

33  
20.



**Universidad Nacional Autónoma de México**

**FACULTAD DE INGENIERIA.**

*División de Ingeniería Civil, Topográfica y Geodésica*

UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

" EVALUACION ESTRUCTURAL DE MONUMENTOS HISTORICOS "

**T E S I S**

*Que para obtener el título de:*  
**INGENIERO CIVIL**  
*presenta*

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

**ROMAN MELESIO CORTES SANCHEZ**



MEXICO, D.F.

ENE. DE 1990.



Universidad Nacional  
Autónoma de México



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis 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.

# "EVALUACION ESTRUCTURAL DE MONUMENTOS HISTORICOS"

## INDICE

### CAPITULO

#### I.-INTRODUCCION

1.1	Antecedentes.....	2
1.2	Alcance y objetivos.....	5

#### II.-EVALUCION ESTRUCTURAL

2.1	Inspección visual.....	7
2.2	Modelos analíticos.....	9
2.3	Mediciones experimentales.....	10
2.3.1	Diferencias entre la mampostería y el concreto.....	13
2.3.2	Clasificación de la mampostería.....	14
2.3.3	Factores que afectan la resistencia a compresión del mortero.....	15
2.3.4	Factores que afectan al mortero en su adherencia a las unidades de mampostería.....	16
2.3.5	Propiedades de las unidades de mampostería que afectan la adherencia.....	16
2.3.6	Factores de mano de obra que afectan a la adherencia.....	17
2.3.7	Criterios para pedir una serie de pruebas experimentales...	17

#### III.-PRUEBAS EXPERIMENTALES

3.1	Pruebas experimentales.....	19
3.2	Principales pruebas estándar.....	20
3.3	Resultados de las pruebas experimentales.....	24

#### IV.-METODOLOGIA NECESARIA

4.1	Objetivo de la metodología.....	27
4.1.1	Principales patologías de los monumentos históricos.....	28

<b>4.2</b>	<b>Reparaciones necesarias.....</b>	<b>30</b>
<b>4.2.1</b>	<b>Edificios construidos bajo condiciones sísmicas.....</b>	<b>30</b>
<b>4.2.2</b>	<b>Reparación de muros.....</b>	<b>32</b>
<b>4.2.3</b>	<b>Reparación por inyección.....</b>	<b>34</b>
<b>4.2.4</b>	<b>Reparación a lo largo de las grietas.....</b>	<b>35</b>
<b>V.-</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>36</b>
<b>VI.-</b>	<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>38</b>
	<b>figuras.....</b>	<b>40</b>
	<b>Apéndices.....</b>	<b>43</b>

## I. INTRODUCCION

### 1.1 ANTECEDENTES

Toda estructura que se ha construido antes de 1900 se le considera como monumento histórico, es decir que son estructuras construidas a base de mampostería, ya que el concreto se empezó a utilizar a fines del siglo pasado.

Dentro de dichas estructuras se pueden mencionar casas habitación, vecindades, cines, teatros, restaurantes, edificios públicos y privados, escuelas, hospitales, hoteles, museos, bancos, montepíos, iglesias, estatuas, ruinas arqueológicas, etc. Por su importancia y uso, además como patrimonio histórico es de vital importancia conservarlos debido a que su utilización va desde una bodega hasta lo inimaginable como son laboratorios, talleres, despachos etc. Otro punto que no podemos descartar es el arquitectónico, de tanta importancia y por el cual le llaman a esta capital la "Ciudad de los palacios" principalmente por sus distintos estilos de construcción como son barroco, colonial, etc. Generalmente todas las construcciones consideradas como monumentos históricos son de mampostería debido a que, como se ha mencionado, la aparición del concreto en México fue a fines del siglo pasado. Por último, en el aspecto político es de gran trascendencia la conservación de dichos monumentos históricos pues su demolición o sustitución por estructuras modernas involucra infinidad de aspectos de índole económica y social que hace que su estudio, conservación y restauración sean necesidades prioritarias.

Desde el punto de vista histórico, el conservar los edificios o monumentos históricos, es importante debido a que forman parte de nuestra cultura y de nuestra historia; además, poseen características constructivas muy particulares, debido a que están construidas a base de roca labrada en

algunos casos y en otros, como las iglesias, su construcción es a base de roca basáltica cementada con una mezcla de cal y arena. En la parte estructural estas estructuras poseen características muy particulares pues tienen muros de gran espesor, salvan grandes claros mediante de arcos y viguetas de madera.

Es posible hacer varias clasificaciones respecto a las estructuras construidas a base de mampostería las cuales caen dentro de la clasificación de monumentos históricos. La clasificación de las estructuras de mampostería no se puede tener en forma precisa debido a que varían tanto en uso como en edad, pero se pueden clasificar dependiendo de los siguientes parámetros:

- Edad
- Estado actual de conservación
- Uso de las estructuras (oficinas, casas habitación, despachos, etc.)
- Tipo de construcción
- Localización

Además, la mampostería se puede clasificar a partir del tipo de pieza utilizada, como mampostería de pieza maciza o mampostería con pieza hueca, de la misma manera se puede clasificar como mampostería con refuerzo o sin refuerzo dependiendo de la presencia o ausencia del acero de refuerzo. La mampostería reforzada está compuesta por la pieza base, el mortero y el refuerzo.

Tomando en consideración que la mampostería es un material primordialmente frágil surgen serios problemas al tratar de utilizarla en ciertas estructuras con una configuración geométrica compleja para, la cual, las acciones impuestas a la estructura de mampostería encontrarán zonas especialmente vulnerables. Esto último se refuerza por la gran dificultad que representa hacer ciertas conexiones entre elementos hechos de este material.

Entre las características que presentan los monumentos históricos

utilizados como edificios públicos o privados se tienen que generalmente poseen entre tres y seis niveles, son de mampostería con gran espesor de muros, la altura entre piso varía de 2.5 a 4 m de altura, salvan sus claros mediante vigas de madera, los pisos están hechos con losetas de barro en algunas ocasiones y en otras tienen duela. Las construcciones de este tipo generalmente son muy pesadas, porque su cimentación está hecha a base de pilotes de madera con zapatas corridas de roca basáltica. Para las iglesias se tienen ciertas características que las hace ser muy especiales tales como los grandes claros a cubrir por medio de arcos, los grandes espesores de sus muros y la combinación de diversos sistemas estructurales.

Para el caso de casas habitación las cuales son de uno, dos y hasta tres niveles, al igual que los edificios, la altura de entrepiso varía de 2.5 a 4 m de altura, muros de gran espesor, el sistema de losa es la combinación de vigas de madera con viguetas de acero, tienen gran número de habitaciones muy amplias las cuales tienen comunicación entre sí ya que generalmente son iguales todas y con escaleras muy amplias.

Desde el punto de vista ingenieril las estructuras a base de mampostería deben tener gran seguridad y estabilidad estructural debido a las grandes concentraciones de masas y pesos que influyen directamente en el comportamiento de la estructura. Para el caso de las estructuras consideradas como monumentos históricos se le presenta al ingeniero el interesante problema de valorar cualitativamente o cuantitativamente el factor de seguridad que pudiera tener la construcción examinada. Este problema aumenta su complejidad por el hecho de que la mampostería es un material con características mecánicas de gran dispersión y además actualmente se tiene poca información sobre los efectos que ejercen sobre este material algunos fenómenos como la humedad, la corrosión de la mezcla cementante, el flujo plástico, etc. Todo lo anterior nos conduce a la conclusión de que establecer el nivel del factor de seguridad de una estructura considerada como monumento histórico es un problema de gran

complejidad y que a pesar de esto es necesario realizar mediante cualquier metodología. Sin embargo, a pesar de ser un problema de gran complejidad, en la presente tesis se propondrá una metodología para entrenar a ingenieros especialistas en la evaluación de los niveles de seguridad estructural que poseen las estructuras hechas a base de mampostería bajo estudio.

## 1.2 ALCANCE Y OBJETIVOS

Debido a que las autoridades del Distrito Federal tienen por diversos motivos, gran interés en la conservación de todos los monumentos históricos y no se tiene una metodología que permita establecer el factor de seguridad de los mismos y que además defina en qué forma se debe realizar dicha conservación, se propone en esta tesis en el capítulo 4, una metodología que pretende ser eficiente a la conservación de cualquier monumento histórico.

La República Mexicana está ubicada en una zona de gran actividad sísmica, al mismo tiempo, las características muy particulares del subsuelo la Ciudad de México, hacen que los sismos dañen a una gran cantidad de estructuras, como sucedió en septiembre de 1985; por lo tanto las autoridades del D.F., se vieron en la necesidad de salvaguardar a la ciudadanía y también a sus monumentos. A raíz de estos sismos, resultaron dañados miles de edificios los cuales pueden ser considerados como monumentos históricos. Es necesario entonces establecer el nivel de seguridad estructural de los mismos. Se encontró que una gran mayoría de los ingenieros estructuralistas poseían una gran experiencia como diseñadores de estructuras o como valuadores de las mismas pero salvo contadísimas excepciones eran muy pocos los ingenieros que podían establecer el factor de seguridad de tales estructuras; además, se tuvo el gran problema de que no había bibliografía especializada sobre el tema y existían por tanto una gran cantidad de criterios, algunos de los cuales se hallaban en contraposición.



Se decidió entonces tratar de llenar este hueco mediante el presente trabajo.

La aplicación que puede tener un trabajo de esta naturaleza, es en la capacitación a grupos de ingenieros para que puedan tener un patrón de actividades que deban seguir, ya sea para el mantenimiento como para el uso de cada estructura considerada como monumento histórico. También podremos evaluar si es estructuralmente segura, si hay que hacerle modificaciones y sobre todo, tomar una decisión entre las alternativas, que sea la más adecuada, funcional y segura.

Las estructuras de mampostería fueron construidas con unidades individuales, generalmente con un débil mortero de cal en las uniones, por lo tanto la resistencia a la tensión de la estructura ensamblada era igual a la adherencia existente entre las unidades, la cual es muy reducida.

Hace algunas décadas, los muros no eran diseñados con principios científicos, sino mediante reglas empíricas que eran conocidas desde muchos años antes. Esto condujo a espesores que parecen absurdos si se les compara con los actuales criterios; ejemplo podemos citar al edificio MONADLOCK de 65 m de altura en Chicago, construido en 1891, las paredes eran de aproximadamente 2 m de espesor a nivel de terreno y ocupaban no menos de una quinta parte del ancho del edificio, lo cual en terrenos costosos no resultaba rentable. En las primeras construcciones no se permitía la tensión, lo cual restringió en gran parte las posibles formas estructurales y su tamaño.

## II. EVALUACION ESTRUCTURAL

### 2.1 INSPECCION VISUAL

-Por SINTOMATOLOGIA se entiende al conjunto de evidencias o daños que presenta una estructura como consecuencia de una acción específica o una combinación de varias acciones; estas pueden tener varios orígenes como sismo, viento, fuego, corrosión, etc. La sintomatología está conformada preferentemente por grietas, desniveles, diversos niveles de corrosión, aplastamientos importantes, hundimientos diferenciales, desplomes, hasta el colapso total del elemento estructural como losas, muros, columnas, marcos, etc. Aunque la sintomatología pueda ser muy evidente en ciertos casos específicos es necesario recibir un cierto grado de entrenamiento para poder realizar la adecuada detección de las evidencias presentadas por la sintomatología de las estructuras. Además, es necesario disponer de criterios uniformes sobre la identificación, manejo y clasificación de los distintos aspectos presentados por la sintomatología. Esta tesis pretende establecer estos aspectos faltantes.

Para el establecimiento del nivel de seguridad estructural que posee un edificio de mampostería es, necesario realizar en primer lugar la revisión lo más completa posible de la estructura; existen varios métodos de revisión y uno de ellos es la inspección visual, la cual consiste en una inspección visual de las columnas, vigas, muros, etc. Aparentemente, si no hay grietas considerables podremos concluir que una estructura no ha sufrido daños, pero en el caso de fenómenos naturales como sismos, una estructura se puede dañar y ser difícil la detección del daño. Si en un tiempo considerablemente corto después del sismo se hace una inspección visual se puede observar el tipo de falla en un elemento estructural cualquiera (como son vigas, columnas, muros, losas), y diagnosticar su seguridad estructural. Pero en el caso de

que no exista tal inspección reciente a la fecha del fenómeno, la estructura puede ser reparada mediante una metodología dudosa, y transcurrido algún tiempo no se podrá conocer el nivel de daños internos, el control de calidad de la reparación, el tipo de materiales utilizados etc. De acuerdo con esto, una inspección visual no siempre puede ser tan segura para emitir un dictamen estructural confiable y en general será de mayor grado de incertidumbre cuanto exista mayor tiempo transcurrido desde la fecha de ocurrencia del fenómeno.

En muchos casos una inspección visual deja mucha incertidumbre debido a que no es tan confiable por diversas razones entre las cuales podemos mencionar: la falta de experiencia de los inspectores, las dificultades ambientales como excesiva humedad u oscuridad, etc; es decir, para que sea más confiable una inspección visual se deben de hacer adicionalmente, pruebas de tipo experimental. En todo caso, la condición normal a la cual va a conducir la primera inspección visual será necesariamente el establecimiento de un cierto grado de incertidumbre.

Lo que se persigue con la inspección visual, es tratar de establecer las evidencias y posibles daños que se tuvieran en las estructuras de mampostería ante cualquier solicitud, y éstas pueden ser debidas a acciones muy difíciles de detectar. Como ya hemos mencionado, la inspección visual nos conduce necesariamente al establecimiento de un cierto nivel de incertidumbre respecto a la seguridad estructural del monumento histórico; sin embargo, la inspección visual a veces será suficiente para tomar una decisión con un buen grado de certidumbre lo cual dependerá de muchos factores.

Cuando el nivel de incertidumbre dejado por la inspección visual es bajo será posible emitir un dictamen favorable pero cuando el nivel de incertidumbre es alto se deberá recurrir progresivamente a las dos siguientes alternativas:

- a)-Empleo de Modelos Analíticos y
- b)-Realización de Pruebas Experimentales

## 2.2. *MODELOS ANALITICOS*

Son más sencillos que las pruebas experimentales, es decir, el emplear un modelo analítico nos conduce a resultados numéricos los cuales nos permiten obtener conclusiones relativamente confiables, por tanto se reduce el tiempo de solución del problema y la mayoría de las veces, resulta más atractivo el empleo de modelos analíticos por ser más económicos en tiempo y en dinero.

Los modelos analíticos tienden a tener prioridad sobre las pruebas experimentales debido a varios aspectos: los modelos analíticos pueden ser más sencillos, económicos y rápidos, sin embargo presentan ciertas desventajas entre las cuales destaca el que los modelos analíticos pueden ser demasiado simplistas (sencillos). Además, el modelo analítico tiene un cierto nivel de bondad respecto a la realidad, y la mayoría de las veces tienen algunas limitaciones de interpretación; con esto se quiere decir que los modelos analíticos dan resultados muy particulares los cuales en todo momento pueden ser cuestionados.

En cierta medida los modelos analíticos muy refinados pretenden aprovechar algunas características estructurales que se tienen para un caso en particular; sin embargo con frecuencia no existe una buena concordancia entre el modelo analítico empleado para hacer el análisis de la estructura y la estructura real, debido principalmente a deficiencias en las hipótesis simplificadoras que se hicieron al elaborar el modelo analítico. Las hipótesis simplificadoras se adoptan con el fin de que el modelo analítico sea fácil de analizar con las herramientas que se tienen disponibles (programas de computadora, métodos numéricos iterativos, métodos aproximados, etc.). La mala transmisión de estas hipótesis y la inadecuada

interpretación de los planos constructivos, conducen a predecir un comportamiento alterado de las estructuras bajo diversas sollicitaciones.

Es importante reconocer, que el análisis del modelo matemático, por muy bien hecho que esté, no garantiza de ningún modo que exista buena congruencia entre el modelo teórico y la estructura real. Seguramente los resultados que se obtengan utilizando el modelo analítico no servirán adecuadamente, aunque se puede tener una falsa sensación de seguridad, dada la rapidez y la enorme precisión obtenida en los análisis realizados con la computadora.

Cuando los modelos analíticos no nos satisfacen para un caso en particular y necesitamos un nivel de conocimiento mayor, recurrimos a las pruebas experimentales.

### 2.3 MEDICIONES EXPERIMENTALES

Son pruebas realizadas in situ o en laboratorio sobre las muestras previamente obtenidas en obra o construidas a propósito. Las pruebas experimentales son mucho más complicadas, y difíciles que los modelos analíticos; además, consumen mucho tiempo y a veces no nos aportan los datos que deseamos conocer. En ciertas ocasiones necesitamos hacer simultáneamente pruebas experimentales y modelos analíticos, pero sólo en los casos en los cuales la importancia de la estructura, amerite esta combinación. Con el fin de familiarizarnos con las pruebas experimentales más comunes trataremos en el capítulo 3 de esta tesis, algunos aspectos sobre las pruebas experimentales que existen en las normas de la ASTM. La información fue tomada principalmente de la referencia (8). Toda información contenida en este manual (Building Structural Design Handbook) se refiere a la mampostería utilizada principalmente en edificios construidos en los Estados Unidos, los cuales poseen un control de calidad que podríamos

considerar como muy alto. Sin embargo, en los países del primer mundo expuestos a la acción de sismos fuertes, la tendencia de los ingenieros para la utilización de la mampostería en los edificios, es muy cautelosa para la indeseable característica de dicho material de tener un comportamiento frágil; así, veremos que en Japón, no está permitido el uso de la mampostería para edificios de más de tres niveles, en tanto que en los Estados Unidos, en California se han construido edificios de departamentos de 15 pisos o más cuidadosamente diseñados. Existe la opción de reforzar la mampostería lo cual mejora notablemente su comportamiento ante sismos muy fuertes. En la tabla de la siguiente página tomada de la referencia 4 vemos la clasificación de diversos materiales.

Las aplicaciones típicas estructurales de la mampostería son: muros de retención, muros para soportar cargas verticales en edificios. Se supone que los muros de mampostería trabajan en estructuras formando "cajas" soportando cargas verticales de compresión y esfuerzos planos de cortante y cargas de flexión generadas por las fuerzas de viento, sismo o por cargas verticales excéntricas.

	Tipo de edificio		
	De gran altura	Altura media	Altura baja
Mejor	(1) Acero	(1) Acero	(1) Madera
	(2) Concreto refor- zado colado <i>in situ</i>	(2) Concreto reforza- do colado <i>in situ</i>	(2) Concreto refor- zado colado <i>in situ</i>
		(3) Concreto preco- lado de buena calidad	(3) Acero
Materia- les es- tructu- rales en orden a- proximado de conve- niencia		(4) Concreto presfor- zado	(4) Concentrado presforzado
		(5) Mampostería re- forzada de bue- na calidad	(5) Mampostería reforzada de buena calidad
			(6) Concreto pre- colado
Peor			(7) Mampostería reforzada, primitiva

Se ha demostrado que la mampostería es útil para edificios de 30 ó 40 m de altura, sin embargo sus usos corrientes se ubican en el intervalo de 1 hasta 20 pisos.

Existen algunas diferencias esenciales entre concreto y la mampostería algunas de las cuales afectan tanto al diseño como a la construcción, por lo que haremos un breve repaso de ellas.

### 2.3.1 DIFERENCIAS ENTRE LA MAMPOSTERÍA Y EL CONCRETO

Tanto la mampostería como el concreto son materiales que resisten cargas relativamente bajas a tensión. La compresión es la propiedad mas importante para ambos materiales. La falla por flexión o cortante en estos materiales puede ser muy peligrosa y en ciertos casos el acero de refuerzo puede ayudar a aumentar su resistencia ante tales fuerzas internas.

**TAMAÑO DEL AGREGADO:** A pesar de usar el mismo sistema de mezcla cementante, el tamaño del agregado de la mampostería no permite la idealización de la misma como material homogéneo, debido principalmente a que las unidades de mampostería y el mortero cementante poseen características muy distintas entre sí.

**LOCALIZACIÓN DEL REFUERZO:** En el concreto el refuerzo se puede localizar en cualquier lugar dentro de la periferia del elemento estructural, sin embargo el refuerzo en la mampostería se restringe a huecos, juntas y núcleos los cuales tienen que ser considerados en cierta etapa primaria del proceso de diseño estructural de los edificios.

**CONTENIDO DE AGUA DEL MORTERO:** La relación agua-cemento en el concreto afecta directamente la resistencia del mismo, en tanto que en la mampostería la relación agua-cemento después de que el mortero ha sido colocado en la mampostería puede afectar la resistencia de ésta. Teóricamente, las unidades de la mampostería pueden realizar una gran absorción de agua de la mezcla cementante, con la cual es posible obtener una mayor resistencia de la mezcla.

**MÉTODOS DE CONSTRUCCIÓN:** Las estructuras de concreto pueden ser precoladas o coladas in situ; esto último conduce al uso de cimbras. La construcción en



la mampostería es manual en donde las unidades son colocadas una por una y la calidad de la mampostería está influenciada por el cuidado que el obrero ponga sobre el colocado del material cementante.

FILOSOFÍA DE DISEÑO: En la mampostería se utilizan principalmente los conceptos de esfuerzos de trabajo en tanto que en el concreto se usa el estado límite en resistencia última. Es muy posible que en un tiempo relativamente corto cambie esta situación.

DISEÑO EMPÍRICO VS DISEÑO INGENIERIL: Hasta el año de 1950 la construcción de mampostería tuvo reglas puramente empíricas, lo cual condujo a hacer espesores excesivos en los muros. A partir de 1950, con la introducción de algunos reglamentos de construcción fué posible usar espesores de mampostería más reducidos y más resistentes sobre bases más racionales.

PROCESO DE FABRICACIÓN: La fabricación de las unidades de mampostería a base de concreto parten de una mezcla muy seca. La mezcla es colocada en moldes y vibradas hasta obtener un buen nivel de compactación. Este proceso no se tiene comunmente en la construcción con concreto reforzado.

### 2.3.2 CLASIFICACION DE LA MAMPOSTERÍA

Según las normas de la ASTM las unidades de la mampostería a base de concreto se ubican en varias clasificaciones que van de acuerdo a su uso y a su contenido de humedad.

Las unidades grado N que pueden ser huecas o sólidas (para usos generales tanto en exteriores como en interiores y pueden ser o no expuestas a la penetración de la humedad.)

Grado S que son unidades huecas o sólidas usadas en muros exteriores requieren de una pintura protectora y no deben ser puestas en contacto directo con la humedad.

Grado N de concreto frágil para uso principalmente arquitectónico como fachadas y muros exteriores para lograr una gran resistencia a la humedad.

Grado S de concreto frágil para uso general, con resistencia moderada y mediana resistencia a la penetración de la humedad.

Existen dos tipos de mampostería de concreto, las cuales son producidas en grado N y S.

Las del tipo I que son las unidades de humedad controlada.

Las del tipo II que son las unidades de humedad no controlada.

### 2.3.3 FACTORES QUE AFECTAN LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL MORTERO

Se utilizan normalmente especímenes en forma de cubo de 5 cm de arista para obtener la resistencia del mortero a compresión. La resistencia de compresión de los cubos:

- 1) Se decrecienta cuando la proporción de limos se incrementa con respecto a la proporción de cemento y arena.
- 2) Se decrecienta cuando la relación de cemento a limos decrece y la proporción de limos más cemento se mantiene constante con respecto a la proporción de arenas.
- 3) Se incrementa cuando la proporción de cemento se incrementa con respecto a la proporción de limos más arenas.
- 4) Se incrementa cuando la graduación de la arena se hace más gruesa.
- 5) Se decrecienta con un incremento de la relación agua-cemento conservando el contenido de limos.
- 6) Se decrecienta con la adición de elementos ajenos a la mezcla; por ejemplo

colorantes.

7) Decrementa cuando se incrementa el contenido de aire debido a elementos ajenos a la mezcla o un tiempo de mezclado excesivo.

#### 2.3.4 FACTORES QUE AFECTAN AL MORTERO EN SU ADHERENCIA A LAS UNIDADES DE MAMPOSTERÍA

Dos distintas formas de resistencia adherente de la mampostería son importantes para propósitos estructurales y son la resistencia de la adherencia a tensión y la resistencia de la adherencia a cortante.

La adherencia a tensión se requiere para resistir fuerzas perpendiculares a las juntas del mortero mientras que la adherencia al cortante es necesaria para resistir fuerzas paralelas a tales juntas. Los factores que afecten la adherencia son comunes a ambos tipos de adherencia con la excepción de la influencia de la compresión sobre la adherencia al cortante. Las propiedades del mortero que afectan la adherencia incluyen:

- 1) Contenido de cemento.-La resistencia a la adherencia se incrementa con un mayor contenido de cemento.
- 2) La resistencia de la adherencia aumenta si se usan morteros de alta retentividad de agua.
- 3) Contenido de agua.-La adherencia aumenta usando un mayor contenido de agua.
- 4) Contenido de aire.-Decrece la adherencia cuando aumenta el contenido de aire.

#### 2.3.5 PROPIEDADES DE LAS UNIDADES DE MAMPOSTERÍA QUE AFECTAN LA ADHERENCIA

- 1) La textura de la superficie; vacíos, grietas, fisuras y formas de anclaje

mecánico en la superficie de la unidad.

2) La succión.-Para un mortero dado, la resistencia a la adherencia decrece cuando la succión de la unidad se incrementa. Esto sucede por la rápida pérdida de agua de la mezcla cuando es colocada sobre la unidad.

### 2.3.6 FACTORES DE MANO DE OBRA QUE AFECTAN A LA ADHERENCIA

1) Tiempo.-El lapso entre la colocación del mortero y la colocación de la unidad sobre ese mortero debe ser reducida al mínimo para reducir los efectos de pérdida de agua del mortero por la succión de la unidad.

2) Movimiento.- El movimiento de la unidad después de colocarlo reduce la adherencia.

3) La presión que se ejerce y el emparejado. - Las unidades deben ser colocadas sobre el mortero con suficiente presión hacia abajo en forma uniforme y se procurará que el mortero tenga un contacto total con las unidades de mampostería.

### 2.3.7 CRITERIOS PARA PEDIR UNA SERIE DE PRUEBAS EXPERIMENTALES

Durante la inspección visual se pueden tomar criterios para poder pedir que se realicen una serie de pruebas experimentales, si notamos que la estructura está suficientemente dañada y además, con la inspección visual se tiene un grado de incertidumbre alto, se pedirán que se tomen muestras representativas de la estructura para que se determine el grado de resistencia y a su vez se obtenga un nivel de seguridad confiable de dicha estructura. También se puede pedir la ejecución de una serie de pruebas cuando la calidad del mortero utilizado en las juntas se esté deteriorando y cuando las piezas de mampostería no parezcan muy homogéneas, es decir

cuando la estabilidad de la estructura sea muy dudosa.

Normalmente, en las estructuras de mampostería con un gran tiempo transcurrido desde su construcción, como es el caso de los monumentos históricos, suceden ciertos fenómenos debido a que el interior de su estructura no está expuesta a la luz solar y por tal motivo se va deteriorando químicamente. Este fenómeno no ha sido explorado con suficiente profundidad.

Cuando se le hacen reparaciones a las estructuras de mampostería, los materiales empleados en la reparación tienen una reacción química que hace que no pueda ser reparada con la suficiente calidad. Esto amerita una serie de pruebas experimentales específicas, hasta llegar a una solución para su mantenimiento; sin embargo, no todas las estructuras reaccionan de la misma manera por lo que a cada estructura se le tiene que hacer una prueba experimental específica.

### III. PRUEBAS EXPERIMENTALES

#### 3.1 PRUEBAS EXPERIMENTALES

Por pruebas experimentales entendemos el conjunto de actividades que realizadas secuencialmente y con una metodología bien establecida nos conduce al conocimiento y medición de ciertos fenómenos los cuales nos interesa conocer.

La mayoría de las veces las pruebas experimentales nos arrojan cantidades las cuales fueron captadas con medidores o patrones de comparación; sin embargo, existe una cierta minoría de pruebas experimentales las cuales nos arrojan cifras experimentales y tienen por objeto el que podamos percibir un cierto fenómeno en forma cualitativa.

Existen varias clasificaciones para las pruebas experimentales y para los fines que persigue la presente tesis, la clasificación que nos interesa es la de pruebas destructivas y pruebas no-destructivas. Por las primeras entendemos, ciertas pruebas realizadas sobre muestras a especímenes los cuales pierden su integridad parcial o total como resultado de las pruebas y por las pruebas no-destructivas entendemos aquellas que no sufren ninguna alteración en su estructura física; algunos autores opinan que pruebas destructivas son aquellas que con el fin de obtener la muestra es necesario alterar en cierto grado la estructura total de los especímenes. Tanto las pruebas destructivas como las no-destructivas tienen sus ventajas y desventajas. Entre las primeras podemos mencionar que tienen como mayor ventaja el que podemos observar directamente los fenómenos asociados al colapso o falla del espécimen y como mayor desventaja tendremos que el espécimen o muestra queda inservible; un ejemplo de prueba destructiva es aquella que nos permite conocer directamente la resistencia a compresión de la muestra. Por prueba no-destructiva podemos mencionar la obtención de la

frecuencia natural de una estructura causado por vibración ambiental.

### 3.2 PRUEBAS ESTÁNDAR SOBRE MAMPOSTERÍA

Se aceptan comunmente como pruebas estándar sobre la mampostería aquellas que nos permiten conocer ciertas propiedades de la misma, utilizables para fines de diseño. Las pruebas estándar que reconoce normalmente la ASTM son:

- a) Compresión
- b) Cortante
- c) Tensión
- d) Flexión
- e) Módulo de Elasticidad

En esta sección de la tesis haremos algunos comentarios relativos a las anteriores pruebas comenzando previamente con el comportamiento básico de la mampostería ante cada una de las pruebas y posteriormente describir las pruebas estándar.

**COMPRESIÓN:** La mampostería sometida a compresión tiende a fallar por grietas de tensión formadas paralelamente a la dirección de la carga. Esta tendencia común en los materiales frágiles de generar grietas paralelas a la dirección de los esfuerzos principales puede ser explicada racionalmente mediante la teoría de "grietas gruesas". Sin embargo, la presencia de juntas de mortero, en las cuales el mortero tiene una diferente relación de Poisson respecto a las unidades de mampostería, tiende a exagerar el proceso de aparición de las grietas. El modo de falla de la mampostería estará fuertemente influenciada por la presencia de huecos. La falla a compresión ocurre generalmente por aplastamiento de la sección transversal con cierto descascaramiento exterior. El modo de falla de las unidades individuales de la mampostería será por aplastamiento y estallamiento de las caras

exteriores de la unidad seguida por aplastamiento de los núcleos.

Los factores que afectan a la resistencia a compresión de la mampostería incluye:

- 1.- La resistencia de las unidades
- 2.- La resistencia del mortero
- 3.- El espesor del mortero en las juntas
- 4.- Los huecos de la unidad
- 5.- Adherencia (depende de los arreglos de las unidades)
- 6.- Número de hiladas
- 7.- Velocidad inicial de absorción
- 8.- Trabajabilidad

**PRUEBA ESTÁNDAR:** Las pruebas estándar de compresión están regidas por las normas ASTM E447 y se realizan sobre prismas o especímenes pequeños. El mínimo número de prismas que deberán ser probadas de una cierta combinación unidad-mortero será de tres. Los prismas se deberán construir mediante un arreglo adecuado que simule la adherencia usada en la estructura real.

El curado, cabeceado, ensaye, recolección de datos experimentales y otros detalles se presentan en las normas ASTM 447. Especialmente en ambientes muy secos, se sugiere que las mediciones se lleven a cabo sobre especímenes debidamente protegidos para evitar la pérdida brusca de humedad.

La configuración básica de la prueba se muestra en la fig 1. Los esfuerzos de falla del prisma  $f'_{nt}$  se calculan por medio de:

$$f'_{nt} = \frac{P}{A}$$

donde A= área de la sección transversal o área del mortero colocado en cada hilada.

**CORTANTE:** Debido principalmente a que la mampostería tiene una configuración de ensamblaje muy especial entre las unidades y el mortero,



existen dos posibles formas de resistencia al cortante y son:

1.- Deslizamiento o cortante en la junta: La resistencia en adherencia existente entre el mortero y las unidades; si se vence esta resistencia ocasiona un movimiento relativo entre las unidades en una dirección paralela a la junta de mortero existente entre dichas unidades.

2.- Tensión diagonal: La resistencia a la tensión de la mampostería la cual resiste esfuerzos a tensión que existen en una viga o muro de cortante.

En el caso de muros de cortante, donde el cortante es considerado normalmente como una fuerza horizontal paralela a las hiladas del mortero, se deberá garantizar una suficiente adherencia entre el mortero y las unidades para alcanzar una buena resistencia a la tensión diagonal.

PRUEBA ESTÁNDAR: Se utilizan paneles de 4x4 pies (1.22 x 1.22m.) de mampostería cargados a compresión diagonal como se muestra en la fig 2. Los detalles específicos de la prueba se dan en la norma ASTM E519. El valor de la carga P se convierte a esfuerzos de cortante  $S_s$  por medio de la expresión:

$$S_s = \frac{0.707P}{A}$$

donde A es el promedio de las áreas gruesas (para unidades macizas de mampostería) o áreas netas (para mampostería hecha con unidades huecas) de las dos caras contiguas pertenecientes a una hilada.

TENSIÓN: La mampostería es esencialmente un material frágil que tiende a una falla súbita a tensión. En estructuras, los esfuerzos a tensión ocurren en miembros a flexión y como tensión diagonal en pilas y muros que soportan fuerzas cortantes. La expansión y contracción de la mampostería debidos a la

humedad o a los cambios de temperatura pueden inducir importantes esfuerzos de tensión.

La resistencia a tensión (en mampostería no-reforzada) se desarrolla principalmente por la adherencia al cortante y la adherencia a tensión entre las unidades y el mortero. Si la adherencia es suficiente, entonces la falla ocurrirá por fractura a tensión a través del mortero y las unidades.

Prueba estándar: La resistencia a la tensión diagonal puede ser determinada aplicándole cargas de compresión sobre la diagonal a paneles de mampostería, en forma análoga a la prueba de cortante vista antes.

La resistencia a la tensión entre el mortero y las unidades se puede establecer mediante los dispositivos de tensión directa mostrados en la fig 3. y están regidas por la norma ASTM C952.

Los resultados de las pruebas a tensión muestran una variabilidad significativa por lo que son necesarias gran cantidad de pruebas para establecer una confianza estadística.

Flexión: la capacidad a flexión de muros de mampostería no-reforzada depende ya sea de la resistencia a tensión entre las unidades o traslapamiento de las unidades. La flexión que induce esfuerzos de adherencia por cortante entre las unidades traslapadas puede limitarse por la resistencia de la adherencia al cortante o por la resistencia a tensión de las unidades sometidas a flexión. En la fig 4. se muestran los mecanismos descritos.

Pruebas estándar: La resistencia de la adherencia en una dirección perpendicular a las hiladas se pueden establecer por medio de especímenes cargados en los tercios de su longitud o en forma repartida como se muestra en la fig 5.

La norma ASTM E518 nos proporciona los requisitos de materiales,

preparación de especímenes, configuración del ensayo, ensayo y cálculos. Se se requiere un cuidado adicional al manejar los especímenes de adherencia a flexión.

Módulo de elasticidad: El módulo de elasticidad de la mampostería es una relación no-lineal entre esfuerzos y deformaciones. La forma de la curva es parabólica como se muestra en la fig 6. similar a la curva del concreto. Sin embargo se ha observado que existe una tendencia para bajos niveles de esfuerzos hacia un incremento en el valor del módulo tangente con una curva S como se muestra en la fig 6. Este fenómeno se ha atribuido a la rotura y posterior compactación del mortero al incrementarse la carga y debe ser mas pronunciado en morteros de baja resistencia. Algunos reglamentos en los E.U. permiten el cálculo del módulo de elasticidad  $E_m$  de la mampostería como:

$$E_m = 1000 f'_m, \text{ no debe exceder de } 3\,000\,000 \text{ psi}$$

donde  $f'_m$  = resistencia a compresión de la mampostería

Prueba estándar: El módulo de elasticidad de la mampostería se puede hallar mediante una adecuada instrumentación de los especímenes o sea, los prismas deberán cumplir las normas ASTM E111 que corresponde a "pruebas para hallar el Módulo de Young a temperaturas ambientales". La evidencia experimental existente indica que el módulo obtenido de las pruebas en prismas corresponden adecuadamente bien a los módulos de muros a escala natural.

### 3.3 RESULTADOS DE LAS PRUEBAS EXPERIMENTALES

Los resultados obtenidos en pruebas experimentales sirven principalmente para dos fines: en primer lugar son parámetros que nos permiten apreciar cualitativamente las características de una muestra en particular, de un

material en especial; y en segundo lugar, los resultados de las pruebas experimentales sirven para ser empleados en modelos analíticos ya sea en la etapa de implementación o calibración o en la etapa de aplicación de los modelos analíticos.

Hay que tener presente que los resultados arrojados por las pruebas experimentales, son usados muchas veces como complemento de los modelos analíticos empleados para estudiar el comportamiento de estructuras completas; tal es el caso cuando se obtiene el módulo de elasticidad de la mampostería.

Para el caso particular de la mampostería hay que tener presente también que es un material considerado como muy heterogéneo principalmente por los diferentes tamaños relativos entre los componentes que son las unidades de mampostería. Por tanto las pruebas hechas sobre especímenes de mampostería presentan una dificultad adicional que es el tamaño de las muestras. Esta es la razón de que los tamaños de las muestras de mampostería sean relativamente grandes y de que algunas mediciones de deformación tengan como longitud inicial, longitudes de 8 a 10 pulgadas. (Mas adelante volveremos al mismo tópico)

En general, podemos afirmar que existirán una o mas pruebas para la obtención de cada una de las propiedades mecánicas o características de la mampostería y resulta útil otra clasificación para las pruebas realizadas sobre sus muestras. Consideremos que hay pruebas in situ y pruebas en laboratorio las cuales dependerán del lugar en donde se realicen.

Podemos afirmar que ambos tipos de prueba, las realizadas en laboratorio y las realizadas en el sitio de la estructura poseen ventajas y desventajas. Para las pruebas realizadas en el laboratorio tendremos como ventajas el casi control absoluto de las condiciones ambientales que pudieran afectar los resultados; por ejemplo: podremos estudiar los especímenes con una temperatura y humedad controlados pero como desventaja tendremos que tal vez, para pruebas en las cuales los especímenes los hayamos obtenido en el

campo para ser llevados a laboratorio, las muestras sean en realidad alteradas; un ejemplo de esto último sería cuando las muestras fueran extraídas mediante procesos que involucren golpes de percusión como los ocasionados por los cincelos y macetas durante la extracción de las muestras. En tanto, para las pruebas in situ podemos mencionar entre las ventajas, el que las muestras no se vean alteradas por los efectos de traslado al laboratorio y a los distintos cambios en su estructura por el efecto del mismo; en tanto, como mayor desventaja están la falta de control sobre las condiciones ambientales y la falta de comodidad y tranquilidad que da el laboratorio.

Es de gran importancia profundizar sobre la validez de ciertas pruebas experimentales realizadas sobre la mampostería, sobre todo habrá que tener muy presente el efecto que la naturaleza muy heterogénea tenga sobre las pruebas experimentales realizadas. Por ejemplo, habrá que tener una gran precaución en el manejo de los resultados experimentales arrojados por deformímetros electrónicos o los obtenidos mediante la extracción de corazones utilizando brocas huecas; ambos ejemplos nos dan la idea de que al ser las muestras demasiado reducidas en tamaño, la información obtenida es muy cuestionable pues la mampostería es un material completamente heterogéneo.

## IV. METODOLOGIA NECESARIA

### 4.1 OBJETIVO DE LA METODOLOGIA

Las estructuras de mampostería son edificios que poseen características muy especiales que los hace ser distintos en esencia, de otras edificaciones urbanas.

Mediante este trabajo y la metodología propuesta en el, se pretende proporcionar los criterios necesarios para evaluar adecuadamente la seguridad y estabilidad estructural de los monumentos históricos, y mediante estos criterios lograr estandarizar el entrenamiento del personal encargado de hacer las inspecciones de cada monumento histórico.

La metodología propuesta en este trabajo puede ser empleada para la evaluación de la seguridad y estabilidad estructural de cualquier edificio que sea utilizado cotidianamente dentro de la zona urbana sin importar el tamaño del mismo. Como parte de este trabajo se proporcionan las formas para la recopilación de datos, los cuales son necesarios para calificar a un edificio, así como algunas recomendaciones necesarias ante las anomalías detectadas en cada edificio.

Se puede concluir de este trabajo que para realizar adecuadamente la evaluación de la seguridad y estabilidad estructural de un monumento histórico, es imprescindible el entrenamiento adecuado del personal encargado de realizar la inspección del monumento histórico. Este entrenamiento deberá ser proporcionado con la mayor calidad posible y en caso de que no pudiera ser proporcionado en la forma más deseable, se deberá remitir por lo menos, al personal de inspección, a la lectura del presente trabajo y a la lectura de los apéndices A y B.

Se hace nuevamente la aclaración de que este trabajo no fue realizado con el fin expreso de proporcionar un entrenamiento completo para la adecuada

inspección de los monumentos históricos sino simplemente es una guía que pretende estandarizar los criterios de evaluación.

El problema de proporcionarles rigidez lateral adecuada a los muros de grandes dimensiones se puede resolver mediante contrafuertes, columnas y castillos incluidos a los mismos. Sin embargo, ante la acción sísmica fuerte se tendrán invariablemente comportamientos poco deseables originados principalmente por las grandes diferencias entre las rigideces laterales de los muros localizados en las zonas centrales y los de las zonas de esquinas, pues éstos últimos tendrán mayor rigidez lateral. Esto, junto con la gran sensibilidad que poseen los muros de grandes dimensiones ante los problemas de la cimentación hacen que sea necesaria una revisión exhaustiva de todas las posibles patologías de los muros. En la siguiente sección serán tratadas estas patologías.

Tal vez la característica que deba ser considerada como la más importante en el proceso de evaluar la seguridad y estabilidad estructural de un monumento histórico sea la compleja combinación de los sistemas estructurales contenidos en el edificio y por ende la gran complejidad de interacción entre ellos ante una acción sísmica fuerte.

#### 4.1.1 PRINCIPALES PATOLOGÍAS DE LOS MONUMENTOS HISTÓRICOS

En esta sección se tratarán algunas patologías típicas de los distintos sistemas estructurales que conforman un monumento histórico la selección hecha en este estudio se basó en estudios previos y se incluyen además de patologías originadas por el mal comportamiento de la cimentación, por falta de mantenimiento adecuado, por intemperismo, por condiciones de servicio y otros motivos.

Si la techumbre de los monumentos históricos es a base de estructuras de acero pueden esperarse patologías debidas a la falta de mantenimiento, tales

como barras con un avanzado estado de corrosión, remaches o tornillos flojos, y el elemento de sujeción de las láminas de la cubierta rotas o faltantes; otras patologías observadas en la cubierta pueden haber tenido su origen por un mal comportamiento ante diversas acciones o a la combinación de las mismas por ejemplo, barras pandeadas o torsionadas, soldaduras fracturadas, placas de unión en nudos dobladas o desgarradas, aplastamiento en los apoyos, pueden deberse a la acción de cargas gravitatorias junto con la acción sísmica.

La falla por cimentación se podrá manifestar por desniveles, fisuras en los pisos, alzamiento de banquetas circundantes, etc. En la zona de grandes recubrimientos se podrían presentar signos patológicos tales como ladrillos muy intemperizados, acumulación excesiva de basura, la cual al obstruir los tubos de desagüe provocarán acumulaciones de agua, anclajes de los anuncios en mal estado, etc.

Muchas de estas patologías pueden tener orígenes muy obvios y las soluciones para corregirlas pueden ser muy simples; sin embargo, habrán otras patologías que tendrán un muy oscuro origen siendo necesario hacer estudios, análisis, revisiones de diseño, etc., para proponer soluciones a las anomalías detectadas. Bajo éste criterio se propondrá la metodología a seguir para establecer la seguridad y estabilidad de los monumentos en cuestión.

La metodología propuesta tiene como primer paso la capacitación o entrenamiento de los inspectores o revisores de cada caso en particular (ver apéndice A). Es muy posible que estos inspectores hayan realizado algunos casos de evaluación de la capacidad sísmica de los edificios (en los niveles 1 y 2) usada en la Secretaría General de Obras del Departamento del Distrito Federal, sin embargo a ésta altura ya se han establecido las diferencias sustanciales entre un edificio urbano común y un monumento histórico, de donde es requisito indispensable para cumplir con la actual metodología el entrenamiento del personal de inspección.



El segundo paso consistirá en la revisión de los edificios propuestos, para lo cual se aconseja seguir con la lista de posibles patologías consignadas en el apéndice B. De esta revisión se podrán tener únicamente dos posibles resultados. En el primero, la no existencia de patologías, lo que conducirá al establecimiento de que el edificio inspeccionado no presenta problema alguno, culminando así la metodología propuesta. En el caso contrario, se anotarán las patologías detectadas y se discutirán posteriormente las acciones a seguir para una segunda revisión del edificio, cuyo objeto será establecer el origen de las patologías observadas y posteriormente la propuesta de soluciones para corregirlas. En este paso tal vez sea necesario hacer mediciones de elementos estructurales, mediciones de anchos de grietas, mediciones de claros, realizar rutinas de análisis y diseño estructural para luego proponer las soluciones. No es posible estandarizar éste paso pues son muchas las posibilidades de reparación para cada edificio el cual será tratado como un caso especial y las soluciones propuestas serán de una amplia gama, desde las triviales hasta las de gran complejidad. En éstas últimas tal vez sea necesaria la intervención de estructuristas especializados.

#### 4.2 REPARACIONES NECESARIAS

##### 4.2.1 EDIFICIOS CONSTRUIDOS BAJO CONDICIONES SÍSMICAS

Para la reparación y refuerzo de estructuras construidas en regiones sísmicas, a base de mampostería, se usan diversas técnicas, las cuales se mencionan brevemente en este capítulo.

Las estructuras de mampostería están sostenidas principalmente por un sistema de muros los cuales, pueden verse gravemente afectados cuando hay sismos fuertes. A continuación se mencionan algunas de las causas por las

cuales pueden sufrir daños estos muros:

- Insuficiente rigidez, e insuficiente resistencia en los pisos y losa.
- Ausencia de concreto reforzado en nudos de vigas.
- Inadecuadas conexiones entre el muro exterior y el sistema de piso, los muros fallan en un plano perpendicular, insuficiente resistencia e inestabilidad de los muros, particularmente para las estructuras de roca los daños pueden ocurrir por un insuficiente entrelazado entre las intersecciones de los muros.\*

Las reparaciones de grietas en lugares donde los daños son importantes como muros, deben ser primordiales a menos que los procesos de reforzamiento seleccionados resistan toda la carga y las fuerzas que estén sostenidas por los muros.

En general, al reforzar los marcos de concreto reforzado en estructuras de mampostería se deben verificar con gran cuidado para que su interconexión con el sistema de losa y muro no vaya a tener fallas que afecten su estabilidad. Al reparar y reforzar estas estructuras se deben utilizar materiales de buena calidad y la técnica más satisfactoria, junto con personal bien capacitado para tener una mejor ejecución del trabajo.

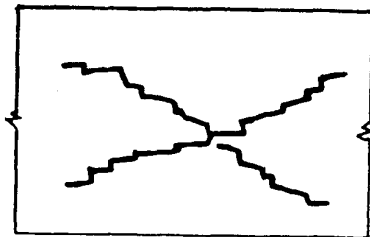
Se pueden considerar varios aspectos para reforzamiento de estructuras de mampostería, y son los siguientes:

- Reducción del peso de los edificios, cambiando las piezas de roca en balcones, parapetos, etc. Previene los aspectos estéticos utilizados sean aceptables.
- Reducir la excentricidad entre el centro de masa y el centro de rigidez adicionando nuevos muros y cerrando aberturas existentes en muros.
- Proveer adecuados nudos para ligar la estructura y que responda como una estructura simple o proveer una junta permanente para rigidizar a cada elemento y que no haya una expansión entre ellos.

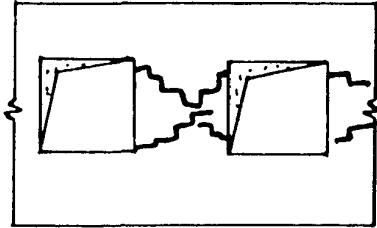
#### 4.2.2 REPARACIÓN DE MUROS

Comunmente las estructuras de mampostería pueden tener grietas debido al exceso de fuerzas de tensión y corte en los muros cerca de las intersecciones de los mismos. A continuación se describen algunas grietas en los muros, típicas para su modelado:

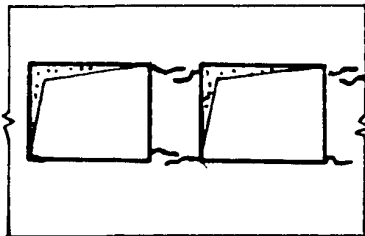
-Grietas diagonales, parciales o completas a través del ancho del muro debidas a la tensión diagonal.



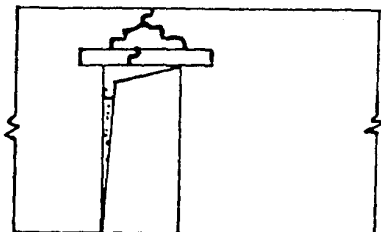
-Grietas diagonales en las piezas de mampostería entre ventana-puerta debido a la carga de tensión diagonal.



Grietas horizontales en las piezas de mampostería y por entre la ventana-puerta debido a la alteración de momentos de flexión.



-Grietas diagonales en el muro, sobre muro abierto, debido a el corte y en forma de arco.



Considerando un patrón de grietas cerca de los muros de las intersecciones, las grietas son típicas y resulta insuficiente el entrelazado de la conexión con el muro. Grietas parecidas ocurren cerca de los muros con las juntas o en la conexión de las juntas cerca de la intersección de los dos lados del muro. Dependiendo del tamaño de grietas es el método que se puede utilizar para su reparación, es decir, se puede utilizar un método por inyección o por el reemplazo de ladrillos y rocas a lo largo de las grietas, o el cambio del muro completo.

#### 4.2.3 REPARACIÓN POR INYECCIÓN

Para grietas que no excedan 3 mm de ancho, la reparación que se utiliza es una mezcla de cemento y agua, en casos especiales se puede usar una resina epóxica y los procedimientos de reparación en grietas pueden ser los siguientes:

-Cambio del acabado, incluyendo yeso, para la zona agrietada y posteriormente cambiar el mortero flojo, limpiar el polvo u otras impurezas con aire a presión o agua.

-Huecos a lo largo de las grietas en intervalos de 30 a 60 cm. dependiendo del ancho de la grieta.

-Introducir mangueras o niples a lo largo de las grietas o huecos aproximadamente a 5 cm de profundidad para que el cemento mortero entre a presión.

-Sellar las grietas con mortero de cemento, a lo largo de toda la longitud.

-Cerrar los huecos con tapones, poniéndolos a lo largo de éstos y después sellarlos.

-Inyectar una lechada de cemento (a una presión de 3 Mpa )

#### 4.2.4 REPARACIÓN A LO LARGO DE LAS GRIETAS

En el caso de las grietas con un ancho de 3 mm., el cemento por inyección da buen resultado, para grietas de 10 mm de ancho los métodos utilizados son más extensos, pero el más utilizado es el de inyección.

Para el caso de grietas verticales en los muros, con piezas flojas ya sean elementos de roca o ladrillos, la reparación puede hacerse, colocando las piezas nuevamente o cambiándolas si es necesario.

-Otro tipo de reparación consiste en quitar los elementos dañados hasta encontrar los que estén en buenas condiciones y hacerle un castillo de recubrimiento empleando acero de refuerzo.

## V. CONCLUSIONES

1.- En esta tesis se propone como mayor aportación, una metodología que permite capacitar a un grupo de ingenieros no especializados sobre estructuras, para poder establecer a partir de una primera inspección visual, el nivel de seguridad estructural que posee una construcción considerada como monumento histórico. Por monumento histórico consideramos en esta tesis toda construcción urbana construida antes de 1900.

2.- Se discute la jerarquía de los dos posibles pasos secuenciales posteriores a la inspección visual y que son el uso de modelos analíticos y las mediciones experimentales. Se discuten también las ventajas y desventajas de ambos tópicos y se concluye que la mediciones experimentales solo son aplicables a obras que por su importancia económica, histórica, etc. ameriten tales pruebas.

3.- Para ubicar al lector sobre algunas pruebas tradicionales que es posible hacer sobre especímenes de mampostería, se discuten las pruebas consideradas como destructivas y pruebas no destructivas; se mencionan también los tratamientos generales que se les da a los resultados experimentales y se utilizan las prueba estándar de la ASTM como puntos referenciales para las pruebas experimentales.

4.- Aunque es posible extender el capítulo sobre pruebas experimentales hasta hacerlo varias veces mayor que el volumen total de esta tesis, este capítulo se redacta brevemente tratando de incluir solo las pruebas experimentales consideradas como "tradicionales" o estándar omitiendo por razones de espacio muchas pruebas experimentales que es posible realizar utilizando técnicas muy especializadas como son ultrasonido, mediciones dinámicas y utilización de deformímetros electrónicos entre muchas más, las

cuales por su extensión ameritan tratamientos individuales.

5.- Se señalan en esta tesis las razones que justifican la importancia de las obras consideradas como monumentos históricos. Se hace un intento por unificar diversos criterios en los cuales se encuentran generalmente muy dispersos en la bibliografía sobre el tema. Se utiliza un cierto tipo especial de estructura como son las salas de espectáculos para ejemplificar la aplicación de la metodología de revisión propuesta en esta tesis.

6.- Finalmente, se proponen algunas técnicas de reparación para algunos daños típicos observados en las estructuras de mampostería. Se señalan claramente en esta tesis, que existen profundas diferencias entre la mampostería nueva (o relativamente reciente) y la mampostería antigua la cual ya ha experimentado cierto deterioro debido principalmente a un conjunto de fenómenos como corrosión, humedad, daño acumulado, etc. los cuales hasta ahora, no han sido explorados con suficiente profundidad.

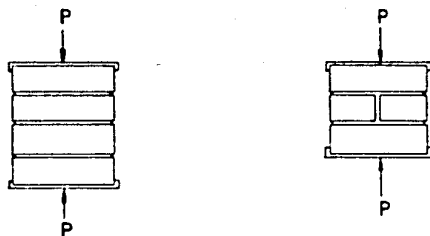


## VI. BIBLIOGRAFIA

1. Baeza, J. "METODOLOGÍA PARA EL ESTABLECIMIENTO DE LA SEGURIDAD ESTRUCTURAL DE SALAS DE ESPETÁCULOS EN EL D.F." Informe preparado para el DDF; Julio de 1988.
2. Cruz, E. "CARACTERÍSTICAS DINÁMICAS DE LAS ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERÍA" Tesis maestría (DEPFI).
3. Del Valle, E. "EL MODELO MATEMÁTICO DE UNA ESTRUCTURA" División de estudios de posgrado Facultad de Ingeniería, UNAM.
4. Dowrick, D. J. "DISEÑO DE ESTRUCTURAS RESISTENTES A SISMOS: PARA INGENIEROS Y ARQUITECTOS" Limusa, 1984.
5. Meli, R. "COMPORTAMIENTO SÍSMICO DE MUROS DE MAMPOSTERÍA " Tesis doctoral (DEPFI).
6. Meli, R., et al "BUILDING IN FIRED-BRICK AND OTHER MASORY UNITS".
7. Rossi, P.P. "RECENT DEVELOPMENTS OF THE FLAT-JACK TEST ON MANSORY STRUCTURES" Paper presented at the workshop Italy-USA evaluations and retrofit of mansory structures, august 19-29, 1987.
8. White-Salmon, "BUILDING STRUCTURAL DESING HANDBOOK"; WILEY, 1988.
9. "REPAIR AND STRENGTHENING OF REINFORCED CONCRETE, STONE AND BRICK-MANSORY BUILDINGS" UNITED NATIONS INDUSTRIAL DEVELOPMENT ORGANITATION executing

agency for the UNITED NATIONS DEVELOPMENT PROGRAMME. Viena, 1983.

ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA



a) Tabique uniforme

b) Tabique intercalado

Fig 1 Prueba de compresión en un bloque de tabique.

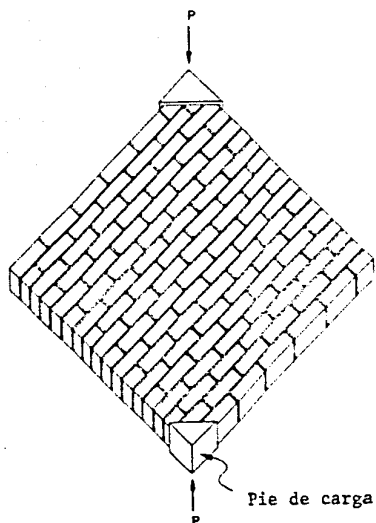
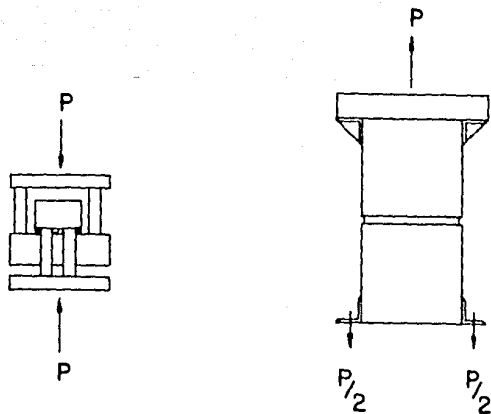


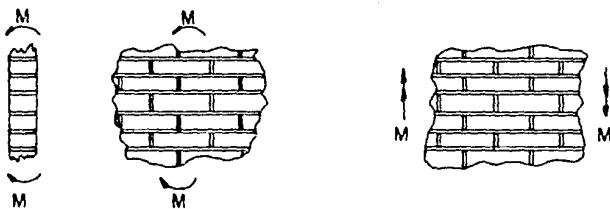
Fig 2 Prueba de tensión diagonal.



a) Prueba de tabique cruzado

b) Prueba de bloque

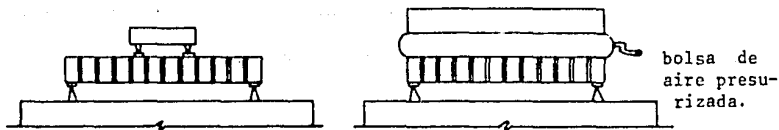
Fig 3 Prueba de la unidad mortero-tabique.



a) Flexión que induce tensión en la unidad mortero-tabique.

b) Flexión que induce cortante y tensión .

Fig 4 Muro de mampostería sometido a flexión fuera de su plano.



a) Carga en el tercio de su longitud.

b) Carga uniforme

Fig 5 Prueba de esfuerzo de flexión en la unión.

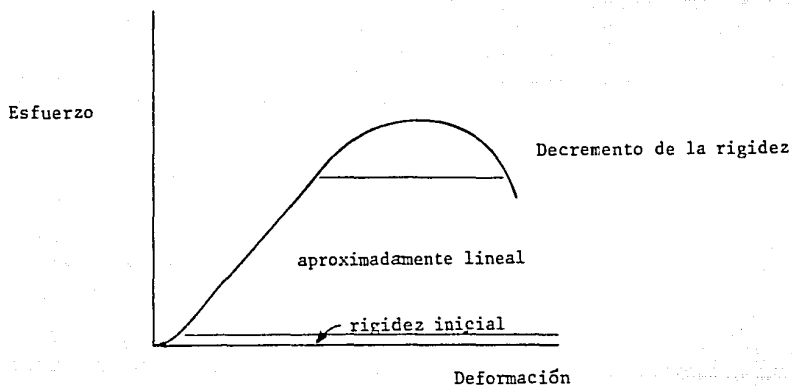
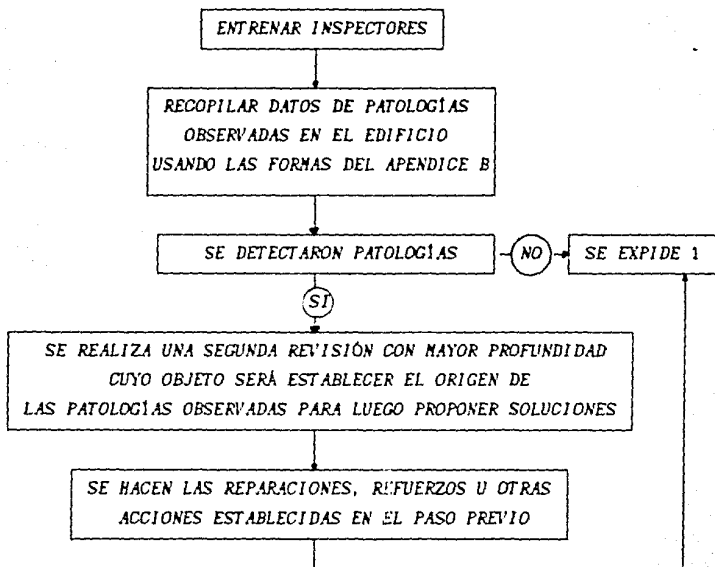


Fig 6 Curva esfuerzo-deformación de muro de mampostería.

## APENDICE A

### METODOLOGÍA PROPUESTA PARA LA EVALUACIÓN DE LA SEGURIDAD Y ESTABILIDAD ESTRUCTURAL DE LOS MONUMENTOS HISTÓRICOS



1 Constancia de no vulnerabilidad ante acciones sísmicas y en buen estado estructural.

## APENDICE B

### 1) CUBIERTA:

#### a) LOSA DE CONCRETO CON VIGAS.

- ¿ Existen grietas apreciables a simple vista con el concreto del centro del claro o en la unión con las columnas ?

#### b) DE ARMADURAS A BASE DE PERFILES DE ACERO

- ¿ Barras pandeadas ?
- ¿ Barras torsionadas ?
- ¿ Plafones desprendidos o desnivelados ?
- ¿ Evidencias de corrosión en los perfiles ?
- ¿ Soldaduras despegadas ?
- ¿ Goteras que sean un origen potencial de corrosión ?
- ¿ Placas de unión entre barras concurrentes a un nudo, dobladas o desgastadas ?
- ¿ Barras de la armadura rotas ?
- ¿ Falla de elementos de contraventeo ?
- ¿ Torsión de elementos de contraventeo ?
- ¿ Apoyos a uniones de las armaduras con columnas o muros con deslizamientos, aplastamientos u otras anomalías ?

#### c) ELEMENTOS PREFABRICADOS

- ¿ Zonas de unión con muros o columnas con signos patológicos como: aplastamiento, grietas, etc. ?

## II MUROS:

- ¿ Pérdida de recubrimiento en columnas ?
- ¿ Pérdida de verticalidad del muro (desplome) ?
- ¿ Grietas inclinadas en los muros ?
- ¿ Grietas verticales en los muros ?
- ¿ Grietas horizontales en los muros ?
- ¿ Grietas horizontales, verticales o inclinadas en las columnas o contrafuertes ?
- ¿ Levantamiento de banqueta o firme junto a los muros ?
- ¿ Evidencia de impacto de cualquier otro componente estructural con los muros ?
- ¿ Grietas en la unión entre muros laterales y muro pifión ?
- ¿ Trozos de mampostería caídos del muro ?
- ¿ Desligamiento entre columnas y tableros del muro ?

## III PISO O FIRME:

- ¿ Grietas ?
- ¿ Agujeros ?