por un sismo y colocando en uno de ellos un puntal de compresión que actuará como un muro a media altura, tal como se muestra en la figura III-14.

Al analizar ambos marcos se obtuvo los valores siguientes :

#### Elementos mecánicos del marco 1

BARRA	MOMENTO. A	MOMENTO B	CORTANTE A	CORTANTE B	AXIAL A	AXIAL B
1	-3.01	-1.83	-1.93	+1.93	+6.82	-6.82
2	-3.06	-1.95	-2.00	+2.00	+10.52	-10.52
3	-2.27	-0.39	-1.06	+1.06	+2.66	-2.66
4	+4.22	+0.18	+4.10	1.90	-0.14	+0.14
5	+4.48	+0.96	+4.36	+1.64	-0.47	+0.47
6	-2.39	-2.80	-2.08	+2.08	+2.72	-2.72
7	-2.71	-3.13	-2.33	+2.33	+4.26	-4.26
8	-0.57	-0.90	-0.59	+0.59	+1.01	-1.01
9	+2.80	+0.09	+2.72	+1.28	+2.08	-2.08
10	+3.04	+0.90	+2.99	+1.01	+4.41	-4.41

## Elementos mecánicos del marco 2

Barra	Momento A	Momento B	CORTANTE A	CORTANTE B	AXIAL A	AXIAL B
1	-2.89	-2.71	-2.24	+2.24	+8.37	-8.37
2	-2.49	-2.09	-1.83	+1.83	+7.73	-7.73
3	-1.71	-0.61	-0.93	+0.93	+3.90	-3.90
4	+2.47	-1.40	+3.27	+2.73	-3.83	+3.83
5	+3.13	-0.43	+3.68	+2.32	-1.52	+1.52
6	-0.16	+0.18	+0.01	-0.01	+2.60	-2.60
7	+0.36	+0.35	+0.47	+0.47	+1.32	-1.32
8	+0.71	+0.71	+0.36	-0.36	-2.59	+2.59
9	+0.40	+0.52	+0.22	-0.22	+6.57	-6.57
10	+1.13	+0.46	+0.60	-0.60	+1.57	-1.57
11	-0.89	-1.69	-2.58	+2.58	+2.24	-2.24
12	-1.58	-1.43	-3.02	+3.02	+4.19	-4.19
13	+1.69	-0.73	+2.24	+1.76	+2.58	-2.58
14	+2.17	-0.46	+2.43	+1.57	+5.60	-5.60

De donde se observa que la fuerza cortante en la columna en estudio es:

Columna del marco 1 (Sin muros a media altura)  $V = 2.33$  ton

Columna del marco 2 (Con muros a media altura ligados a la estructura)  $V = 3.02$  ton

Como se puede observar ocurre un aumento en la fuerza cortante, lo que nos da la respuesta de muchas fallas frágiles que ocurrieron durante los sismos de 1985.

Aunque se trata de un modelo muy simplificado nos da una idea del fenómeno.

**VIII.- Falla de cimentación por reforzar una estructura a base de marcos, con muros de concreto o tirantes diagonales.**

Puede suceder que una estructura al resultar dañada por algún sismo, sea reforzada con muros de concreto o tirantes diagonales para proporcionarles mayor rigidez, tal como

se hizo en varios edificios que resultaron afectados durante los sismos pasados de 1985.

Al aplicar esta solución hay que tener en cuenta que se modificaran todos los elementos mecánicos de la estructura, produciendose principalmente un aumento significativo de algunas de las fuerzas verticales que actúan sobre la cimentación; de tal forma que si la subestructura se deja sin reforzar, ésta puede llegar a fallar.

Para comprender este comportamiento analizaremos dos marcos de tres niveles y tres crujeas, los cuales estarán cargados con fuerzas sísmicas horizontales.

El primer marco se analizo sin ninguna reestructuración y al segundo se le agregaron una serie de diagonales de compresión que simulan muros de concreto. Los elementos mecánicos que se obtuvieron son los siguientes:

#### Elementos mecánicos del marco sin reestructuración:

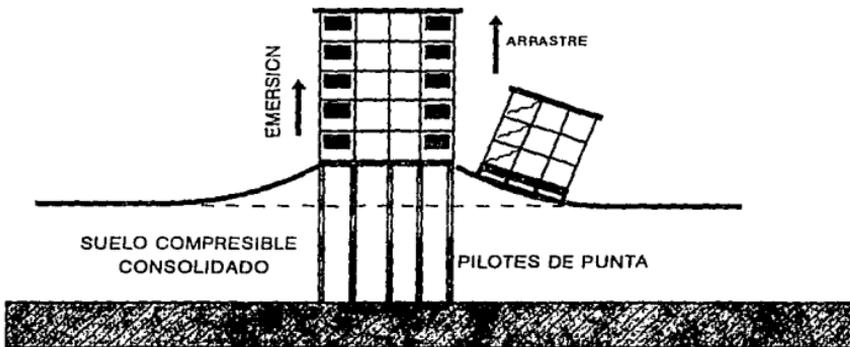
Barra	Momento A	Momento B	Cortante A	Cortante B	Axial A	Axial B
1	-7.47	-4.55	-4.81	+4.81	+23.83	-23.83
2	-7.65	-4.89	-5.02	+5.02	+34.97	-34.97
3	-7.77	-5.09	-5.14	+5.14	+36.82	-36.82
4	-8.03	-1.55	-3.04	+3.04	+10.19	-10.19
5	+9.78	+1.16	+3.14	+3.68	+0.45	-0.45
6	+9.42	+0.64	+3.96	+3.84	+0.78	-0.78
7	+10.09	+2.69	+3.59	+3.21	+1.16	-1.16
8	-2.54	-2.69	-4.35	+4.35	+14.69	-14.69
9	-5.88	-6.04	-4.69	+4.69	+22.34	-22.34
10	-5.86	-6.05	-4.78	+4.78	+23.19	-23.15
11	-1.13	-1.86	-1.19	+1.19	+6.98	-6.98
12	+3.14	+0.54	+8.82	+3.88	+0.88	-0.88
13	+8.86	+0.37	+8.71	+4.09	+2.40	-2.40
14	+9.18	+1.44	+8.06	+3.75	+3.82	-3.82
15	-3.48	-5.21	-3.48	+3.48	+5.97	-5.97
16	-3.37	-4.55	-3.17	+3.17	+9.55	-9.55
17	-3.50	-4.83	-3.33	+3.33	+10.04	-10.04
18	+0.42	-0.47	-0.02	+0.02	+3.23	-3.23
19	+5.21	-0.31	+5.87	+3.73	+3.48	-3.48
20	+5.47	-0.37	+5.83	+3.87	+6.55	-6.55
21	+5.89	+0.47	+6.37	+3.23	+9.98	-9.98

## Elementos mecánicos del marco reforzado con diagonales:

Barra	Momento	Momento	Cortante	Cortante	Axial	Axial
	A	B	A-	B	A	B
1	-1.81	-2.01	-1.45	+1.45	+19.22	-18.22
2	-0.85	-0.50	-0.54	-0.54	+49.48	-49.48
3	-0.61	-0.35	-0.39	+0.39	+15.00	-15.00
4	+0.12	+1.21	+0.53	-0.53	+15.88	-15.88
5	+4.39	-3.89	+5.58	+4.22	-0.41	+0.41
6	+4.43	-4.17	+6.48	+8.34	-6.57	+6.57
7	+5.27	-2.74	+7.03	+5.77	+2.35	-2.35
8	-2.39	-2.28	-1.86	+1.86	+11.64	-11.64
9	-0.25	-0.30	-0.23	+0.23	+29.51	-29.51
10	-0.59	-0.87	-0.59	+0.50	+12.98	-12.98
11	+1.52	+1.44	+1.19	-1.19	+9.21	-9.21
12	+4.75	-3.40	+6.74	+6.06	-0.35	+0.35
13	+4.27	-4.25	+6.41	+6.39	-2.39	+2.39
14	+5.32	-2.80	+7.03	+5.77	+5.01	-5.01
15	-2.49	-3.05	-2.22	+2.22	+4.90	-4.90
16	-0.25	-0.28	-0.21	+0.21	+10.36	-10.36
17	-0.81	-0.72	-0.53	+0.53	+8.27	-8.27
18	+1.36	+1.57	+1.17	-1.17	+4.14	-4.14
19	+3.05	-2.64	+4.90	+4.70	+2.22	-2.22
20	+3.06	-3.38	+4.72	+4.88	+4.05	-4.05
21	+4.22	-1.57	+6.46	+4.14	+11.17	-11.17
22	+0.12	+0.25	+0.08	-0.08	+16.18	-16.18
23	-0.37	-0.19	-0.12	+0.12	-2.56	+2.56
24	+0.22	+0.23	+0.09	-0.09	+10.73	-10.73
25	-0.30	-0.25	-0.12	+0.12	-5.29	+5.29
26	-0.07	-0.12	-0.04	+0.04	+7.75	-7.75
27	-0.12	-0.15	-0.05	+0.05	-1.88	+1.88

Los resultados obtenidos (Ver figura III-15) son muy significativos. Se observa que para el segundo marco la fuerza cortante y momento flexionante que se transmiten a la cimentación disminuye, pero a cambio se produjo un aumento en la fuerza vertical muy significativo, en el apoyo de las columnas arriostradas de 34.97 ton a 58.05 ton que es lo que pretendíamos demostrar.

Además este mismo análisis nos puede servir para demostrar lo que sucede en los casos en los que no se desligan los muros divisorios de la estructura, que tienden a actuar como verdaderos puntales de compresión.



ESTRATO RESISTENTE  
 ARRASTRE DE LA CIMENTACION EN UN EDIFICIO VECINO POR LA EMERSION DE OTRO CIMENTADO CON PILOTOS DE PUNTA

FIGURA III-1

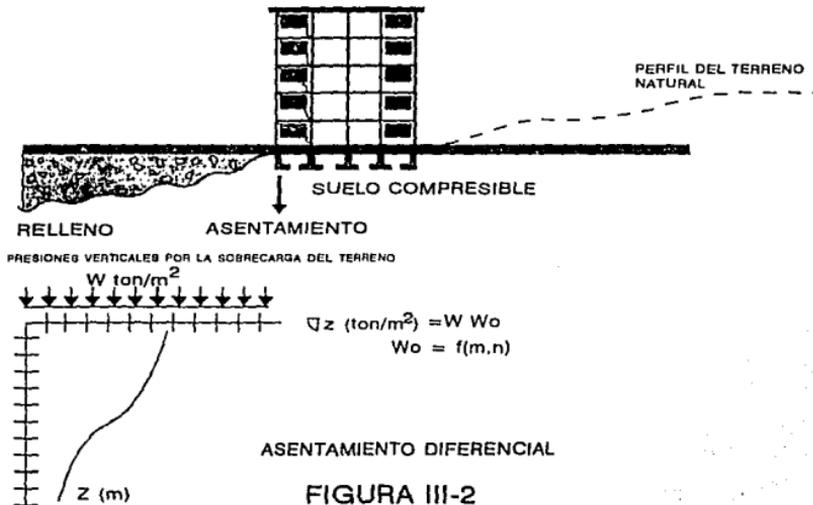
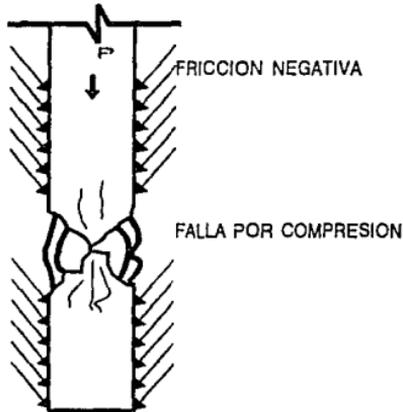
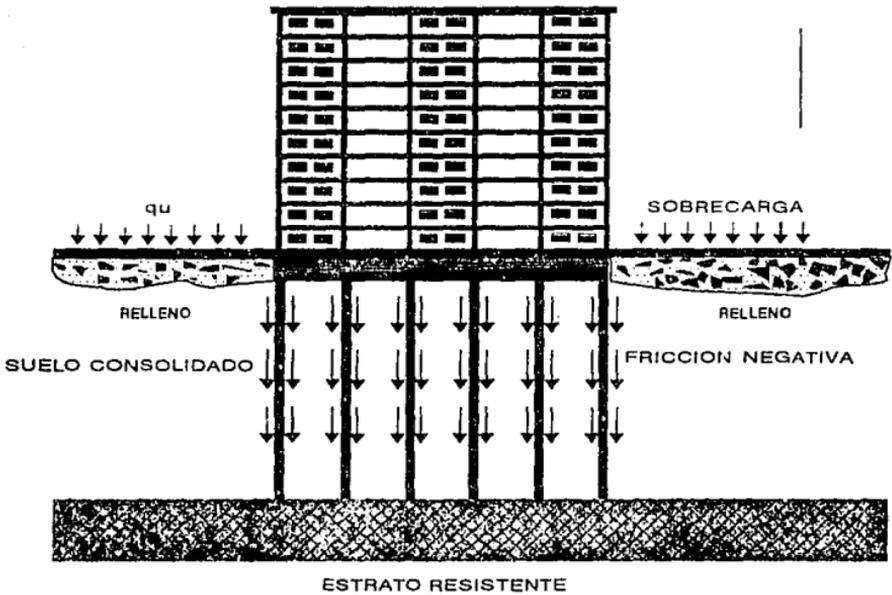
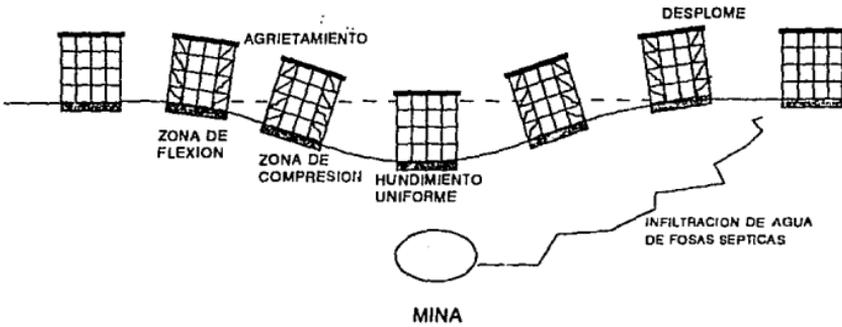


FIGURA III-2

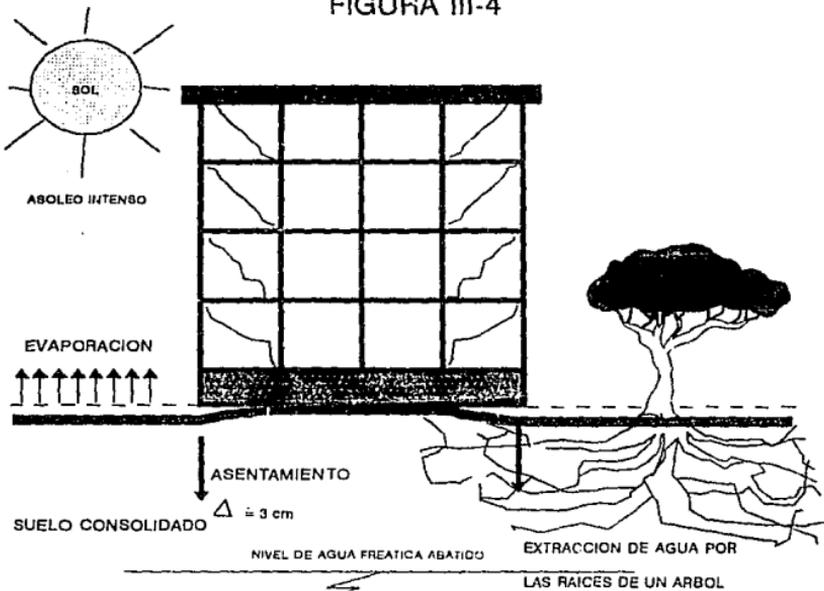


FRICCION NEGATIVA  
FIGURA III-3



HUNDIMIENTO EN TERRENOS INESTABLES

FIGURA III-4



ASENTAMIENTO DEL TERRENO POR PERDIDA DE HUMEDAD  
FIGURA III-5

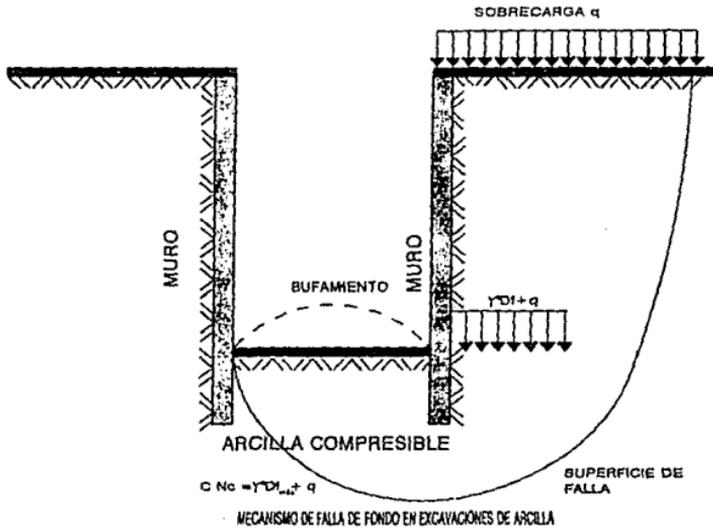
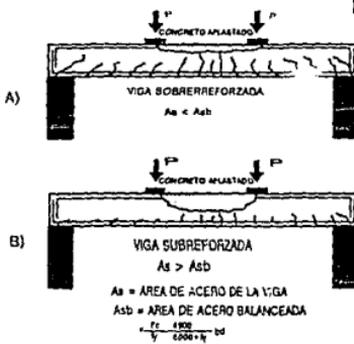
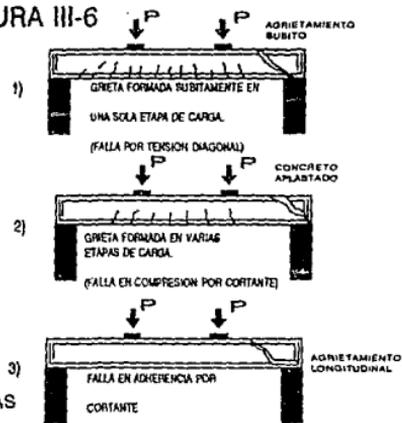


FIGURA III-6



MECANISMO DE AGRIETAMIENTO DE FALLAS POR CORTANTE

FIGURA III-7



MECANISMO DE AGRIETAMIENTO DE FALLAS POR CORTANTE

FIGURA III-8

ANÁLISIS DE LOS ESFUERZOS EN LOS MIEMBROS DE UNA ESTRUCTURA, DEBIDO A ASENTAMIENTOS DIFERENCIALES.

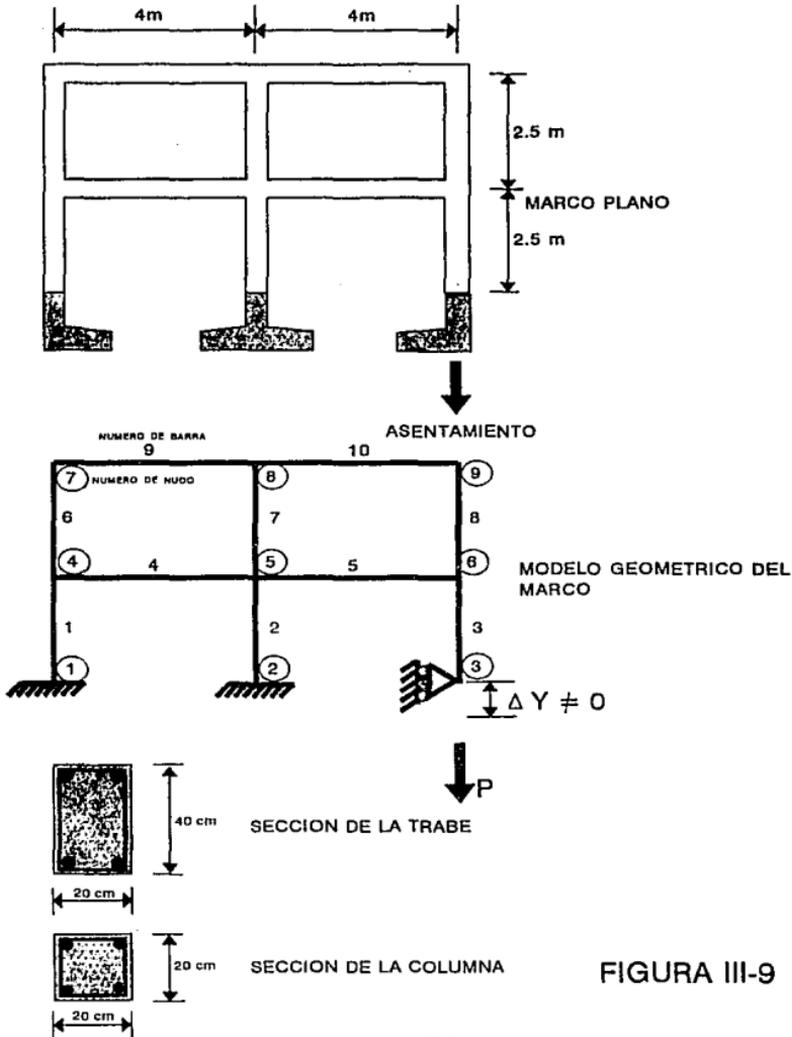
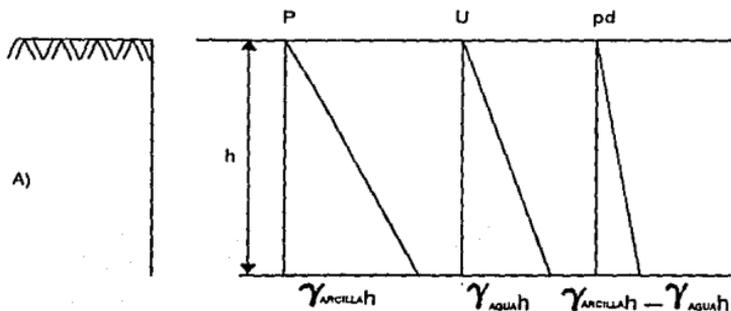
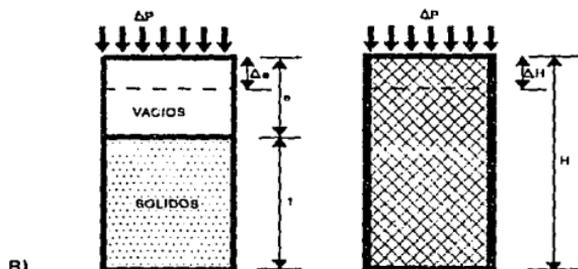


FIGURA III-9



A) PRESION EFECTIVA EN UN SUELO ARCILLOSO



ASENTAMIENTOS POR COMPRESIBILIDAD

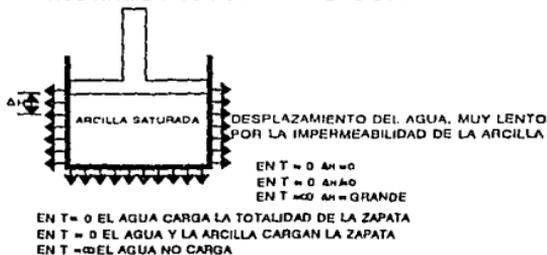
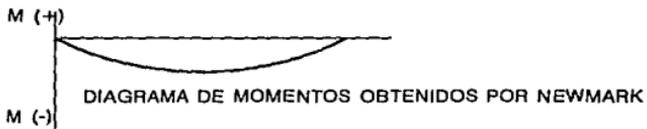
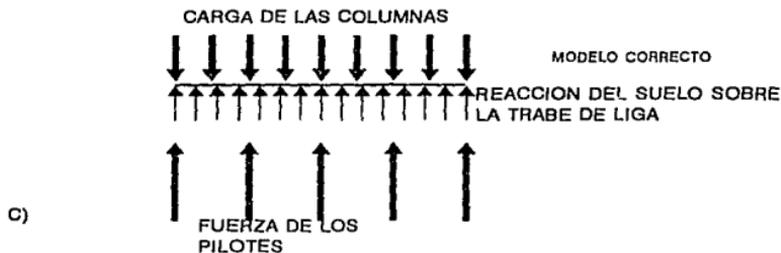
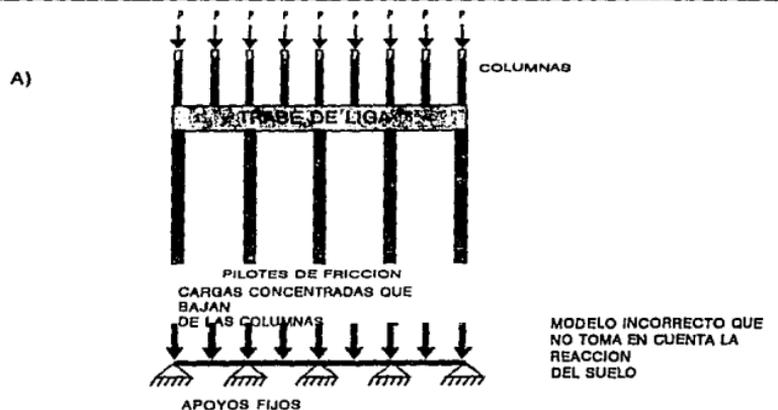
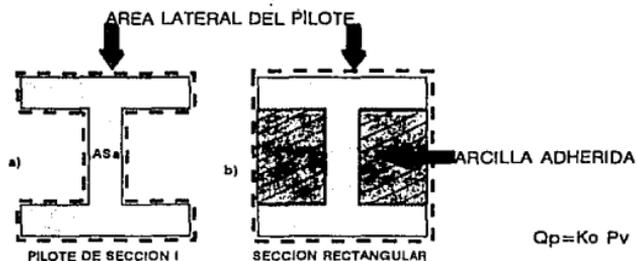


FIGURA III-10 COLSOLIDACION O HUNDIMIENTO DEL TERRENO



MODELO CORRECTO E INCORRECTO DE LAS CONDICIONES DE APOYO EN UNA CIMENTACION A BASE DE PILOTES DE PUNTA

FIGURA III-11

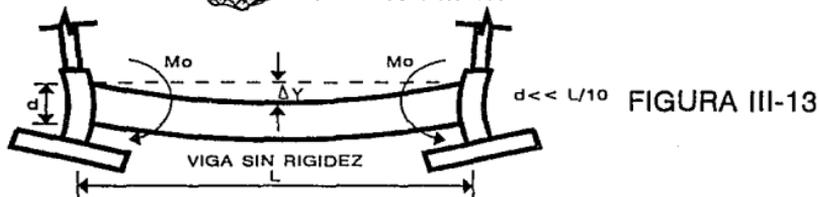
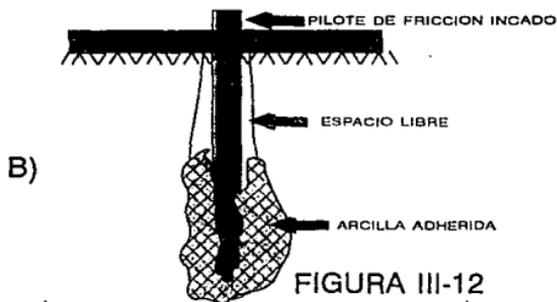
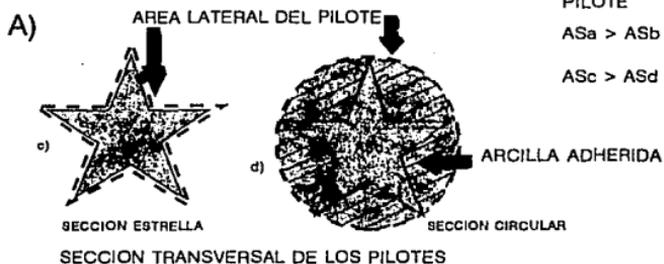


$$Q_p = K_o P_v \tan(2/3)\phi AS$$

AS = AREA LATERAL DEL PILOTE

ASa > ASb

ASc > ASd



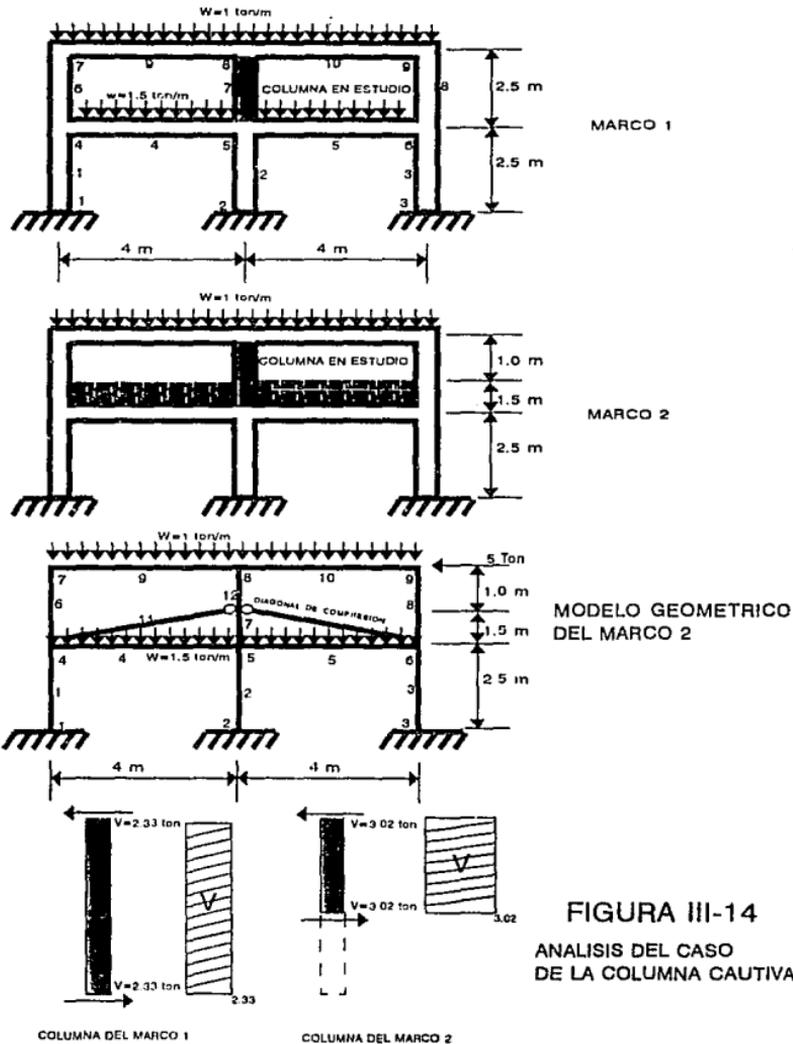


FIGURA III-14  
ANALISIS DEL CASO  
DE LA COLUMNA CAUTIVA

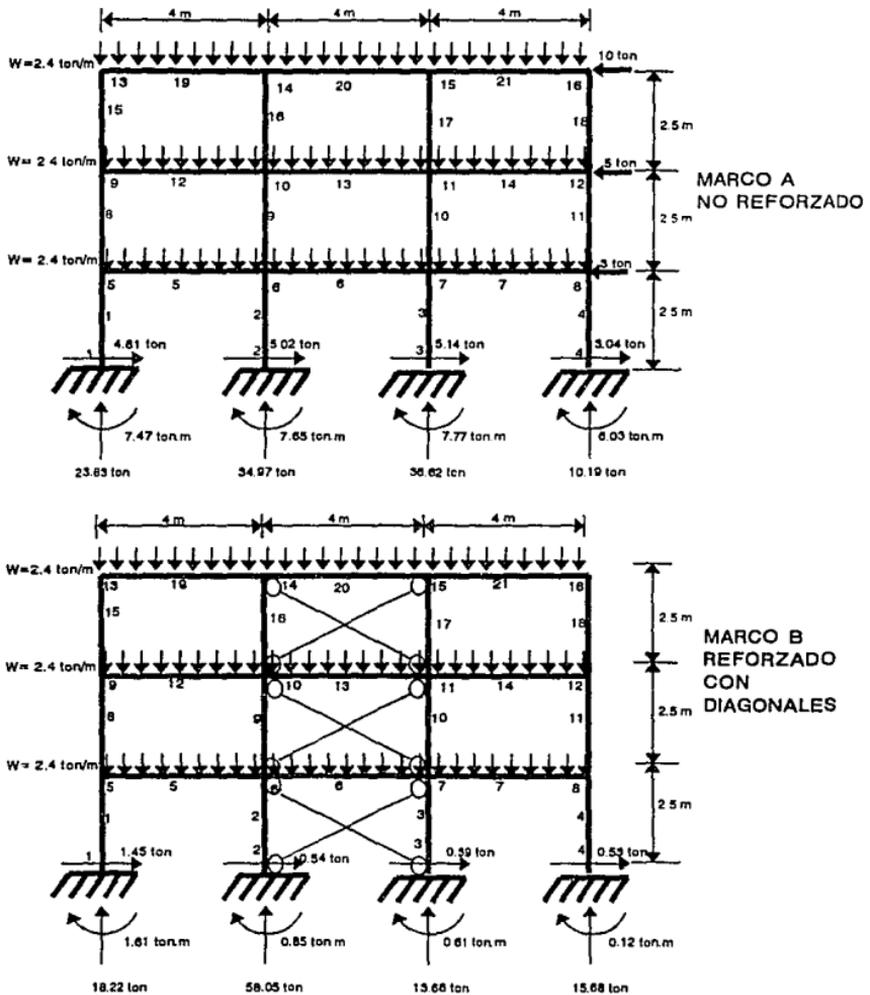


FIGURA III-15

MODIFICACION DE LOS ESFUERZOS EN UNA ESTRUCTURA AL SER REFORZADA CON TIRANTES DIAGONALES O MUROS DE CONCRETO

# CAPITULO IV

## FALLAS CARACTERISTICAS EN MUROS

### Introducción.

En este capítulo hablaremos de los muros de mampostería, que son los más empleados en México, aun cuando tienen el inconveniente de sufrir grandes agrietamientos al presentarse deformaciones angulares, que pueden ser producidas por algún sismo, hundimientos o grandes deflexiones; la experiencia de daños por estas causas es muy amplia, particularmente en la zona de terreno compresible del D.F.

Los muros los podemos definir como: **elementos estructurales que resultan de la unión de piezas naturales o artificiales, con un mortero que contribuye a la ligazón entre éstas.**

Las **piezas naturales** son generalmente piedras basálticas y cuya unión forma las conocidas mamposterías de segunda y tercera, clasificación que se hace según la regularidad de las piedras que la componen, que pueden ser labradas o irregulares. Las **piezas artificiales** pueden ser de barro, cemento y otros materiales; a su vez las piezas de barro pueden quedar en estado natural, en cuyo caso se denominan **adobes**, o pueden ser de barro cocido que son las que conocemos como tabique rojo cuyas dimensiones son de 6x12x24 cm, o también pueden ser de barro industrializadas, que resultan de aplicar al barro un proceso de intrusión, haciendo que las piezas sean de calidad más uniforme; estas piezas son las que presentan huecos circulares y cuadrados, siendo sus tamaños más comunes los siguientes: 6x12x24 cm y 6x10x20 cm.

Y en lo referente a las piezas de concreto, que son las más empleadas en el medio de la construcción, tenemos los bloques de concreto y los tabicones de concreto.

### Clasificación de los muros según su refuerzo

Todos estos muros deben cumplir con ciertos requisitos mínimos de refuerzo para evitar fallas ante algún sismo. grandes deflexiones o asentamiento diferencial de la cimentación. Este refuerzo será diferente en cada tipo de muro, dependiendo de su contribución a la resistencia de cargas. Por lo tanto los muros se clasifican dependiendo de su refuerzo y tipo de trabajo que desarrollan. Muros que a continuación describimos.

#### Muros diafragma:

Son muros que llenan claros entre columnas de marcos de concreto o acero, formando un diafragma que incrementa notablemente la rigidez del conjunto ante cargas laterales, funcionando como un puntal de compresión.

En este tipo de muros hay que tomar muy en cuenta, que si se desprecia en el análisis los esfuerzos y deformaciones que se producen en la estructura y que son transmitidos a los muros, pueden producirse fallas muy graves. como es muy común ver en ciertos edificios después de un sismo.

#### Muros confinados:

Este tipo de muros son muy empleados en México por su buen comportamiento sísmico en edificios de hasta seis niveles, construidos a base de muros de carga, y cuyo refuerzo esta perfectamente establecido en el RCDF y que en resumen dice:

- Las dalas y castillos deben tener su dimensión mínima del espesor del muro.
- Se empleara para el colado de dalas y castillos un concreto de un  $f_c > 250 \text{ Kg/cm}^2$ .
- El área del acero longitudinal deberá ser  $> 0.2 f_c/f_y$ .
- El área del acero transversal  $> 1000^s/(f_y d_c)$ ; donde  $s =$  separación entre estribos y  $d_c =$  Peralte del castillo.
- $S \geq 1.5 d_c < 20 \text{ cm}$ .
- Se colocaran castillos en los extremos de los muros y en los puntos intermedios de los muros a una separación no mayor de 1.5 h ni 4 m.
- En muros altos deberá existir una trabe a una distancia no mayor de 3 m.

**Muros con refuerzo interior:**

Son muros de piezas huecas con refuerzo interior, el cual consiste en colocar varillas verticales en los huecos de estas piezas, así como un refuerzo horizontal en las juntas entre hiladas (Ver figura IV-1); En México su uso no es muy frecuente, tal vez por la dificultad de supervisar que el acero sea colocado de acuerdo a los planos y que sean rellenos perfectamente los huecos del tabique con mortero, además de que para pegarlos se debe hacer un mortero especial con arena cernida, y antes de pegar las piezas se deben remojar perfectamente. Notándose un incremento de trabajo en comparación con los otros muros.

Con este tipo de muros reforzados interiormente, se construyó en 1992-1993 la unidad habitacional ubicada en la calle Toltecas, colonia Ajusco, Delegación Coyoacán, en donde se pudieron observar varias irregularidades cometidas en su construcción, que fueron descubiertas después de terminada, cuando se hicieron varias remodelaciones a los departamentos, que consistieron en algunos de ellos en abrir en los muros puertas de arco de medio punto, y para ello por su puesto se tuvo que demoler parte de la pared, con lo que se pudo observar que los traslapes de las varillas verticales no era el suficiente, los huecos de los tabiques no estaban rellenos completamente, y en un caso muy grave se pudo observar que al tratar de cortar una varilla vertical que pasaba por en medio del claro de lo que iba a ser la puerta, esta se safó, por que estaba enterrada en el firme de concreto solo 3 cm aproximadamente. Además de que en algunos casos se observó que varias varillas se habían cortado, tal vez por que no coincidieron con los huecos de los tabiques.

En lo referente al acero horizontal este era continuo, colocado a cada 4 hiladas, sin embargo en un caso, debido a un error en la pendiente del piso del patio trasero, el agua humedecía un muro, lo que estaba ocasionando la oxidación del acero horizontal; esto debido seguramente a que el acero no tenía un recubrimiento mínimo de 1.5 cm como lo marca el RCDF.

### Fallas constructivas en la fabricación de muros de mampostería

Los errores más comunes cometidos durante la construcción, son los que a continuación mencionaremos:

- En ciertas ocasiones se ha visto que los trabajadores usan el mortero de cemento para pegar los tabiques después de una hora, cuando este ya ha alcanzado un **estado avanzado de fraguado** y que por su puesto presentara una escasa adherencia; Lo mismo suele suceder con el mortero bastardo, pues aunque este puede ser usado hasta antes de doce horas, los trabajadores lo emplean al día siguiente de ser mezclado, agregándole solo un poco de cemento.

- Cuando se trata de tabiques de barro recocido, las piezas se deben humedecer perfectamente para que no absorban el agua de fraguado del mortero, pero los trabajadores por hacerlo rápido simplemente rocían agua a los montones de tabique, en lugar de sumergirlos durante algún tiempo en recipientes, de tal manera que **los tabiques absorben agua de fraguado**, disminuyendo con ésto la resistencia y sobre todo la adherencia del mortero.

- Y otro error igualmente grave es el **desplome del muro** que muchas ocasiones supera el máximo tolerable que es de:

$$\left(\frac{1}{200}\right)h = \text{Desplome. .máximo}$$

Lo que por su puesto afecta su capacidad de resistencia, al producirse una excentricidad en las cargas; Cuando suceda esto hay que tener mucho cuidado pues muy común que los albañiles al ver desplomado el muro lo traten de enderezar a golpes de martillo o a base de presión, produciendo un aflojamiento general de las piezas.

- Igualmente se ha visto que en los muros confinados, cuando las **varillas de algún castillo están desplazadas de su eje**, los trabajadores las doblan para alinearlas,

dejándolas inservibles.

- Otro error igualmente común es que cuando se hace el colado de los castillos, **no se limpia la junta, de los residuos de mortero** que allí se acumulan, ocasionando fallas locales ante alguna distorsión.

Todas estas irregularidades cometidas por los trabajadores, que junto a la poca calidad que en ocasiones presentan los tabiques y bloques, serán factores que contribuyan a la fabricación de muros de poca calidad; produciéndose de esta manera fallas importantes como se pudo observar claramente en los sismos de 1985, tal como veremos a continuación.

### Comportamiento ante fuerzas sísmicas

#### Muros diafragma

En la ciudad de México el tipo de construcción más común, dentro del rango de 5 - 20 pisos, son edificios de marcos de concreto, con muros diafragma (de relleno no reforzados interiormente) de tabique rojo recocido o bloques de concreto, tal como se muestra en la **figura IV-2**.

Las fallas más frecuentes que ocurrieron en muchos edificios durante los sismos de 1985 fueron los siguientes:

- **En muchos casos las deformaciones laterales de la estructura sobrepasaron los límites tolerables que deben ser menores de:**

**A) Muro integrado a la estructura**

**B) Muro separado de la estructura**

$$\gamma = \frac{\Delta}{H}$$

$\gamma$  = Distorsión del entrepiso

$\Delta$  = Deformación horizontal

H = altura del muro

$\gamma$  admisible = 0.008    **Caso A**

y admisible = 0.0016 Caso B

Transmitiéndose de esta manera esfuerzos muy grandes a la mampostería, haciéndolas fallar por cortante principalmente.

En estos muros donde existe una interacción entre la mampostería y los elementos de confinamiento, dadas y castillos se observó una deficiente unión en sus esquinas donde se presentan fuerzas de compresión sobre el muro, que produce cortantes elevados en las dadas y castillos, además fuerzas axiales en ellos. Las que podemos calcular fácilmente descomponiendo la fuerza de la diagonal de compresión.

**F= fuerza de compresión**

**L= Longitud del muro**

**h= Altura del muro**

**D= Longitud de la diagonal del muro**

**Vd=  $F(l/d)$  ; Fuerza cortante sobre la dala**

**Vc=  $F(L/D)$  ; Fuerza cortante sobre el castillo**

- Otro error grave fue el ocasionado por el cambio o remoción de muros durante la vida del edificio, ocasionado con esto efectos sísmicos distintos a los calculados en el diseño, por el surgimiento de torsiones que incrementan las fuerzas cortantes. Esta seguramente fue una de las causas principales que contribuyeron a los daños estructurales que ya conocemos; pues como ya habíamos mencionado muchos dueños de los edificios, quitaron importantes muros de la planta baja que proporcionaban rigidez a la estructura, para la formación de locales comerciales, ocasionando fallas frágiles por cortante en las columnas de la planta baja así como la destrucción de muros que tuvieron que soportar una mayor carga.

#### **Muros divisorios:**

En lo referente a muros divisorios (desligados de la estructura) en muchos casos no se respetó la separación mínima que es del orden de 2 cm, además de que el anclaje lateral resultó insuficiente para resistir el momento de volteo

del muro; Ocasionando agrietamientos diagonales, torsiones y volteo fundamentalmente.

### **Agrietamiento de muros por deflexiones excesivas**

Este tipo de grietas son causadas por que se rebasa el estado límite de servicio, referente a las máximas deflexiones permisibles de vigas y losas sometidas a cargas gravitacionales.

Las fallas por este concepto se debe en gran medida a que en la actualidad se emplean materiales de mayor resistencia, refiriendonos principalmente al acero de refuerzo de estructuras de concreto, que trajo consigo el empleo de secciones estructurales más reducidas, sin embargo como su módulo de elasticidad permaneció constante; se produjo una reducción significativa en la rigidez de los elementos, con el consecuente aumento de las deflexiones.

una respuesta a ésto es por que las deflexiones son directamente proporcionales al esfuerzo e inversamente proporcional a la rigidez a flexión, esto es:

$$\Delta = \frac{Kf}{EI}$$

$\Delta$  = Deflexión  
 $f$  = Esfuerzo  
 $EI$  = Rigidez a flexión

De esta expresión podemos observar que si aumentamos el esfuerzo, manteniendo constante el módulo de elasticidad y las dimensiones de la sección, la deflexión aumenta.

Si esta deflexión sobrepasa la máxima especificada que es de:

$$\Delta = 0.3 + \frac{L}{480}$$

Se producen en los muros, agrietamientos característicos que dependen del tipo de

apoyo, tal como se muestra en la (Figura IV-3).

Por otra parte las falla en muros que se caracterizan principalmente por grietas en diferentes direcciones, no solamente pueden ocurrir por efectos sísmicos, como los que ya hemos mencionado, si no que se pueden deber a otras causas que muchas veces no son fáciles de determinar, por ejemplo asentamientos de la construcción, variaciones volumétricas por cambios de temperatura y absorción de agua. oxidación del acero de refuerzo de muros reforzados interiormente, contracción de las piezas de concreto durante su fraguado y envejecimiento, etc.

Se ha observado que todo agrietamiento que aparece en un muro, produce a los habitantes de los edificios cierto temor de inseguridad, y con mucha razón, pues los agrietamientos en la mayoría de los casos nos avisan de una inestabilidad estructural grave, pero en otros casos no afecta la estabilidad en lo más mínimo, ya sea por que aparece en elementos que no soportan carga, tales como los muros divisorios que no tienen una función estructural.

Sin embargo todo agrietamiento pequeño o grande, aunque en un principio no se considere peligroso para la estabilidad del edificio, será recomendable que investiguemos su origen.

Generalmente la forma de investigación de las grietas en los muros se hace siguiendo una serie de pasos bien establecidos, que facilitan la detección de la causa que origino tal desperfecto, y son los que a continuación mencionamos.

### **Investigación de las grietas**

La investigación de las grietas comprende ocho pasos fundamentales que son:

**1.- Investigación de la dirección de la grieta**, es decir si es vertical, horizontal o diagonal y entre estas si es recta, quebrada, variable o irregular, tal como se ve en la (Figura IV-4).

Que nos ayuda a determinar si la grieta es por flexión, cortante, o por contracción y

de manera secundaria saber si el muro fue hecho con mortero rico en cemento o no, mediante la observación de las grietas, es decir si son rectas o escalonadas.

2.- Se investigara si **fractura la piezas**, tales como tabiques, bloques, etc. o corre por su contorno, y lo importante es averiguar si la grieta atraviesa la cimentación, ya que esto nos indicara que hay una falla en la subestructura.

3.- Se analizara si el **ancho de la grieta** es variable. registrando hacia que dirección disminuye o aumenta, y se investigaran las condiciones climáticas, fundamentalmente la temperatura y humedad que producen cambios de volumen en el material, que se deben tener en cuenta a la hora de hacer la reparación.

4.- Se investigara la **profundidad de la grieta**, es decir si solo afecta el recubrimiento del muro o lo penetra completamente, para conocer la magnitud de daño.

5.- Se observara la **alineación de los materiales** de ambos lados de la grieta, pues esta nos dará una idea si la grieta es producto de un empuje paralelo o perpendicular al muro.

6.- Se investigara si los **bordes de la grieta** son agudos, redondos o irregulares, pues los bordes agudos son por tensión, los redondos son por vibraciones y los irregulares son por compresión.

7.- Se observara por medio de una lupa si la grieta esta sucia por polvo, insectos, hongos, etc. que nos servirá para saber si la grieta es reciente.

8.- Finalmente es recomendable tenerla en observación para saber si presenta cambio tanto en longitud como en abertura durante el transcurso de los días y esto se hará con testigos, tal como lo describo a continuación.

#### **Determinación de la variación de las grietas**

Cuando los tabique, tabicones, etc. se agrietan o disgregan por las grandes fuerzas que actúan sobre los muros, se concluye que se trata de un problema grave que no requiere la utilización de testigos para observar su desarrollo.

En casos menos graves se procederá a emplear el **testigo o chivato**; que consiste en

colocar un targetón de yeso, pegado en el paramento de la pared de tal forma que la grieta quede debajo y por la mitad del testigo o chivato; pues de esta manera debido a la fragilidad y poca resistencia del yeso con un pequeño movimiento de la grieta este se agrietara, pudiendo de esta forma registrarse su variación y por consiguiente la tendencia de la pared al colapso (Figura IV-5).

Y si se quiere medir milimetricamente la abertura en un determinado tiempo, procedemos a empotrar dos redondos de 1/2 " en ambos extremos de los bordes de la grieta, tal como se muestra en la figura IV-6. Y se procede a tomar las lecturas con un vernier.

### Causas que producen agrietamientos

Por otro lado podemos afirmar con certeza que las causas y agentes más comunes, que producen desperfectos en los muros son las siguientes:

- **Errores de cálculo** en el diseño de la cimentación que resulta incapaz de soportar el peso de la construcción. y que puede producir asentamientos diferenciales.

- **Poca calidad de los materiales** empleados que fallan a bajos esfuerzos o que se deterioran fácilmente.

- **Fallas en los sistemas constructivos**, por ignorancia, escasa o nula supervisión, negligencia y deshonestidad, muchas veces se utiliza un mortero mal proporcionado, en estado avanzado de fraguado, o como ya mencione anteriormente cuando los trabajadores tratan de enderezar un muro desplomado a martillazos, etc.

- **Hundimientos** del terreno o deslizamiento, que ocasionan asentamientos diferenciales, como ocurre frecuentemente en la zona de lomerío.

- **Fallas de la estructura por flexión, tensión, cortante, compresión, empuje, etc.**

- **Por sobrecarga** añadida a la cimentación por ampliaciones de la vivienda.

- **Por ataque químico** al concreto y acero de refuerzo del cimiento, que no es común que ocurra en México.

- Desplazamientos por arrastre causados por otras cimentaciones.
- Infiltraciones de agua en el plano de asiento que puede socavar o reducir la capacidad de carga del suelo.
- Deterioro del muro por la acción del clima, que lo hará perder sección, y por consiguiente su resistencia.
- etc.

Como podemos observar muchas de las causas anteriores producen **hundimientos uniformes o diferenciales**, siendo estos últimos los más peligrosos, pues ocasionan **deformaciones angulares**, que pueden generar grietas diagonales en los muros de las edificaciones. en la **figura IV-7** se muestra una representación del fenómeno, en donde se define el asentamiento uniforme, diferencial, la distorsión y la inclinación.

Los daños en los edificios se caracterizan por agrietamientos diagonales que dependen del lugar del edificio donde se presente tal asentamiento, el cual puede ser **Global, Intermedio y terminal (Figura IV-8)**.

**Global:** Cuando el hundimiento es uniforme en todo el edificio. En este caso no surgen grietas pero si ocurren desperfectos en las instalaciones de drenaje y conductos que llegan de la calle, así como molestias en las entradas de estacionamientos y de accesos para personas por el desnivel.

**Intermedio:** Es un hundimiento de la parte central, que produce agrietamientos diagonales que se ensanchan y crecen de abajo hacia arriba, atravesando la cimentación.

**Terminal:** Se presenta en uno en los dos extremos del edificio, las grietas se abren de la corona o parte alta del edificio hacia su base en diagonal.

Estos agrietamientos en los muros se producen cuando son rebasadas ciertas distorsiones permisibles que son producidas por estos asentamientos diferenciales y que están muy bien estudiadas experimentalmente, tal como podemos ver en la (**figura IV-9**), donde se muestra la relación entre la distorsión angular por asentamientos diferenciales y el nivel de daños en construcciones con muros de mampostería.

**Análisis de la forma del agrietamiento en los muros de un edificio, debido al hundimiento de la cimentación.**

Como hemos mencionado anteriormente las fallas en los muros se caracterizan por agrietamientos que la mayoría de las veces son diagonales, es decir corren por el muro de esquina a esquina, todas ellas van de abajo hacia arriba, pero algunas lo atraviesan de izquierda a derecha y otras de derecha a izquierda.

La orientación que tome la grieta depende de la dirección de los esfuerzos de tensión que se generan en el muro, y estos a su vez dependen del tipo de asentamiento que se presente en el edificio, que puede ser terminal o central como ya mencionamos.

Este tipo de agrietamiento lo podemos analizar con un marco cargado con sus respectivas cargas muertas y vivas, al cual le podemos anular en algunos de sus apoyos la restricción al desplazamiento vertical para simular un asentamiento y de esta manera calcular la magnitud y dirección de los esfuerzos de tensión que pueden agrietar al muro.

Este análisis se realizó con varios marcos a los que se les permitió un desplazamiento vertical en uno o varios apoyos simulando una pérdida de capacidad de carga, similar a lo que ocurre durante un asentamiento. Los resultados de este análisis se muestran a continuación.

Para visualizar mejor el problema simplemente mostraremos las fuerzas que actúan en los muros, así como las reacciones y desplazamientos en los apoyos.

Para determinar que muros se agrietan y en que dirección, calcularemos los esfuerzos de tensión que actúan sobre los muros para saber si sobrepasan sus resistencia. Resistencia que supondremos para muros de tabicón igual a  $0.10 f_c = 5 \text{ Kg/cm}^2$

MARCO	TENSION Kg/cm <sup>2</sup>	AREA DE LA DIAGONAL	ESFUERZO T/A Kg/cm <sup>2</sup>	SE AGRIETA SI o NO
A	120	70.75	1.69	NO
	280	70.75	3.95	NO
B	4580	70.75	64.73	SI
	4160	70.75	58.79	SI
	3750	70.75	52.99	SI
C	9950	70.75	140.62	SI
	9290	70.75	131.29	SI
	8160	70.75	115.32	SI
D	1650	70.75	23.31	SI
	1310	70.75	18.51	SI
	1930	70.75	27.27	SI
	1700	70.75	24.02	SI
	1860	70.75	26.28	SI
	4760	70.75	67.27	SI
	3940	70.75	55.68	SI
	3580	70.75	50.59	SI
E	5030	70.75	71.09	SI
	4660	70.75	65.86	SI
	4150	70.75	58.65	SI
	4560	70.75	64.44	SI
	310	70.75	4.38	NO
	3970	70.75	56.10	SI
	470	70.75	6.64	SI
	3530	70.75	49.89	SI

## Distorsiones

MARCO	DESPLAZAMIENTO EN Y cm	DISTORSION
B	0.8	0.002
C	1.8	0.0045
D	1.2	0.003
E	0.8	0.002

## Fuerzas axiales en los marcos analizados:

## Marco A

## Sin hundimientos

Barra	Fuerza Axial	Barra	Fuerza axial
1	0.78	10	0.26
2	0.69	11	0.69
3	0.26	12	0.78
4	0.72	13	-0.12
5	0.40	14	0.40
6	-0.12	15	0.72
7	0.66	16	-0.28
8	0.24	17	0.24
9	-0.28	18	0.66

## Marco B

## Hundimiento lateral en dos apoyos

Barra	Fuerza Axial	Barra	Fuerza axial
1	-4.58	10	5.61
2	1.00	11	1.00
3	5.61	12	-4.58
4	-4.16	13	4.73
5	0.54	14	0.54
6	4.73	15	-4.16
7	-3.75	16	3.86
8	0.04	17	0.04
9	3.86	18	-3.75

## Marco C

## Con hundimiento central en dos apoyo

Barra	Fuerza Axial	Barra	Fuerza axial
1	11.01	10	-9.95
2	0.08	11	0.08
3	-9.95	12	11.01
4	9.94	13	-9.29
5	0.10	14	0.10
6	-9.29	15	9.94
7	9.03	16	-8.16
8	0.63	17	0.63
9	-8.16	18	9.03

## Marco D

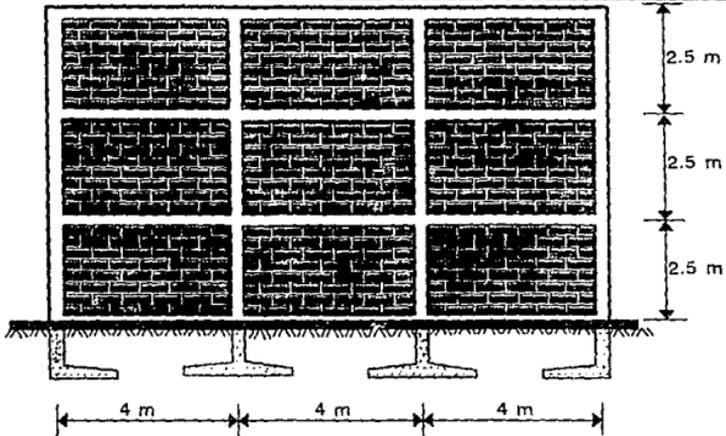
Con hundimiento lateral en un apoyo

Barra	Fuerza Axial	Barra	Fuerza axial
1	- 1.16	10	2.52
2	- 1.31	11	3.14
3	5.91	12	- 4.78
4	- 1.93	13	2.42
5	- 1.70	14	2.70
6	4.57	15	- 3.94
7	- 1.65	16	1.87
8	- 1.86	17	2.05
9	3.74	18	- 3.58

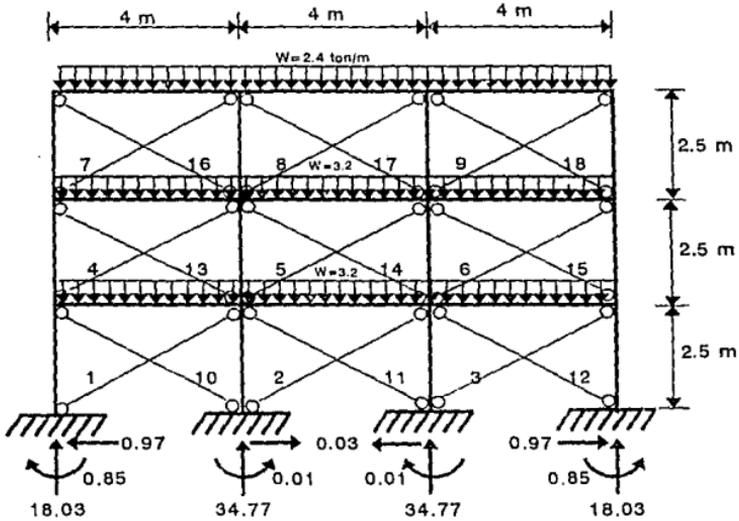
## Marco E

Con hundimiento central en un apoyo

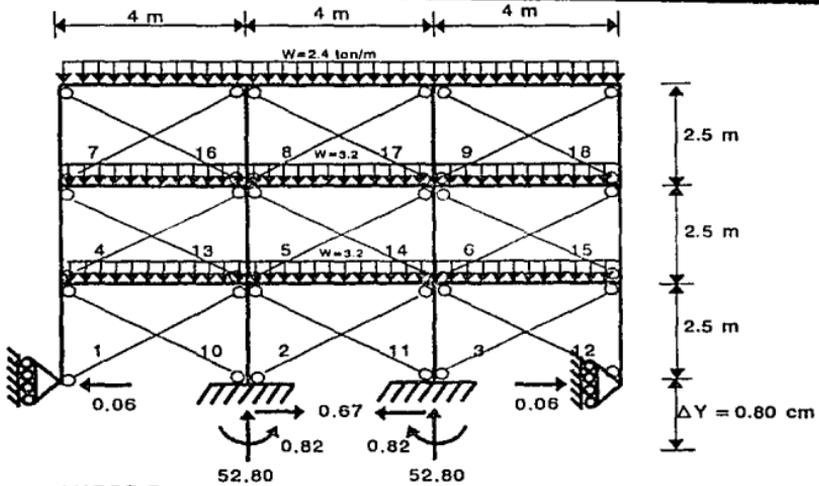
Barra	Fuerza Axial	Barra	Fuerza axial
1	1.04	10	0.29
2	5.63	11	- 4.56
3	- 5.03	12	5.78
4	1.07	13	- 0.31
5	4.62	14	- 3.97
6	- 4.66	15	5.12
7	0.91	16	- 0.47
8	4.21	17	- 3.53
9	- 4.15	18	4.71



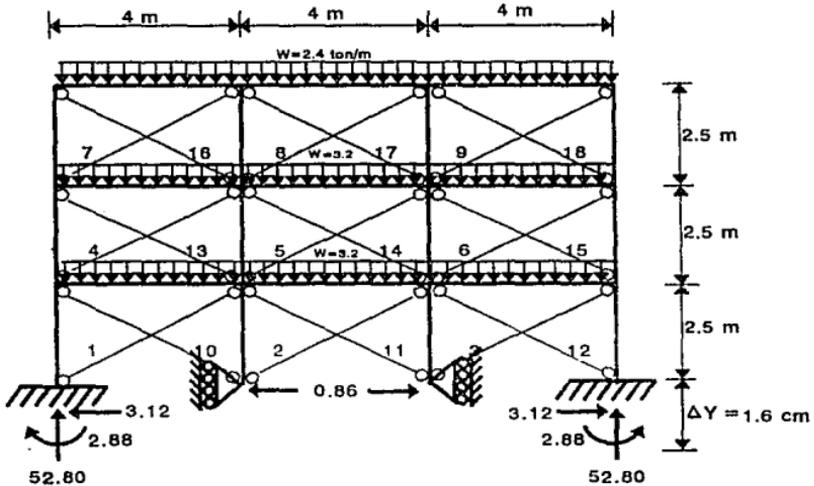
MARCO CONSTRUIDO A BASE DE MUROS DE CARGA DE TABICON DE CONCRETO



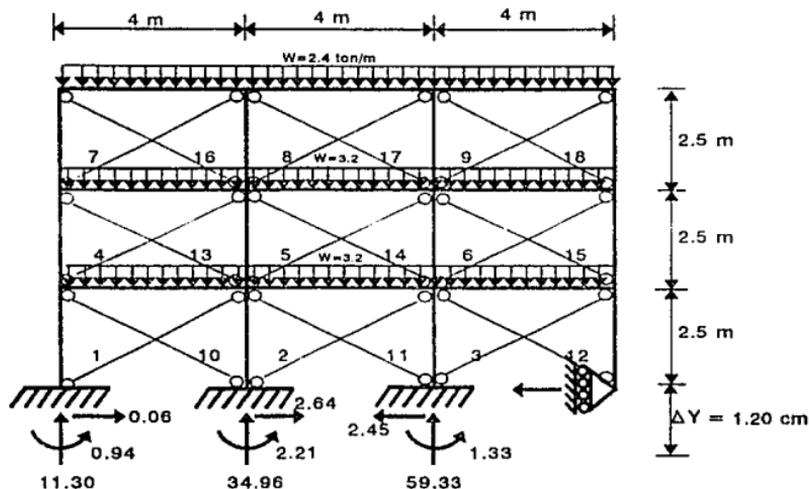
MARCO A  
NO PRESENTA NINGUN TIPO DE HUNJIMIENTO



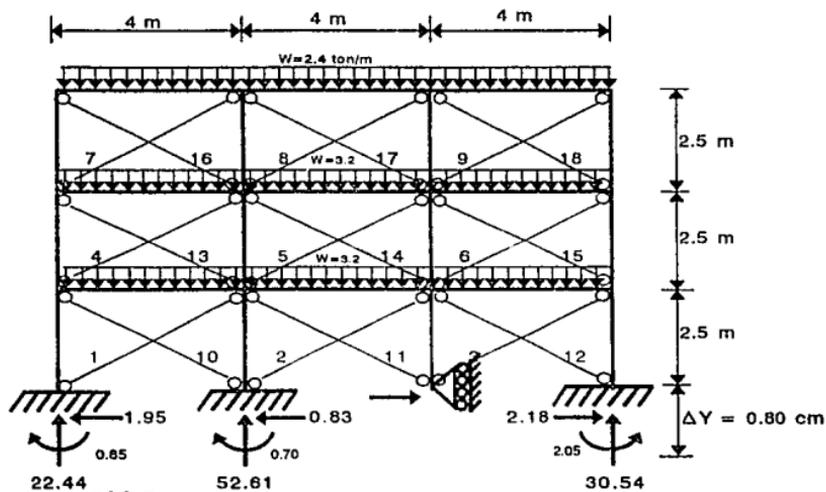
MARCO B  
HUNDIMIENTO LATERAL EN DOS DE SUS APOYOS



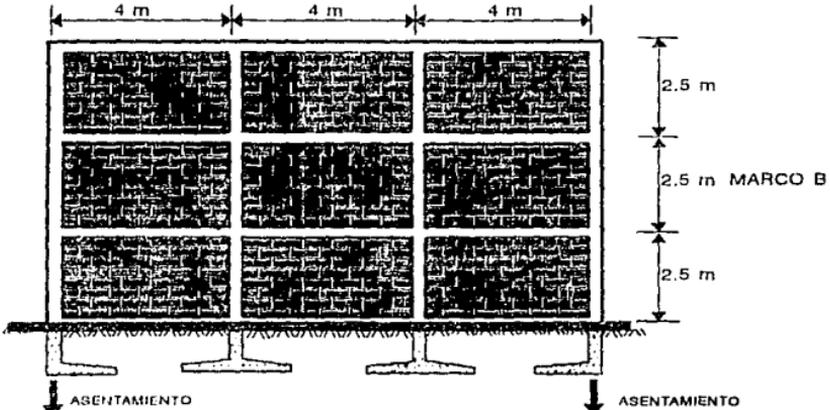
MARCO C  
CON HUNDIMIENTO CENTRAL EN DOS DE SUS APOYOS



MARCO D  
CON HUNDIMIENTO LATERAL EN UN APOYO



MARCO E  
CON HUNDIMIENTO CENTRAL EN UN SOLO APOYO

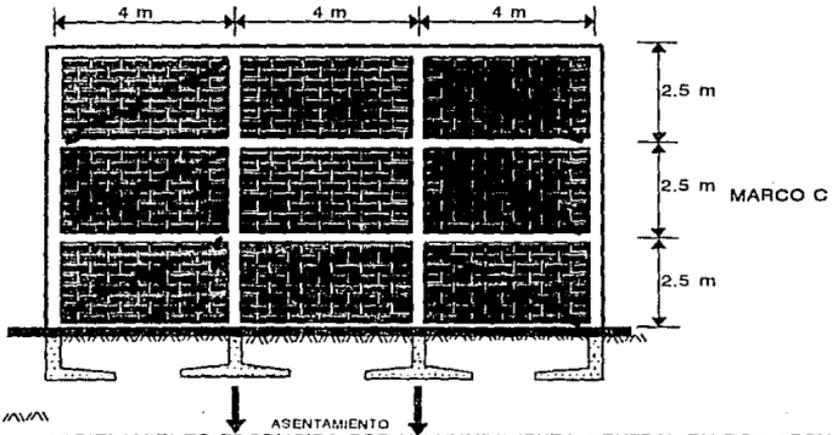


ASENTAMIENTO

ASENTAMIENTO

AGRIETAMIENTO CARACTERISTICO PRODUCIDO POR UN HUNDIMIENTO LATERAL EN DOS APOYOS

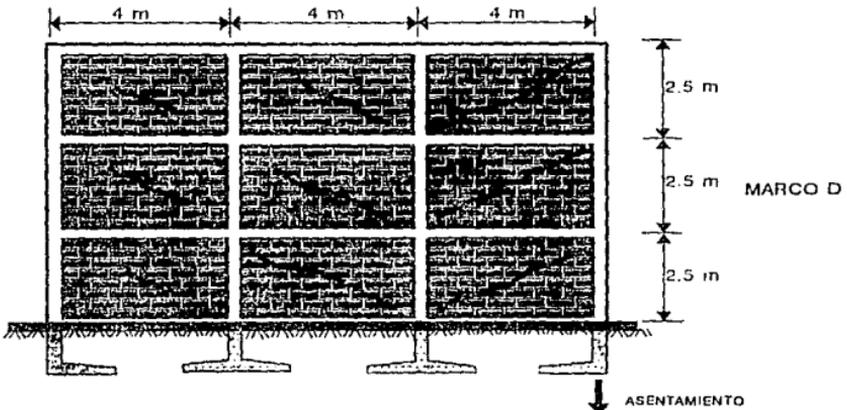
CORRE DE ABAJO HACIA ARRIBA Y DE LA PARTE CENTRAL DEL EDIFICIO HACIA LOS EXTREMOS.



ASENTAMIENTO

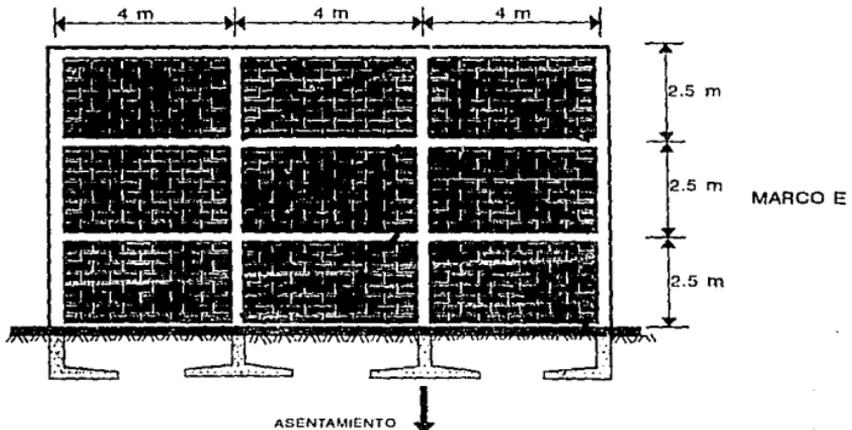
AGRIETAMIENTO PRODUCIDO POR UN HUNDIMIENTO CENTRAL EN DOS APOYOS.

LA GRIETA CORRE DE ABAJO HACIA ARRIBA Y DE LOS EXTREMOS DEL EDIFICIO HACIA EL CENTRO.



AGRIETAMIENTO PRODUCIDO POR UN HUNDIMIENTO LATERALEN UN APOYO.

CORRE DE ABAJO HACIA ARRIBA Y DE LA PARTE CENTRAL DEL EDIFICIO HACIA LOS EXTREMOS.



AGRIETAMIENTO PRODUCIDO POR UN HUNDIMIENTO CENTRAL EN UN APOYO.

LA GRIETA CORRE DE ABAJO HACIA ARRIBA Y DE LOS EXTREMOS DEL EDIFICIO HACIA EL CENTRO.

## Conclusiones

1.- Del análisis anterior se concluye que para un asentamiento terminal las grietas se desarrollan de la parte central hacia los extremos y de observaciones de campo se observa que en algunos casos son más anchas en la parte superior.

2.- Los asentamientos centrales producen agrietamientos que van de los extremos hacia la parte central.

3.- Y en lo referente a la distorsión lo que se puede concluir es que en todos los casos se supera la máxima tolerancia para muros de carga que es de 0.002.

A continuación presentaremos la descripción, causas y solución de algunas fallas en muros que más comúnmente se presentan.

### Fallas más comunes en muros

#### Caso 1 (muros que presentan grietas en diagonal)

**Descripción:** Se trata de grietas en diagonal que cortan los dos muros de una de las esquinas del edificio, la grieta es más ancha en la parte superior del muro y va disminuyendo conforme se acerca al suelo; si se trata de muros de tabique, tabicones o bloques pegados con un mortero no muy rico en cemento, la grieta los bordeará en forma escalonada y si son muros de concreto la grieta será más o menos recta (Fotografía IV-1).

**Causa(s) que la produce:** Este tipo de grieta es producida por que la cimentación, en la parte dañada ha sufrido un asentamiento, producido por alguna de las siguientes causas.

1.- **Disminución de la capacidad de carga del suelo por efectos de infiltraciones de agua.** Pues como vimos en el capítulo I, los suelos reducen su capacidad de carga de

4 Kg/cm<sup>2</sup> a 0.25 Kg/cm<sup>2</sup> por el aumento de su contenido de agua.

**2.- Contracción por pérdida de humedad.** El suelo arcilloso tiende a contraerse cuando pierde humedad, efecto que suele ocurrir en épocas extremadamente calurosas y como el secado es mayor en las esquinas de los edificios ocurrirá un asentamiento del terreno bajo la cimentación, de tal forma que aquellos edificios cuyas cimentaciones no sean capaces de trabajar en cantiliver son las que se agrietan junto con sus muros; también puede ser por la extracción de agua a cargo de las raíces de los árboles cercanos, ya que por este medio el suelo tiende a bajar hasta 4 cm.

Una señal que nos puede ayudar a diagnosticar si este tipo de falla es producto de la desecación del suelo, es que en tiempo de lluvias al rehidratarse el suelo las grietas tienden a cerrarse aunque no por completo.

**3.- Cimentación sobre terreno de relleno.** La falla pudo deberse a que la cimentación se desplanto sobre un relleno reciente no homogéneo, que produjo un asentamiento diferencial, o puede ser que el edificio se haya cimentado parcialmente sobre un material de relleno, terreno de cultivo, o algún material muy compresible.

**4.- Otras.** No debemos olvidar que también puede deberse a un mal análisis y diseño, o a una serie de irregularidades que se pudieron presentar durante sus construcción; incluso después de construido, como puede ocurrir por ampliaciones, que es una causa muy frecuente, etc.

**Solución:** En los casos donde se perciba el peligro de un derrumbe se procederá al apuntalamiento de la estructura. Ahora bien la solución particular para cada caso es la siguiente.

En el primer caso se procederá a detener o desviar los escurrimientos superficiales por medio de un drenaje adecuado que rodee en parte o totalmente la construcción, para que posteriormente se procede a recalzar la parte de la cimentación afectada, llevándola a mayor profundidad y finalmente se repararan los muros afectados.

En el segundo caso se protegerá el terreno contra la desecación por medio de un firme de concreto, empastado, etc; En el caso de que las raíces de un árbol estén secando el

suelo, se cortara el árbol y se esperara a que el terreno recupere su forma original, y una vez que la grieta ya no sufra cambio alguno se procederá a repararla.

En este tercer caso se procederá a recalzar la cimentación por medio de pilotes o pilas que lleguen al terreno firme y largueros de concreto apoyados sobre éstos.

### **Caso 2 (Muro agrietado diagonalmente)**

**Descripción:** Este tipo de grieta en diagonal puede aparecer en cualquier parte del edificio atravesando generalmente la cimentación, pero al contrario que el caso anterior, estas grietas son más anchas en la parte inferior del muro y disminuyen conforme se alejan de la cimentación.

**Causa que la produce:** Puede ocurrir por el arrastre que ocasiona el levantamiento de la cimentación de un edificio vecino que este cimentado con pilotes de punta, tal como suele suceder muy frecuentemente en la ciudad de México, en donde con mucha frecuencia se supera la máxima emersión permisible que es de 30 cm en edificios aislados y 15cm en colindantes, transmitiéndose este levantamiento al los edificios vecinos.

**Solución:** La recimentación del edificio dañado que consiste generalmente en colocar pilotes de punta, resulta sumamente cara, por lo que la mayoría de los casos los causantes del daño suelen comprar el terreno y demoler el edificio para usarlo como estacionamiento.

### **Caso 3 (Grietas en diagonal)**

**Descripción:** Se trata de grietas en diagonal en muros de tabiques, tabicones o bloques, que no atraviesan la cimentación. Son más o menos constantes en su ancho y si el muro se hizo con un mortero pobre la grieta bordeará los tabiques, pero en caso

contrario los cortara por su parte más débil (Ver fotografía IV-2).

**Causa que la produce:** Puede ser por una dilatación (por temperatura y/o absorción de agua), seguida de una contracción. Lo que ocurre es que la pared se dilata en toda su longitud, moviéndose libremente sobre su base (barrera impermeable), pero la grieta ocurre cuando se contrae por la baja resistencia a la tensión del muro.

También puede ocurrir por una contracción de los tabiques y bloques ya que se contraen durante su fraguado y envejecimiento.

**Solución:** Se removerá el material de las juntas afectadas y se sustituirá por un mortero no muy rico en cemento, para que pueda absorber futuros movimientos y las piezas rotas se sustituirán por otras semejantes.

#### **Caso 4 (Grietas verticales)**

**Descripción:** Se trata de grietas verticales al centro del muro, partiendo de la barrera de impermeabilización, donde es más ancha, para luego ir disminuyendo; muchas ocasiones no logra llegar hasta la parte superior del muro por estar confinado por castillos y trabes. Una característica fundamental es que el muro presenta un ligero pandeo hacia afuera lo que produce que la grieta sea mucho mayor en el paramento exterior de la pared (**Fotografía IV-3**).

**Causa que la produce:** Este tipo de grieta es muy común cuando se construye con tabiques de arcilla con pocos días de salidos del horno. Ya que este tipo de ladrillo se dilata irreversiblemente durante años después de salir del horno, pero mucho más durante los tres primeros meses.

También puede ser por una dilatación de los tabiques por absorción de agua al estar en un clima húmedo.

**Solución:** Se permitirá el total desarrollo de la grieta antes de hacer cualquier reparación permanente.

#### **Caso 5 (Grietas verticales)**

**Descripción:** Se trata de una grieta vertical en la esquina de dos muros, que aparecen a los pocos días de construídos y no atraviesan la cimentación (**Fotografía IV-4**).

**Causa que la produce:** Este tipo de falla es propia de los tabiques de arcilla, como producto de la humedad y/o por variaciones de temperatura, produciéndose una compresión que fractura el muro por su parte más débil que es la esquina. Por su puesto esto solo ocurre en muros donde no se hayan dejado las juntas adecuadas.

**Solución:** Se procederá a cambiar las piezas quebradas y se tapan las juntas con un mortero pobre o un sellador capaz de absorber posibles movimientos.

#### **Caso 6 (Grietas verticales o diagonales)**

**Descripción:** Son grietas verticales o diagonales que se forman abajo de las esquinas de ventanas y no atraviesan la cimentación.

**Causa que la produce:** Si se trata de muros a base de tabicones o bloques de concreto, se produce por que estos tienen la tendencia a contraerse durante su fraguado y envejecimiento (**Figura IV-10**).

Ahora bien si dicho muro esta fabricado con un mortero pobre la contracción de las piezas producirá finas grietas a su alrededor; pero si esta hecho con mortero rico, aparecerán grietas verticales que fracturaran las piezas o puede ser que aparezcan grietas diagonales.

**Solución:** La solución es sencilla simplemente se cambiaran las piezas dañadas por otras similares evitando el empleo de un mortero rico.

Si se trata de un muro aplanado se procede a descubrir la grieta con cincel, se cepillará perfectamente para remover el material suelto, se le colocaran a presión varias lajas de piedra, se moja perfectamente la grieta para que no absorba agua de fraguado y se aplica el mortero o sellador cuidando que penetre bien.

### Caso 7 (Grietas horizontales)

**Descripción:** Son grietas horizontales que aparecen en las juntas de los tabiques huecos de arcilla a cada cuatro hiladas y su trazo puede ser continuo o intermitente (Figura IV-11).

**Causa que la produce:** Este tipo de grietas son ocasionadas por la oxidación que sufre el acero de refuerzo (Escalerilla) que se coloca generalmente a cada 4 hiladas.

Esta oxidación producto de la humedad hace que en el acero de refuerzo se formen escamas de óxido que tienen un volumen de 8 veces el del metal sano, siendo esto lo que produce que las juntas se agrieten.

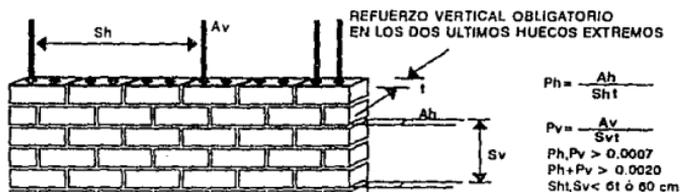
**Solución:** Se procede a cortar la humedad para detener la oxidación y se descubrirá el acero para saber si será necesario cambiarlo o solo quitarte las escamas con cepillo de alambre y recubrirlo con pintura asfáltica y finalmente se repararan las juntas.

### Caso 8 (Grietas horizontales)

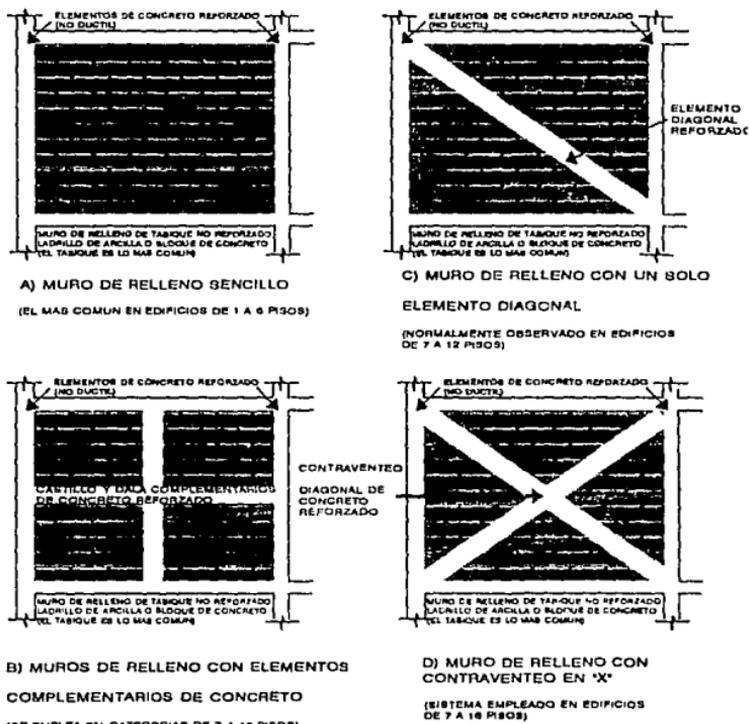
**Descripción:** Estas grietas aparecen más frecuentemente en muros divisorios de tabicones ligeros que no soportan carga vertical. La grieta se presenta por lo regular al centro del muro (Figura IV-12).

**Causa que la produce:** Como todo tabique hecho de cemento Portland es susceptible de contraerse durante su fraguado y envejecimiento. La dirección de la grieta depende del tipo de empotre que tenga el muro; una trabe superior o inferior bastara para impedir su contracción y producir grietas horizontales.

**Solución:** Bastara con descubrir la grieta, humedecerla para asegurar la adherencia del mortero y finalmente agregar el mortero con un aditivo estabilizador.

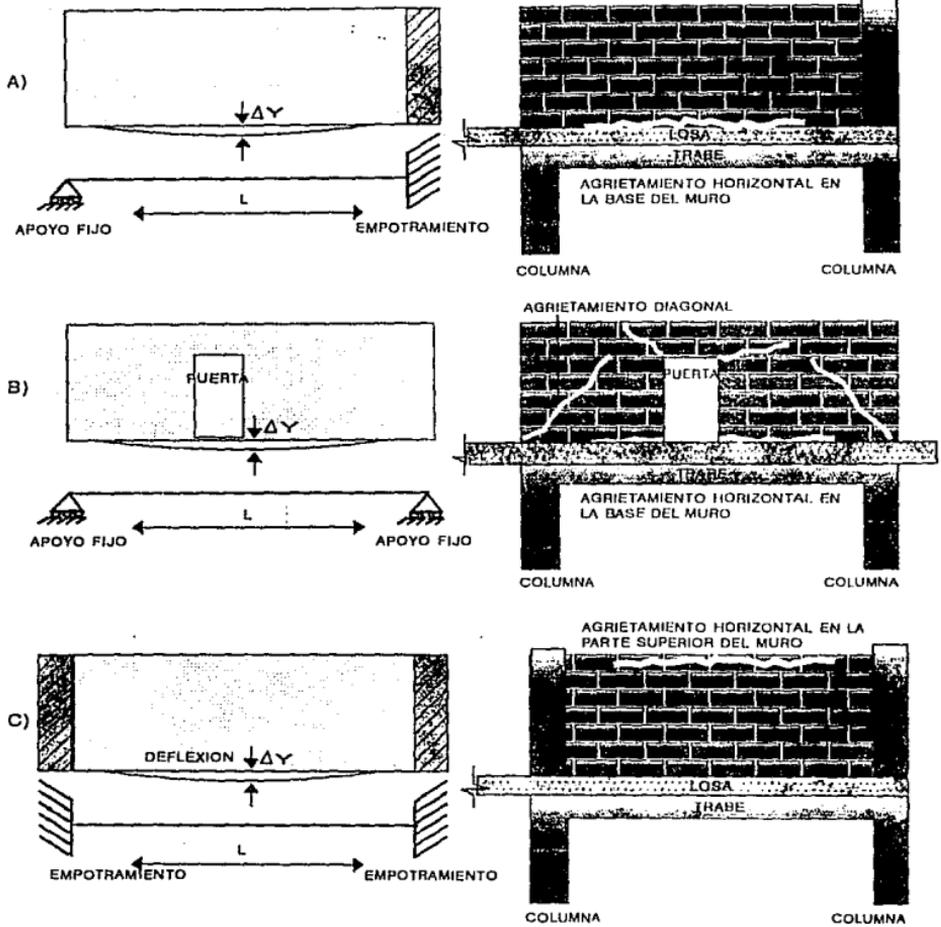


**FIGURA IV-1 REQUISITOS DEL RCDF PARA MAMPOSTERIA CON REFUERZO INTERIOR**



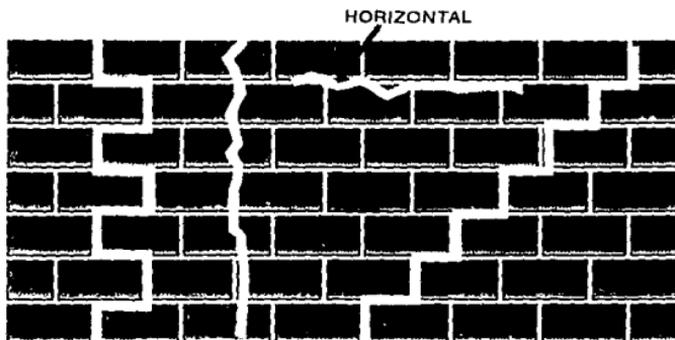
**FIGURA IV-2 MUROS DE CARGA**

FALLAS CARACTERÍSTICAS EN MUROS



$$\Delta Y > 0.3 + L/480$$

FIGURA IV-3 AGRIETAMIENTO DE MUROS DEPENDIENDO DEL TIPO DE APOYO



GRIETA ESCALONADA

RECTA VERTICAL

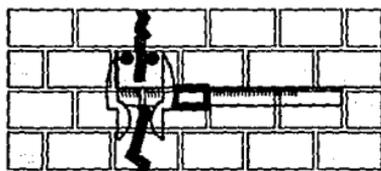
DIAGONAL ESCALONADA

FIGURA IV-4 FORMAS QUE ADOPTAN LAS GRIETAS EN LOS MUROS DE MAMPOSTERIA



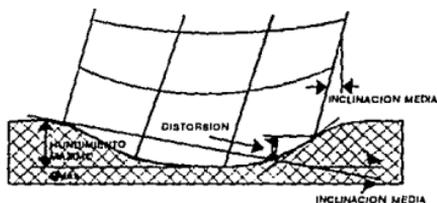
TESTIGO DE YESO

FIGURA IV-5

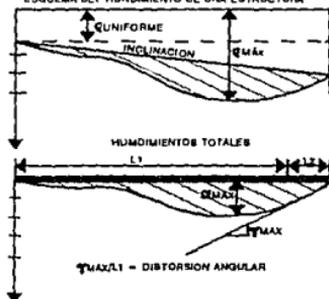


DISPOSITIVO PARA MEDIR LAS VARIACIONES DE LAS GRIETAS

FIGURA IV-6



ESQUEMA DEL HUNDIMIENTO DE UNA ESTRUCTURA



ASENTAMIENTOS DIFERENCIALES

FIGURA IV-7 ASENTAMIENTOS TOTALES Y DIFERENCIALES DE UNA ESTRUCTURA

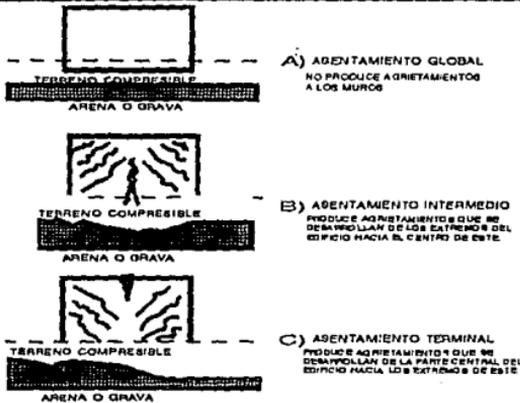


FIGURA IV-8

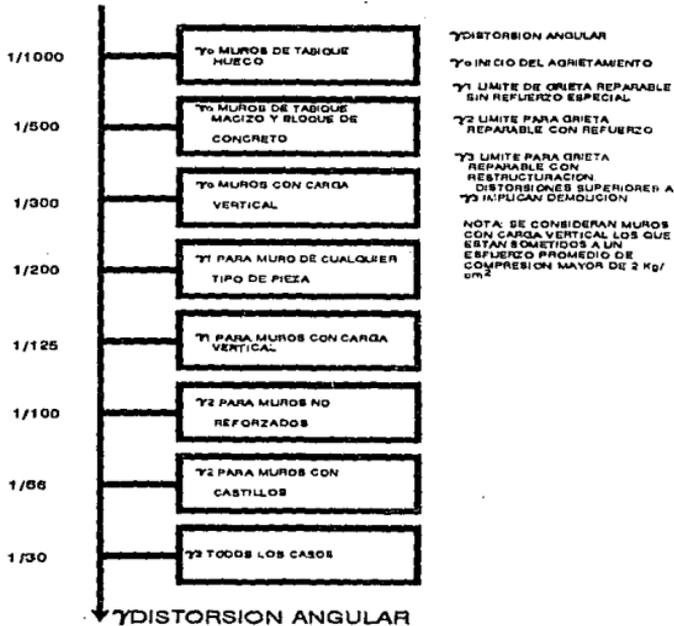


FIGURA IV-9 RELACION ENTRE LA DISTRIBUCION ANGULAR POR HUNDIMIENTOS DIFERENCIALES Y EL NIVEL DE DAÑOS EN CONSTRUCCIONES CON MUROS DE MAMPOSTERIA.



AGRIETAMIENTO CARACTERISTICO POR LA CONTRACCION DE LOS BLOQUES DE CONCRETO

FIGURA IV-10

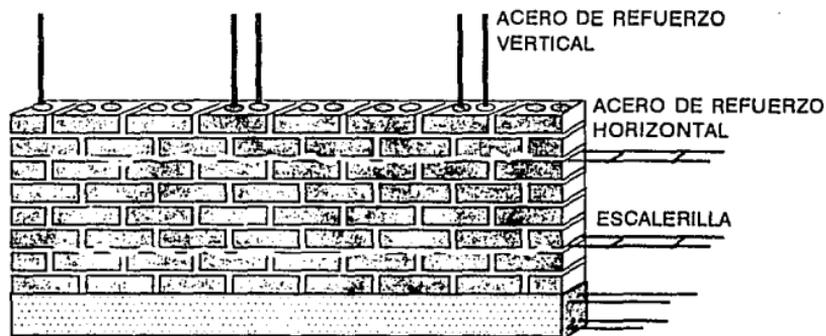


FIGURA IV-11 GRIETAS HORIZONTALES POR OXIDACION DE LA ESCALERILLA DE REFUERZO

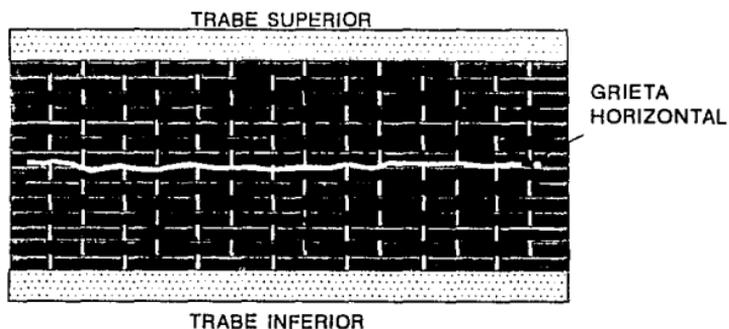


FIGURA IV-12 GRIETA HORIZONTAL POR CONTRACCION DE LOS BLOQUES DE CONCRETO



Fotografía IV-1  
Agrietamiento diagonal por asentamiento diferencial.



Fotografía IV-2  
Agrietamiento diagonal por contracción de las piezas.



Fotografía IV-3  
Grietas verticales producidas por una expansión del muro debido a una variación volumétrica por absorción de agua.



Fotografía IV-4  
Grieta vertical por temperatura

# CAPITULO V

## FALLAS CARACTERISTICAS EN PISOS

### Introducción:

Durante la etapa de diseño de la mayoría de los edificios, se pone muy poca o ninguna atención a lo adecuado de los pisos sobre el terreno, generalmente se da por bueno, dando como resultado en muchos casos pisos de calidad inferior, que se comban, agrietan, erosionan o descascaran.

En este capítulo mencionaremos las fallas principales así como las causa que las ocasionan y entre ellas se encuentran las siguientes:

### **ERRORES EN LA DOSIFICACION DE LOS MATERIALES PARA LA FABRICACION DEL CONCRETO**

Como sabemos las propiedades del concreto dependen de la calidad de la pasta de cemento (cemento más agua), que varía según la relación agua-cemento, es decir entre mayor es la cantidad de agua que se emplea por kilogramo de cemento, más débil es el concreto endurecido y por lo tanto será más permeable y se erosionará más fácilmente.

Desafortunadamente este conocimiento técnico no lo saben los trabajadores, por lo que es común ver en las obras, la fabricación de concretos muy fluidos de un gran revenimiento; O para mantener la trabajabilidad del concreto la agregan más agua sin incrementar el cemento, ocasionando con esto una pérdida de resistencia que por consiguiente dará como resultado pisos de mala calidad que pueden presentar diversas fallas por ejemplo:

#### **1.- BAJA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN**

#### **2.- SUPERFICIES POLVOSAS QUE SE EROSIONAN FACILMENTE**

### 3.- SUPERFICIES AGRIETADAS A EDAD TEMPRANA

## 4.- AGRIETAMIENTO Y COMBADURA POR CONTRACCIÓN DURANTE EL FRAGUADO Y ENVEJECIMIENTO

**1.-BAJA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN:** Es como resultado del incremento de agua en la mezcla de concreto, es decir un aumento en la relación **agua-cemento**.

**2.- SUPERFICIES POLVOSAS QUE SE EROSIONAN FACILMENTE:** El exceso de polvo en los pisos endurecidos es producto principalmente de un exceso de agua de sangrado. Si esta agua de sangrado abandona al concreto por evaporación la cantidad de agua total en la mezcla disminuye, al igual que la relación **A/C** produciéndose un aumento en la calidad del concreto, pero si el agua de sangrado permanece en la superficie la relación **A/C** aumenta, dando como resultado un concreto más permeable, menos compacto y fácilmente degradable, lo que da origen a superficies polvosas.

La **erosión** se debe a una baja resistencia a la abrasión del concreto, que podemos definirla como: El **desgaste** producido por la fricción o frotamiento entre dos materiales.

La abrasión de pisos resulta como consecuencia del tráfico de peatones y vehículos. Pero también puede ser causada por partículas arrastradas por el viento o el agua, generando problemas por el desprendimiento de polvo, decoloraciones, desniveles y disgregaciones en casos graves, además de que se producen zonas lisas que provocaran patinazos o resbalones a las personas.

**Los factores principales que afectan la resistencia de los pisos a la abrasión son los siguientes:**

**A) Resistencia a la compresión del concreto.** Pruebas de laboratorio y la experiencia demuestran que a mayor resistencia a la compresión se tendrá mayor resistencia al desgaste, esto es por el contenido de cemento.

**B) Propiedades de los agregados.** La resistencia a la abrasión de los agregados gruesos y finos en la superficie de un pisos es más notable en concretos de baja resistencia que en concretos de alta resistencia, ya que en pisos de baja resistencia la

pasta de cemento desaparece por la abrasión dejando en contacto con los agentes abrasivos a los agregados.

**C) Métodos de acabado.**

**D) Uso de cubiertas o recubrimientos.**

El uso de recubrimientos y técnicas de acabados aumentan en gran medida la resistencia de los pisos ; por ejemplo en pisos de dos capas se puede aplicar concreto de alta resistencia en la superficie y concreto ordinario en el resto del piso, también se puede espolvorear cemento con agregado fino resistente, agregado de limadura de hierro o carburo de silicio, para mejorar la resistencia a la abrasión.

**E) Curado.** Este es otro factor de gran importancia para obtener pisos resistentes a la abrasión sin que desprendan polvo, pues un estudio demostró que una superficie curada durante 7 días es el doble de resistente que una curada durante 3 días, y un curado adicional aumentara estas propiedades.

#### **Recomendaciones para fabricar pisos resistentes a la abrasión**

- I.- Usar concretos con resistencia no menor a los 280 Kg/cm<sup>2</sup>.
- II.- En pisos de dos capas cuando se tengan condiciones severas de desgaste, emplear una capa de recubrimiento con una resistencia no menor a los 350 Kg/cm<sup>2</sup>.
- III.- Emplear recubrimientos especiales tales como losetas, mosaicos, etc.
- IV.- Usar agregados resistentes, los cuales adicionan mayor resistencia a la abrasión, en los pisos de dos capas solo se usaran en la capa superior.
- V.- Emplear procedimientos de curado adecuados, mínimo durante 7 días, que puede ser por aspersión de agua, sacos de yute húmedos, cubrir con hule el piso después de humedecido, empleando membranas de curado, etc.

## Recomendaciones para dar resistencia

### Al desgaste a pisos existentes

Generalmente se emplean líquidos endurecedores que impregnan el piso, para dar mayor resistencia; estas sustancias pueden ser fluosilicatos de magnesio, de zinc o el silicato de sodio. Estas no solo dan resistencia al piso si no que además lo protegen de algunos aceites y productos químicos.

Estos endurecedores si se quieren aplicar en pisos nuevos se debe esperar 28 días a que seque y además no se deben aplicar membranas de curado ya que estas impiden que penetre al concreto.

**3.- SUPERFICIE AGRIETADA A EDAD TEMPRANA:** Los agrietamientos a edad temprana son los que se producen pocas horas después del colado y como ejemplo podemos mencionar las siguientes:

- a) Grietas de **contracción por secado.**
- b) Grietas por **contracción plástica.**
- c) Grietas por el **desplazamiento de cimbras.**
- d) Grietas por colocar el **acero de refuerzo muy cerca de la superficie.**

Las **grietas de contracción por secado** se conocen como grietas "pata de gallo" surgen cuando desaparece el brillo del agua de sangrado de la superficie pero como son de tamaño capilar no representan problema serio.

Las **grietas por contracción plástica**, son más anchas que las anteriores, pudiendo atravesar todo el espesor del piso, aparecen por un mal curado sobre todo en días calurosos con mucho aire. Son grietas que se forman casi paralelamente y perpendiculares al viento y lógicamente son causadas por una rápida evaporación del agua del concreto.

Las **grietas por desplazamientos de cimbras**, pueden ser rectas o irregulares, pudiendo aparecer durante el período de curado o después.

El último tipo de agrietamiento que se debe al acero de refuerzo es por que éste se coloca a poca distancia de la superficie menor de 3.8 cm, produciendo una disgregación del concreto hacia ambos lados del acero contribuyendo a una concentración mayor de finos en el área sobre el acero, lo que produce un aumento en la contracción (ver figura V-1).

**4.- AGRIETAMIENTO Y COMBADURA EN PISOS, POR CONTRACCIÓN DURANTE EL FRAGUADO Y ENVEJECIMIENTO:** Un factor importante en la contracción es la cantidad de agua empleada en la mezcla, es decir entre más agua tenga ésta, mayor será la contracción, pudiendo llegar a 0.0005 (0.05 %) que representa **0.3 cm en 6 m**.

El agrietamiento surge por lo siguiente, las losas sobre el terreno no se contraen uniformemente, por que la parte superior se seca más rápidamente que la interior, tendiendo a contraerse más, por lo que cada segmento del piso toma la forma de una cuña (figura V-2 ).

Por esto es que las losas se hacen más cortas en la parte superior tendiendo a curvarse hacia arriba (lo que conocemos como combadura) induciendo fuerzas de tensión en la parte superior que si sobrepasan la resistencia del concreto éste se agrieta.

#### **Agrietamiento por no colocar juntas de aislamiento entre la estructura y el piso**

Otro tipo de agrietamiento que se presenta en los pisos aunque se haya colado con materiales adecuados ocurre por lo siguiente:

Aun cuando el terreno debajo de la losa de concreto del piso esté uniformemente compactado, es frecuente sobre todo en la zona de lago. que el asentamiento del piso difiera del de los muros y del de los cimientos de las columnas, por lo que para evitar un arrastre de los piso por estos asentamientos uniformes o diferenciales es necesario aislar de los muros y las columnas, las losas de piso mediante juntas de aislamiento (Ver figura

V-3). Lo cual muchas ocasiones no se lleva a la práctica, produciéndose el agrietamiento de pisos y recubrimientos que en muchos edificios son muy elegantes. Esto es muy cierto ya que los dueños y constructores muchas veces gastan grandes cantidades de dinero en acabados muy caros, descuidando la calidad de la base donde se aplican.

Estas juntas de aislamiento deben colocarse entre las losas de piso y los muros, y alrededor de las columnas u otras partes de la estructura que tengan cimentaciones separadas; Para permitir su libre desplazamiento.

Generalmente se construyen de una o dos capas de cartón asfáltico.

### **ANÁLISIS NUMÉRICO DE LOS EFECTOS DE TEMPERATURA EN LOS PISOS DE CONCRETO**

Podemos comenzar por preguntarnos por que se agrietan los pisos aun contando con acero de refuerzo que debe evitar los agrietamientos por cambios volumétricos tanto por temperatura como por contracción durante el fraguado y el envejecimiento.

Pues bien trataremos de dar una respuesta a esto basándonos en un análisis numérico de los esfuerzos que se producen en el concreto por efectos de la temperatura que suelen ser los mas importantes y que son determinantes en el agrietamiento.

Analizaremos un pisos de 10 cm de espesor (ver figura V-4), para el cual se recomienda un espaciamiento práctico de 0.24 a 0.36 veces el espesor en cm, que equivale a un espaciamiento de 3 m, o de la tabla de la (figura V-5), resulta un espaciamiento de 3.75 m, en nuestro caso tomaremos un espaciamiento  $L = 3 \text{ m}$ .

#### **Cálculo del incremento de temperatura.**

De datos meteorológicos para el D.F. obtenemos las temperaturas máxima y mínima:

$$T_M \text{ (Temperatura máxima)} = 30 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_m \text{ (Temperatura mínima)} = 6 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\Delta T = 30 - 6 = 24 \text{ }^\circ\text{C}$$

Pero como para elementos expuestos a la intemperie se debe incrementar en un 20 %, entonces

$$\Delta T = 1.20 (30-6) = 28.80 \text{ } ^\circ\text{C}$$

**Cálculo del gradiente de temperatura.**

$$\Delta G = (T_M - T_m) / h = 29/10 = 2.90 \text{ } ^\circ\text{C} / \text{cm}$$

**Cálculo de la deformación unitaria.**

$$\begin{aligned} \Delta \varepsilon &= \alpha \Delta T \quad ; \quad \alpha = \text{Coeficiente de dilatación} \\ &= 12 \times 10^{-6} (28) = 0.000348 \end{aligned}$$

**Cálculo del alargamiento.**

$$\Delta L = \Delta \varepsilon (L) = 0.000348(300) = 0.1044 \text{ cm}$$

**Cálculo de la curvatura de la sección.**

$$\begin{aligned} \Psi &= \alpha \Delta G \\ &= 12 \times 10^{-6} (2.90) = 0.0000348 \text{ cm} \end{aligned}$$

**Cálculo de la fuerza de tensión.**

$$\begin{aligned} P &= A E \alpha (A T) \quad ; \quad E = 200 \text{ 000 Kg/cm}^2 \\ &= (10 \times 300) (200 \text{ 000}) (0.000 \text{ 348}) \\ &= 208 \text{ 800 Kg} \end{aligned}$$

**Cálculo del momento.**

$$I = b h^3 / 12 = 300 (10)^3 / 12 = 25 \text{ 000 cm}^4$$

$$\begin{aligned} M &= P E I \alpha \Delta G \\ &= 200 \text{ 000} (25 \text{ 000}) (0.0000348) \\ &= 174 \text{ 000 Kg.cm} \end{aligned}$$

**Cálculo del esfuerzo de tensión.**

$$\begin{aligned} f_t &= P/A + (M c/I) Y \\ &= (208 \text{ 000}/3000) + (174 \text{ 000}/25 \text{ 000}) 5 \\ &= 104.40 \text{ Kg/cm}^2 \end{aligned}$$

Comparando este esfuerzo de tensión con el esfuerzo resistente del concreto, que es  $f_c = 0.10 f'c$ .

$$0.10 f'c = 0.10(250) = 25 \text{ Kg/cm}^2$$

Como  $f_t > f_{resistente}$

$$104.40 > 25 \text{ Kg/cm}^2$$

Con este análisis podemos concluir que el piso necesita acero de refuerzo en su lecho superior para evitar los agrietamiento por temperatura.

#### Cálculo del acero de refuerzo.

$$0.5q^2 - q + Mu / (FR b d^2 f'c) = 0$$

$$0.5 q^2 - q + (174 000/4) / (0.9 \times 170 \times 100 \times 6.2^2) = 0$$

$$q = 0.0021 \text{ Coeficiente de refuerzo}$$

$$P = (q f'c) / f_y$$

$$= (0.07692 \times 170) / 6000$$

$$= 0.0021$$

$$A_s = p b d$$

$$= 0.0021(100)(6.2)$$

$$= 1.35 \text{ cm}^2$$

Si empleamos malla electrosoldada que tiene un:

$$\Phi = 0.3175 \text{ cm}$$

$$A_s = 0.079 \text{ cm}^2$$

Requeriremos un espaciamiento de:

$$S = 100 / (1.35/0.079) = 6.00 \text{ cm}$$

Separación que no se cumple pues la mayoría de los casos se coloca malla con una separación de 15 cm.

Por lo que podemos concluir que en la mayoría de los pisos donde se coloca malla electrosoldada, esta no es cien por ciento eficaz para eliminar dichos agrietamiento. y si a esto le agregamos que algunos contratistas que carecen de los conocimientos técnicos colocan muchas veces la malla sobre la superficie del suelo, lo cual anula su beneficio.

Pero también suele suceder lo contrario, es decir que la malla sea colocada muy cerca

de la superficie del concreto, menos de 3.8 cm bajo la superficie terminada, ocasionando agrietamiento por disgregación de los agregados como ya se menciono anteriormente.

### FALLAS EN LOS REVESTIMIENTOS DE PISO

Los revestimientos de pisos tienen que ser diseñados cumpliendo con una serie de características básicas que son:

- Garantizar su adherencia a la base donde se apliquen.
- Que tengan durabilidad y resistencia al uso.
- Que sean impermeables para evitar humedades.
- Que sean fáciles de limpiar.
- Que tengan pendientes adecuadas para su rápido desagüe.
- Que sean antiderrapantes.

Y los materiales y texturas para la fabricación de pisos es muy grande. comprendiendo soluciones tan diversas como las que presentamos a continuación.

#### Acabados para pisos

Recubrimiento	Acabado o material	Base de aplicación
Cemento	A regla	Firme de concreto
" "	A plana	" "
" "	Escobillado	" "
" "	Pulido a llana	" "
Mosaico	Pasta	Firme acabado a reg
Terrazo	Con grano de mármol	" "
Loseta	Barro prensado	" "
Loseta	Vinílica	Firme pulido
Parquet	Madera muy dura	" "
Alfombra	Diversa textura	Firme a plana
Madera	Duela o tablón	Bastidor de madera

El acabado de estos pisos puede resultar un fracaso por diversos factores: Si la base no es adecuada, ya sea por su mal diseño o por su mala ejecución o por estar sometidos a condiciones más extremas o de naturaleza distinta para la que fue diseñado, las que a continuación describiremos.

### Causas que ocasionan fallas

#### a) Empleo de material defectuoso.

Hoy en día por razones económicas mucha gente por ahorrarse unos pesos, prefiere comprar materiales cerámicos que están en oferta a precios muy bajos, de acuerdo a la baja calidad del material. Trayendo posteriores problemas en su durabilidad y apariencia.

Los defectos más comunes en este tipo de material de recubrimiento son despostillamientos de las esquinas, falta de planicidad, distintos grosores, aristas redondeadas, decoloraciones, manchas de óxido, suciedad por humedad y escasa resistencia. Siendo este último el defecto más grave y es el resultado de una deficiente cocción que hace que la pieza sea muy poco resistente.

#### b) Fallas en la mano de obra.

Las fallas en los pisos por una mano de obra no capacitada puede deberse a alguno(s) de los casos siguientes:

- **Mal compactación** del terreno donde se asentara el firme de concreto, la cual producirá asentamientos.
- **No dejar juntas de dilatación** en pisos grandes. Generándose agrietamiento por la dilatación por temperatura del concreto.
- **Fallas en la nivelación** del firme, que genera partes bajas y altas contribuyendo así a los encharcamientos y a un mal acoplamiento de las piezas de revestimiento, ya sean losetas, parquet, etc. es decir irregularidad en las juntas.
- Empleo de una **pasta en avanzado estado de fraguado** con adherencia baja en el

momento de pegar las losetas, mosaicos, etc.

- Pegar losetas mosaicos, etc. en **superficies sucias**, que impedirán su buena adherencia.

- **Mal lechadeo de las juntas**, que permitirán el paso de la humedad afectando la pasta de pegado.

- **Pegado de las piezas con pasta insuficiente**.

- **Colocación prematura de losetas en pisos que todavía no secan** y que sufrirán retracciones al fraguar, produciendo tensiones; que romperán las piezas o simplemente las despegarán.

- En los casos de pagarlas con cemento blanco, es común y recomendable mojar las piezas para que no absorban agua de fraguado que necesita el cemento. Pero si se remojan demasiado el sistema capilar de las piezas de arcilla se satura formando una **película antiadherente**. Por esto es que en ocasiones al desprenderse una pieza queda una superficie pulida de la pasta de cemento.

### **c) Trato rudo.**

Aquí nos referimos principalmente a los daños ocasionados a los pisos por soportar pesos excesivos, o por que por encima de estos circulen transportes muy pesados, que no solo dañan la capa de revestimiento, si no también el firme de soporte. En este caso el error se debe atribuir al dueño por darle al piso un uso distinto para el que fue diseñado.

### **d) Socavaciones en el terreno de soporte.**

Esta socavaciones producida por desplazamientos internas de tierra que producen un vacío de bajo del piso, generadas principalmente por flujos de agua que acarrear el material.

Estos flujos de agua pueden ser por fugas en tubos de agua potable, fugas en

albañales o por el agua de lluvia, de riego y limpieza que penetra por alguna grieta del piso.

Al formarse un vacío debajo del piso, este se hundirá al perder su base de apoyo, provocando agrietamiento, que si no se reparan de inmediato darán paso a la penetración del agua agravándose aun más el problema.

#### **e) Humedad.**

Las manchas de humedad que aparecen en los pisos con su consecuente afloración de salitre, que aparece a los pocos días de ser terminados, son atribuidos principalmente a que se colocaron la piezas sin esperar a que seca el firme de concreto.

Lo que ocasiona que la humedad pase hacia el revestimiento, el cual si es de arcilla contendrá ciertas sales que el agua acarreará a la superficie formando eflorescencias.

### **Casos de fallas más comunes en pisos**

#### **CASO 1 (Pisos de terrazo y mosaicos, etc. agrietado y levantado)**

**Descripción:** Se trata de pisos con revestimientos que al golpearlos o caminar sobre ellos se oyen sonidos huecos, y se ven grietas que atraviesan las piezas.

**Causa que la produce:** Se puede deber a una o varias causas, por ejemplo a:

- Ejecución deficiente. Probablemente el firme no se limpio de los residuos de polvo, o se empleo un mortero de cemento muy pobre o aguado, contribuyendo al desprendimiento.
- Empleo de un mortero en estado avanzado de fraguado.
- Y la causa más común que ocasiona este tipo de daño es por colocar los

revestimientos sin esperar a que seque el firme de concreto; Que sufrirá contracciones al secar, formándose grietas que son transmitidas del firme a las piezas del piso.

**Solución:** Se procede a levantar las piezas dañadas (agrietadas y desprendidas, se removerá en mortero de las piezas que se puedan reutilizar, se removerá el mortero del firme a cincel, así como la pasta de lechadeo de las juntas de las piezas adyacentes, cuidando de no despostillarlas. Una vez realizado esto se debe picar cepillar y humedecer el firme para poder colocar las piezas nuevas previamente humedecidas.

Aquí es importante mencionar que en este tipo de reparaciones es muy difícil conseguir piezas idénticas a las del piso viejo, pues el color y textura varían de un lote a otro, quedando parches.

#### **CASO 2 (Pisos cerámicos levantamiento y agrietamiento)**

**Descripción:** Son pisos de loseta de arcilla que se levantan limpiamente y se arquean en forma de tiendas de campaña, que desde luego al golpearlas se oye un ruido hueco y la rotura de estas ocurre repentinamente (**Ver foto V-1**).

**Causa que la produce:** La causa principal puede ser por que se empleo una loseta con pocos días de salida del horno, que como todo material de arcilla es susceptible de sufrir dilataciones irreversibles, por absorción de agua del ambiente, limpieza, etc. creándose presiones horizontales entre las piezas, levantándose las más debilmente adheridas.

También puede ocurrir por colocar las piezas cerámicas en un firme fresco que sufrirá contracciones durante su secado.

**Solución:** Si la causa de la falla es por la dilatación de las piezas cerámicas se aconseja esperar 3 meses antes de reparar el piso, pues es la etapa de mayor dilatación.

Y si se tiene el segundo caso, se puede reparar de inmediato.

### CASO 3 (Pisos de madera levantamiento)

**Descripción:** Las piezas de madera se levantan en toda una zona, o a lo largo de ciertas hileras, la pieza puede desprenderse del adhesivo, o desprenderse del firme llevándose parte de este, descartándose la falla por adherencia.

**Causa que la produce:** La causa de esta falla es muy sencilla de conocer. Es por un aumento en el contenido de humedad, que hace que aumenten de volumen, formando fuerzas de compresión que al principio son absorbidas por el material pero después lo hacen saltar de su base.

Esta humedad generalmente viene del firme de concreto al no haberse construido una barrera antihumedad entre este y el revestimiento, pero también puede venir del medio ambiente si es muy húmedo, etc.

**Solución:** Si se trata de una humedad pasajera se esperara a que se sequen las piezas y se volverán a colocar.

Pero en caso contrario se abrirá una junta perimetral para permitir posibles movimientos, y se colocaran las piezas nuevamente. Y en casos graves se procederá a cortar la humedad levantando el piso completamente para lograrlo.

### CASO 4 (Piso de concreto con pulverulencia superficial)

**Descripción:** La superficie del piso se llena de polvo y se desgasta muy rápidamente, dejando los agregados al descubierto, y en ocasiones se agrieta profundamente. Ocurrendo el mayor desgaste en las zonas de mayor tráfico (**Ver foto V-2**).

**Causa que la produce:** Este tipo de falla puede deberse a varias causas que son.

- Colado con un concreto de alto revenimiento, de mucha contracción y poca resistencia.
- Verter mucha agua con una escobilla en la superficie del concreto durante el proceso

de acabado, produciendo una superficie poco resistente al contener mayor cantidad de agua.

- Apisonar el concreto de un alto revenimiento, concentrando muchos finos en la superficie, reduciendo su durabilidad.

- Mal curado del concreto.

**Solución:** Un piso que presenta gran desgaste y agrietamiento, se recomienda demolerlo y hacerlo nuevamente. Y si la pulverulencia no es muy severa se puede emplear ciertos endurecedores comerciales tales como el fluosilicato de magnesio, zinc y silicato de sodio, que además de hacerlo más resistente lo protegen de ciertas sustancias como los ácidos.

### **CASO 5 (Pisos excesivamente lisos)**

**Descripción:** Se trata de pisos de concreto y losetas que presentan una superficie muy pulida, resultando muy resbaladizas y peligrosas para las personas.

**Causa que la produce:** Algunas de las muchas causas que pueden producir pisos resbaladizos tenemos las siguientes.

- Pisos de concreto pulidos en exceso.

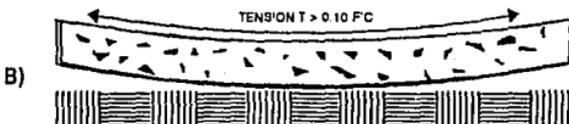
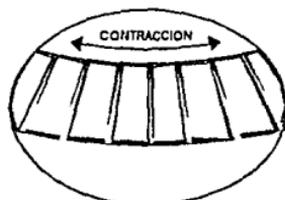
- Por el desgaste por el uso de las texturas antiderrapante, tales como el escobillado.

- Por emplear revestimientos inadecuados, por ejemplo usar pisos de mármol y caliza en las banquetas, lo cual es común verlo en ciertos edificios de lujo y que al mojarse resulta un peligro para los peatones.

**Solución:** Para los tres casos anteriores se recomienda hacerles un martelinado para darles una textura rugosa y antiderrapante, pero en el caso de las losetas estaremos consientes de que se perderá el brillo de estas, aunque no el color.



FIGURA V-1 AGRIETAMIENTO POR EL ACERO DE REFUERZO COLOCADO MUY SUPERFICIALMENTE



DESPUES DEL CURADO, UNA LOSA DE CONCRETO SOBRE EL TERRENO COMIENZA A SECARSE DESDE ARIIBA Y OCURRE LO SIGUIENTE:

A: CADA SEGMENTO VERTICAL TIENDE A ESTRECHARSE EN EL EXTREMO SUPERIOR Y A ADQUIRIR UNA FORMA DE CUÑA

B: LA LOSA TIENDE A COMBARSE, Y

C: CUANDO ESTOS ESFUERZOS EXCEDEN LA RESISTENCIA DEL CONCRETO A LA TENSION, LA LOSA SE AGRIETA.

FIGURA V-2 COMBADURA EN PISOS

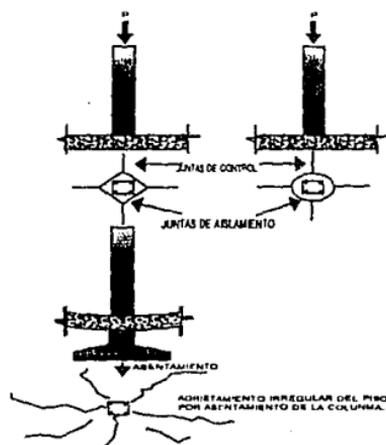
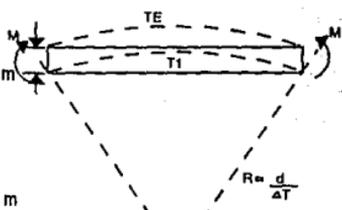
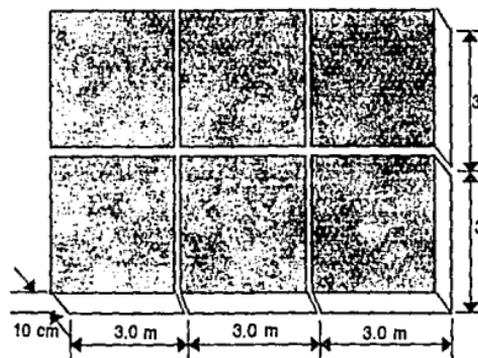


FIGURA V-3

JUNTA DE AISLAMIENTO EN PISOS



ELASTICA DEL PISO CUANDO NO HAY RESTRICCIÓN

FIGURA V-4 EFECTOS DE LA TEMPERATURA EN UN PISO

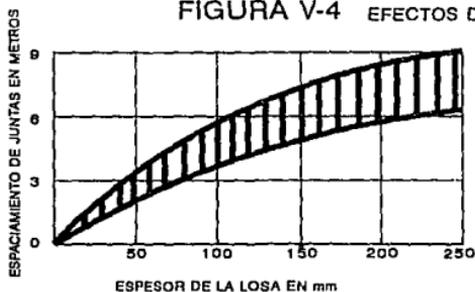
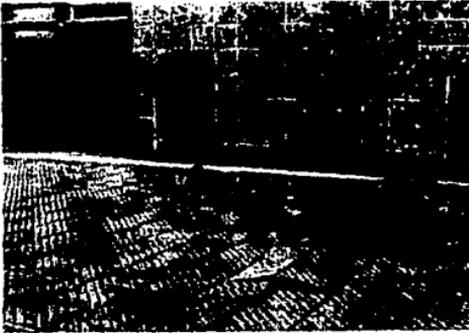
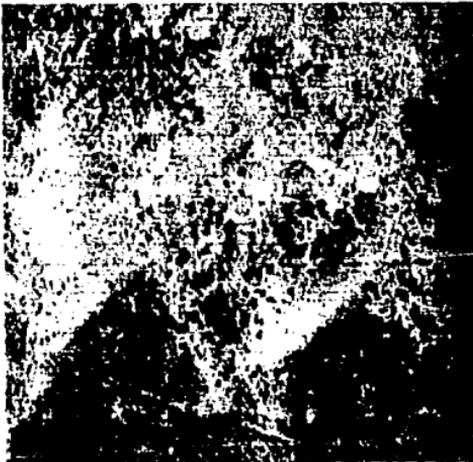


FIGURA V-5

RANGO DE ESPACIAMIENTO DE JUNTAS EN PISOS



**FOTOGRAFIA V-1 PISO DE LOSETA DESPRENDIDO POR UNA VARIACION VOLUMETRICA POR ABSORCION DE AGUA.**



**FOTOGRAFIA V-1 PISO DE CONCRETO CON PULVERULENCIA SUPERFICIAL**

## CAPITULO VI

### FALLAS CARACTERISTICAS EN CUBIERTAS

**Definición de cubierta:** Es el elemento que tiene la misión de cubrir el edificio para proteger su interior de los agentes climatológicos, especialmente la lluvia, granizo, nieve y viento.

**Tipos de cubiertas:** Las cubiertas deben construirse como un plano inclinado para que resbale fácilmente el agua de lluvia y sea dirigida hacia el sistema de desagüe y evitar la acumulación de agua formando zonas húmedas que generan gran cantidad de problemas de los que ya hemos hablado.

Las cubiertas las podemos dividir en dos grupos que son:

**a) Cubiertas planas**

**b) Cubiertas inclinadas**

**Cubiertas planas:** En realidad todo los tipos de cubiertas son inclinadas, pero las planas tienen una inclinación muy pequeña inapreciable a simple vista, del orden del 2 a 4 % de pendiente. Por esto es que las llamamos cubiertas planas, además de que tienen la peculiaridad de que pueden ser transitables o no, si son transitables reciben el nombre de azoteas o terrazas.

**Cubiertas inclinadas:** Este tipo de cubiertas se denominan tejados, los cuales no serán tratados en este capítulo.

#### Cubiertas planas

En lo referente a cubiertas planas trataremos las losas de concreto, que podemos definir las como: Elementos estructurales cuyas dimensiones en planta son relativamente grandes en comparación con su peralte, diseñadas principalmente para soportar cargas normales a su plano. Las que se pueden clasificar según sus apoyos en:

**a) Losas apoyadas en traveses paralelos.**

**b) Losas apoyadas en todo su perímetro.**

**c) Losas apoyadas directamente en las columnas.**

Las que además por su construcción se pueden subdividir en:

- 1.- Losas macizas**
- 2.- Losas aligeradas**

**Losa en una dirección:** Este tipo de losas trabajan solo en la dirección perpendicular a los apoyos, pudiéndose considerar como una viga cuyo ancho es la longitud del apoyo, y por lo tanto se debe diseñar como tal.

**Losas apoyadas en todo su perímetro:** Son aquellas que se encuentran apoyadas sobre vigas o muros en sus cuatro lados. Y que por lo tanto trabajan en dos direcciones.

**Losas apoyadas directamente en las columnas.** Son losas que se apoyan sobre las columnas sin la intermediación de vigas, pudiendo tener ampliaciones en las columnas por medio de un capitel o de la losa con un ábaco.

Estas pueden ser de peralte uniforme, en cuyo caso se conocen como placas planas; o pueden ser aligeradas por medio de bloques huecos, tubos de cartón, moldes de plástico o de fibra de vidrio, en cuyo caso reciben el nombre de losas encasetonadas o reticulares.

Todas estas losas por trabajar o resistir las cargas en forma distinta, presenta un comportamiento de falla distinto a las demás, como veremos a continuación.

### **Comportamiento de falla de las losas**

**1.- Losas apoyadas en una dirección:** Este tipo de losa tienen un comportamiento similar al de una viga de concreto reforzado.

La falla a flexión se manifiesta por la formación de grietas verticales al centro de la losa llegando hasta el eje neutro y en las losas continuas cerca de las columnas con recorrido de arriba hacia el eje neutro, que se van incrementando tanto en número como en abertura, siendo esto un síntoma de que el acero está fluyendo, y a medida de que

aumenta la longitud de las grietas la zona de compresión se va reduciendo, hasta que el concreto en esta zona es incapaz de tomar la compresión y se aplasta llagándose así a la falla del elemento.

**II.- Losas perimetralmente apoyadas:** El comportamiento a la falla de este tipo de losa lo podemos explicar mediante la gráfica carga deflexión en el centro del claro y que tiene la forma de la Figura VI-1a.

En la que podemos distinguir las siguientes etapas:

**a) La etapa lineal O-A** el agrietamiento del concreto en la zona de tensión es despreciable, produciéndose con una carga relativamente alta cercana a la carga de servicio (Figura VI-1b.)

**b) En la etapa A-B** ya se nota el agrietamiento en la zona de tensión del concreto y los esfuerzos son menores que el límite de fluencia.

**C) En la etapa B-C**, el acero comienza a fluir, en agrietamiento en el concreto se intensifica, a lo largo de las diagonales de la losa.

**d) Y por último la rama descendente C-D** nos indica el colapso, en donde las deflexiones aumentan sin la aplicación de más carga.

**III.- Losas planas:** Las losas planas pueden fallar en cortante por penetración o por flexión; La falla por cortante que es la más común consiste en la penetración de la columna dentro de la losa, formándose un cono o pirámide truncada (Figura VI-2), siendo este tipo de falla un factor crítico en el diseño de losas planas especialmente si no se usan capiteles y ábacos.

Las fallas por flexión ocurren después de que las losas experimentan grandes deformaciones y de que el acero de refuerzo fluye en varias zonas. Existiendo dos configuraciones de agrietamiento:

**a) En la primera** las grietas se forman en la cara superior de la losa a lo largo de los ejes de las columnas y en la cara inferior a lo largo de los ejes centrales.

**b) En la segunda** se forman grietas radiales que parten de las columnas en la cara superior de la losa y grietas circunferenciales en la cara inferior.

### Casos de fallas más comunes

**Losas perimetralmente apoyadas:** En México son las losa que más se emplean en la construcción de edificios de claros pequeños, debido a su buen comportamiento que tienen bajo la acción de cargas permanentes, variables y accidentales. Y en lo que respecta a las fallas que pueden ocurrir en este tipo de losas se pueden tener los siguientes casos.

**Grandes deflexiones:** Este tipo de falla es una de las más comunes y puede ser atribuida a errores en el diseño por ejemplo que no se cumplió con el perímetro mínimo que podemos calcularlo según el R.C.D.F. con la siguiente expresión.

$$\frac{\text{PERIMETRO. CORREGIDO}}{300} \geq 0.034^4 \sqrt{f_s W}$$

Nota: Para calcular éste perímetros corregido, los lados discontinuos deben incrementarse en 50 % si los apoyos de la losa no son monolíticos y 25 % si lo son.

$f_s$  = Esfuerzo de fluencia del acero.

$W$  = carga de diseño de la losa.

También se puede deber a :

- **Errores en el cálculo del acero de tensión** que en la mayoría de los casos son cometidos por personas que carecen de los conocimientos técnicos necesarios para poder calcularlo y que se basan en la experiencia que han obtenido en el campo observando obras similares, pero que en muchos casos no funciona, surgiendo fallas muy diversas.

- **Errores por emplear una mano de obra no calificada**, que si no se supervisa suele cometer muchas irregularidades, por ejemplo: interpretar mal los planos, colocar mal el acero de refuerzo, armar con acero de longitudes equivocadas, fabricar concretos mal dosificados, etc.

- Emplear un material defectuoso, refiriendome principalmente al cemento.
- Por una cimbra mal diseñada que sufre grandes deflexiones o algún desplazamiento durante o después del colado.
- Retiro prematuro de la cimbra.
- Etc..

Cuando estas deflexiones sobrepasan la máxima especificada que es de  $0.3 + L/480$  puede provocar diverso problemas, por ejemplo el principal son los agrietamientos que en muchos casos sobrepasan el ancho permisible que es de  $0.5 \text{ mm}$ , que aunado a otros como el encharcamiento de losa de azoteas, ocasionara goteras, formación de salitres, desprendimiento de los plafones y sobretodo la oxidación y corrosión del acero de refuerzo.

**Agrietamientos:** El agrietamiento en las losa perimetralmente apoyadas en la práctica se presenta muy raramente y en los casos detectados son ocasionadas por errores muy importantes y generalmente no por un mal diseño si no por una escasa supervisión en la correcta colocación del acero de refuerzo antes del colado, pues se ha observado en algunos casos en donde las secciones trabajan a momento negativo, es decir aquellas que se encuentran sobre una trabe o muros de carga, el acero es colocado en la parte inferior, lo cual obliga al concreto a tomar esfuerzos de tensión que no le corresponden, produciéndose de esta manera el agrietamiento. (Ver caso 1).

### **Mal comportamiento de las losa reticulares**

Ya se ha indicado muchas veces la alta incidencia de colapsos y daños graves en los edificios construidos con columnas de concreto y losa reticulares ya que estas construcciones son altamente flexibles y tienen una ductilidad muy reducida. Recordando los sismos de 1985 en una gran cantidad de casos el mecanismo de colapso fue regido por falla por punzonamiento de la losa por grandes esfuerzos cortantes que se

incrementaron debido a la suma de los efectos de las cargas verticales y del sismo (Ver **forografía VI-1**).

En una gran cantidad de casos de falla por punzonamiento, fue evidente la falta de una zona maciza de concreto apropiadamente reforzado alrededor de las columnas.

Por este mal comportamiento que han presentado las losa reticulares debemos tener precauciones importantes en nuestros diseños. en los cuales no debemos permitir el aprovechamiento de sistemas de este tipo; es decir marcos formados por columnas y franjas de losa plana que funcionan como viga, para resistir efectos sísmicos, los cuales deben ser resistidos por otros elementos tales como muros de cortante.

Pues mediciones de laboratorio realizadas por el Instituto de Ingeniería UNAM, indican que debe considerarse efectivo para el análisis y para la colocación del refuerzo por sismo solamente un ancho de losa igual al lado de la columna más una longitud a cada lado de la columna igual a 1 1/2 veces el peralte de la losa (Ver figura VI-3). Lo cual da lugar a que la estructura tenga una rigidez lateral muy baja, por lo que es necesario el empleo de otros elementos de rigidización para cumplir con los requisitos de limitación de deformaciones laterales.

Además se debe emplear un factor de reducción por ductilidad de  $Q=2$  y no de  $Q=4$ , ya que éste último se emplea cuando la resistencia de todos los niveles es suministrada por marcos no contraventeados o bien por marcos contraventeados o con muros de concreto reforzado, en los que en cada entrepiso los marcos son capaces de resistir sin contar muros y contravientos, cuando menos 50 % de la fuerza sísmica actuante.

Lo cual nos indica que esto no se cumplió en muchos edificios fallados, debido a la poca rigidez de la estructura.

Además al suponer  $Q=4$  se obtienen unas fuerzas de inercia mucho menores que en realidad actúan sobre el edificio que incrementan notablemente la fuerza cortante en las conexiones columna-losa, ocasionado la falla por punzonamiento en las losas.

Este incremento en las fuerzas de inercia lo mostraremos con un ejemplo aplicando el método estático de análisis sísmico a un edificio de 10 niveles.

Datos

Carga viva = 250 kg/m<sup>2</sup>

Recubrimientos = 100 Kg/m<sup>2</sup>

Peso propio de la losa = 450 kg/m<sup>2</sup>

-----  
800 Kg/m<sup>2</sup>

Se trata de un edificio de 24 x 18 m.

Peso total del entrepiso = 24 x 18 x 800 = 345.60 Ton

**Cálculo de las fuerzas de inercia.**

NIVEL	hi (m)	W <sub>i</sub> (ton)	W <sub>i</sub> hi	Fi Para Q=4	Fi Para Q=2
10	24.00	345.60	8294.00	36.89	73.78
9	21.60	345.60	7464.96	33.20	66.40
8	19.20	345.60	6635.52	29.51	59.02
7	16.80	345.60	5806.08	25.82	51.64
6	14.40	345.60	4976.64	22.13	44.26
5	12.00	345.60	4147.20	18.44	36.88
4	9.60	345.60	3317.76	14.75	29.50
3	7.20	345.60	2488.32	11.06	22.12
2	4.80	345.60	1658.88	7.37	14.74
1	2.40	345.60	829.44	3.68	7.36
<b>SUMA</b>		<b>3456.00</b>	<b>46618.8</b>		

$$V = W_{total} \frac{C}{Q}$$

**C = 0.24** ; Coeficiente sísmico correspondiente para el terreno de la zona III.

**Q = 4.00** ; Factor de reducción por ductilidad ( Representa el comportamiento sísmico de la estructura).

**Cálculo del cortante basal para Q = 4** (Valor incorrecto que se tomaba hasta antes de los sismos de 1985).

$$V_{bx} = 3456 \left( \frac{0.24}{4} \right) = 207.36 \text{ Ton}$$

$$F_i = \frac{W_i h_i}{\sum W_i h_i} V_x$$

**Cálculo del cortante basal para Q = 2 (Valor correcto)**

$$V_{bx} = 3456 \left( \frac{0.24}{2} \right) = 414.72 \text{ Ton}$$

Con este sencillo análisis podemos observar claramente que las fuerzas de inercia que actúan sobre el edificio se incrementan al doble lo cual es la causa principal del incremento de la fuerza cortante en toda la estructura principalmente en las conexiones columna-losa. Además de que produce una mayor deformación de la estructura contribuyendo a la falla por punzonamiento debido a la escasa ductilidad de estas.

A continuación mencionaremos tres casos de fallas que se presentan en las cubiertas.

#### **Caso 1 (Agregamiento en la zona de momento negativo de una losa)**

**Descripción:** Se trata de grietas longitudinales que corren sobre una losa de concreto, directamente sobre un muro de carga o una trabe.

**Causa que la produce:** Este tipo de grietas surgen por que no se colocó acero de refuerzo en la zona donde el momento es negativo, es decir en el tramo de losa que se encuentra por encima del muro o trabe, haciendo trabajar al concreto a esfuerzos de tensión que no le corresponden.

**Solución:** Una forma sencilla de solucionar el problema, es colocando una especie de engrapado con varillas, que abarque aproximadamente 1/5 del claro en ambos lados del

muro. Para esto primeramente se picara perfectamente toda el área, se harán una perforaciones para colocar las grapas los que rellenaremos con un adhesivo epoxico en pasta, después se impregnará la superficie picada con un adhesivo epoxico líquido y se colocara un recubrimiento de concreto de aproximadamente de 5 cm (Ver figura VI-4).

### Caso 2 (Encharcamiento en losas)

**Descripción:** Es una falla que muy frecuentemente vemos en losas de azotea, que es la formación de grandes charcos que producen goteras y demás problemas como son la formación de salitre, desprendimiento de plafones y corrosión del acero de refuerzo.

**Causa que la Produce:** Las causas fundamentales pueden ser:

a) Por la obstrucción de algún desagüe que fue mal calculado, que pudo haber sufrido taponamiento por hojas o algún otro objeto.

b) Y lo más grave es por un mal diseño de la losa, ya sea que no se revisaron las deformaciones o por que no se cimbro, armo ni se colo correctamente, etc.

**Solución:** La deflexión que sufre la losa la podemos corregir colando una viga de concreto al centro del claro de la losa, para lo cual se tendrá que apuntalar y ranurar la losa en toda una franja del ancho de la trabe, con el objeto de sujetar las varillas de la losa con las de la trabe. Después se procederá a levantar la losa muy lentamente y de forma uniforme con unos gatos hidráulicos para dejarla a nivel, después de esto se armara la trabe que se apoyara en las trabes laterales de la losa, se encachetará y se colara si es necesario con cemento resistencia rápida.

### Caso 3 (Formación de ampollas, ondulaciones y pliegues en las losas impermeabilizadas con cartón asfáltico)

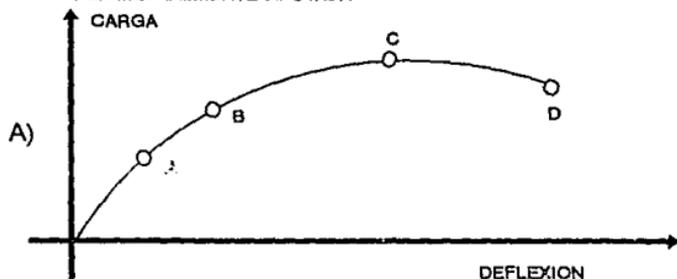
**Descripción:** En ciertos casos donde se usa cartón asfáltico para impermeabilizar

losas, se presentan ciertas ampollas de 10 a 20 cm y ondulaciones por falta de adherencia.

**Causa que la produce:** Este tipo de falla es ocasionada por que el impermeabilizante se colocó en una losa que estaba húmeda o por que en el momento de colocarlo quedó aire atrapado, de tal manera que en tiempo de calor cuando el cartón asfáltico es más flexible el aire o vapor de agua lo empujan formándose estos pliegues y ampollas.

**Solución:** En caso de que no exista filtración de agua al exterior de las habitaciones, no hay por que preocuparse, pero en caso contrario hay que reparar la zona dañada.

GRÁFICA CARGA-DEFLEXIÓN AL CENTRO DEL CLARO DE UNA LOSA PERIMETRALMENTE APOYADA

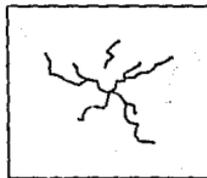
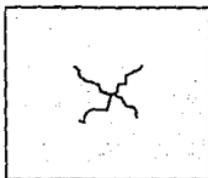


A .- AGRIETAMIENTO

B .- INICIO DE LA FLUENCIA DEL REFUERZO

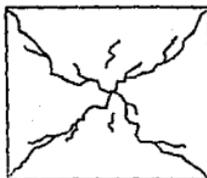
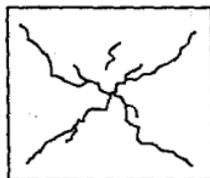
C .- RESISTENCIA

D .- COLAPSO



B) A) CARGA PEQUEÑA

B) CARGA REGULAR

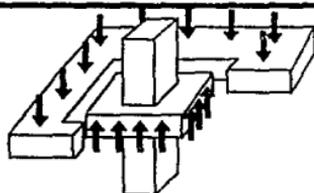


C) CARGA ALTA

D) CARGA DE FALLA

AGRIETAMIENTO CARACTERÍSTICO EN LOSAS PERIMETRALMENTE APOYADAS

FIGURA VI-1



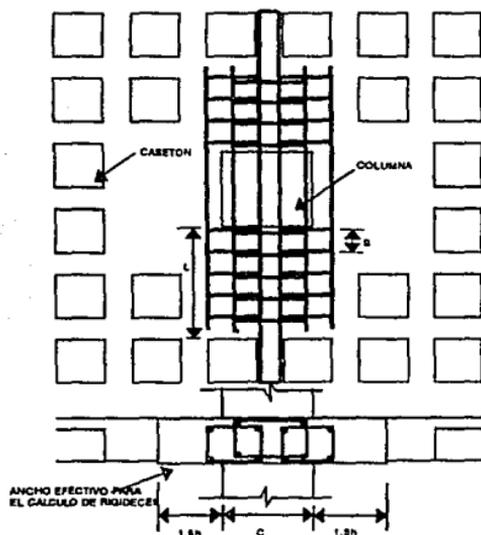
A) ESFUERZOS POR CARGA VERTICAL



AGRIETAMIENTO DIAGONAL A 45°

FALLA POR PUNZONAMIENTO

FIGURA VI-2 FALLA DE UNA LOSA PLANA POR CORTANTE



$$L > 1.5h$$

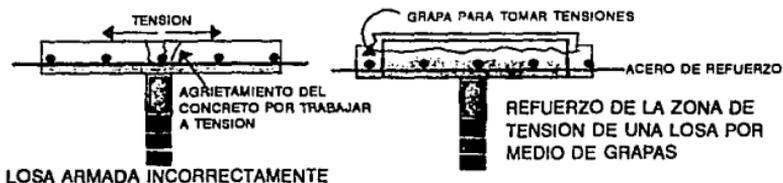
$$B < h/2$$

$$S < d/3$$

SOLO SE INDICA EL REFUERZO EFECTIVO PARA RESISTIR SISMO EN UNA DIRECCION; EN LA OTRA HABRA UN REFUERZO SIMILAR.

ANCHO EFECTIVO PARA EL CALCULO DE RIGIDEZ

FIGURA VI-3 REFUERZO EN LA CONEXION VIGA COLUMNA PARA RESISTIR FUERZAS SISMICAS.



LOSA ARMADA INCORRECTAMENTE

REFUERZO DE LA ZONA DE TENSION DE UNA LOSA POR MEDIO DE GRAPAS

FIGURA VI-4



**FIGURA VI-1 FALLA POR PUNZONAMIENTO DE LOSAS RETICULARES**

## CAPITULO VII

### DEFORMACION DE PUERTAS Y VENTANAS, CAUSAS QUE LAS OCASIONAN

Las **puertas y ventanas**, son elementos de los edificios cuyas funciones son proporcionar entradas y salidas de aire al interior de los locales, así como proporcionar un aislamiento térmico y acústico, evitar que el agua de lluvia penetre al interior de las habitaciones y por último permitir la entrada de la luz solar para tener iluminación natural durante el día.

La **deformación con la consecuente rotura de vidrios de puertas y ventanas es una fuente de daños o fallas no estructurales en edificios**. Al estudiar los efectos de los temblores de Septiembre de 1985 en los edificios del D.F. se pudieron observar frecuentes discrepancias entre los daños de muros y de vidrios, es decir en muchos edificios que resultaron dañados se pudo observar la rotura de prácticamente todos sus vidrios, pero sin embargo se pudo ver el caso de edificios extremadamente flexibles con muchos muros dañados que conservaron sus vidrios intactos. De lo que podemos concluir que las causas de tal diferencia de comportamiento fueron seguramente:

- A) **La dureza del mastique.**
- B) **La irregularidad del manguete o perfil.**
- C) **Y la holgura entre el vidrio y éste.**

Se han realizado en varias Universidades pruebas de laboratorio para investigar sobre el comportamiento de la rotura de vidrios de puertas y ventanas como producto de ciertas deformaciones angulares que pueden ser ocasionadas por algún sismo, asentamiento

diferencial de la construcción y grandes deflexiones.

En las que se han incluido las siguientes variables:

- 1.- Tamaño y forma del tablero.
- 2.- Calidad del mastique.
- 3.- Material de la manguetería.
- 4.- Holgura

Y se han obtenido expresiones para predecir la deformación de falla por rotura de vidrios, las que a continuación presentamos.

**A) Tablero de vidrio sencillo con mastique suave.**

$$\Psi = 2 \frac{c}{h} \left( 1 + \frac{h}{b} \right)$$

**B) Tablero sencillo con mastique endurecido.**

$$\Psi = 2 \frac{c}{h} \left( 1 + \frac{h}{b} \right) \left( 0.36 - 0.115 \frac{b}{h} \right)$$

Donde  $\Psi$  = Deformación angular límite.

$c$  = Holgura

$h$  = Altura

$b$  = Ancho

Basándonos en estas expresiones analicemos por que ocurre o puede ocurrir la rotura de vidrios.

Tomemos como ejemplo un ventanal o cancel que tienen tableros de vidrio muy grandes que pueden medir 2.40 por 2.40 metros al los cuales se les da una holgura

práctica de 0.5 cm en cada lado (Ver figura VII-1).

**Cálculo de la deformación angular ( Mastique endurecido)**

**Datos**

**c= 0.5 cm**

**b= 240 cm**

**h= 240 cm.**

$$\Psi = 2 \left( \frac{0.5}{240} \right) (1+1) (0.36 - 0.115) = 0.00204$$

**Deformación angular, que comparada con la permisible que es de 0.008 es mucho menor, lo que nos indica que se presentara la rotura de los vidrios al sobre pasarse la distorsión permisible. Entonces para evitar desperfectos requeriríamos de una holgura c de:**

$$c = \left( \frac{\Psi}{0.36 - 0.115} \right) \left( \frac{1}{1 + \frac{b}{h}} \right) \frac{h}{2}$$

$$c = \left( \frac{0.008}{0.36 - 0.115} \right) \left( \frac{1}{1+1} \right) \left( \frac{240}{2} \right)$$

$$c = (0.043)(0.5)(120)$$

$$c = 1.95 \text{ cm}$$

Por lo tanto se requiere de una holgura de 1.95 cm para evitar su rotura cuando se presentan distorsiones de 0.008. lo cual parecería exagerado para quienes se encargan

de colocarlos, pero no para una persona que tiene los conocimientos técnicos, que sabe las consecuencias que tendría ignorar tal separación.

**Cálculo de la deformación angular (Mastique suave)**

$$\Psi = 2 \left( \frac{0.5}{240} \right) \left( 1 + \frac{240}{240} \right) = 0.0083$$

Distorsión que resulta ser igual a la máxima permisible por el RCDF.

En resumen podemos afirmar que las posibles fallas en la cancelería de los edificios durante un sismo se puede deber a:

**A)** Proporcionar valores de holgura a los tableros de vidrio, iguales a las observadas en otros edificios sin tomar en cuenta la dureza del mastique.

**B)** Dar una holgura a los tableros de vidrio basándonos en los que se proporcionaron en un edificio que tiene una cancelería igual a la nuestra, pero que tiene mucha mayor rigidez que nuestro edificio.

Con estos dos ejemplos quiero dar a entender que para evitar fallas inesperadas debemos hacer los cálculos de la holgura para nuestro edificio en particular y no tratar de basarnos en otros edificios que pueden ser semejantes pero no iguales al nuestro.

**Revisión por rotura de vidrios según el RCDF**

A continuación analizaremos la expresión que nos proporciona el RCDF para la revisión por rotura de vidrios, que nos dice:

La holgura alrededor de cada tablero de vidrio o cada marco, no será menor que el desplazamientos relativo entre los extremos del tablero o marco, calculado a partir de la

deformación por cortante de entrepiso y dividido entre  $1 + H_v / B_v$ , es decir:

$$C = \frac{\text{Desplazamiento relativo entre los extremos del tablero}}{1 + \frac{H_v}{B_v}}$$

$$\Psi = \frac{\text{Desplazamiento relativo entre los extremos del tablero}}{H_v}$$

Desplazamiento =  $\Psi (H_v)$

$$C = \frac{\Psi (H_v)}{1 + \frac{H_v}{B_v}}$$

Donde:

**c** = holgura

**$\Psi$**  = Distorsión del tablero

**$H_v$**  = Altura del tablero

**$B_v$**  = Base del tablero

Aplicando esta expresión a nuestro ejemplo se tiene:

$$C = \frac{0,008 (240)}{1 + \frac{240}{240}} = 0,96 \text{ cm}$$

Comparando este valor con los anteriores se tiene.

$$0,5 \text{ cm} < 0,96 << 1,95 \text{ cm}$$

Resultado que nos obliga a dudar o a suponer una cosa que sin el análisis de las expresiones anteriores no sería posible y es que esta expresión solamente es válida en un 100 % para cancelería colocada con mastique suave (silicón), ya que si se emplea mastique duro la holgura obtenida es muy inferior a la obtenida con la expresión experimental.

Y generalmente podemos afirmar que las fallas en el funcionamiento de estas son como resultado de un malo o nulo mantenimiento y una protección inicial inadecuada e insuficiente.

En las **puertas y ventanas de madera** los ensambles de las esquinas son los puntos críticos, pues cuando pierden su impermeabilidad, puede penetrar fácilmente la humedad por los perfiles de madera, generando problemas tales como: desprendimiento de la pintura o barniz y la deformaciones de la madera con su consecuente rotura de vidrios.

Y las juntas pueden fallar principalmente por las variaciones volumétricas de la madera, ocasionadas por un incremento en la temperatura y absorción de agua en el caso de que penetre a través de una delgada capa de barniz o de pintura. Pero también puede penetrar por las juntas de sellado que se colocan entre el vidrio y el marco, pues en ocasiones los vidrieros usan petróleo para disminuir la fricción y limpiar la zona de corte, lo cual hace que la masilla silicona no se adhiera correctamente.

En el caso de la **carpintería metálica** la causa principal que puede producir desperfecto son la falta de mantenimiento contra la corrosión, que produce pérdida de sección y rotura de vidrios por el empuje de las escamas de óxido sobre estos.

En lo referente a **puertas y ventanas de aluminio** las fallas se reducen a la rotura de vidrios por que se deja un espacio muy pequeño entre estos y el marco lo que impide la libre dilatación del vidrio por temperatura. Y otra causa de rotura es que al apoyar el vidrio directamente sobre el marco, cualquier irregularidad en el corte del vidrio ocasionará una concentración de esfuerzos en la zona irregular, que producirá su rotura.

Y en general para puertas y ventanas de cualquier material, una causa frecuente de falla es su deformación ocasionada por la deflexión de las vigas de cerramiento mal diseñadas que ejercen una presión sobre estas, lo que produce una dificultad al abrirlas o cerrarlas, además de causar la rotura de vidrios (**Ver fotografía VII-1**).

A continuación mencionaremos un caso de fallas que puede ser cometido por

desconocimiento, prisas en la terminación del trabajo, escasa supervisión, etc. que además nos sirve para demostrar que la deformación de puertas y ventanas no solo ocurre por efectos sísmicos o grandes deflexiones de los elementos.

**Caso 1 (Deformación de puertas y ventanas de madera colocadas antes del emboquillado)**

**Descripción:** Las puertas y ventanas de madera de una casa habitación sufrieron grandes deformaciones al poco tiempo de ser colocadas, ofreciendo cierta resistencia al ser abiertas o al cerradas, notándose un leve pandeo de los marcos hacia adentro. En casos graves de pandeo puede haber rotura de vidrios.

**Causa que la produce:** La causa que origino este desperfecto fue por el error de haber colocado las puertas y ventanas antes de haber emboquillado, pues parte del agua del mortero o yeso frescos usados en las boquillas fue absorbido por la madera de los marcos de puertas y ventanas ocasionando su deformación.

**Solución:** La solución más económica sería que se quitaran las puertas y ventanas para que se trataran de enderezar humedeciéndolas nuevamente y aplicándoles una cierta carga durante determinado tiempo, pero en casos grave se procederá a sustituir las piezas mas dañadas o se sustituirán totalmente.

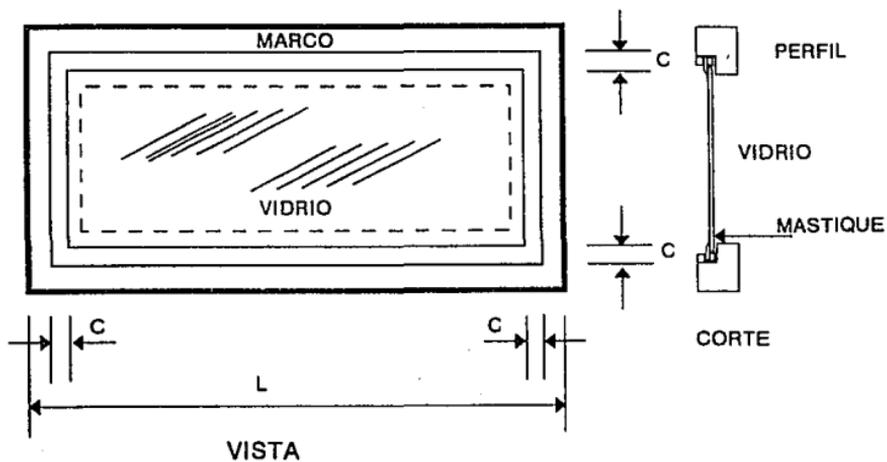


FIGURA VII-1 HOLGURAS ENTRE VIDRIO Y MANGUETE



FOTOGRAFIA VII-1 DEFORMACION Y VIDRIOS ROTOS DE UNA VENTANA POR DEFLEXIONES EXCESIVAS DE LA ESTRUCTURA

## CAPITULO VIII

### FALLAS PRINCIPALES EN INSTALACIONES HIDRAULICA Y SANITARIA

#### Introducción

La fallas en las instalaciones hidráulica y sanitaria, se refieren principalmente a aquellas que producen un mal funcionamiento que afecta su eficiencia para el desalojo o transporte de las aguas negras y potable respectivamente

En este capítulo describiremos lo que es una instalación hidráulica y sanitaria, para tener un panorama general de lo que aquí se tratara, posteriormente mencionaremos algunas fallas que se presentan durante la etapa de construcción y durante la etapa de servicio de la instalación.

**Instalación hidráulica:** Es el conjunto de tinacos, cisternas, tuberías de succión, descarga y distribución, válvulas de control, válvulas de servicio, bombas, calentadores, muebles, etc. necesarios para proporcionar agua fría y caliente en una edificación. Que debe cumplir con los siguientes objetivos.

#### Objetivos de la instalación hidráulica

- 1.- Suministrar agua en cantidad suficiente.
- 2.- Con una presión adecuada.
- 3.- De buena calidad (potable).
- 4.- Suministro continuo.

Y esta integrado por dos partes fundamentales que son:

**a) Alimentación:** La cual consta de una abrazadera que se conecta directamente al tubo de la red municipal, una llave de inserción, un tubo flexible que llega hasta la llave

de banqueta, otro tubo flexible entre esta y el cuadro o caballete que forma la tubería a la entrada, en donde se coloca una llave de paso, el medidor y una llave de nariz.

**b) Sistema de abastecimiento de agua fría:** Siendo este el que se encarga de distribuir o manejar el agua dentro de la edificación. Pudiéndolo hacer de tres formas fundamentales que a continuación mencionaremos.

- 1.- Sistema de abastecimiento directo.
- 2.- Sistema de abastecimiento por gravedad.
- 3.- Sistema de abastecimiento con sistema de presión independiente.

Muchas de las fallas que ocurren en las instalaciones hidráulicas se deben en gran medida a que se hace caso omiso de los artículos del **Reglamento de Instalaciones hidráulicas y del Reglamento de Construcciones del Distrito Federal**, lo cual genera graves problemas tales como falta de suministro, escasa presión en los muebles y aparatos así como contaminación de los depósitos de almacenamiento y algunas otras fallas que a continuación mencionaremos.

### Fallas más comunes

En seguida hablaremos del fenómeno que se produce en las tuberías de agua y que ocasiona ciertos desperfectos y ruidos desagradables en la instalación hidráulica. Se trata del **golpe de ariete**.

#### **Golpe de ariete**

Se le conoce técnicamente como presión dinámica, que se origina por el cambio de energía cinética o energía de movimiento de los fluidos dentro de las tuberías a energía de presión.

Descrito de manera sencilla, se puede decir que es el aumento de presión que reciben las tuberías, conexiones y válvulas en su parte interior, cuando se cierra cualquiera de

estas últimas, al frenar en forma brusca el paso del agua, pues la energía dinámica adquirida por el movimiento se convierte en energía de presión.

El golpe de ariete dentro de las tuberías no se puede eliminar por que es un comportamiento normal de los líquidos, pero si lo podemos mitigar por medio de elementos muy sencillos tales como:

a) En las tuberías horizontales se mitiga colocando atraques en los cambios de dirección.

b) En las tuberías de descarga de los equipos de bombeo se controla instalando válvulas check.

c) En las alimentaciones de los muebles sanitarios se controla instalando cámaras de aire antes de las válvulas, para que cuando se frene en forma brusca el paso del agua por el cierre de las válvulas, la parte alta de las cámaras sirva como colchón amortiguador, funcionando como una cámara de oscilación.

Dicho golpe de ariete produce fuertes ruidos característicos molestos para las personas, además de los daños que causa a la instalación, obligándonos a realizar un mayor mantenimiento de cambio de partes de las válvulas, empaques, etc.

### **Análisis numérico del golpe de ariete**

Para comprender mejor los efectos que produce el golpe de ariete analizaremos un edificio de departamentos de 10 niveles (**Figura VIII-1**) que supondremos que no tiene ningún dispositivo para mitigar las sobrepresiones que éste produce. Estos dispositivos a los que nos referimos son principalmente las cámaras de aire que se colocan antes de las salidas de los muebles sanitarios, jarros de aire y válvulas check; igualmente analizaremos los efectos que tiene el aumento de velocidad del líquido sobre la intensidad del golpe de ariete.

#### **Análisis:**

## Cálculo del gasto máximo instantáneo de la planta tipo

Tramo	Muebles	q unitario (l/s)	% Simultaneidad	Qmi (l/s)
1-2	Regadera	0.10	100	0.10
2-3	Regadera Lavabo	0.10	100	0.10
		0.10	100	0.10
				0.20
3-4	Regadera Lavabo W.C.	0.10 -	100	0.10
		0.10	100	0.10
		0.10	100	0.10
				0.30
4-5	Regadera Lavabo W.C. Fregadero	0.10	100	0.10
		0.10	100	0.10
		0.10	100	0.10
		0.15	100	0.15
				0.45
5-6	Regadera Lavabo W.C. Fregadero Lavadero	0.10	100	0.10
		0.10	100	0.10
		0.10	100	0.10
		0.15	100	0.15
		0.20	100	0.20
				0.65
6-7	Regadera Lavabo W.C. Fregadero Lavadero Llave	0.10	100	0.10
		0.10	100	0.10
		0.10	100	0.10
		0.15	100	0.15
		0.20	100	0.20
		0.20	100	0.20
				0.85

Pero como tenemos dos departamentos por nivel  $Q_{mi}=2(0.75)= 1.70$  l/s

Cálculo del gasto máximo instantáneo por grupo de muebles.

Tramo	Q/Planta (l/s)	Grupo de muebles	% simultaneidad	Qmi (l/s)
7-8	1.70	1	100	1.70
8-9	1.70	2	90	3.06
9-10	1.70	3	85	4.08
10-11	1.70	4	80	5.44
12-13	1.70	5	75	6.375
13-14	1.70	6	70	7.14
14-15	1.70	7	67	7.97
15-16	1.70	8	64	8.704
16-17	1.70	9	64	9.79
17-18	1.70	10	55	9.35

A continuación calcularemos los diámetros, velocidad y pérdidas en las diferentes secciones. Y para ello emplearemos las siguientes expresiones:

$$\text{Diámetro} = d = \sqrt{\frac{4Q}{\pi v}}$$

$$\text{Velocidad} = v = \frac{Q}{A}$$

supondremos una velocidad permisible de 1.5 m/s

$$\text{Pérdidas por fricción} = H_f = \frac{10.33n^2}{D^{16/3}} Q^2 L$$

## Diseño de la instalación

Tramo	Long. del tramo	Qmi (Vs)	Diámetro		plezas especiales	Long. Equiv.	Long. (m)	hfdg
			Teórico	Comercial				
			mm	mm				
1-2	1	0.10	9.20	13	1 codo	0.5	1.5	0.
2-3	1	0.20	13.01	13	1 te	0.15	1.15	0.31
3-4	4	0.30	15.93	19	1 te 1 red.	0.20 0.30	4.50	0.36
4-5	3	0.45	19.51	19	1 te	0.20	3.20	0.54
5-6	2	0.65	23.45	25	1 te 1 red.	0.30 0.65	2.95	0.24
6-7	3	0.85	26.82	25	1 te	0.30	3.30	0.45
7-8	2.5	1.70	37.93	40	1 te 1 codo	0.50 1.32	4.32	0.29
8-9	2.5	3.06	50.89	50	1 te 1 codo	0.50 1.32	4.32	0.21
9-10	2.5	4.08	58.76	50	1 te 1 codo	0.50 1.32	4.32	0.37
10-11	2.5	5.44	67-85	65	1 te 1 codo 1 red.	2.31 2.0	6.81	0.31
11-12	2.5	6.37	73.42	65	1 te 1 codo	2.31	4.81	0.31
12-13	2.5	7.14	77.73	80	1 te 1 codo 1 red.	2.30 1.54 0.80	7.14	0.23
13-14	2.5	7.97	77.73	80	1 te 1 codo	2.30 1.54	7.14	0.23
14-15	2.5	8.70	85.8	80	1 te 1 codo	2.30 1.54	7.14	0.34
15-16	2.5	9.79	91.02	80	1 te 1 codo	2.30 1.54	6.34	0.38
16-17	2.5	9.35	88.95	80	1 te 1 codo 1 llave flotador 2 codos	3.84 0.81 0.81 4.0	11.9 6	0.66

## Cálculo de la sobrepresión por golpe de ariete

Tramo	Mueble	Qm <sup>l</sup> l/s	d (m)	V m/s	hi mca	Hd <sub>is</sub> mca	H mca	Esf. Kg/cm <sup>2</sup>	FRT Kg/cm <sup>2</sup>	FRS Kg/cm <sup>2</sup>
1-2	Reg.	0.10	.013	0.75	95.8	22.4	118	11.8	28.3	16
2-3	Lav.	0.20	.013	1.50	192	22.3	214	21.4	28.3	16
3-4	W.C.	0.30	.019	1.05	130	22.9	152	15.5	23.1	16
4-5	Freg	0.45	.019	1.58	196	21.6	217	21.7	23.1	16
5-6	Lava dero	0.65	.025	1.38	160	21.1	181	18.1	19.6	16
6-7	Llav	0.85	.025	1.73	208	20.8	228	22.8	19.6	16
7-8		1.70	.025	1.35	159	20.4	179	17.9	19.0	14

$$\text{Donde... } h_i = \text{Golpe de ariete} = \frac{145V}{\sqrt{\frac{1 + (Ea)(d)}{(Et)(e)}}$$

H<sub>dip</sub> = Carga disponible en metros de columna de agua.

FRT = Esfuerzo resistente del tubo.

FRS = Esfuerzo resistente de la soldadura.

## Conclusiones

1.- En todos los muebles la presión en la tubería, por carga disponible y por golpe de ariete resulta menor que el esfuerzo resistente de la tubería de cobre, pero es mayor que la resistencia de la soldadura (50 - 50), por lo que podemos afirmar que si la sobrepresión en la instalación hidráulica, no es mitigada con jarros, cámaras de aire y válvulas check en los muebles y bombas, pueden generarse fugas constantes en las piezas especiales (codos, te, coples, etc.) y sobre todo múltiples averías en las válvulas

y llaves.

2.- Como se puede observar claramente en el análisis anterior, el golpe de ariete aumenta conforme aumenta la velocidad, por lo que una reducción del diámetro del tubo en alguna sección de la instalación, por algún tipo de error producirá un aumento en la velocidad del agua y por lo tanto un aumento del golpe de ariete.

Como ejemplo podemos analizar el tramo 5-6 en el que se pondrá el diámetro anterior al calculado, error muy común que se puede cometer.

$$Q = 0.65 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$D = 1.9 \text{ cm}$$

$$V = Q/A = 2.29 \text{ m/s}$$

$$h_i = \frac{145 (2.29)}{\frac{\sqrt{1 + E a (E t)}}{E t (e)}} = 282.74 \text{ m. c. a.}$$

La presión que actúa sobre el tubo =  $28.27 + 2.11 = 30.38 \text{ Kg/cm}^2$

Presión que sobrepasa la presión que puede resistir la tubería y la soldadura (50-50), lo que ocasionara constantes fugas si no se colocan jarros y cámaras de aire.

#### **fallas por oxidación galvánica o bimetalica**

Esta puede ser una de las fallas más frecuentes en la construcción de una instalación hidráulica por emplear material diferente, por ejemplo el cobre y el hierro galvanizado. Lo que contribuye a una oxidación acelerada del hierro (oxidación galvánica).

Se produce cuando dos metales distintos se ponen en contacto en presencia de una disolución conductora de la electricidad. Resulta tan fatal que llega a desgastar y a perforar las conexiones, por esto es que nunca se deben unir en forma directa las tuberías de cobre con las de hierro, pero cuando sea necesario será recomendable emplear un niple de PVC para evitar el contacto, es decir para que la haga de puente, tal como se ve en la **Figura VIII-2**.

A continuación describiremos algunos de los desperfectos que se pueden producir en los elementos de una instalación hidráulica, así como la causa que la produce y su posible solución.

### **Caso 1 (Fugas en las juntas de tuberías de agua caliente por dilatación y fatiga)**

**Descripción:** Son fugas que pueden ir desde un pequeño goteo hasta un escurrimiento grave.

**Causa que la produce:** Si la fuga ocurrió inmediatamente después de que se terminó la instalación, esta se deberá a una mala ejecución, pero si ocurrió después de pasado un tiempo se puede deber a cambios volumétricos que provocan esfuerzos que produce fatiga en los materiales llevándolos a la falla.

**Solución:** Se procederá a la simple sustitución de las piezas dañadas cuidando que la tubería tenga mas espacio para absorber cambios volumétricos.

### **Caso 2 (Obstrucción de las tuberías por acumulación de cal)**

**Descripción:** El gasto que circula a través de la tubería va disminuyendo con el paso del tiempo hasta llegar a una cantidad insignificante (**Ver fotografía VIII-1**).

**Causas que la produce:** En las comunidades que son abastecidas con aguas duras, es decir que contienen disueltas grandes cantidades de minerales, tales como el carbonato de calcio, se tapan las tuberías por la sedimentación de este mineral, siendo mayor en las tuberías y depósitos de agua caliente, ya que a mayor temperatura tiende a precipitarse.

**Solución:** Se procederá a desmontar las tuberías para localizar la obstrucción y de esta manera sustituir el tubo y piezas dañadas, y se recomendará la instalación de un dispositivo ablandador, cuya misión será eliminar dicho compuesto del agua.

### **Caso 3 (Golpe de ariete en las tuberías)**

**Descripción:** Se oye un ruido característico al cerrar alguna llave, que va acompañado de unas vibraciones muy aparatosas en las tuberías.

**Causa que la produce:** Es un efecto normal que no podemos eliminar por completo, pero si lo podemos mitigar, entonces seguramente la falla se debió a que no se colocaron cámaras de aire antes de la descarga de los muebles sanitarios.

**Solución:** Se verificara cual mueble produce tal efecto y se procederá a colocar sus respectivas cámaras reductoras de presión.

### **FALLAS PRINCIPALES EN INSTALACION SANITARIA**

**Instalación sanitaria:** Es el conjunto de tuberías de conducción, conexiones, obturadores hidráulicos, como sin las trampas tipo "S" y "P", sifones, cespoles, coladeras, etc, necesarios para la evacuación, obturación y ventilación de las aguas negras y pluviales de una edificación. Cuyas partes principales son las que a continuación mencionaremos.

#### **Partes principales de una instalación sanitaria**

**Red de canalización:** Su función es transportar las aguas servidas del edificio, a la alcantarilla y unir el registro de terminación del albañal con la red pública.

**Albañal colector:** Es el conducto colocado en el nivel más bajo del edificio al cual se colocan todos los bajantes.

**Bajantes:** Son las tuberías verticales que conducen las aguas pluviales y las aguas servidas o ambas a la vez, si es que el sistema de drenaje de la colonia es combinado. Con lo que respecta a las bajantes de aguas pluviales se conectaran directamente a las coladeras de las azoteas y a los ramales de la planta baja.

**Ramaleo:** Son tuberías que unen a los muebles, coladeras y cespoles con los

bajantes.

**Registros:** Son cajas que se preparan en una red para inspeccionar el interior de la misma, para lo cual se podrá retirar y poner una tapa a voluntad.

**Tuberías de ventilación:** Como las descargas de los muebles sanitarios son rápidas, dan origen al golpe de ariete, provocando presiones o subpresiones tan grandes dentro de las tuberías, que en un momento dado pueden anular el efecto de las trampas de agua, obturadores o sellos hidráulicos, perdiéndose el cierre hermético y dando oportunidad a que los gases y malos olores penetren a las habitaciones.

**Obturadores hidráulicos:** Estos son trampas hidráulicas que se instalan en los desagües de los muebles sanitarios y coladeras, para evitar que los gases y malos olores penetren en las habitaciones.

Mencionando nuevamente al igual que en la instalación hidráulica si se hace caso omiso de alguno(s) de los artículos del **Reglamento de Instalaciones Sanitarias y del Reglamento de Construcciones para en Distrito Federal**. Seguramente habrá problemas con nuestra instalación sanitaria, en lo que se refiere a la proliferación de malos olores, obstrucciones, poca eficiencia, contaminación de fuentes de agua potables, etc ya que la práctica así lo demuestra.

A continuación mencionaremos algunas de las fallas que más se presentan dentro de una instalación sanitaria durante la construcción y su período de servicio.

#### **Posibles fallas provocadas durante su construcción**

Las fallas que se pueden cometer al construir una instalación sanitaria pueden ser muchas, tales como las que menciono a continuación:

- 1.- Fallas por sifonamiento.**
- 2.- Disminución del diámetro de la tubería aguas abajo.**
- 3.- Disminución de la pendiente hidráulica aguas abajo.**
- 4.- Descarga ahogada.**

- 5.- cambio de dirección en albañales.
- 6.- Fallas constructivas propiamente dichas.
- 7.- Error en la conexión de la descarga domiciliaria con la atarjea general.
- 8.- Colchón de relleno poco profundo.

**Comentarios:**

1.- Fallas por sifonamiento: Este tipo de fallas se caracteriza por la absorción del sello hidráulico y la expulsión de malos olores dentro de las habitaciones, que es ocasionada por una deficiente o nula ventilación de la instalación. Podemos distinguir dos tipos de sifonamiento que son:

- a) Sifonamiento por compresión.
- b) Sifonamiento por aspiración.

En la figura VIII-3, se observa que al descargar el inodoro del piso superior, el agua y productos solidos forman en la B.A.N. un pistón hidráulico que al bajar comprime el aire que hay debajo, expulsando los malos olores por los sifones del baño inferior, pero en los baños de arriba forma un vacío que absorbe el sello hidráulico, dejando pasar los malos olores.

**2.- Disminución del diámetro de la tubería aguas abajo:**

En este caso al mantenerse constante la pendiente  $S_1$  y reducirse el diámetros  $d_2$  del tubo aguas abajo, como se puede observar en la figura VIII-4, se reduce con esto el área hidráulica, y por consiguiente el gasto desalojado  $Q_2$  será menor que el gasto  $Q_1$ , pero según las ecuaciones de continuidad el gasto que entra debe ser igual al que sale implicando con esto que  $Q_1 = Q_2$ , ocasionando una reducción de la velocidad del líquido aguas arriba (sección 1), con la consecuente sedimentación de partículas. Como ejemplo para demostrar tal efecto consideremos un tubo de Diámetros  $d_1=38$  cm y otro tubos de sección menor de  $d_2 = 20$  cm los dos de concreto, colocados con una pendiente constante de  $S_0= 0.0014$ , que es la pendiente mínima para evitar la sedimentación de

las partículas en el tubo de 38 cm.

A continuación presentamos el análisis y los resultados ocasionados por esta falla.

Primeramente calcularemos los elementos **S** y **Q** correspondientes para mantener una velocidad mínima que evite la sedimentación de partículas.

$n = 0.013$  correspondiente para un tubo de concreto.

$$Rh = \frac{D}{4}$$

$$A = \frac{3.1416D^2}{4}$$

$$S = \left( \frac{Vn}{Rh} \right)^2$$

$$Q = \frac{1}{n} \left( \frac{d}{4} \right)^{\frac{2}{3}} (S)$$

Diámetro	n (concreto)	Rh (m)	A (m <sup>2</sup> )	Vmín (m/s)	S	Q (m <sup>3</sup> /s)	Q (l/s)
38	0.013	0.095	0.113	0.600	0.001	0.067	67.96
20	0.013	0.050	0.031	0.60	0.003	0.018	18.84

Pero como el tubo de diámetro pequeño tiene que mantener la pendiente con la que se colocó el tubo mayor, entonces la velocidad y gasto variarían.

por otra parte como el gasto de entrada debe ser igual de la salida  $Q_1=Q_2$ , el gasto

que podrá transportar el tubo mayor será el mismo que transporta el tubo menor.

Los resultados son los siguientes:

Diámetro	n (concreto)	Rh (m)	A (m <sup>2</sup> )	S	Q (m/s)	Q (l/s)	V (m/s)
20	0.013	0.05	0.031	0.001	0.122	12.27	0.390
38	0.013	0.95	0.113	0.001	0.122	12.27	0.108

Como, podemos observar al colocarse el tubo de diámetro menor con una pendiente menor  $S_2 = S_1 = 0.0014$  que es menor a la mínima permisible para este tubo, se produce una disminución de velocidad de **0.60 m/s a 0.39 m/s**, ocasionando una reducción del gasto desalojado y una sedimentación de partículas en este tramo.

Con lo que respecta al tubo de diámetro mayor, debido a la reducción súbita del área hidráulica en su salida, el gasto que podrá desalojar es el que desaloja el tubo pequeño como ya lo mencione, produciendo una reducción en la velocidad del flujo de **0.60 a 0.11 m/s**, contribuyendo a la sedimentación.

Por esto es que por regla general no se debe reducir la tubería aguas abajo, ya que por la acumulación de gastos siempre debe ser de diámetros igual o mayor.

### 3.- Disminución de la pendiente hidráulica aguas abajo (Figura VIII-5).

En este caso al disminuir la pendiente hidráulica y conservar el mismos diámetros del tubo, se interrumpe el régimen de velocidad, contribuyendo a que los sólidos se sedimenten en la tubería. Como ejemplo tomemos un tubo de diámetro constante  $d = 20$  cm, con una pendiente  $S_1 = 0.08257$  en la primera sección aguas arriba y una pendiente  $S_2 = 0.0033$  en la sección dos aguas abajo, donde  $S_1 > S_2$ .

Estas pendientes escogidas son las correspondientes para mantener una velocidad máxima y mínima permisible de **3 m/s y 0.6 m/s** respectivamente. Los resultados

obtenidos son los siguientes:

Díámetro (cm)	n (concreto)	Rh (m)	A (m <sup>2</sup> )	S	Vmín (m/s)	Q (m/s)	Q (l/s)
d1 = 20	0.013	0.05	0.031	0.082	3	0.094	94.2
d2 = 20	0.013	0.05	0.031	0.003	0.6	0.018	18.84

De este sencillo análisis podemos concluir que efectivamente disminuye la velocidad y por lo tanto el gasto transportado es menor y con lo que respecta a la sedimentación si las pendientes  $S_1$  y  $S_2$  son mayores que la mínima permisible no habrá problemas

#### 4.- Descarga ahogada (Figura VIII-6).

Esta falla puede ser provocada por que en un registro o pozo de visita, el tubo de salida tiene un nivel de plantilla mayor que el de llegada, generando un remanso aguas arriba, haciendo que la tubería de llegada trabaje como un conducto a presión, por la reducción de la velocidad y gasto.

5.- cambio de dirección en albañales (Figura VIII-7). Los cambios de dirección producen una reducción del gasto Q al aumentar las pérdidas de energía por la turbulencia que se produce en cada cambio de dirección.

#### 6.- Fallas constructivas proplamente dichas.

Aquí nos referimos principalmente a:

**b) Un mal sellado de las juntas (figura VIII-8a).** Esto es muy frecuente principalmente en tubos de concreto, pues los trabajadores por facilidad tienden todos los tubos en la sanja para posteriormente agregarles mortero solamente en la parte superior y exterior de la campana, en lugar de que agreguen primero el mortero dentro de la campana y luego colocar el siguiente tubo para lograr el sellado.

**b) Otra falla poco frecuente ocurre por colocar la tubería por su parte débil (figura VIII-8b).** Como sabemos los moldes de fabricación de tubería de concreto simple, dejan una

zona debilitada, misma que hay que considerar cuando se coloque la tubería.

c) Trato rudo durante el transporte que ocasiona sin duda una pérdida de resistencia, lo que puede ocasionar que se rompa hasta con el peso del relleno.

**7.- Error en la conexión de la descarga domiciliaria con la atarjea general (figura VIII-8c).** Cuando la descarga domiciliaria se conecta a nivel de la plantilla con la atarjea, conlleva a interrumpir el régimen de velocidades por una disminución del área hidráulica, con su consecuente sedimentación, que puede llevar a obstruir la tubería.

**8.- Colchón de relleno poco profundo:** Cuando los albañales de una instalación sanitaria se dejan a poca profundidad (Por diferentes razones), se corre el riesgo de que sean rotos constantemente por los vehículos, al no contar con la protección de un colchón de relleno mínimo.

**Fallas principales ocurridas durante su período de servicio.**

#### **Caso 1 (Escapes en la red de evacuación por hundimientos de la tubería y por ataque de sulfatos )**

**Descripción:** Son fugas de agua servida, de los albañales, que se manifiesta por manchas de humedad en el los pisos y muros, que se expanden día a día.

**Causa que la produce:** Los agrietamientos de la tubería puede ser por hundimientos ocasionados por una mala compactación de la plantilla donde se aloja los tubos, por el asentamiento del terreno, por el peso de vehículos, o por el asentamiento de la construcción, así como por el ataque de sulfatos.

**Solución:** Para el primer caso se excavará para reparar la tuberías poniéndola con su pendiente original; Para el segundo caso se reparara la instalación colocando juntas flexibles capaces de absorber posibles movimientos, pero si en hundimiento es muy grande entonces se tendrá que instalar equipo de bombeo. Y para el último caso se tendrá que sustituir la tubería por una fabricada con cemento tipo 5 para que resista el

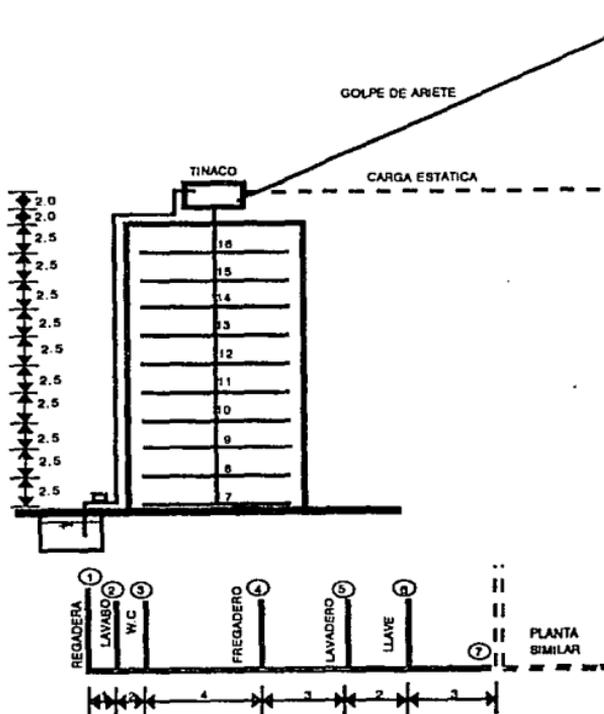
ataque de sulfatos.

### **Caso 2 (evaporación del sello hidráulico en coladeras)**

**Descripción:** ciertas cespoles localizadas en medios baños principalmente de oficinas en donde el agua prácticamente no escurre agua a las coladeras, despiden un mal olor.

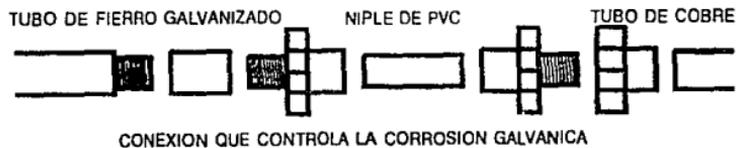
**Causa que la produce:** La causa fundamental es por que por el cespole de bote de la coladera no pasa ninguna corriente de agua que mantenga el sello hidráulico, por lo que al evaporarse el sello salen los malos olores (**Figura VIII-9**). El ritmo de evaporación se estima en 2.5 a 3 mm por semana.

**Solución:** La solución será modificar la instalación de tal modo que exista una corriente de agua que pase frecuentemente por el cespole.



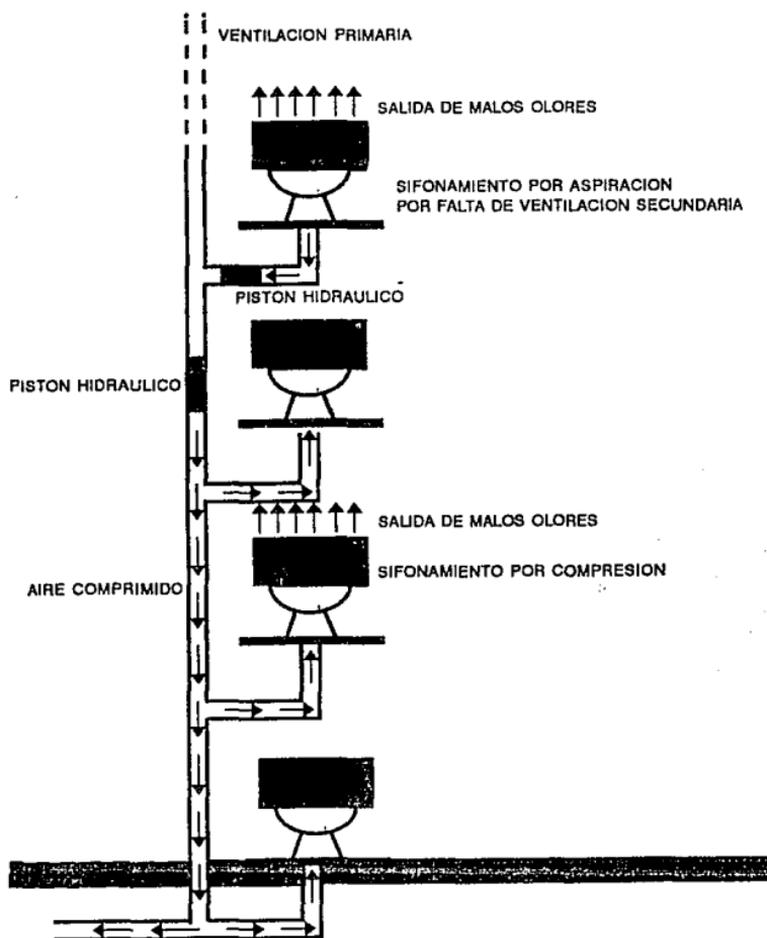
ANALISIS DEL GOLPE DE ARIETE EN UN EDIFICIO DE 10 NIVELES.

FIGURA VIII-1



CONEXION QUE CONTROLA LA CORROSION GALVANICA

FIGURA VIII-2



SIFONAMIENTO EN INSTALACIONES SANITARIAS

FIGURA VIII-3

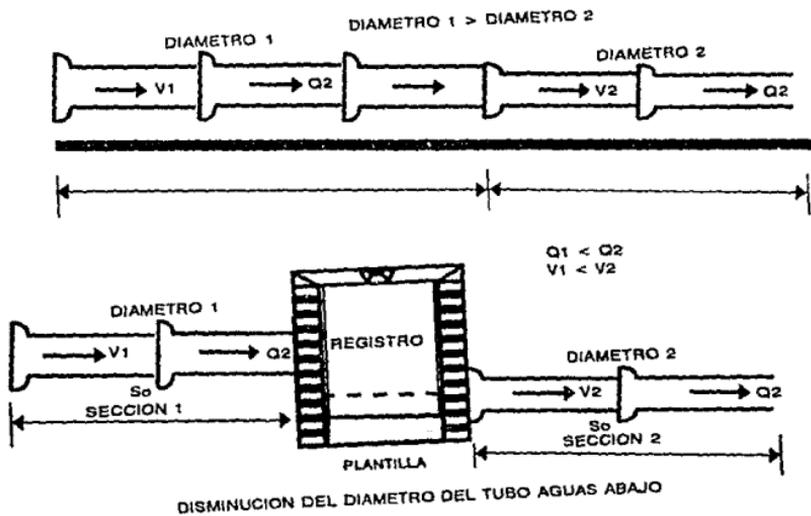


FIGURA VIII-4

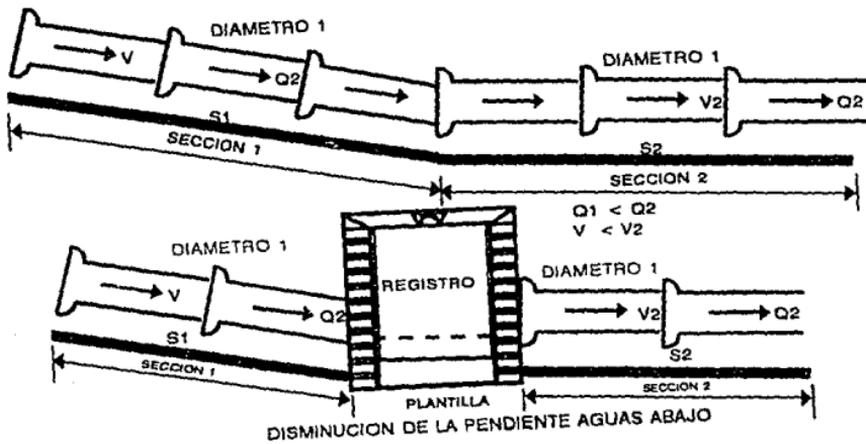
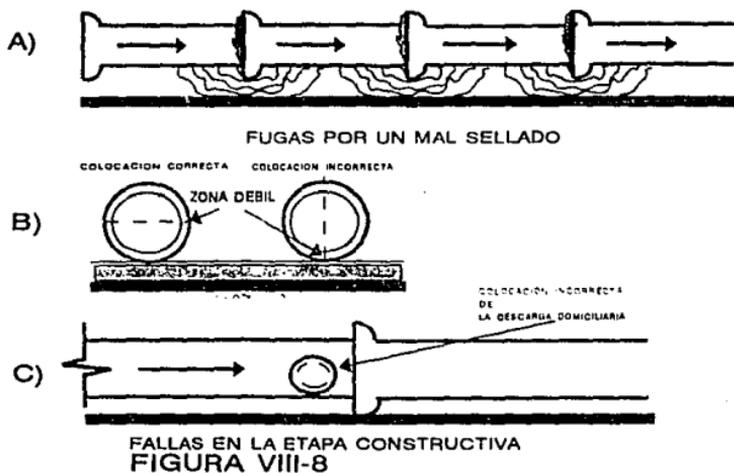
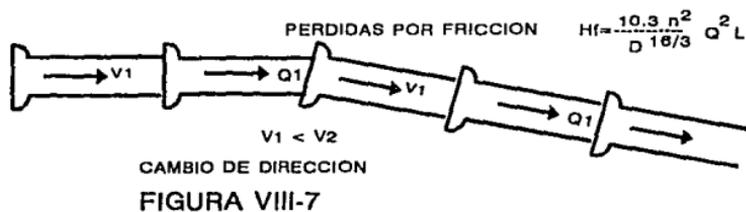
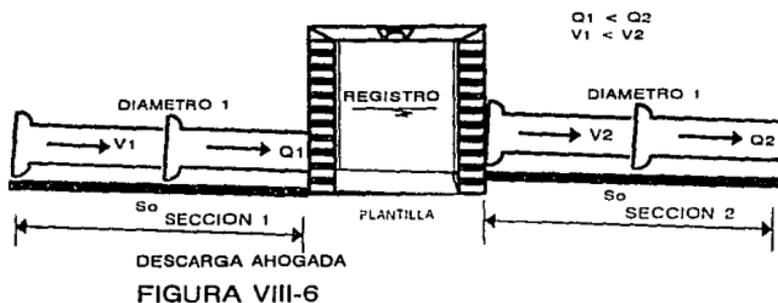


FIGURA VIII-5



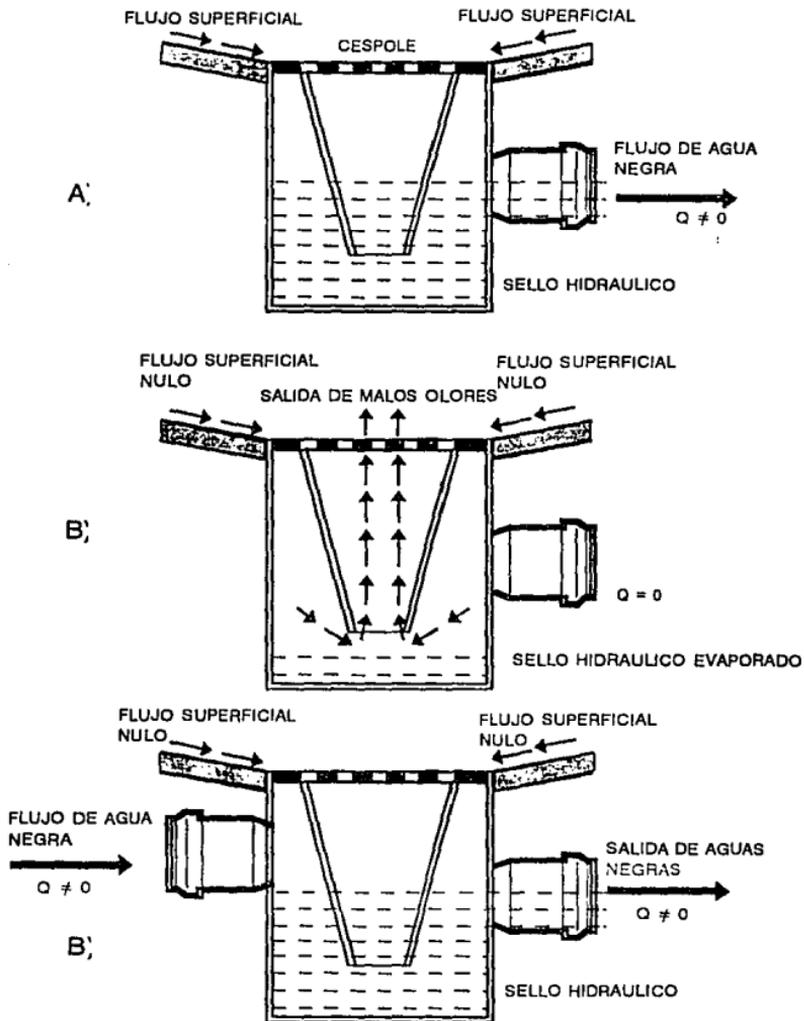


FIGURA VIII-9 EVAPORACION DEL SELLO HIDRAULICO

# CAPITULO IX

## FALLAS APARENTES

En este capítulo hablaremos de las fallas aparentes, es decir aquellas fallas que se presentan en elementos no estructurales, refiriendonos principalmente a los recubrimientos del interior, fachadas y plafones de los edificios, que no representan ningún riesgo para la estabilidad del edificio, pero si afectan su correcto funcionamiento. Primeramente mencionaremos las fallas que se pueden presentar por efectos sísmicos y finalmente las debidas a errores por emplear una mano de obra no calificada

### **Fallas por efectos sísmicos**

Se ha comprobado, haciendo referencia a los sismos de 1985, que muchos constructores de edificios prestan muy poca atención a los daños que pueden sufrir los acabados ante un sismo, pues generalmente se gasta dinero de manera exagerada en materiales de recubrimiento tales como granito, mármol, terrazo de buena calidad, etc. los cuales son los primeros en destruirse y despegarse ante un movimiento sísmico, debido a un mal comportamiento de la base donde se aplican, refiriéndome principalmente a los muros de mampostería.

Generalmente el constructor siempre tiene dos opciones en lo referente a la protección de los recubrimientos contra la acción sísmica que son:

- a) **Desligar los muros y acabados de la estructura para que las deformaciones de ésta no le afecten.**
- b) **Ligarlos de la estructura pero limitando o restringiendo los desplazamientos laterales de ésta para que no le transmita esfuerzos excesivos a los muros y acabados.**

Ambas soluciones requieren de atenciones especiales para evitar desperfectos o fallas

inesperadas, por ejemplo en el caso de desligar los muros de la estructura puede ocurrir el desprendimiento y agrietamiento del acabado por no dejar la holgura necesaria entre éste y la estructura, la cual le transmitirá grandes esfuerzos y distorsiones angulares (figura IX-1). Y en el caso de que se ligan a la estructura puede ser que la base de soporte se deteriore fácilmente ante la acción de cargas, me refiero principalmente a los muros de tabique, tabicón o bloque; que se agrietan y deterioran ante la acción de cargas relativamente bajas, afectando por su puesto al recubrimiento que soportan.

Por otra parte los recubrimientos de mármol, caliza, granito y demás piedras naturales, se ha observado a través de la práctica que se desprenden muy fácilmente ante las deformaciones laterales, cuando no están bien anclados.

**Aquí una causa de falla que es muy importante recalcar debido a muchas experiencias desagradables que tuvimos durante los sismos de 1985, es que debemos evitar el empleo de recubrimientos muy frágiles en los cubos de las escaleras, por que las paredes de éstas, están muy propensas a sufrir grandes deformaciones que ocasionan su desprendimiento, resultando muy peligroso para las personas pues pueden resultar lesionadas, o el desprendimiento de estos revestimientos puede impedir su libre paso al tratar de salir del edificio durante un sismo.**

### **Fallas en los plafones**

Una falla muy frecuente en los plafones de elementos pesados que se ha podido observar durante un sismo es su desprendimiento ocasionado por un mal anclaje, si no por que en muchos casos no se le dejó una holgura perimetral, lo que produce un incremento de esfuerzos en sus propio plano que le transmite la misma estructura (Ver Figura IX-2).

### **Fallas constructivas en los acabados**

Los acabados son aquellas capas de material que se aplican sobre las diferentes

partes que constituyen al edificio, tales como muros, pisos y techos; con la finalidad de darle mayor resistencia al edificio, protegiéndolo de los ataques climatológicos, además de darle un buen aspecto exterior.

Los recubrimientos característicos de albañilería realizados con materiales hechos a pie de la obra y tendidos directamente sobre la superficie a cubrir con una capa continua, son los considerados propiamente acabados, tales como:

- **Repellado**
- **Aplanado fino**
- **Aplanado pulido**
- **Tirol chino**
- **Titol planchado** (Planchado circular, horizontal y vertical)
- **Pastas ralladas o con acabados no convencionales.**
- **Aplanado cerroteado**
- **Aplanado rascado, etc.**

Los cuales deben cumplir con ciertas características que a continuación mencionaremos:

#### **Características de los acabados**

- **Que tengan una buena adherencia al soporte**
- **Que sean resistentes a los impactos, para que no se agrieten ni disgreguen.**
- **Que sean resistentes a los cambios de temperatura, a la lluvia, al congelamiento, etc.**
- **Que protejan al edificio de la humedad.**
- **Que proporcionen una textura atractiva agradable a la vista.**

Todas estas propiedades que acabamos de mencionar dependen de la buena dosificación de los materiales, del espesor de la capa y de la preparación de la superficie que recibirá el acabado, es decir deberá estar limpia de grasas, hollines y polvo, eflorescencias y mohos, así como de restos de pintura, u otros materiales de acabado que estén el mal estado.

Por otra parte los morteros para acabados que más se emplean en la actualidad son:

a) **Mortero de cemento:** Es una mezcla que da mayor resistencia al acabado, pero por su rápido proceso de fraguado se hace poco trabajable, además de que sufre grandes contracciones durante su secado, lo que favorece la formación de fisuras por donde puede penetrar la humedad.

b) **Mortero de cal:** Es una mezcla de gran plasticidad, que permite la aplicación de capas gruesas, además como su fraguado es lento, es difícil que aparezcan grietas por contracción. Sin embargo tiene el inconveniente de ser poco resistente.

c) **Mortero bastardo:** Es una mezcla de propiedades comunes a los morteros anteriores pero atenuadas, siendo el más empleado en la actualidad.

d) **Yeso:** Es una mezcla de yeso y agua, que fragua rápidamente, por lo que su colocación debe hacerse por un experto, y su empleo en la actualidad es muy amplio.

**Otros:** Existen en el mercado gran cantidad de productos para la fabricación de recubrimientos. Se trata de morteros modificados con resinas sintéticas los cuales son muy plásticos y casi no se contraen al secar, ejemplo de ellos son:

- **Tiroplastic** .- Tirol plástico para fachadas.
- **Cuarzoquim** .- Acabado con textura esgrafiada.
- **Textuquim** .- Pasta para acabados con tiroleta.
- **Rolltex** .- Acabado texturizado aplicado con rodillo.
- **Pietrex** .- Pasta para recubrimiento decorativo, a base de material pétreo natural (mármol).

### Fallas en los acabados

Los acabados en los edificios son uno de los elementos más débiles en la construcción los cuales pueden sufrir diferentes fallas que pueden ir desde pequeñas fisuras, agrietamientos hasta desprendimientos graves, que no solo pueden ser causados por distorsiones que sufre la construcción, si no que también pueden ser causados por errores en la mano de obra.

Este tipo de fallas denominadas aparentes aunque no afectan la estabilidad del

edificio, si afectan su correcto funcionamiento.

Los tipos de fallas que más comúnmente se presentan en los acabados son las que a continuación mencionaremos:

- a) **Fisuras por contracción**
- b) **Desprendimientos.**
- c) **Agrietamientos**

### **Fisuras por contracción**

Son fisuras finas que se generan en la superficie del acabado, producto de una contracción de la mezcla; originados por:

- a) Deseccación muy acelerada por efectos del viento o la radiación solar.
- b) Por aplicar el mortero en una superficie demasiado seca que absorbió el agua de fraguado.
- c) Una dosificación rica en cemento, que presenta mayores contracciones durante el fraguado.
- d) Empleo de una mezcla muy aguada, que al secar presenta gran contracción.

Este tipo de fisuras son muy frecuentes cuando se pretende reparar un acabado desprendido por medio de mortero sin haber limpiado ni humedecido la zona dañada. Y También se manifiesta cuando se le da el terminado final al acabado (pulida, afinada, etc.) sin esperar a que haya secado la superficie y se hayan desarrollado las grietas por contracción, las cuales se manifestaran en poco tiempo, quedándonos un acabado agrietado (Ver fotografía IX-1).

### **Desprendimientos**

El desprendimiento de una parte del acabado, ya sea en una o varias capas (Ver fotografía IX-2), puede ser causado por alguna de las siguientes causas:

- **Mala calidad de los materiales** que componen la mezcla o una incorrecta dosificación, que afecta la adherencia y resistencia del material.

- **Defectos del soporte.** La falla ocurre por no preparar el soporte correctamente, es decir por no limpiarla de polvos, mohos, eflorescencias, etc. no humedecerla, no picar en superficies lisas y no agregar adhesivos si es que se requieren o por que la estructura de soporte se construyo de materiales de escasa resistencia.

- **Presencia de humedades internas que afectan al soporte.** estas humedades pueden tener diferentes orígenes como ya se menciona en el capítulo II, por ejemplo:

**A) Agua empleada en la misma obra.**

**B) Agua de lluvia.**

**C) Agua del subsuelo.**

- **Aplicado en capas excesivamente gruesas,** que si no se desprenden durante su colocación pueden quedar en hueco, solo unida por unos cuantos puntos.

Este tipo de falla debe ser reparado de inmediato pues se puede extender rápidamente como se demuestra a continuación.

### **Proceso degenerativo de un desprendimiento**

Si no se repara oportunamente la falla, los desprendimientos tienden a aumentar su tamaño extendiéndose por los bordes hacia el resto del acabado. Las zonas desprendidas quedan desprotegidas, los bordes se van disgregando penetrando por ellos el agua de lluvia, que valiéndose de los poros y grietas penetra a la zona de contacto entre el soporte y la capa de acabado, destruyendo la adherencia entre estos por efectos de dilución.

### **Agrietamientos en acabados**

La mayoría de las grietas que son más o menos aparatosas, pero que no afectan la estructura son originadas generalmente por las diferencias de contracción que sufren el

soporte y las capas del recubrimiento (Ver figura IX-3).

### Fallas en los revestimientos

En seguida hablaremos solamente de la identificación de la falla en los revestimientos de losetas, mosaicos, azulejos, etc. pues ya que los errores constructivos que ocasionan este tipo de desperfecto son muy similares a las mencionadas en los revestimientos de los pisos de los que ya tratamos en el capítulo cinco.

#### Identificación de la falla en los revestimientos de azulejo, loseta, etc.

Cuando al paso de un cierto tiempo de haber sido colocadas las piezas se desprenden del soporte se puede llegar a una conclusión rápida con la simple observación del reverso de las piezas desprendidas.

a) Si la pieza aparece limpia, dejando el material adherente sujeto a la pared, se puede decir que la falla se pudo deber a:

- . Las piezas no se humedecieron
- . Estaban sucias
- . Se humedecieron demasiado, a tal grado de que se saturaron formando una superficie impermeable y antiadherente (solo en el caso de cerámica).

b) En cambio cuando el mortero se desprende con la pieza quedando pegado a su cara posterior, el defecto esta en su soporte.

#### Desperfectos en los acabados de yeso

Debido a la naturaleza del yeso (ver cap. II), nunca debe colocarse donde pueda existir algún tipo de humedad, pues cuando se ha colocado en cocinas, baños, lavaderos en fachadas, etc. se ha visto que sufre grandes daños por dilución.

### **Caso 1 (Desprendimiento del aplanado de yeso o mortero de un plafón)**

**Descripción:** Se trata del desprendimiento de trozos de aplanado de un plafón, tanto en zonas donde el concreto era rugoso como en las que era liso, además de que no se aprecian residuos de desmoldante, el cual sería el principal causante del desprendimiento. Y algo muy importante es que se trata de un edificio nuevo.

**Causa que la produce:** La causa del desprendimiento puede ser por que como todo concreto nuevo presenta una contracción considerable aproximadamente (0.5 mm/m), produciendo de esta forma una tensión al aplanado que lo hará despegarse.

También puede ser por que el concreto de la losa estaba muy húmedo, y que al aplicarse el recubrimiento se evito la rápida evaporación del agua formándose de esta manera ciertas eflorescencias muy finas de hidróxido de calcio que forman una capa de separación entre el aplanado y la losa.

**Solución:** Se procederá a desprender todo el aplanado, se picara la losa, se cepillará con cepillo de alambre y se sacudirá el polvo, y para lograr mejor adherencia se le aplicara una capa de adhesivo comercial (Pega yeso, pegacomex, etc.) par mejorar la adherencia.

### **Caso 2 (Suciedad en fachadas)**

**Descripción:** Son manchas de suciedad que se presentan en las fachadas de piedra natural, que se caracterizan por coloraciones negras discontinuas, compuestas principalmente de hollín y polvo presentando una textura untuosa (Ver fotografía IX-3).

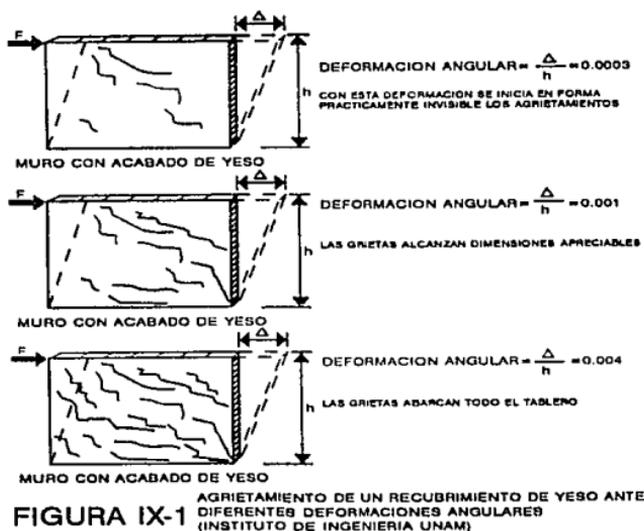
**Causa que la produce:** El principal agente causante de la suciedad en fachadas es la atmósfera contaminada con partículas en suspensión tales como las grasas, hollines, polvo, polen, residuos de combustión de vehículos y fabricas, etc. que se depositan sobre las superficies de las fachadas. Además de la lluvia ácida que provoca corrosión

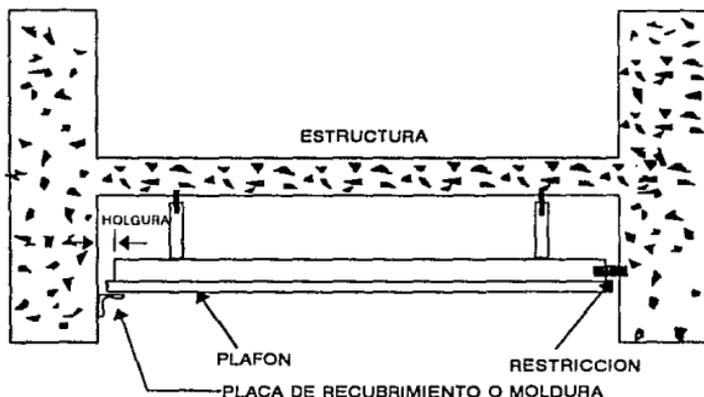
y cambio de color de las fachadas tanto de piedra natural como de mortero o concreto.

**Solución:** La limpieza de las fachadas afectadas por suciedades pueden corregirse realizándoles una limpieza por medios mecánicos, tales como el martelinado, cepillado con cepillo de alambre, por chorro de arena o por aire comprimido. Consistiendo esencialmente en rebajar o lijar la piedra.

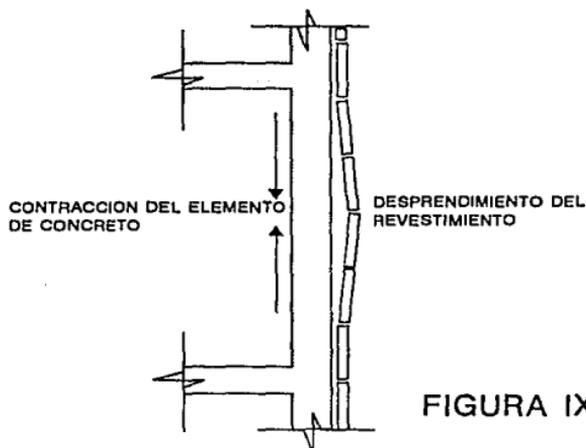
Otra forma de eliminar esta humedad es con un procedimiento denominado "húmedo", que consiste en la impregnación de una sustancia jabonosa tal como el limpiamuro, que es un limpiador químico con acción ácida y detergentes; Cuando la sustancia comienza a secar se le da una cepillado (cepillo de plástico) al muro con el fin de aflojar la suciedad y finalmente se le dará un lavado al muro con agua caliente a presión.

Y finalmente se le dará una recubrimiento con un impermeabilizante transparente a base de resinas tipo acrílico, por ejemplo el IPERTRANS que sirve para el sellado y protección de fachadas.





**FIGURA IX-2** DETALLE DE TECHOS SUSPENDIDOS PARA PREVENIR GOLPETEO Y MOVIMIENTOS EXCESIVOS



**FIGURA IX-3**

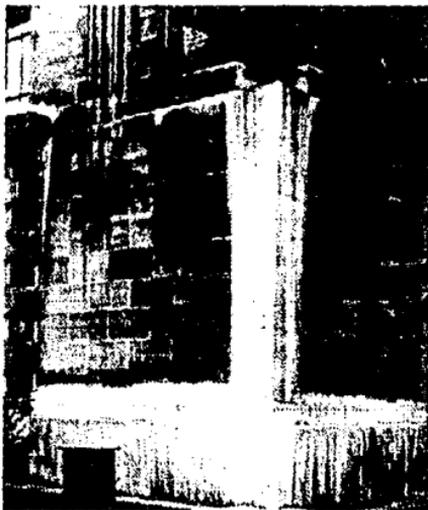
UN ERROR QUE SUELE COMETERSE CON CIERTA FRECUENCIA ES COLOCAR EL REVESTIMIENTO O ACABADO EN UN ELEMENTO DE CONCRETO QUE NO HA SECADO, LO CUAL DA ORIGEN A DESPRENDIMIENTOS. POR QUE EN PRIMER LUGAR EL ACABADO REPRESENTA UNA CARGA A EDAD TEMPRANA LO QUE PUEDE AUMENTAR EL FLUJO PLASTICO, ADEMAS DE QUE ATRAPA HUMEDAD QUE SE DISIPA A LARGO PLAZO, CAUSANDO CONTRACCIONES IMPORTANTES.



**FOTOGRAFIA IX-1**  
FISURAMIENTO POR CONTRACCION EN  
UN APLANADO, PRODUCTO DE LA DESECACION  
MUY ACELERADA DE LA MEZCLA.



**FOTOGRAFIA IX-2**  
DESPRENDIMIENTO DE UN  
APLANADO POR FALTA  
DE ADHERENCIA.



**FOTOGRAFIA IX-3**  
FACHADA MANCHADA POR  
ACCION DE LA ATMOSFERA  
QUE HA OCASIONADO  
MANCHAS DE SALITRE.

# CAPITULO X

## CONCLUSIONES

Debemos considerar de gran importancia el estudio de las causas y agentes que ocasionan fallas, así como los daños que producen a los distintos elementos de un edificio, tanto estructurales como no estructurales, para de esta manera poder prevenirlas principalmente, o para que podamos proponer soluciones adecuadas cuando se lleguen a presentar.

Pues considero que de una u otra forma todos los involucrados con la construcción corremos el riesgo de que algunas de nuestras edificaciones sufran algún tipo de falla ya sea leve o de consecuencias desastrosas.

Por lo tanto debemos tratar de aprender de esos fracasos para evitar que se repitan, y esto solo se lograra si todos ponemos algo de nuestra parte por ejemplo:

1.- Que en las escuelas de ingeniería y arquitectura se impartan cursos de análisis de fallas estructurales.

2.-Y algo que considero de suma importancia es que los ingenieros que ya tienen varios años de labor profesional, escriban sus propias experiencias y las que han presenciado, para que esos casos no se queden olvidados en los archivos. Esto se podría hacer por medio de las revistas que publican la Facultad de Ingeniería, El Colegio de Ingenieros Civiles de México, el Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, la Cámara Nacional de la Industria de la Construcción, etc. O a través de la edición de un libro propio. Para que no solo nos enteremos de algunos casos aislados de fallas a través de los periódicos que generalmente traen artículos amarillistas y que carecen de la información técnica que nos puede interesar.

3.- Que los estudiantes nos preocupemos por investigar por cuenta propia, las causa

---

por las que puede presentarse una falla, para que de esta forma cuando salgamos al campo a aplicar nuestros conocimientos, estemos preparados para prevenirlas y afrontarlas.

Mediante este trabajo escrito pretendo cumplir con esta tarea, dejando además estos apuntes que pueden ser de gran utilidad, principalmente para mis compañeros estudiantes, además de que doy pie a que nos interese más por la investigación de una nueva rama de la ingeniería y la arquitectura que es la Ingeniería y Arquitectura Legal, tema que el Ingeniero Alberto Corta Ilizaliturri profesor de la Facultad de Ingeniería UNAM domina ampliamente. Y aunque este tema nos es tratado en estos apuntes, resultaría interesante y necesario saber cuales serían nuestras responsabilidades ante la ley en caso de un colapso estructural.

Además quiero mencionar que con estos apuntes no pretendo poner en duda la calidad de la ingeniería mexicana, pues yo sería el primero en afirmar que la ingeniería de México es una de las mejores del mundo, simplemente estoy poniendo de manifiesto la importancia que tiene el estudio de la fallas que se presentan en la industria de la construcción para poder prevenirlas y así elevar aun más la gran calidad de nuestra ingeniería.

# BIBLIOGRAFIA

- 1.- **PATOLOGIA DE LA CIMENTACIONES**  
Louis Logeais  
Editorial Gustavo Gili ; España 1984  
Páginas 143
- 2.- **PATOLOGIA DE LA CONSTRUCCION  
DETALLES CONSTRUCTIVOS**  
Friedrich Eichler  
Editorial BLUME  
Páginas 403
- 3.- **LESIONES EN LOS EDIFICIOS**  
Biblioteca de Arquitectura y Construcción  
tomo 1 y 2  
Ediciones CEAC
- 4.- **LAS HUMEDADES EN LA CONSTRUCCION  
SUS CAUSAS Y REMEDIOS**  
R. T. Gratwick  
Editores Técnicos Asociados ; 1971  
Páginas 334
- 5.- **REHABILITACION DE EDIFICIOS URBANOS**  
A. Bongioni y G. Guamerio  
Colección Arquitectura y Perspectivas  
Editorial Gustavo Gili ; 1988  
Páginas 229
- 6.- **FALLAS TECNICAS EN LA CONSTRUCCION**  
Jacob Feld  
Editorial LIMUSA S.A. 1978
- 7.- **SABER CONSTRUIR**  
Gerard Blachere  
Editores Técnicos Asociados ; 1974  
Páginas 307

- 
- 8.- ASPECTOS FUNDAMENTALES DEL CONCRETO REFORZADO**  
Oscar M. González Cuevas  
Francisco Robles F.  
Editorial LIMUSA
- 9.- MANUAL DE AUTOCONSTRUCCION Y MEJORAMIENTO DE LA VIVIENDA UNAM**
- 10.-DATOS PRACTICOS DE INSTALACIONES HIDRAULICAS Y SANITARIAS**  
Ing. Becerril L. Diego Onesimo  
Séptima edición IPN
- 11.-INSTALACIONES SANITARIAS EN EDIFICACION (REGLAMENTOS)**  
Facultad de Ingeniería UNAM
- 12.-CURSO DE EDIFICACION**  
Ing. Armando Díaz Infante  
Facultad de Ingeniería UNAM
- 13.-DETERIORO CONSERVACION Y REPARACION DE ESTRUCTURAS**  
Sidney M. Johnson  
Editorial BLUME ; España 1973
- 14.-EDIFICACION, DISEÑO Y CONSTRUCCION SISMORRESISTENTE**  
Norman B. Green  
Editorial Gustavo Gilli ; 1980
- 15.-PROBLEMAS EN EL CONCRETO CAUSAS Y SOLUCIONES**  
IMCYC  
Editorial LIMUSA  
Páginas 265
- 16.-ENSEÑANZAS DE LOS SISMOS DE SEPTIEMBRE DE 1985**  
Revista IMCYC No. 174
- 17.-DISEÑO ESTRUCTURAL**  
Roberto Meli Piralla  
Editorial Trillas