



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN

“RESPUESTA ESTRUCTURAL DE MUROS DE CONCRETO Y
MAMPOSTERÍA A CORTANTE”

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO CIVIL
P R E S E N T A :
ARQUÍMEDES GARCÍA LEZAMA



ASESOR: ING. RICARDO HERAS CRUZ

MÉXICO 2012



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN



RESPUESTA ESTRUCTURAL DE MUROS DE CONCRETO Y MAMPOSTERÍA A CORTANTE

AGRADECIMIENTOS

A DIOS

Por su gran amor y por gratitud a él, porque de el proviene la vida, la sabiduría, la fortaleza y la bendición de haber concretado mis estudios y haber concluido este proyecto.

A MIS PADRES

Por el ánimo, motivación, afecto y el gran apoyo en todo el proceso de mis estudios, porque han estado en todo momento.

A MIS HERMANOS

Por brindarme afecto, ánimo y apoyo.

A MI TIA

Por su ánimo y apoyo.

AL ING. RICARDO HERAS CRUZ

Por su valioso apoyo y asesoramiento de este proyecto de Tesis.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN



RESPUESTA ESTRUCTURAL DE MUROS DE CONCRETO Y MAMPOSTERÍA A CORTANTE

A LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN

Porque ha sido esta institución que me ha permitido cursar la Carrera de Ingeniería Civil.

AL PROGRAMA DE BECAS MÉXICO NACIÓN MULTICULTURAL

Por la preocupación y apoyo a estudiantes de pueblos indígenas.

Del señor es el mundo entero, con
todo lo que en él hay, con todo lo
que en él vive. (Salmo 24: 1)



RESPUESTA ESTRUCTURAL DE MUROS DE CONCRETO Y MAMPOSTERÍA A CORTANTE

INDICE	PÁGINA
INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO 1: GENERALIDADES	4
1.2 DEFINICIONES	7
1.2.1 MURO	7
1.2.1.1 MUROS ESTRUCTURALES	8
1.2.1.2 MUROS NO ESTRUCTURALES	9
1.3 MUROS DE ACUERDO AL MATERIAL	10
1.3.1 MUROS DE MAMPOSTERÍA	10
1.3.2 MATERIALES PARA MAMPOSTERÍA	10
1.3.3 RESISTENCIA A COMPRESIÓN	14
1.3.4 MORTEROS	16
1.3.5 ACERO DE REFUERZO	17
1.3.6 MURO DE CONCRETO	17
CAPITULO 2: AMBITOS DE APLICACIÓN	20
2.1 CORTANTE	20
2.1.1 ESFUERZO CORTANTE	20
2.2 APLICACIÓN EN CASAS HABITACIÓN	41
2.2.1 MUROS DE MAMPOSTERIA	41
2.3 APLICACIÓN EN EDIFICIOS	47
2.3.1 MUROS DE CONCRETO	47



RESPUESTA ESTRUCTURAL DE MUROS DE CONCRETO Y MAMPOSTERÍA A CORTANTE

CAPITULO 3: MÉTODO DE ANÁLISIS	65
3.1 SIMPLIFICADO	68
3.2 ESTÁTICO	77
3.3 DINÁMICO	96
CAPITULO 4: MÉTODO DE DISEÑO	122
4.1 REGLAMENTO DE CONSTRUCCIONES DEL DISTRITO FEDERAL	122
CAPITULO 5: CONSERVACIÓN Y MANTENIMIENTO	134
5.1 MAMPOSTERÍA	134
5.2 CONCRETO	156
CONCLUSIONES	162
BIBLIOGRAFÍA	167



INTRODUCCIÓN

El objetivo de este proyecto de tesis, es indagar los diversos materiales, el uso en las construcción y edificaciones del concreto y la mampostería, evaluar el comportamiento de los elementos de concreto y mampostería en las edificaciones a través de los métodos de análisis y diseños ya establecidos por el Reglamento de Construcciones del Distrito Federal y las Normas Técnicas complementarias, brindar la información que resulte útil para el análisis y diseño de los muros de concreto y de mampostería, así como los materiales que se requieren para su fabricación y la respuesta estructural de estos elementos bajo la acción de fuerzas externas, los esfuerzos y las deformaciones que sufren, pero principalmente el comportamiento de estos elementos a cortante y la combinación de los muros de concreto y mampostería en las edificaciones, como casas habitación, edificios. Se ejemplifica tres métodos de análisis sísmicos en tres estructuras diferentes, el simplificado, el estático y dinámico, el cual se da énfasis a lo que estipula el Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal y las Normas Técnicas complementarias (Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto, Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería, Diseño por Sismo, Criterios y Acciones para el Diseño estructural de Edificaciones).

En nuestro país es muy común el uso de elementos de concreto en las edificaciones y aun más común el uso de la mampostería en las viviendas, una por la facilidad de construcción ya que no requiere de grandes equipos para su ejecución, el uso de la mampostería es posible apreciar en todas las viviendas en combinación con elementos de concreto reforzado.



RESPUESTA ESTRUCTURAL DE MUROS DE CONCRETO Y MAMPOSTERÍA A CORTANTE

Los capítulos de este proyecto se desarrolla en cinco temas, en cada apartado se desarrolla aspectos específicos y generales por la acción de la fuerza cortante en las estructuras.

En el capítulo uno se expone contexto histórico de la evolución de las construcciones y de los diferentes materiales empleados, se definen los tipos elementos estructurales comúnmente utilizados en la construcción de viviendas y edificios, pero en específico los muros de acuerdo a los materiales y sus características.

En el capítulo dos se explica la manifestación de la fuerza cortante, las acciones que pueden generar en diferentes elementos como vigas, muros, los esfuerzos y las deformaciones que producen. Se describe la aplicación de los muros de concreto y mampostería en las viviendas y edificios para uso habitacional.

En el capítulo tres se enfoca en el análisis estructural de los muros de concreto y de mampostería conforme al Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal y sus respectivas Normas Técnicas Complementarias.

En el capítulo cuatro se citan ejemplos de diseño de los diferentes muros de acuerdo al material antes citado, conforme a lo estipulado al Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal y las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto, y las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN



RESPUESTA ESTRUCTURAL DE MUROS DE CONCRETO Y MAMPOSTERÍA A CORTANTE

En el capítulo cinco trata sobre la conservación y mantenimiento de las estructuras de concreto y mampostería, desde el aspecto de un mantenimiento preventivo hasta el mantenimiento correctivo de estructuras dañadas por fuerzas accidentales o a causa de asentamientos diferenciales que es común en la zona de suelos compresibles, ya sea por la elección de una cimentación inadecuada o por carga excesiva transmitida a la cimentación de la estructura.



CAPITULO 1

GENERALIDADES

ANTECEDENTES

El hombre a través de la historia, en el afán por ser más independiente del medio y vivir de la mejor manera, hemos creado construcciones de todo tipo, para vivir, protegernos de los fenómenos climáticos o por el simple hecho en el transcurso de la historia para protegernos de ciertos animales, para almacenar los alimentos y sobre todo diferenciar nuestra inteligencia humana de los animales, generando una evolución de la humanidad de la misma manera crear y construir variadas construcciones y diversas formas de estructuras con el fin de satisfacer y aprovecharlos de la mejor manera para las diferentes actividades que requerimos.

En todas las representaciones constructivas de las cuales tenemos constancia en nuestros días, se muestran soluciones a problemas o inquietudes, manifestadas en diversos rubros por las sociedades primitivas o asentamientos formales. A través de la historia, estas soluciones fueron modificándose y por medio de la comunicación entrelazada o generacional, fueron mejoradas. Desde el principio de los asentamientos humanos en comunidades, digamos ya formales, el material estructural empleado para las construcciones fue la piedra. Elemento abundante en la naturaleza, el cual con ingenio y destreza, podía ser remoldeado y trabajado, con base en un desarrollo de las herramientas convenientes para cada tipo de piedra que se deseaba utilizar. En las



RESPUESTA ESTRUCTURAL DE MUROS DE CONCRETO Y MAMPOSTERÍA A CORTANTE

sociedades desarrolladas primeramente como ciudades-estado se produjeron diversos tipos de estructuras que dieron lugar a una amplia utilización de la piedra como principal elemento estructural. Así, la vemos aplicada en grandes acueductos, calzadas, templos, palacios, tumbas, monumentos conmemorativos y ceremoniales con sus muros de contención, sus murallas, sus bóvedas, arcos, columnas, etc. Una vez que las limitaciones del uso de la piedra se fueron encontrando, se buscaron nuevos materiales para su uso estructural: primero con la madera, al encontrar dentro de su relativa homogeneidad, propiedades para el trabajo a tensión, compresión, flexión y cortante.

En gran parte gracias al ingenio del constructor, nació la idea de fabricar una "piedra", que fuese fácil de moldear, transportar y colocar en obra. De estas necesidades, mediante un proceso de cocción del barro, nace el tabique recocido, que además daba una resistencia aceptable, y se podía fabricar en grandes cantidades y por sus dimensiones, era fácil de transportar, a su vez fácil de colocar en obra, uniendo las piezas entre sí por medio de morteros de arena, cal y cemento natural. El uso del tabique floreció creando estilos tan importantes como el Gótico, donde se aprovechó su excelente uso estructural, en los muros, contrafuertes y bóvedas. El tabique surge como material estructural desde 500 D.C. hasta nuestros días. Sobre la madera también se puede decir que surge desde el principio de los asentamientos humanos, y su uso permanece hasta nuestros días.



RESPUESTA ESTRUCTURAL DE MUROS DE CONCRETO Y MAMPOSTERÍA A CORTANTE

El acero despertó la curiosidad de los ingenieros, pero no analizaron el uso de este material a la construcción, debido a la difícil trabajabilidad estructural del hierro forjado o colado, primero por la fuerza necesaria para fabricar grandes piezas y después, por la fragilidad del material obtenido. En el siglo XIX se empieza a usar el acero, como un elemento a todas luces ideal estructuralmente hablando, alta capacidad a la tensión, a la compresión y al cortante. Además, moldeable en un tren de laminación, en cualquier forma o elemento largo. Versátil en su uso, tanto para columnas como para traveses y armaduras, una vez instalados en el desarrollo de los elementos estructurales, su uso proliferó, desplazando estructuralmente primero a la piedra y después, paulatinamente a la madera, sin embargo, este desarrollo es lento.

También a mediados del siglo XIX, después de haber experimentado con el acero adherido a un conjunto de piedras y adosando este material a piezas de concreto intuitivamente, nace el concreto reforzado.

El concreto reforzado se desarrolla rápidamente, haciendo necesario normarlo tanto en sus variables propiedades, como en su comportamiento estructural diverso. El concreto reforzado rápidamente toma su lugar en el campo de la construcción, a veces desplazando al acero, a veces combinándose con el, a veces dando lugar a otras tecnologías como son los concretos ligeros, los concretos prefabricados simples y los compuestos, es decir elementos estructurales y decorativos o elementos combinados. Otra ramificación del concreto "reforzado" ha sido el uso de los elementos de concreto preesforzados o postesforzados, elementos que constituyen en sí, todo un



comportamiento de gran desarrollo para las estructuras.

1.2 DEFINICIONES

1.2.1 MURO

El muro es una placa vertical en que predominan generalmente las cargas verticales que están distribuidas de manera uniforme en toda la longitud del muro, su función potencial es la de soportar techos y pisos.

El concreto y la mampostería son los materiales clásicos para muros y también es usada la madera en forma de tablero con armazón y cubierta de madera contrachapada.

El muro o panel sujeto a cargas laterales en su plano es un elemento común en edificios y en estructuras tipo cajón en donde se aprovecha la gran rigidez lateral que estos elementos tienen por su considerable peralte, para limitar las deflexiones horizontales de la estructura.

Los muros se pueden clasificar basándose en sus funciones arquitectónicas y estructurales, las cuales influyen en muchas de las decisiones de diseño con respecto a la elección de materiales y detalles:



1.2.1.1 MUROS ESTRUCTURALES

Cumplen funciones esenciales en el sistema estructural general. Los muros de carga soportan techos, pisos y otros muros. Los muros resistentes al cortante anclan el edificio contra fuerzas horizontales, utilizando la rigidez del muro en su propio plano.

TIPOS DE MUROS ESTRUCTURALES

MUROS DE CARGA, UNIFORMEMENTE CARGADOS: Éstos pueden ser de uno solo o varios pisos, soportando cargas provenientes de pisos techos, muros o combinación de una de ellas.

MUROS DE CARGA CON CARGAS CONCENTRADAS: Éstos son muros que proporcionan apoyo a vigas y columnas. En la mayoría de los casos también soportan cargas uniformemente repartidas.

MUROS DE SÓTANOS DE RETENCIÓN DE TIERRA: Estos son muros que se ubican en el límite exterior entre los espacios interiores de los niveles subterráneos y la tierra circundante. Además de funcionar como muros de carga, también cubren claros vertical u horizontalmente, como losas para resistir presiones horizontales de tierra.

MUROS DE CONTENCIÓN: Son muros que funcionan para lograr cambios de nivel, que trabajan básicamente como voladizos verticales para resistir presiones de tierra horizontales del lado alto.

MUROS DE CORTANTE: Se utilizan para reforzar el edificio contra fuerzas (laterales)



RESPUESTA ESTRUCTURAL DE MUROS DE CONCRETO Y MAMPOSTERÍA A CORTANTE

horizontales debidas al viento o sismo. El cortante se genera en el plano del muro, en contraste con el cortante generado en la acción de cubrir claros de una losa.

MUROS AISLADOS: Éstos son muros utilizados como bardas o divisiones, apoyados únicamente en su base.

MUROS A NIVEL DE TERRENO: Éstos son muros que se construyen en edificios sin sótanos; funcionan para soportar muros por encima del nivel del terreno. Asimismo, pueden funcionar como vigas o refuerzos a nivel de terreno en cimientos aislados compuestos de zapatas.

1.2.1.2 MUROS NO ESTRUCTURALES

Actualmente, ningún elemento se considera como muro no estructural. Sin embargo, el término “no estructural” se usa para describir muros que no contribuyen al sistema estructural general de edificios, es decir que no soportan cargas ni proporcionan rigidez a otras partes del edificio, cuando estos se ubican en el exterior se llaman muros de cortina, si están en el interior se llaman muros divisorios.

MURO DIVISORIO

La función básica de este tipo de muro es de aislar o separar, debiendo tener características tales como acústicas y térmicas, impermeable, resistencia a la fricción o impactos y servir de aislantes.

- Acústicos (ruido)
- Térmicos (calor o frío)



- Impermeabilizantes (humedad o lluvia)

1.3 MUROS DE ACUERDO AL MATERIAL

1.3.1 MUROS DE MAMPOSTERIA

Hay muchos tipos de mampostería y muchos factores que se deben considerar para lograr una buena estructura de mampostería. Generalmente, la mampostería consiste en una masa sólida producida por la unión de unidades separadas. El adhesivo tradicional es el mortero. Incluyen una variedad de materiales.

1.3.2 MATERIALES PARA MAMPOSTERIA

PIEZAS

TIPOS DE PIEZAS

El componente básico para la construcción de mampostería es la unidad o pieza que por su origen puede ser natural o artificial. Las piezas usadas en los elementos estructurales de mampostería deberán cumplir con la Norma Mexicana NMX-C-404-ONNCE.

PIEDRAS NATURALES

Las unidades de piedra natural se utilizan sin labrar o labradas. Suelen distinguirse en los siguientes tipos de acuerdo a la forma en que ha sido labrada la piedra natural.

- a) Mampostería de primera.
- b) Mampostería de segunda.
- c) Mampostería de tercera.

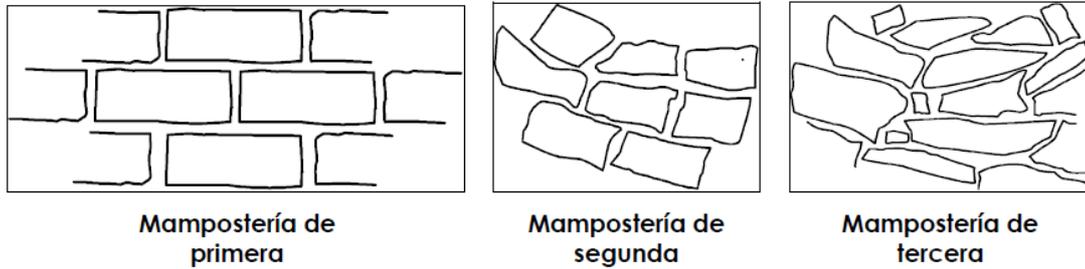


Figura 1. Tipo de mampostería de piedras naturales

PIEDRAS ARTIFICIALES

Existe una gran variedad de piedras artificiales que se utilizan en la construcción. Incluye una gran variedad de materia prima utilizada, como por las características geométricas de las piezas y por los procedimientos de fabricación empleados las materias primas más comunes son el barro, concreto, con agregados normales o ligeros, y la arena con cal.

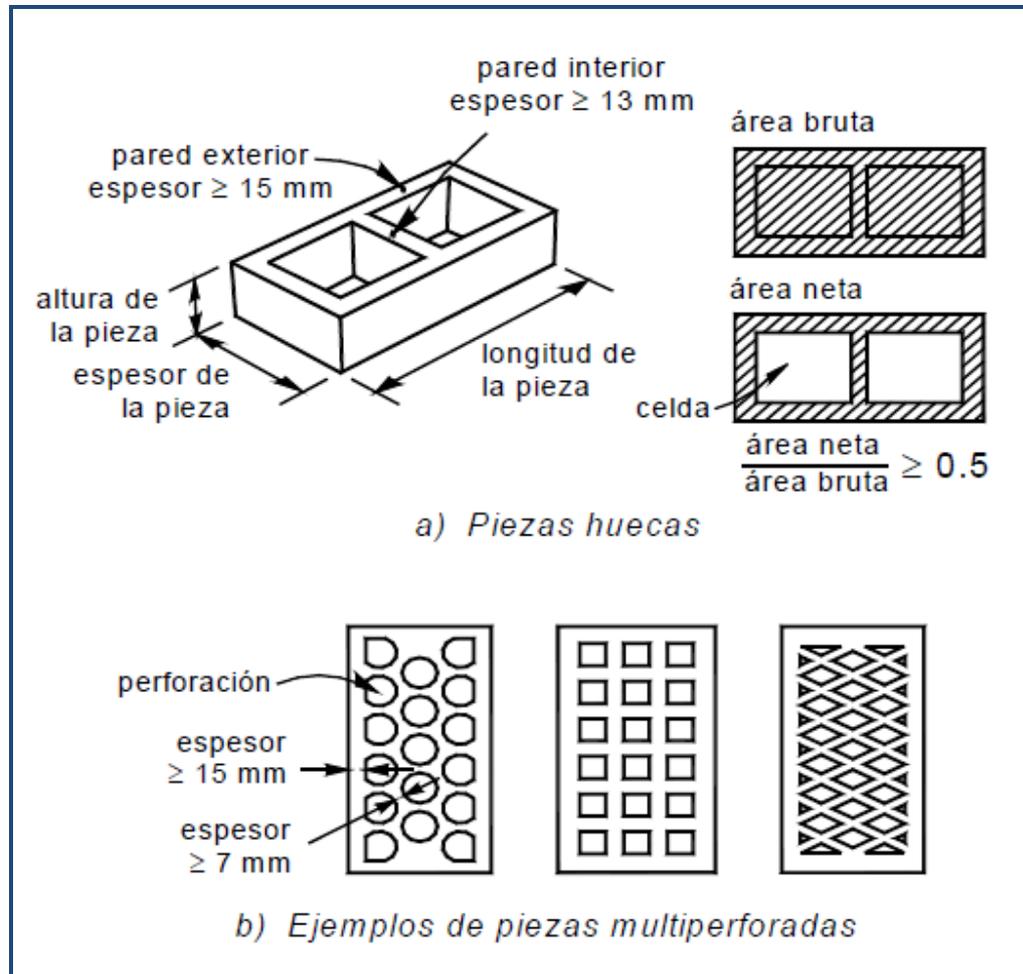


Figura 2. Piezas huecas y multiperforadas

Según la NMX-C-404, las piedras artificiales para uso estructural se clasifican en bloques, tabique (ladrillo), tabicón, y deben tener las siguientes características:

BLOQUES: Es un componente para uso estructural de forma prismática, que se obtienen por moldeo del concreto y/o de otros materiales, puede ser macizo o hueco. Las dimensiones nominales de las piezas deben basarse en el módulo de 10 cm en



RESPUESTA ESTRUCTURAL DE MUROS DE CONCRETO Y MAMPOSTERÍA A CORTANTE

múltiplos o submúltiplos, estando incluida la junta de albañilería, de 1 cm de espesor. Sus dimensiones mínimas deben ser 10 cm de altura, 10 cm de ancho, y 30 cm de largo. Las dimensiones de pared deben ser de 2.5 cm como mínimo.

TABIQUE (LADRILLO): Es un componente para uso estructural, fabricado de forma prismática, fabricado con arcillas comprimidas o extruidas, mediante un proceso de cocción o de otros materiales con procesos diferentes. Las dimensiones nominales mínimas deben ser 5 cm de alto, 10 cm de ancho y 19 cm de largo sin incluir la junta de albañilería.

TABICÓN: Es un componente para uso estructural de forma prismática fabricado de concreto u otros materiales. Las dimensiones nominales mínimas deben ser de 6 cm de alto, 10 cm de ancho y 24 cm de largo. Se Incluye la junta de albañilería.

En la norma antes mencionada se indica además que en localidades se cuente con un reglamento de construcción, cuya vigencia sea posterior a los sismos de 1985, y que contenga disposiciones de diseño sismorresistente para estructuras de mampostería, regirán las disposiciones estipuladas en dicho reglamento referentes a los requisitos de dimensiones nominales mínimas, áreas netas mínimas y espesores mínimos de paredes de piezas macizas y huecas.

Otros materiales que no se ha mencionado es el adobe y el tabique suelo-cemento, materiales muy utilizados en las zonas rurales del país.



ADOBE: Es una mezcla de húmeda de arcilla, arena paja, y como razón como material para construcción es por su bajo costo además de encontrar en casi todos los sitios la materia prima para su elaboración. Su resistencia es del orden de 15 kg/cm^2 .

TABIQUE SUELO-CEMENTO: Se fabrica mezclando suelos de ciertas características con cemento portland.

1.3.3 RESISTENCIA A COMPRESIÓN

Una de las propiedades importantes que se deben de conocer de las piezas es la resistencia a la compresión. Al igual que con el concreto, la resistencia básica de la mampostería se mide la resistencia a la compresión.

La resistencia a compresión se determinará para cada tipo de piezas de acuerdo con el ensaye especificado en la Norma Mexicana NMX-C-036 (Normas Técnicas Complementarias de mampostería).

Esta resistencia se determina sometiendo a compresión muestras representativas de acuerdo a las especificaciones de las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería.

Las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería establecen que la resistencia de diseño f_p^* se obtiene de los resultados de estas pruebas a partir de la siguiente expresión:



RESPUESTA ESTRUCTURAL DE MUROS DE CONCRETO Y MAMPOSTERÍA A CORTANTE

$$f_p^* = \frac{\bar{f}_p}{1 + 2.5C_p}$$

Donde:

f_p^* Media de la resistencia a compresión de las piezas, referida al área bruta; y

\bar{f}_p Coeficiente de variación de la resistencia a compresión de las piezas.

En la tabla 1 se muestran las características de algunas piedras artificiales.

TABLA 1: CARACTERÍSTICAS TÍPICAS DE ALGUNAS PIEZAS ARTIFICIALES				
Material	Resistencia a compresión f_p (kg/cm ²)	Coefficiente de variación, CV	Peso volumétrico (t/m ³)	
Tabique rojo de barro recocido	35-115	10-30	1.30-1.50	
Tabique extruido perforado verticalmente	150-430	11-25	1.65-1.96	
	310-570	15-20	1.61-2.06	
	150-400	11-26	1.66-2.20	
Tabique extruido macizo	375-900	5-16	1.73-2.05	
Tabique extruido, huecos horizontales	75-80	13-18	1.25-1.32	
	50-80	16-30	1.69-1.78	
Bloques de concreto				
	Ligero	20-50	10-26	0.95-1.21
	Intermedio	20-80	7-29	1.32-1.70
Pesado	70-145	7-28	1.79-2.15	
Tabicón	45-120	11-35	1.05-1.6	
Silicio Calcáreo	175-200	11-15	1.79	



1.3.4 MORTEROS

Los morteros son mezclas plásticas aglomerados que resulten de combinar arena y agua con un material cementante que puede ser cemento, cal o una mezcla de estos materiales.

La función del mortero es permitir la sobreposición de las piezas formando un conjunto que tenga una liga fuerte y duradera.

Las principales propiedades de los morteros son: su resistencia a la compresión y tensión, adherencia con la piedra, módulo de elasticidad, trabajabilidad, rapidez de fraguado, e impermeabilidad.

RESISTENCIA A COMPRESIÓN

La resistencia a compresión del mortero es el índice de calidad del mortero, se determina mediante una prueba de compresión. Para esta prueba se fabrican probetas de mortero en forma de cubo de 5 cm de lado, empleando la misma proporción de mezcla a utilizarse en la obra. Esta prueba se basará de acuerdo a lo estipulado de las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería del RCDF. La fuerza de diseño será (NTC para Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería):

$$f_j^* = \frac{\bar{f}_j}{1 + 2.5C_j}$$

Donde:



f_j^* Media de la resistencia a compresión de cubos de mortero o de cilindros de concreto de relleno; y

f_p Coeficiente de variación de la resistencia del mortero o del concreto de relleno, que en ningún caso se tomará menor que 0.2.

1.3.5 ACERO DE REFUERZO

Se refiere al refuerzo que debe de colocarse en castillos y dalas o como refuerzo interior en piezas huecas. Se admite el uso de malla doblada formando refuerzo prefabricados para castillos y dalas.

1.3.6 MURO DE CONCRETO

El concreto en si mismo es un material un tanto complejo y para su uso intervienen muchas cuestiones, como aquellas con respecto a la fabricación, refuerzo, acabado, y fraguado del material colado. En comparación con las estructuras de madera, acero o mampostería, las estructuras de concreto ofrecen un alto grado de libertad en cuanto a variedad y requieren una mayor responsabilidad por parte del ingeniero y el constructor en función del producto terminado.

El concreto se presta para la posible producción de todos los componentes básicos de un edificio: cimentación, losas, muros y marcos así como los diversos sistemas estructurales También es el material de construcción mas inerte y durable, que resiste



RESPUESTA ESTRUCTURAL DE MUROS DE CONCRETO Y MAMPOSTERÍA A CORTANTE

el envejecimiento y efectos climáticos, en este apartado se da una breve explicación del muro de concreto como un sistema estructural.

Los muros de concreto son, por naturaleza, bastante resistentes y, la mayoría de los casos, desempeñan alguna función estructural, a menudo funciones estructurales múltiples.

REQUISITOS GENERALES PARA MUROS DE CONCRETO REFORZADO.

1. **Espesor del muro:** El espesor de los muros no será menor de 13 cm (130 mm); tampoco será menor 0.06 veces la altura no restringida lateralmente. En construcciones de no más de dos niveles, con altura de entrepiso no mayor que 3 m, el espesor de los muros puede ser 100 mm.

Las Normas del RCDF permite que se adopte el factor de comportamiento sísmico $Q=4$, en estructuras de marcos y muros, sólo cuando los primeros son capaces de resistir al menos 50 por ciento de las fuerzas sísmicas, mientras que cuando esto no se cumple deberá de adoptarse $Q=3$. En ambos casos el diseño de los muros debe cumplir con los requisitos que evitan que la ductilidad se vea limitada por algún modo frágil.

2. **Refuerzo por cortante:** El refuerzo por fuerza cortante se determinará a partir de las siguientes ecuaciones, respetando los requisitos del refuerzo mínimo.

Cuantía de refuerzo paralelo a la dirección de la fuerza cortante de diseño.

$$\rho_m = \frac{V_U - V_{CR}}{F_R f_y A_{cm}}$$



RESPUESTA ESTRUCTURAL DE MUROS DE CONCRETO Y MAMPOSTERÍA A CORTANTE

Cuantía de refuerzo perpendicular a la fuerza cortante de diseño,

$$\rho_n = 0.0025 + 0.5 \left(2.5 - \frac{H_m}{L} \right) (P_m - 0.0025)$$

S_m = separación de los refuerzos paralelo a la fuerza cortante

A_{vm} = área de refuerzo paralelo a la fuerza cortante de diseño comprendida en una distancia s_m

La expresión para determinar el área de acero es:

$$A_s = \rho b d$$

A_s = Área de refuerzo (cm^2)

ρ = Cuantía de acero

b = espesor del muro (cm)

d = peralte efectivo (cm)

Las barras verticales deben estar ancladas de modo que en la sección de la base del muro sean capaces de alcanzar su esfuerzo de fluencia.

Las cuantías de refuerzo paralelo y perpendicular no serán menos de 0.0025, el refuerzo se colocará uniformemente distribuido con separación no mayor de 350 mm.

Se pondrá dos capas, cada una próxima a una cara del muro cuando el espesor del muro exceda de 150 mm.

Para el análisis estructural de muros de concreto se estudiarán en capítulos subsecuentes con más detalle. Para este caso el enfoque será únicamente al análisis bajo la acción del cortante.



CAPITULO 2

AMBITOS DE APLICACIÓN

2.1 CORTANTE

2.1.1 ESFUERZO CORTANTE

En respuesta a los efectos externos de cargas y reacciones, se generan ciertas fuerzas internas dentro de las estructuras a medida que el material de la estructura logra resistir la deformación inducida por los efectos externos. Estas acciones de fuerzas al interior de los materiales son generados por esfuerzos sufridos en el material de la estructura. Por lo tanto los esfuerzos son fuerzas que dan origen dentro del material que tienden a incrementarse, que a su vez producen deformaciones crecientes llamadas deformaciones.

En una estructura bajo la acción de fuerzas externas existe flexión, torsiones, alargamiento de los materiales o acortamiento; o bien producen esfuerzos y adquieren una deformación, tomando nuevas formas de manera que las deformaciones se acumulan dentro de los cambios dimensionales generales. Los esfuerzos no se pueden apreciar a simple vista, pero si las deformaciones que se producen, de esta forma se pueden deducir la naturaleza de los esfuerzos que los acompañan. Esta relación se puede usar como un medio simple de determinación o bien, obtener pruebas reales de laboratorios donde se determinan esfuerzos cuantificados, mediante una minuciosa medición de las deformaciones sufridas en los especímenes de materiales ensayados.



Relación del esfuerzo y la deformación

Cuando las acciones de las fuerzas son resistidas por los esfuerzos en el material de la estructura se presentan tres tipos de esfuerzos: tensión, compresión y cortante.

La tensión y la compresión originan una deformación de tipo lineal y se genera con los efectos de la presión perpendicular a la superficie de una sección transversal bajo la acción de esfuerzos, la tensión y compresión son esfuerzos directos.

El esfuerzo cortante que se genera en el plano de una sección transversal es un efecto deslizando de fricción, siendo diferente a la producida por esfuerzos directos, es decir diferente a la producida por la tensión y compresión, el esfuerzo cortante consiste en un cambio angular en lugar de acortamiento o alargamiento lineal de los elementos estructurales.

El esfuerzo no es unidimensional o bidimensional se presenta de forma tridimensional como ocurren los cambios de forma en los materiales tridimensionales que soportan el esfuerzo.

En cierta forma es más fácil representar mentalmente las deformaciones y su acumulación total en las estructuras, que imaginar los esfuerzos internos y las acciones de fuerza. Motivo el cual se utiliza se utiliza la representación gráfica del material o de la estructura deformada para inferir el esfuerzo adjunto o las acciones de las fuerzas internas.

Los esfuerzos directos surgen a partir una fuerza de tensión o compresión como se explico anteriormente y actúa de manera perpendicular a la superficie. En la figura 3 se



RESPUESTA ESTRUCTURAL DE MUROS DE CONCRETO Y MAMPOSTERÍA A CORTANTE

muestra este comportamiento y la forma simple de las fórmulas de esfuerzo utilizados en cálculos.

En la figura 3a, se comprime un bloque al centro una superficie firme, con una presión sobre las base del bloque producida por la fuerza de compresión C . Si está actúa simétricamente sobre el bloque (fuerza axial) la presión o efecto de compresión puede representarse como esfuerzo de compresión, con su valor unitario expresado como:

$$f_c = \frac{P}{A}$$

f_c = esfuerzo unitario, expresado como fuerza por unidad de área Kg/cm^2 .

C = fuerza total en Kg .

A = area de contacto entre el bloque y la superficie que lo sustenta.

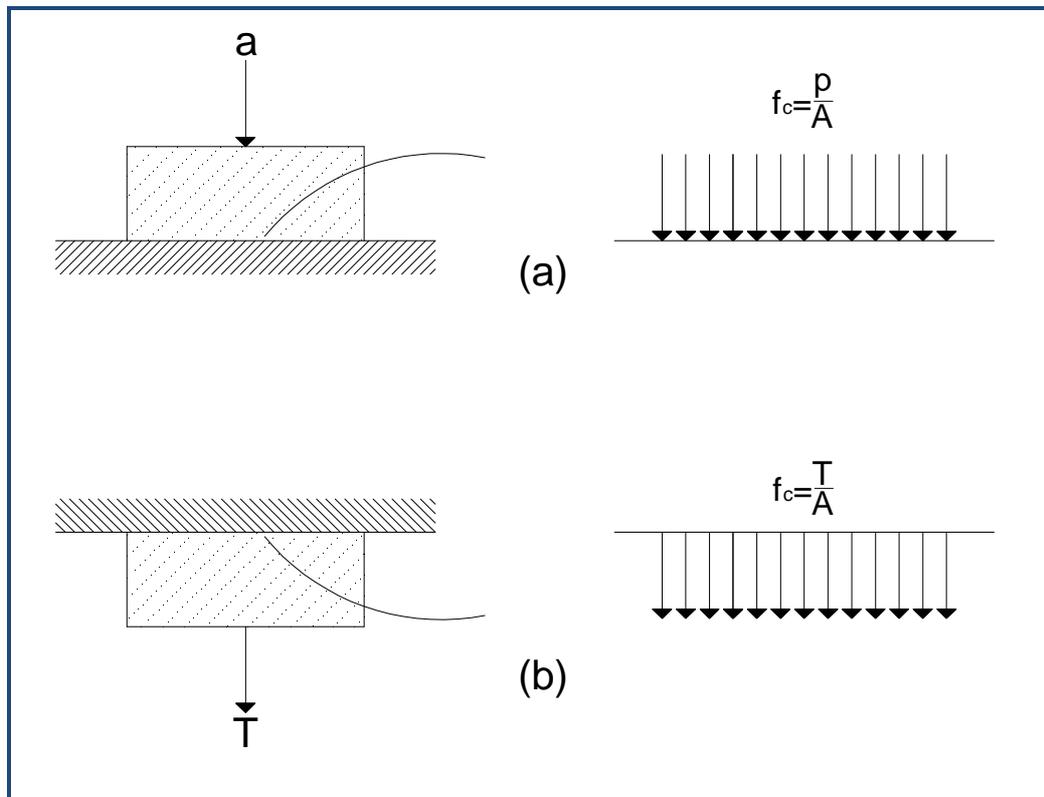


Figura 3: Manifestación de los esfuerzos directos.



Si el bloque está pegado al techo se somete a una fuerza de tensión, para determinar el esfuerzo de tensión sobre la unión es de la misma forma (figura 3b).

En un elemento estructural como una columna o la barra mostrada en la figura 3a, la generación de una fuerza interna directa y el esfuerzo directo resultante se representa de la misma manera, donde la superficie es la de la sección analizada perpendicular a la fuerza directa.

GENERACIÓN DEL ESFUERZO CORTANTE

Existen tres aspectos fundamentales donde las acciones de fuerzas produce la manifestación directa de un esfuerzo cortante. Estas son las siguientes :

1. Esfuerzo producido por una acción de cortante directo (efecto rebanante), llamado esfuerzo cortante directo.
2. Esfuerzo producido en el funcionamiento normal en vigas, llamado cortante en vigas.
3. Esfuerzo producido por torsión, llamado esfuerzo cortante torsional.

En la figura 4 observamos dos ejemplos que muestran la generación de del esfuerzo cortante directo. En la figura 4a el deslizamiento lateral de la junta de lengüeta y ranura lo resiste la presencia de esfuerzos en la base de la lengüeta. Se supone que el esfuerzo cortante tiene un valor uniforme sobre el área de la sección, con una magnitud unitaria de:



$$\tau_v = \frac{V}{A}$$

V = la fuerza cortante que actúa en kg/cm²

A = área total de la sección en la base de la lengüeta.

La forma de esta expresión es similar a la del esfuerzo directo simple de tensión o compresión.

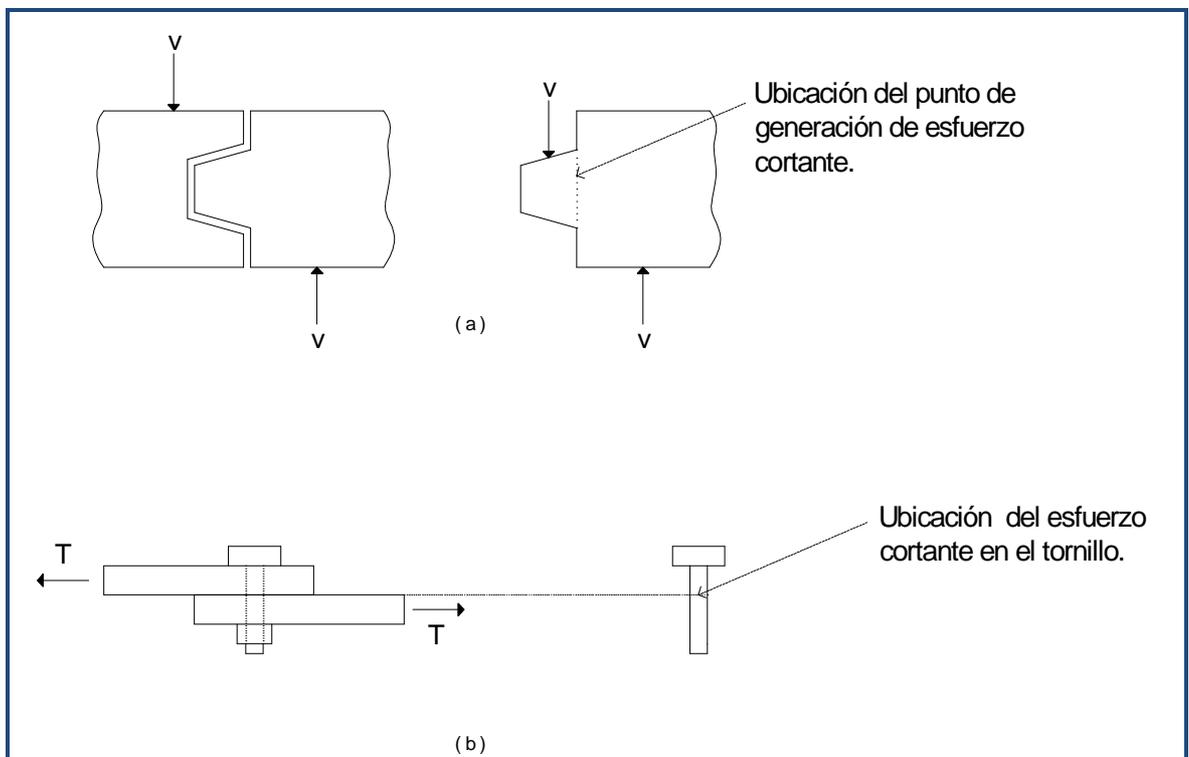


Figura 4. Manifestación del esfuerzo cortante

En la figura 4b las fuerzas de tensión que ejerce sobre las dos placas de acero traslapadas producen un deslizamiento que resiste el tornillo que los conecta, el cual produce un efecto cortante sobre el tornillo. La expresión para el esfuerzo cortante sobre la sección transversal del tornillo que resiste el esfuerzo es la misma que la del refuerzo en la base de la lengüeta de la figura 4a. En el caso de las placas y el tornillo la



RESPUESTA ESTRUCTURAL DE MUROS DE CONCRETO Y MAMPOSTERÍA A CORTANTE

fuerza que actúa es la de fuerza de tensión y el área es de la sección transversal del tornillo.

En el caso de la figura 4b se dice que el tornillo se encuentra en una condición de cortante simple, ya que para que falle la junta sólo se requiere que el tornillo sea cortado una vez.

En el tornillo de la figura 5a se puede observar que el tornillo ha de cortarse en dos partes distintas simultáneamente para que se deslicen las placas; en este caso se dice que el tornillo trabaja a doble cortante. Si amplía este concepto que el pasador bisagra mostrado en la figura 5b se ha de cortar en un total de ocho lugares para que la bisagra se separe en la dirección de las fuerzas. Los pasadores y los tornillos poseen otros aspectos de comportamiento estructural además de cortante. Sin embargo cuando se considera solo el efecto de cortante, el área utilizada en la formula es de la sección transversal por el número de secciones analizadas.

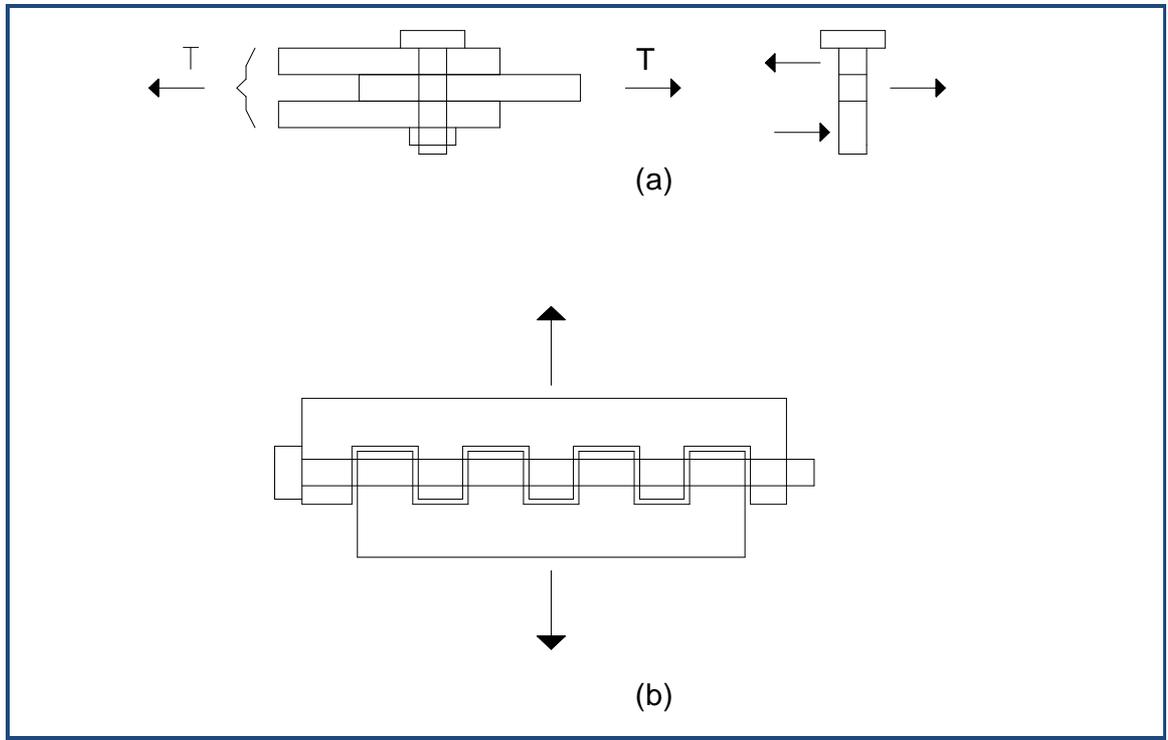


Figura 5. Generación de secciones múltiples de cortante en una conexión pasador.

Para tener una idea más cercana de la acción de los esfuerzos cortantes, consideremos un pequeño elemento de material en forma de un paralelepípedo rectangular que tiene lados con longitudes ΔX , ΔY , y ΔZ , (Figura 6a). Las caras frontal y posterior del elemento se consideran libres de cualquier esfuerzo. Ahora supongamos que un esfuerzo cortante de igual magnitud y sentido contrario en la cara inferior del elemento. Adviértase que la fuerza cortante total en la cara superior es $\tau \Delta x \Delta z$, y que esta fuerza está equilibrada por la fuerza de igual magnitud y sentido contrario de la cara inferior.

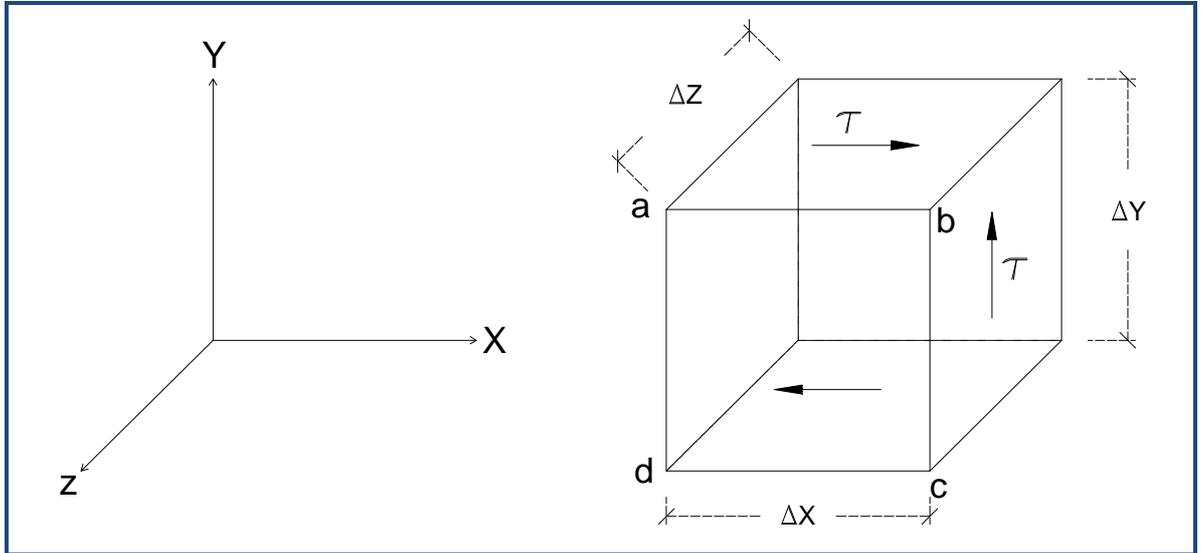


Figura 6a. Esfuerzo cortante

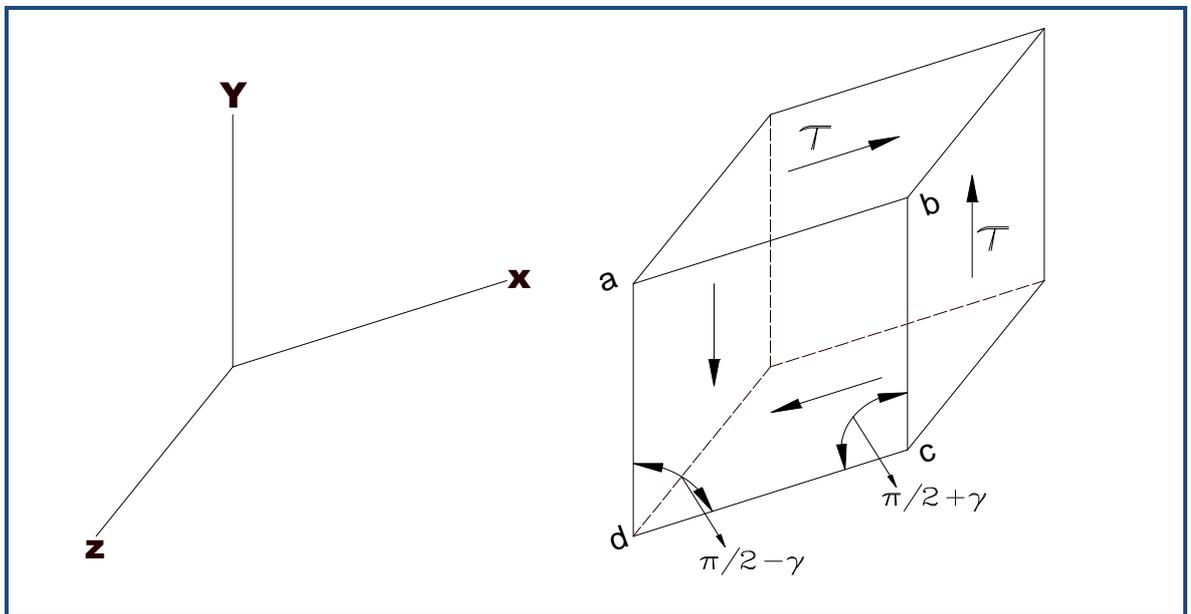


Figura 6b. Deformación por cortante



RESPUESTA ESTRUCTURAL DE MUROS DE CONCRETO Y MAMPOSTERÍA A CORTANTE

Estas dos fuerzas forman un par que tiene un momento respecto al eje Z, de magnitud de $\tau \Delta x \Delta y \Delta z$ en el sentido de las manecillas del reloj en la figura. El equilibrio del elemento requiere este momento se equilibre con otro momento igual y opuesto, resultante de esfuerzos cortantes que actúan en las caras laterales por τ_1 , se aprecia que las fuerzas cortantes verticales son $\tau_1 \Delta y \Delta z$ y que forman un par en sentido contrario de las manecillas del reloj de magnitud $\tau_1 \Delta x \Delta y \Delta z$. El equilibrio de momentos muestra $\tau_1 = \tau$, y en consecuencia son iguales las magnitudes de los esfuerzos cortantes en las cuatro caras del elemento, como se muestra Figura 6a por la que establecen las siguientes conclusiones.

- 1) Los esfuerzos cortantes en caras opuestas perpendiculares de un elemento son iguales en magnitud y en sentido contrario.
- 2) Los esfuerzos cortantes en caras perpendiculares de un elemento son iguales en magnitud y tienen sentidos tales que ambos esfuerzos apuntan hacia la línea de intersección de las caras sobre las que actúan, o en sentido opuesto.

Estas conclusiones referentes a esfuerzo cortante son válidas aun cuando actúan también esfuerzos normales sobre las caras del elemento.



RESPUESTA ESTRUCTURAL DE MUROS DE CONCRETO Y MAMPOSTERÍA A CORTANTE

Un elemento sometido únicamente a esfuerzos cortantes, como se ilustra en la figura 6a, se dice que está sujeto a cortante puro. Bajo la acción de estos esfuerzos cortantes el material se deforma, lo que origina deformaciones angulares o deformaciones por cortante. A fin de visualizar dichas deformaciones, se advierte en primer lugar que los esfuerzos cortantes no tienden alargar o acortar el elemento en las direcciones x , y , z ; en otras palabras, las longitudes de los lados no varían. En vez de ello, los esfuerzos cortantes provocan un cambio de forma del elemento, como se muestra en la figura 6b. El elemento original adquiere la forma de un paralelepípedo oblicuo y la cara frontal ab,ad del elemento se convierte en un romboide; los ángulos entre caras en los puntos b y d , que eran rectos (iguales a $\pi/2$) antes de la deformación se reducen a un pequeño ángulo γ a $\pi/2 - \gamma$ (Figura 6b). Al mismo tiempo, los ángulos en a y c se incrementan a $\pi/2 + \gamma$. El ángulo γ es una medida de la distorsión, o cambio de forma del elemento y se denomina deformación angular (unitaria). Las unidades de la deformación angular son radianes.

Los esfuerzos y deformaciones por cortante se suponen positivos si tienen las direcciones mostradas en la figura 6. Una cara es positiva si su normal se dirige en la dirección positiva de un eje coordenado. Las caras opuestas son caras negativas; por lo que en la figura 6a, las caras derecha, superior y frontal son positivas según x , y , z . Al utilizar esta terminología podemos establecer los signos convencionales del esfuerzo como sigue:



RESPUESTA ESTRUCTURAL DE MUROS DE CONCRETO Y MAMPOSTERÍA A CORTANTE

Un esfuerzo cortante que actúa sobre una cara positiva de un elemento, es positivo si actúa en la dirección positiva de uno de los ejes coordenados y es negativo si actúa en la dirección negativa del eje. Un esfuerzo cortante sobre una cara negativa del elemento, es positivo si actúa en la dirección negativa de uno de los ejes coordenados y negativo si actúa en la dirección positiva, por tanto, todos los esfuerzos cortantes mostrados en la figura 6a son positivos.

Los signos convencionales para deformaciones angulares se relacionan cuando los esfuerzos; la deformación angular de un elemento es positiva cuando se reduce el ángulo entre dos caras positivas (o entre dos caras negativas). La deformación angular es negativa cuando el ángulo entre dos caras positivas (o dos caras negativas) se incrementan. Por lo que las deformaciones mostradas en la figura 6b son positivas, y se aprecia que los esfuerzos cortantes positivos producen deformaciones angulares positivas.

Las propiedades de un material en cortante se determinan experimentalmente por pruebas de cortante directo o pruebas de torsión. De los resultados de dichas pruebas pueden trazarse diagramas de esfuerzo-deformación en cortante. Estos diagramas de τ contra γ tienen forma similar a los diagramas a tensión para los mismos materiales.

La posición inicial del diagrama esfuerzo-deformación a cortante es una línea recta, análoga a la tensión. Para esta región elástica lineal, el esfuerzo cortante y la



RESPUESTA ESTRUCTURAL DE MUROS DE CONCRETO Y MAMPOSTERÍA A CORTANTE

deformación angular son directamente proporcionales se cuenta con la siguiente ecuación para la ley de Hooke en cortante.

$$\tau = G\gamma$$

Donde G es el modulo de elasticidad a cortante (también llamado módulo de rigidez). El módulo a cortante G presenta las mismas unidades que el módulo a tensión E.

Los módulos de elasticidad a tensión y cortante (E y G) se relacionan mediante la siguiente ecuación:

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)}$$

G = modulo de cortante (kg/cm^2)

E = módulo de elasticidad (Kg/cm^2)

ν = coeficiente de Poisson

Donde ν es el módulo de Poisson, esta relación muestra que E, G y ν no constituyen propiedades elásticas independientes del material. Ya que el valor del módulo de Poisson para materiales comunes se encuentra entre cero un medio, se aprecia de la ecuación que G debe estar entre un tercio y un medio.

CORTANTE Y ESFUERZO CORTANTE EN VIGAS RECTANGULARES.

El efecto de la fuerza cortante sobre elementos de concreto reforzado, cuando éstos están sometidos simultáneamente a momento flexionante, como ocurre en el caso



RESPUESTA ESTRUCTURAL DE MUROS DE CONCRETO Y MAMPOSTERÍA A CORTANTE

general, y también cuando, además existe carga axial. El comportamiento del concreto reforzado se asemeja al de un material homogéneo y elástico. Los esfuerzos normales y tangenciales correspondientes a los distintos planos que pueden pasarse por el punto varían en magnitud, al cambiar la orientación del plano de referencia. El estado de esfuerzos en un punto queda definido cuando se conocen los esfuerzos normales y tangenciales según dos planos perpendiculares cualesquiera, aquellos planos en que solo estén esfuerzos normales se llaman planos principales y son perpendiculares entre sí. Los esfuerzos en estos planos reciben el nombre de esfuerzos principales y tienen la propiedad de ser los esfuerzos máximo o mínimo que pueden existir en el punto. Una forma conveniente de representar los esfuerzos en los distintos puntos de un elemento, consiste en trazar las redes de trayectorias de esfuerzos principales, mostrando gráficamente la dirección de los esfuerzos principales en cualquier punto del elemento. En la figura 7 se ilustra una red típica de esfuerzos principales para el caso de una viga libremente apoyada sujeta a una carga uniforme. Como la resistencia del concreto a esfuerzos de tensión es baja, comparada con su resistencia a esfuerzos de compresión, o a esfuerzo cortante propiamente dicho, un elemento de concreto tenderá a fallar según superficies perpendiculares a las direcciones de las tensiones principales. El efecto primordial de la fuerza cortante en un elemento de concreto, es el desarrollo de esfuerzos de tensión inclinados con respecto al eje longitudinal del miembro. Son estos esfuerzos los que pueden originar la falla del elemento a una carga inferior aquella que produciría una falla en flexión.

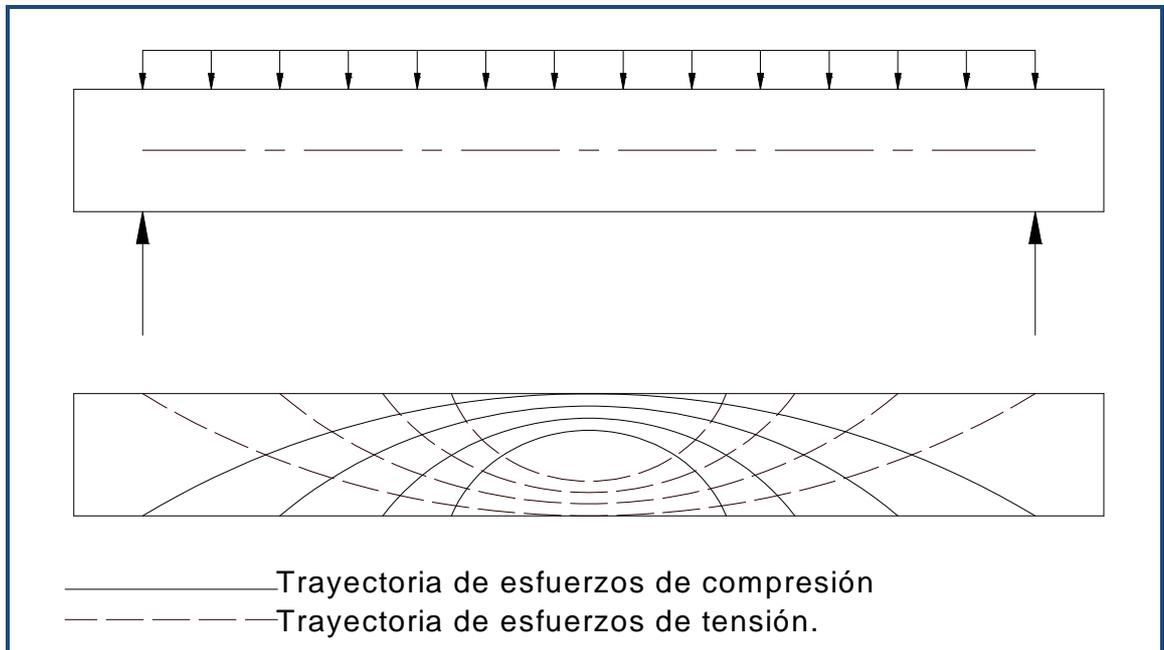


Figura 7. Trayectoria de esfuerzos de una viga rectangular homogénea.

Podría concluirse que de una forma razonable de reforzar vigas de concreto consistiría en colocar barras de acero siguiendo las trayectorias de los esfuerzos principales de tensión, sin embargo es poco práctico ya que las dificultades constructivas son obvias. El comportamiento de un elemento de concreto reforzado es más complejo, pues la distribución de los esfuerzos cambia apreciablemente en el momento que exceden las tensiones que puede soportar el concreto y aparecen grietas. La presencia de grietas impide idealizar de una manera sencilla el funcionamiento de un elemento de concreto reforzado. A esta dificultad se añade que el concreto no es material elástico y las distribuciones de esfuerzos cambian con el nivel de carga.



RESPUESTA ESTRUCTURAL DE MUROS DE CONCRETO Y MAMPOSTERÍA A CORTANTE

Cuando una viga se somete a flexión no uniforme, actúan simultáneamente momentos flexionantes M y fuerzas cortantes V sobre la sección transversal. Los esfuerzos normales σ_x asociados con los momentos flexionantes se obtienen de la fórmula de flexión²:

$$\sigma_x = \frac{My}{I}$$

σ_x = Esfuerzo normal

I = inercia

M = Momento flexionante

El caso más simple de una viga de sección transversal rectangular que tiene un ancho b y una altura h , figura 6a, suponiendo que los esfuerzos cortantes τ actúan paralelos a la fuerza cortante V (esto es, paralelos a los lados verticales de la sección transversal, admitamos también que la distribución de los esfuerzos cortantes es uniforme a lo ancho de la viga. Empleando estas dos suposiciones nos permitirá determinar la distribución de los esfuerzos cortantes que actúan sobre la sección transversal.

Un elemento pequeño de la viga puede recortarse entre dos secciones transversales adyacentes y entre dos planos que son paralelos a las superficie neutra, según se indica el elemento mn de la figura 8a, de las suposiciones anteriores, los esfuerzos cortantes τ están uniformemente distribuidos sobre las caras verticales de este elemento; sabemos que los esfuerzos cortantes sobre una lado de un elemento se acompañan por esfuerzos cortantes de igual magnitud que actúan sobre caras



RESPUESTA ESTRUCTURAL DE MUROS DE CONCRETO Y MAMPOSTERÍA A CORTANTE

perpendiculares del elemento figura 8b y c. Por lo que deben presentarse esfuerzos cortantes horizontales entre capas horizontales de la viga, así como esfuerzos cortantes transversales sobre las secciones transversales verticales, estos esfuerzos cortantes complementarios son iguales en su magnitud. Si consideramos que el elemento mn mostrado de la figura 8 se sustrajo de la parte superior o de la parte inferior de la viga, los esfuerzos cortantes horizontales deben ser nulos, porque no presentan esfuerzos sobre las superficies externas de la viga. Por lo tanto, el esfuerzo cortante vertical τ también debe ser nulo en las partes superior e inferior de la viga (esto es, $\tau = 0$ cuando $y = \pm h/2$).

La existencia de los esfuerzos cortantes horizontales en una viga puede demostrarse, tomando dos barras rectangulares iguales de altura h y colocando apoyos simples como se muestra en la figura 9a, luego cargando con una fuerza P . Si no existe fricción entre las barras, la flexión de las mismas ocurrirá en forma independiente. Cada barra estará en compresión por encima de su eje neutro y en tensión por debajo del mismo, y se deforman como muestra en la figura 9b. Las fibras longitudinales inferiores de la barra superior se deslizarán con respecto de las fibras superiores de la barra superior de la inferior. Si en lugar de las dos barras se tiene una barra sólida de altura $2h$, deben ocurrir esfuerzos cortantes a lo largo del plano del eje neutro de tal magnitud que eviten el deslizamiento mostrado en la figura 9b. Debido a la presencia de los esfuerzos cortantes para impedir deslizamiento, la barra simple de altura $2h$ es más rígida y más resistente que dos barras separadas, cada una de altura h .

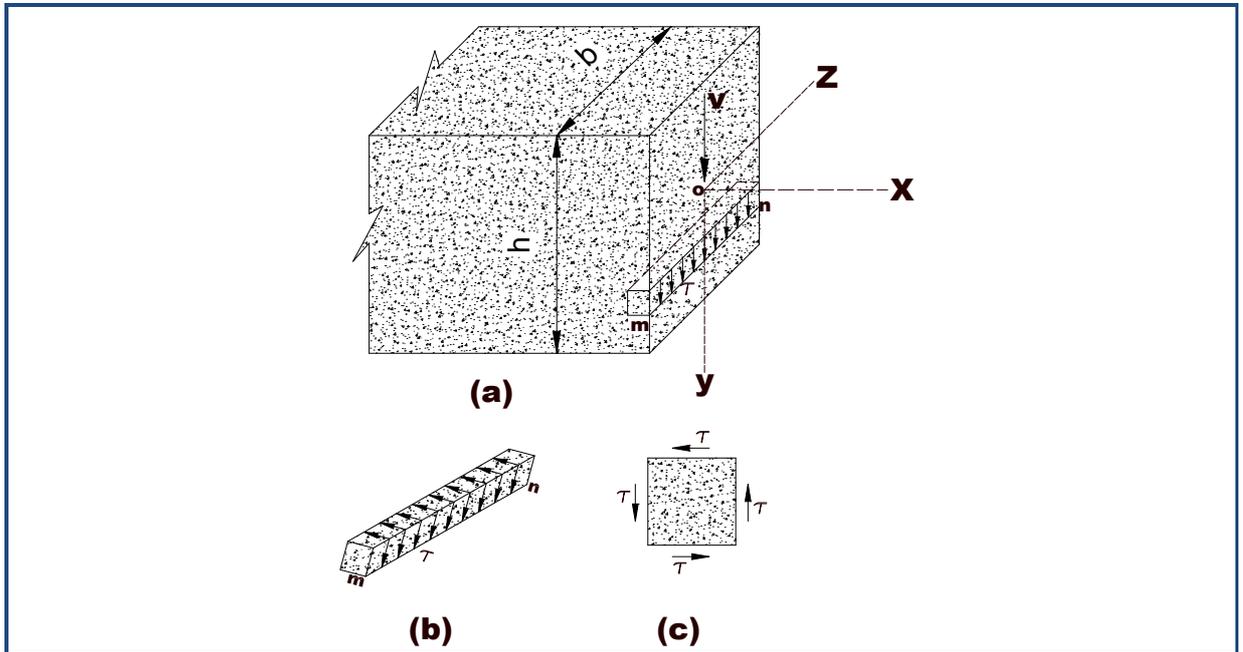


Figura 8. Esfuerzos cortantes en una viga de sección transversal rectangular

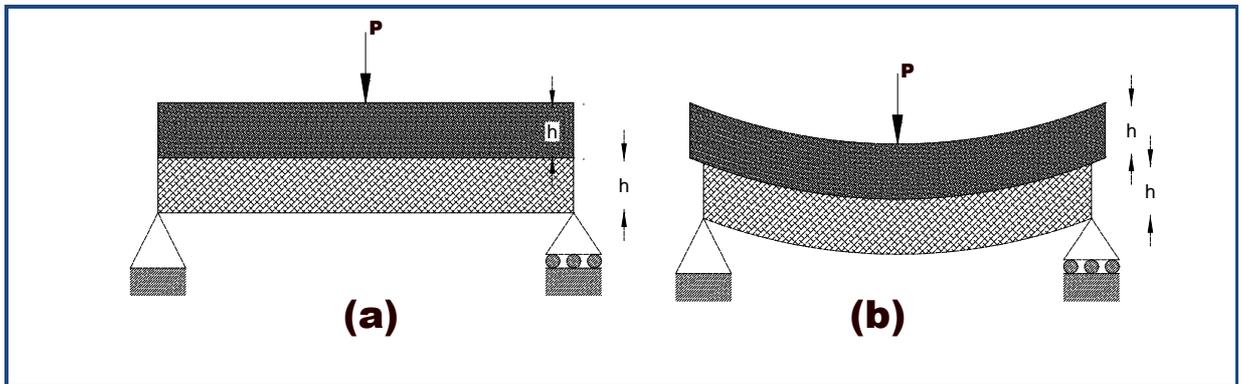


Figura 9. Flexión de dos barras independientes sobrepuestas

Para evaluar los esfuerzos cortantes, consideremos el equilibrio de un elemento pp_1n_1n (figura 10a) recortado de una viga entre dos secciones transversales



RESPUESTA ESTRUCTURAL DE MUROS DE CONCRETO Y MAMPOSTERÍA A CORTANTE

adyacentes mn y m_1n_1 separadas por una distancia dx . La cara inferior de este elemento es la superficie inferior de la viga y está libre de esfuerzos; su cara superior es paralela a la superficie neutra y se ubica a una superficie arbitraria y_1 desde dicha superficie. La cara superior está sometida al esfuerzo cortante τ existente en este nivel de la viga. Las caras extremas del elemento están sometidas a los esfuerzos normales de flexión σ_x producidos por los momentos flexionantes.

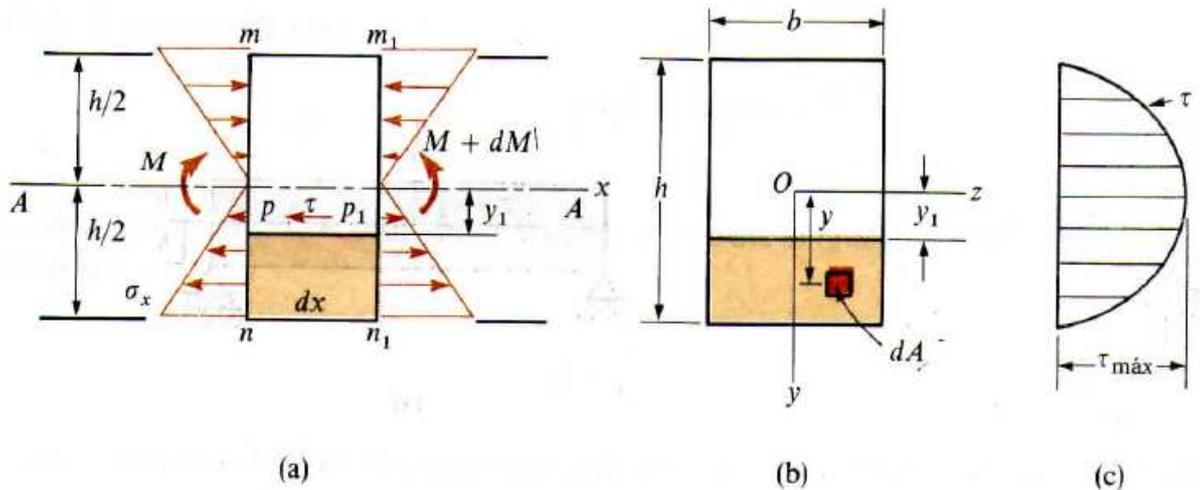


Figura 10. Esfuerzos cortantes en una sección transversal rectangular.

Si los momentos flexionantes en las secciones transversales mn y m_1n_1 , son iguales (si la viga está en flexión pura), los esfuerzos normales σ_x que actúan sobre los lados np y n_1p_1 también serán iguales². En consecuencia el elemento estará en equilibrio bajo la acción de estos esfuerzos; por lo tanto, el esfuerzo cortante τ debe ser igual a cero.



RESPUESTA ESTRUCTURAL DE MUROS DE CONCRETO Y MAMPOSTERÍA A CORTANTE

En el caso de un momento flexionante variable (flexión no uniforme), denotemos por M y $M + dM$ los momentos flexionantes que actúan en las secciones transversales mn y m_1n_1 , respectivamente. Si se considera un elemento de área dA a una distancia y del eje neutro (figura 8-b), se aprecia que la fuerza normal que actúa sobre este elemento es $\sigma_x dA$, en la cual σ_x es el esfuerzo normal obtenido de la fórmula de la flexión. Si el elemento de área está localizado en la cara izquierda pn del elemento, la fuerza normal es:

$$\sigma_x dA = \frac{My}{I} dA$$

Al sumar estas fuerzas elementales sobre el área de la cara pn del elemento macizo se obtiene la fuerza horizontal F_1 que actúa sobre esta cara:

$$F_1 = \int \frac{My}{I} dA$$

en la cual se integra sobre el área sombreada de la sección transversal (esto es, sobre el área de la sección desde $y = y_1$ hasta $y = h/2$). De igual manera, se determina que la fuerza total F_2 que actúa sobre la cara derecha p_1n_1 del elemento macizo es:

$$F_2 = \int \frac{(M + dM)y}{I} dA$$

Finalmente la fuerza horizontal F_3 que actúa sobre la cara superior pp_1 del elemento es:

$$F_3 = \tau b dx \quad (a)$$

en la cual $\tau b dx$ constituye el área de la cara superior.



RESPUESTA ESTRUCTURAL DE MUROS DE CONCRETO Y MAMPOSTERÍA A CORTANTE

Las fuerzas F_1 , F_2 y F_3 deben de estar en equilibrio estático; por lo que, la suma de las fuerzas en la dirección x da:

$$F_3 = F_2 - F_1 \quad (b)$$

O sea,

$$V dx = \int \frac{(M + dM)y}{I} dA - \int \frac{My}{I} dA$$

De donde

$$\tau = \frac{dM}{dX} \left(\frac{1}{Ib} \right) \int y dA$$

Al sustituir $V = dM / dx$, obtenemos ahora

$$\tau = \frac{V}{Ib} \int y dA \quad 2-1$$

La integral en esta ecuación representa el primer momento de la porción sombreada de la sección transversal (figura 10b) con respecto al eje neutro (del eje z), la integral es el primer momento del área de la sección transversal por debajo del nivel y_1 en el cual actúa el esfuerzo cortante. Si se denota el primer momento por Q, podemos plantear la Ec. (2-1) en la forma

$$\tau = \frac{VQ}{Ib} \quad 2-2$$



RESPUESTA ESTRUCTURAL DE MUROS DE CONCRETO Y MAMPOSTERÍA A CORTANTE

Esta ecuación, conocida como la fórmula del cortante, puede emplearse para determinar el esfuerzo cortante τ en cualquier punto de la sección transversal. Para determinar como varía el esfuerzo, debemos examinar como varía Q, ya que V, I, y b son constantes para una sección transversal rectangular dada.

El primer momento Q para el área sombreada de la figura 10b se obtiene al multiplicar el área por la distancia comprendida desde el centroide del área hasta el eje neutro, luego,

$$Q = b\left(\frac{h}{2} y_1\right)\left(y_1 + \frac{h/2 - y_1}{2}\right) = \frac{b}{2}\left(\frac{h^2}{4} - y_1^2\right) \quad (c)$$

El primer momento también puede determinarse por integración:

$$Q = \int y dA = \int_{-b/2}^{b/2} \int_{y_1}^{h/2} y dx dz = \int_{y_1}^{h/2} y b dy = b \left[\frac{y^2}{2} \right]_{y_1}^{h/2} = \frac{b}{2} \left(\frac{h^2}{4} - y_1^2 \right)$$

como se obtuvo antes. Ahora, al sustituir Q (Ec.c) en la fórmula de cortante (Ec. 2-2), obtenemos

$$\tau = \frac{V}{2I} \left(\frac{h^2}{4} - y_1^2 \right) \quad 2-3$$

En esta ecuación muestra que el esfuerzo cortante en una viga rectangular varía cuadráticamente con la distancia y_1 desde el eje neutro; así, cuando se traza a lo largo de la altura de la viga, τ varía como se indica en la figura 9c. El esfuerzo es cero cuando $y_1 = \pm h/2$, y tiene su valor máximo en el eje neutro, donde $y_1 = 0$, luego



$$\tau_{\max} = \frac{Vh^2}{8I} = \frac{3V}{2A} \quad 2-4$$

donde $A = bh$ es el área de la sección transversal. Así, el esfuerzo cortante máximo es 50% mayor que el esfuerzo cortante medio (que es igual V/A). Las ecuaciones anteriores para τ (Ec. 2-1 a 2-4) pueden emplearse para calcular los esfuerzos cortantes verticales que actúan sobre las secciones transversales o los esfuerzos cortantes horizontales de la viga.

2.2 APLICACIÓN EN CASAS HABITACIÓN

2.2.1 MUROS DE MAMPOSTERÍA

La mampostería es un material considerablemente empleado para la construcción, en la actualidad un amplio porcentaje en las viviendas están construidas en base a muros de mampostería ya sea de piedra natural o piedras artificiales.

TIPOS DE MUROS

MUROS DIAFRAGMA

Son muros contenidos dentro de trabes y columnas en un marco estructural, al que proporcionan rigidez ante la acción de cargas laterales y que cumplen con requisitos geométricos y de refuerzo, sección 4 Normas Técnicas Complementarias para el Diseño y Construcción de estructuras de mampostería.

La unión entre el marco y el muro diafragma deberá garantizar la estabilidad de este, bajo la acción de fuerzas perpendiculares al plano del muro. Además, las columnas del



RESPUESTA ESTRUCTURAL DE MUROS DE CONCRETO Y MAMPOSTERÍA A CORTANTE

marco deberán ser capaces de resistir, cada una, en una longitud igual a una cuarta parte de su altura libre, una fuerza cortante igual a la mitad de la carga lateral que actúa sobre el tablero. (Figura 11).

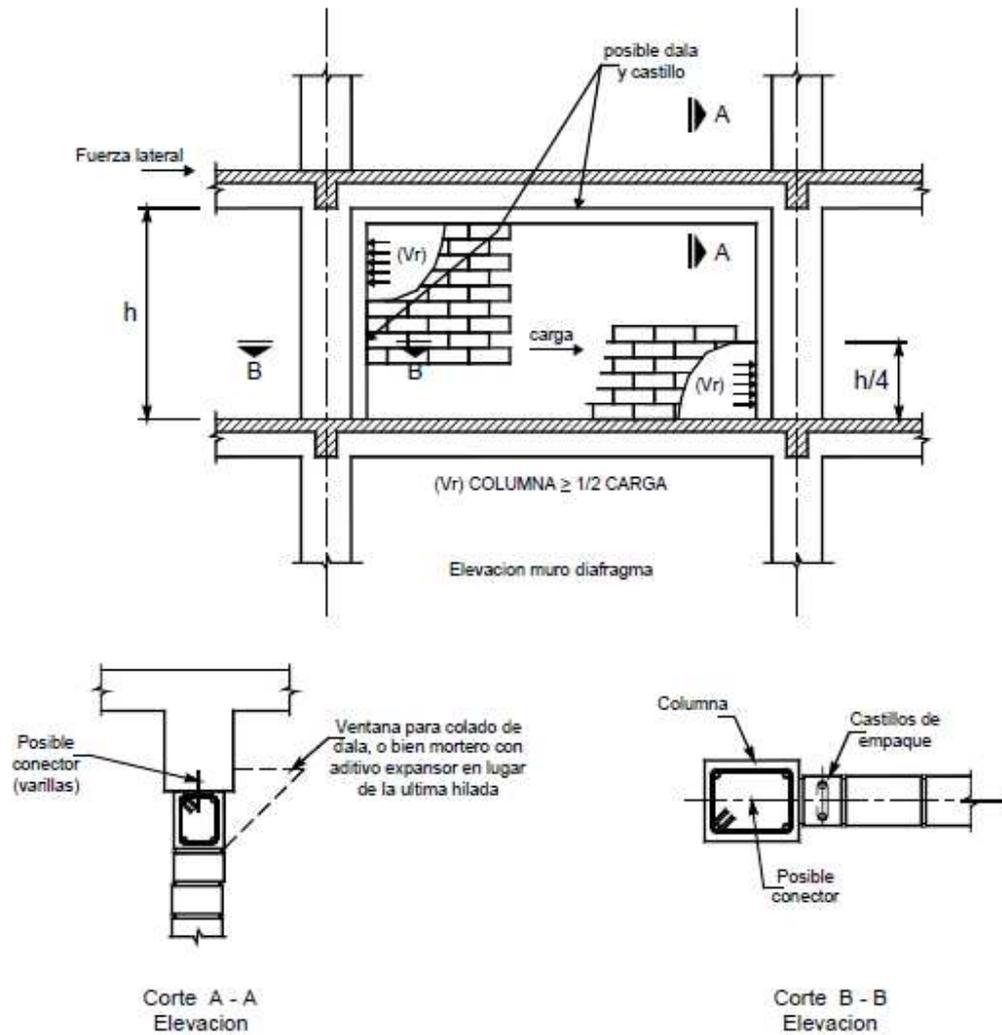


Figura 11: Detalles en planta y elevación de un muro diafragma.



MUROS CONFINADOS

Son muros reforzados con dalas y castillos. Para ser considerados como confinados deben cumplir con los requisitos 5.1.1 a 5.1.4 de las Normas Técnicas Complementarias para el Diseño y Construcción de estructuras de mampostería.

Existirán elementos de refuerzo (dalas y castillos), en el perímetro de todo hueco, cuya dimensión exceda la cuarta parte de la dimensión del muro en la misma dirección.

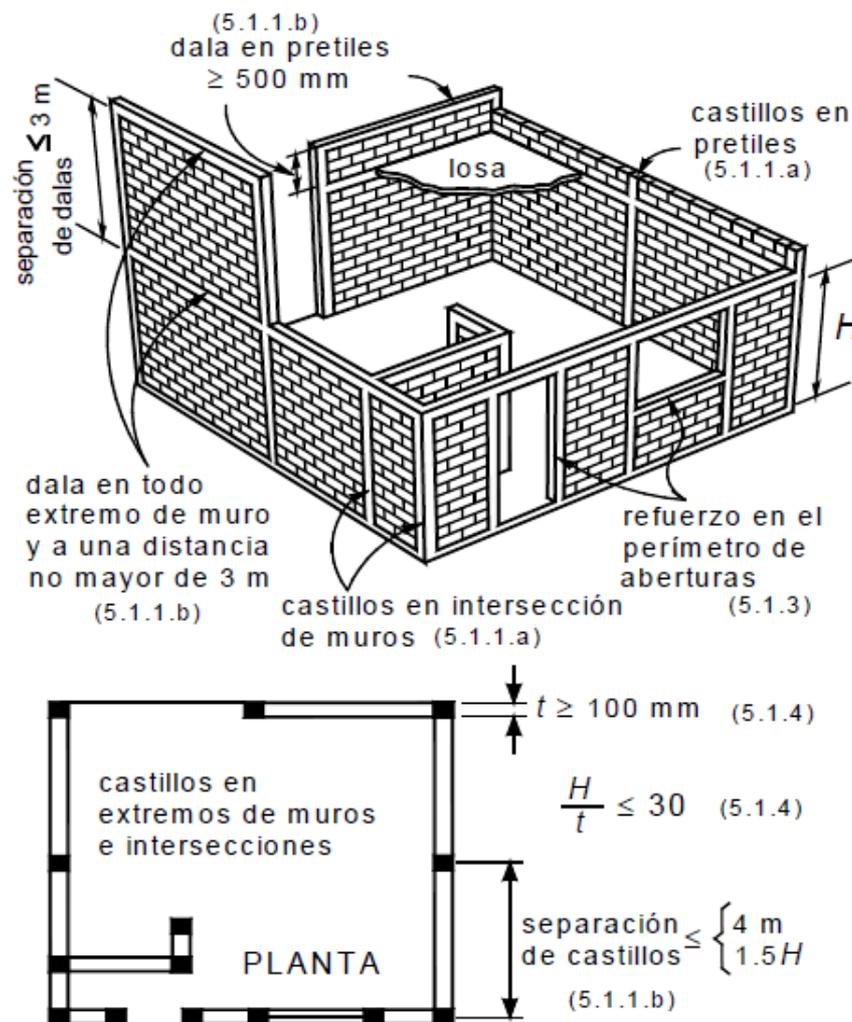
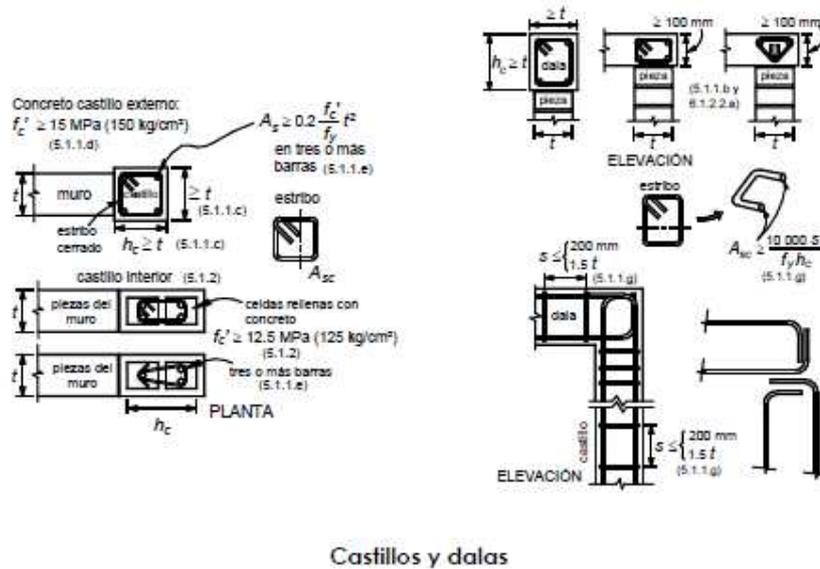




Figura 12a: Requisitos para mampostería confinada



Castillos y dalas

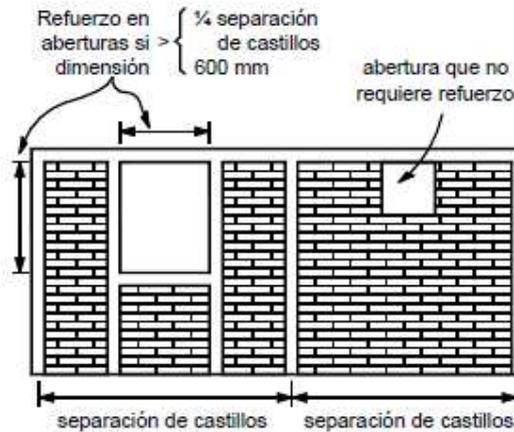


Figura 12b: Castillos y dalas y refuerzo en el perímetro de aberturas.

MUROS REFORZADOS INTERIORMENTE

Son muros reforzados con barras o alambres corrugados de acero, horizontales y verticales, colocados en las celdas de las piezas, en ductos o en las juntas. El refuerzo tanto horizontal como vertical, se distribuirá a lo alto y largo del muro. Para que un



RESPUESTA ESTRUCTURAL DE MUROS DE CONCRETO Y MAMPOSTERÍA A CORTANTE

muro pueda considerarse como reforzado deberán cumplirse los requisitos de la sección 6 de las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería.

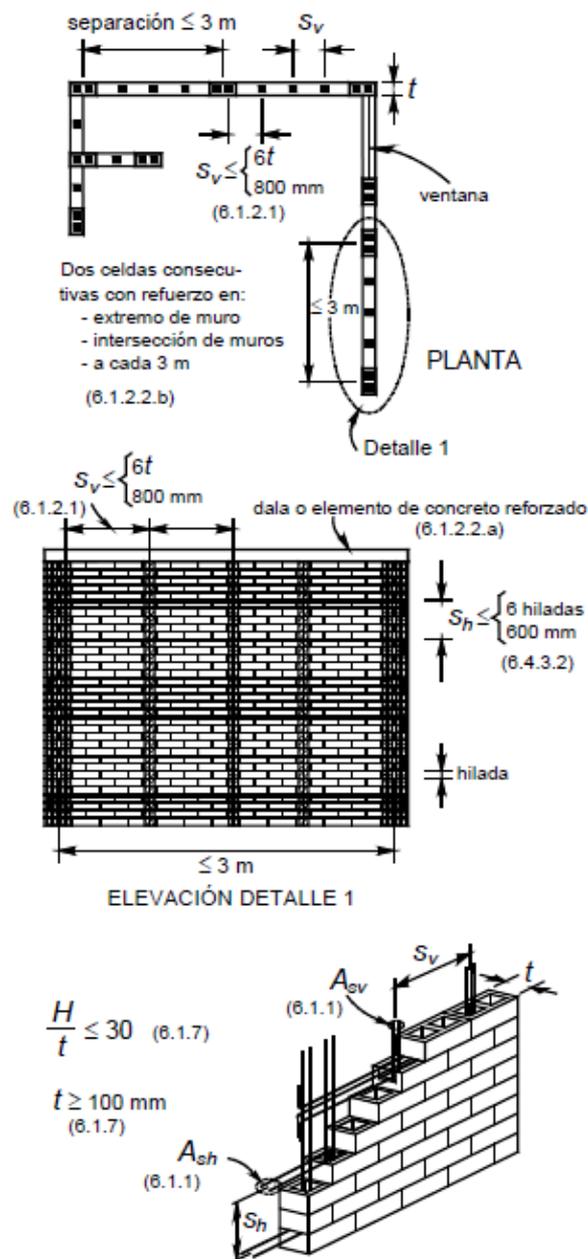


Figura 13: Requisitos para mampostería con refuerzo interior.



MUROS NO REFORZADOS

Son aquéllos que no cumplen con el acero mínimo especificado para ser incluidos en alguna de las tres categorías anteriores. El espesor de los muros, t , no será menor de 100 mm (10 cm). Deberá de cumplirse con los requisitos citados sección 7 N.T.C. de mampostería.



2.3 APLICACIÓN EN EDIFICIOS

2.3.1 MUROS DE CONCRETO

MUROS DE CORTANTE DE CONCRETO EN EDIFICIOS DE NIVELES MÚLTIPLES

Desde hace mucho se ha reconocido la utilidad de los muros en la planeación estructural de edificios de niveles múltiples. Cuando los muros se colocan en posiciones ventajosas dentro de una construcción, pueden ser muy eficientes para resistir las cargas laterales producidas por el viento o sismo. Estos muros se han denominado muros de cortante debido a que con frecuencia gran parte de la carga lateral de un edificio, si no es que toda, y la fuerza cortante horizontal se transfiere a estos elementos. El uso de muros cortantes o su equivalente se hace imperativo en determinados edificios elevados a fin de poder controlar las deflexiones de entrepiso, provocadas por la carga lateral.

Comportamiento de muros en voladizo.

Se puede esperar que un muro cortante de voladizo simple, se comporte esencialmente de la misma manera que una viga de concreto reforzado. El muro de cortante, si actúa como un voladizo grande, estará sujeto a momentos flexionantes y fuerzas cortantes que se originen principalmente en las cargas laterales y a compresión axial provocada por la gravedad. De acuerdo con esto, se puede evaluar la resistencia de la sección crítica a través del muro a partir de la relación de interacción de momento – fuerza axial.



RESPUESTA ESTRUCTURAL DE MUROS DE CONCRETO Y MAMPOSTERÍA A CORTANTE

El refuerzo vertical o de flexión en la porción del alma de un muro de cortante, que puede ser considerable, debe ser tomado en cuenta al evaluar la capacidad a flexión.

Resistencia a flexión de muros de cortantes altos.

En muros de cortante, especialmente en zonas no afectadas por sismos, el requerimiento de resistencia para el acero a flexión no es grande. En tales muros ha sido práctica proporcionar aproximadamente 0.25% del área refuerzo en ambas direcciones. En muros sujetos a pequeña flexión, se ha colocado 0.25 % o un poco más de refuerzo uniformemente en todo el peralte. Es natural que en dicha disposición no se utilice con eficiencia el acero en el momento máximo debido a que muchas varillas operan en un brazo de palanca interno relativamente pequeño.

En una sección eficiente de muro a cortante, sujeta a momentos considerables, la mayor cantidad del refuerzo a flexión se coloca próximo al borde a tensión. Debido a las inversiones de momentos originadas bajo cargas laterales, normalmente se requieren cantidades iguales de refuerzo en ambos extremos. Por tanto se puede resistir una gran parte del momento flexionante mediante “par de acero” interno, lo que produce mejores propiedades de ductilidad. En la sección con distribución no uniforme de acero de la figura 14, se ha colocado refuerzo vertical mínimo (0.25%) sobre el 80% interior del peralte. El resto del acero ha sido asignado a las zonas exteriores (10%) de la sección. Las mayores resistencias y ductilidad debidas a esta distribución son evidentes en el diagrama.



RESPUESTA ESTRUCTURAL DE MUROS DE CONCRETO Y MAMPOSTERÍA A CORTANTE

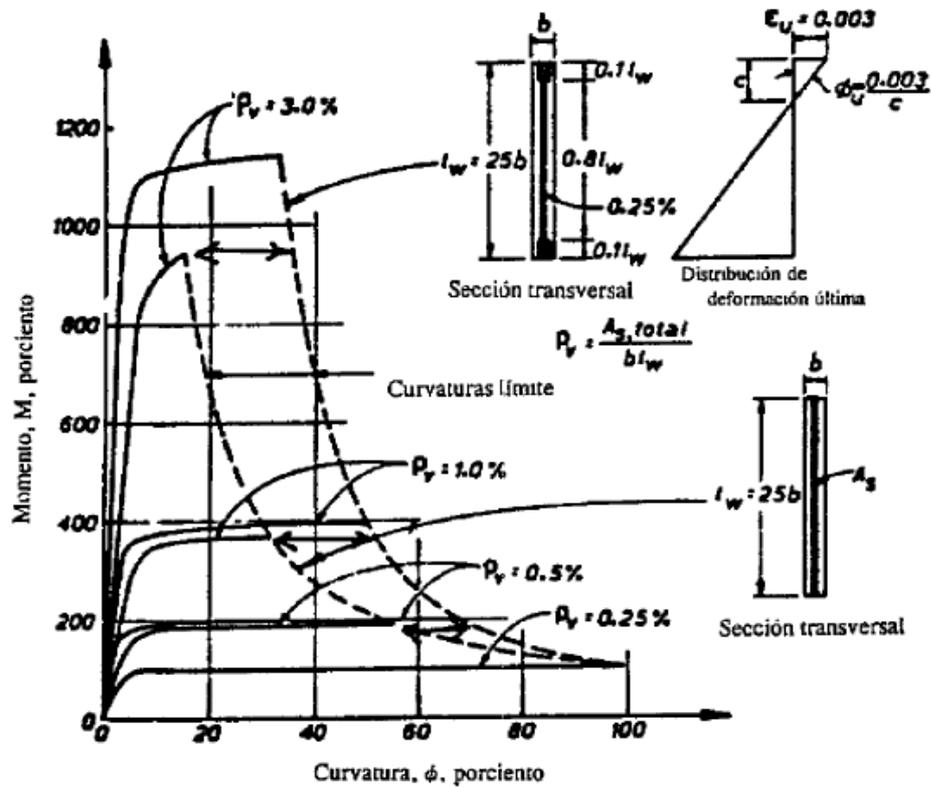


Figura 14. Efecto de la cantidad y distribución del refuerzo vertical en la curvatura última.

Debido a la gran área de la sección transversal, con frecuencia la carga axial de compresión en los muros de cortante es mucho menor que la que provocaría una condición de falla balanceada (P_b). Como resultado de ello, por lo general se aumenta la capacidad de momentos por las fuerzas de gravedad en los muros cortantes.

Cuando es deseable aumentar la ductilidad de un muro cortante en voladizo (normalmente en su base, donde los momentos de volteo y la compresión axial son máximos) se debe confinar el concreto en la zona a compresión. Se sugiere que el acero de confinamiento se suministre de la misma manera que en las columnas con



RESPUESTA ESTRUCTURAL DE MUROS DE CONCRETO Y MAMPOSTERÍA A CORTANTE

estribos y que se distribuya al menos por sobre la parte del peralte l_w donde se requieran deformaciones del concreto superiores a 0.003 cuando se alcanza la ductilidad deseada. Deben suministrar estribos transversales alrededor de las varillas a flexión, que pueden estar sujetas a cedencia a compresión, al menos en la misma manera que en las columnas cargadas axialmente, para evitar el pandeo de esas varillas, lo que es especialmente importante en la región de una articulación plástica que se puede extender por la altura completa de un piso o más.

De los fundamentos presentados se puede deducir la resistencia a flexión de un muro de cortante rectangular que contenga refuerzo vertical distribuido uniformemente y sujeto a carga axial. Sin embargo, se obtienen considerables simplificaciones si se desprecia la contribución del refuerzo en el núcleo elástico. De los principios presentados, la aproximación conservadora correspondiente da:

$$M_u = 0.5 A_s f_y l_w \left(1 + \frac{N_u}{A_s f_y} \right) \left(1 - \frac{c}{l_w} \right)$$

en que N_u , la carga axial, se toma positiva para compresión y A_s es el acero total distribuido uniformemente en el muro. Es necesario considerar la inestabilidad de muros delgados de cortante. En forma conservadora, se pueden tratar las fibras extremas de la sección del muro como una columna aislada sujeta a compresión axial, únicamente que puede pandearse alrededor del eje débil de la sección. De ser necesario se puede aumentar la rigidez a flexión de la sección del muro en la dirección transversal mediante un retorno, como en la figura 10. Esto puede ser necesario en el primer



entrepiso de un edificio, donde con frecuencia las acciones máximas ocurren sobre las longitudes máximas.

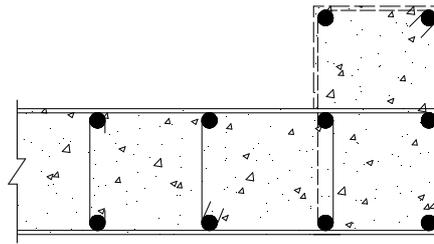


Figura 15. Refuerzo de muro para aumentar la estabilidad

Resistencia a cortante de muros de cortante altos

Se puede evaluar la resistencia a cortante de muros altos de cortante de la misma manera que en vigas. Se puede dar un margen adecuado para la contribución de la compresión axial en incrementar la participación del mecanismo resistente a cortante del concreto, medido por el esfuerzo V_c cortante nominal. También se debe considerar el efecto adverso de las aceleraciones verticales inducidas por los sismos. En la base del muro, donde es posible la cedencia del acero a flexión en ambas caras, se debe despreciar la contribución del concreto a la resistencia a cortante, cuando el esfuerzo P_u/A_g , de compresión axial en el área bruta del muro es menor que $0.2f'_c$, ya que posiblemente se podría compensar esta pequeña compresión mediante aceleración vertical que provocara tensión.



Muros de cortantes bajos, con secciones transversales rectangulares.

La altura de muros de cortante en voladizo de muchos edificios bajos es menor que su longitud (es decir, su peralte estructural). Es claro que en tales casos no se puede basar la evaluación de la resistencia a flexión y cortante y el refuerzo apropiado en las técnicas convencionales aplicables a muros altos. Por lo general de los muros de cortante de baja altura sólo transmiten cargas de gravedad muy pequeñas, razón la cual se ignora su efecto benéfico derivado al menos para la resistencia a cortante. La demanda de acero a flexión también será pequeña en la mayoría de los casos, debido al brazo de palanca interno disponible relativamente grande. En consecuencia, sería más práctico distribuir el refuerzo vertical (es decir, a flexión) en forma uniforme en toda la longitud del muro, permitiendo sólo un aumento nominal en los bordes verticales.

Probablemente la pérdida de ductilidad correspondiente a la carga sísmica no será de gran importancia por dos razones. En primer lugar, el bajo requisito de acero a menudo se satisface mediante una cuantía próxima al mínimo de acero, que da absorción de energía en el intervalo inelástico. En segundo lugar se pueden hacer muros de cortante bajos debidamente detallados que absorban todo o la mayor parte del choque sísmico en el intervalo elástico sin demanda de grandes contenidos de refuerzo. Se ha intentado predecir el comportamiento probable de los muros de cortante bajos de las pruebas realizadas en vigas de gran peralte, ya que las similitudes geométricas sugieren el procedimiento. Para el muro común de cortante de un edificio, la carga se introduce a lo largo de junta entre las losas del piso, como una carga lineal. En la figura



RESPUESTA ESTRUCTURAL DE MUROS DE CONCRETO Y MAMPOSTERÍA A CORTANTE

16 está ilustrado un patrón semejante de grietas, que puede ocurrir en un muro bajo a cortante. De las consideraciones del equilibrio del cuerpo libre triangular marcado con el 1 en la figura 16, es evidente que se requieren estribos horizontales para resistir el esfuerzo cortante aplicado a lo largo del borde superior. Las fuerzas de compresión diagonal establecidas en el cuerpo libre también requieren el esfuerzo vertical. En la compresión vertical externa deben ser iguales para permitir que se generen diagonales a compresión a 45° . Por otra parte, en el cuerpo libre unido por dos grietas diagonales y marcado con 2 en la figura 16, solo es necesario generar fuerzas verticales, iguales a la intensidad a cortante, para desarrollar la compresión necesaria diagonal. Con frecuencia este acero se conoce como refuerzo a cortante, aunque su papel principal es resistir el momento que tiende a volcar el cuerpo libre 2. En la figura 16 ilustra el papel de las varillas verticales y horizontales para resistir las fuerzas cortantes en muros bajos de cortante.

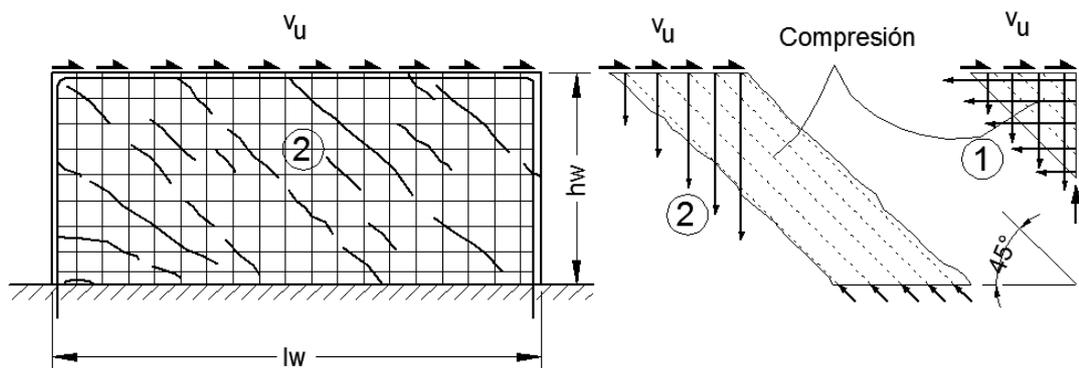


Figura 16. La resistencia a cortante de muros bajos de cortante



Muros de cortante en voladizo con patines.

Cuando la fuerza axial es pequeña, podemos anticipar que también estos muros utilicen el “par de acero” interno en el intervalo inelástico, ya que el contenido de refuerzo en ambos patines normalmente es el mismo. Por tanto, se podrá disponer de suficiente ductilidad, si esta requiere durante un sismo de magnitud catastrófica, con tal que la restricción contra el pandeo del acero sea adecuada.

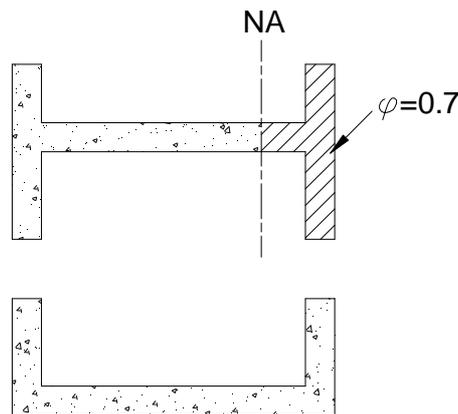


Figura 17. Secciones transversales con patines

Cuando la compresión axial es significativa, todo un patín y parte del alma pueden estar en compresión. En tales casos considerar que los patines son columnas con estribos cargadas axialmente. De acuerdo con ello sería más apropiado un factor más bajo de reducción de capacidad ($\phi=0.7$) al evaluar la capacidad última en este caso (figura 17). Para las posiciones intermedias del eje neutro, se puede interpolar



RESPUESTA ESTRUCTURAL DE MUROS DE CONCRETO Y MAMPOSTERÍA A CORTANTE

adecuadamente el valor ϕ entre 0.7 y 0.9. Es evidente la importancia de suministrar suficiente refuerzo transversal alrededor del acero vertical principal en patines.

Los patines incrementan considerablemente el momento de resistencia de muros altos en voladizo de cortante. Por tanto la resistencia de las fuerzas cortante en el alma puede ser más crítica que en los muros que tengan secciones transversales rectangulares. Se debe prestar atención especial en las juntas de construcción horizontal, que también puede estar cargada severamente. En un muro de cortante bien diseñado, no se espera que el refuerzo a cortante ceda en ninguna etapa de la carga.

El comportamiento de los muros de cortante cortos con patines es todavía más complejo. Incluso una pequeña cantidad de refuerzo vertical en los patines anchos puede suministrar una capacidad a flexión asociada con una carga cortante excesiva en el alma. Un patín a compresión no es efectivo en muros de cortantes bajos, ya que no se puede desarrollar el brazo interno de palanca ideal, necesario para el comportamiento de viga.

Interacción entre muros de cortantes en voladizo.

En determinados edificios de niveles múltiples, como departamentos, los muros de cortante transmiten carga gravitacional al igual que la lateral de viento o sísmica. En la figura 18 se muestra una planta típica de esa clase de edificios. Se puede considerar que la losa del piso es muy flexible en comparación con la rigidez a flexión de los muros con respecto a su eje mayor; por tanto, la resistencia a flexión de la losa durante la carga lateral no necesita tomarse en cuenta en la mayoría de los casos. Las losas



RESPUESTA ESTRUCTURAL DE MUROS DE CONCRETO Y MAMPOSTERÍA A CORTANTE

actúan como diafragmas horizontales, que se extienden muro a muro y se espera que aseguren que no cambien las posiciones relativas de los muros entre si durante el deslizamiento lateral de los pisos. La resistencia a flexión de muros rectangulares con respecto a su eje débil también puede despreciarse en un análisis de carga lateral. El análisis elástico de un conjunto de voladizos interconectados, modelados en la figura 19 puede ser muy complejo, si se toman en cuenta las deformaciones a cortante y a torsión con alabeo limitado en las unidades de muros individuales.

Con referencia a la figura 18, se puede aproximar la distribución de la fuerza sísmica lateral total, W_x o W_y , entre todos los muros mediante las siguientes expresiones:

$$W_{ix} = W_{ix}' + W_{ix}''$$

$$W_{iy} = W_{iy}' + W_{iy}''$$

En que

$$W_{ix}' = \frac{I_{iy}}{\sum I_{iy}} W_x$$

$$W_{iy}' = \frac{I_{ix}}{\sum I_{ix}} W_y$$

$$W_{ix}'' = \frac{y_i I_{iy}}{\sum (x_i^2 I_{ix} + y_i^2 I_{iy})} e_y W_x$$

$$W_{iy}'' = \frac{x_i I_{ix}}{\sum (x_i^2 I_{ix} + y_i^2 I_{iy})} e_x W_y$$



RESPUESTA ESTRUCTURAL DE MUROS DE CONCRETO Y MAMPOSTERÍA A CORTANTE

W_{ix}, W_{iy} = Participación del muro i para resistir la carga lateral externa total en las direcciones x y y respectivamente.

W'_{ix}, W'_{iy} = Carga inducida en el muro solamente por las traslaciones entre niveles

W''_{ix}, W''_{iy} = Carga inducida en el muro solamente por la torsión entre plantas

W_x, W_y = Carga externa total que deben resistir todos los muros

I_{ix}, I_{iy} = Segundo momento apropiado del área de una sección de muro alrededor de sus ejes X y Y .

x_i, y_i = Centro de rigidez CR del sistema resistente a las cargas

e_i, e_i = Del centro de gravedad CG (masas) y el centro de rigidez en que

Si W_x y W_y se deben a la carga de sismo, hay que remplazar el centro de masa por la posición de la fuerza resultante del sismo.



RESPUESTA ESTRUCTURAL DE MUROS DE CONCRETO Y MAMPOSTERÍA A CORTANTE

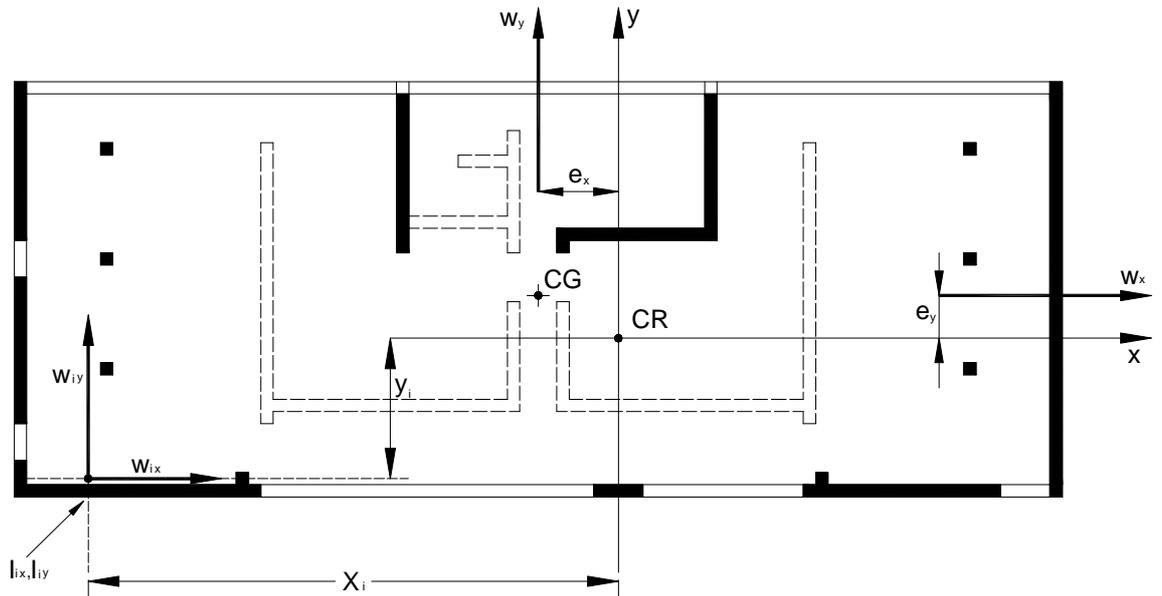


Figura 18. Muros de cortante de un edificio de departamentos.

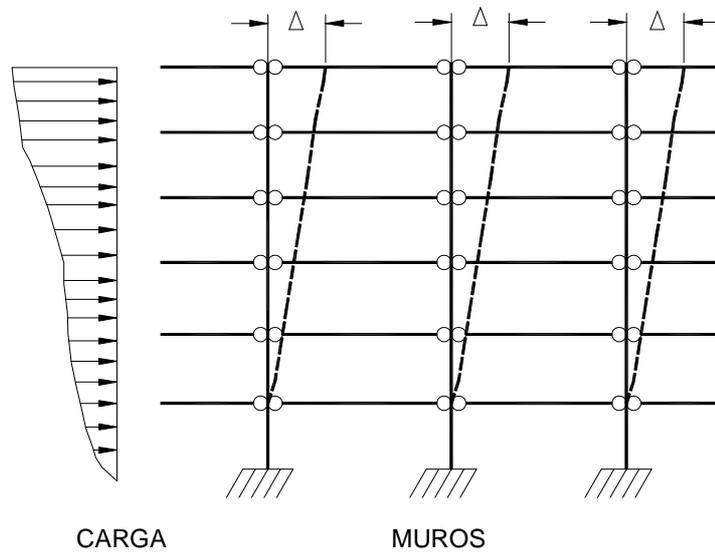


Figura 19. Deformación muros de cortante en voladizos en interacción.



RESPUESTA ESTRUCTURAL DE MUROS DE CONCRETO Y MAMPOSTERÍA A CORTANTE

El enfoque anterior debe ser adecuado para un análisis de carga máxima, ya que representa un caso admisible estáticamente. Este análisis aproximado elástico puede asegurar que se obtenga la capacidad resistente máxima de todos los muros aproximadamente al mismo tiempo.

Para los muros de cortante con una relación de altura/peralte inferior a $3(h_w/l_w < 3)$, las deformaciones a cortante pueden ser suficientemente predominantes para considerarlas en los cálculos de rigidez o deflexión. Las distorsiones por cortante son más significativas en los muros con patines.

Al estimar las deflexiones de los muros sólidos de cortante para evaluar el periodo de vibración de la estructura, se pueden utilizar los principios de comportamiento elástico, pero se debería reducir el módulo E_c de Young y el módulo de rigidez G para tomar en cuenta la pérdida de rigidez provocada por el agrietamiento diagonal y a flexión.

Interacción de muros de cortante y marcos con juntas rígidas.

La figura 20a ilustra un muro en voladizo de cortante y un marco, los cuales transmiten la misma carga a determinada altura, lo que hace que el muro de cortante sufra distorsiones flexionantes y que tome una pendiente constante por arriba del nivel de carga. Las secciones originalmente horizontales en cada piso se inclinan. El marco experimenta desplazamiento de traslación y tiende a hacerse vertical por arriba del nivel de la carga.



RESPUESTA ESTRUCTURAL DE MUROS DE CONCRETO Y MAMPOSTERÍA A CORTANTE

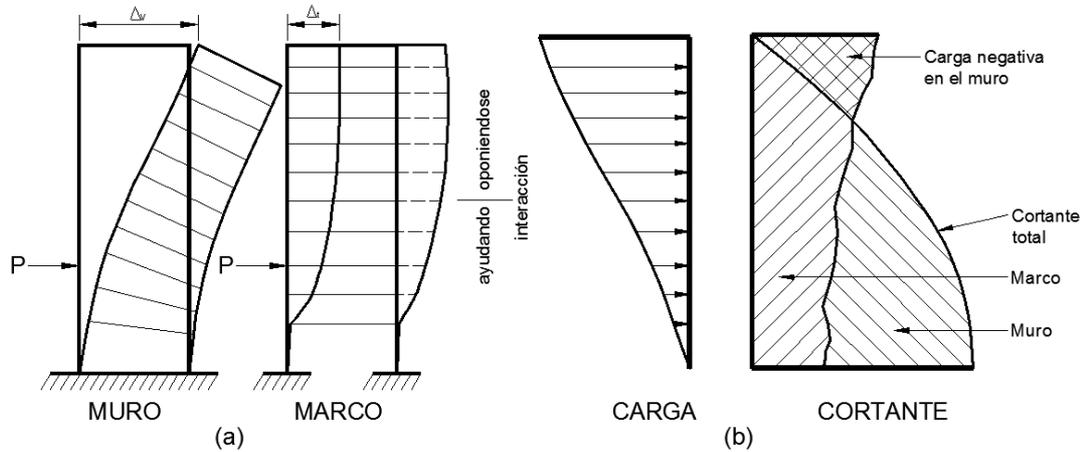


Figura 20. Interacción de muros de cortante y marcos rígidos.

Cuando se desprecian los acortamientos de las columnas, lo que está justificado para edificios de altura moderada, los pisos permanecen horizontales. Debido a la incompatibilidad de las deformaciones, un muro de cortantes puede oponerse a un marco rígido en los pisos superiores. Solo en pisos inferiores las dos estructuras se asisten mutuamente para transmitir la carga externa. En la figura 20b se ilustra la distribución típica de la carga lateral entre un muro de cortante alto y relativamente esbelto y un marco, en términos de las fuerzas cortantes.

Muros de cortantes con aberturas

Una estructura racional, es importante tomar decisiones sensatas en las primeras etapas de la planificación con respecto a la ubicación de las aberturas en toda la construcción. Es imperativo que las aberturas interfieran en lo menos posible con la capacidad de momentos y transmisión de cortante de la estructura. En la figura 21a se



RESPUESTA ESTRUCTURAL DE MUROS DE CONCRETO Y MAMPOSTERÍA A CORTANTE

muestra un buen ejemplo de muro irracional de cortante. El repentino cambio de sección de muro a columnas reduce drásticamente la resistencia a flexión de estructura de voladizo en la crítica sección de la base. La distribución escalonada de las aberturas reduce severamente el área de contacto entre los dos muros, donde se deberían transmitir las fuerzas a cortante. Las columnas del muro ilustrado en la figura 21b podrían llevar a un caso indeseable en que el mecanismo de traslación lateral de las columnas ladea el muro en una dirección opuesta a la de la traslación lateral. Las observaciones realizadas sobre el comportamiento probable de los muros de cortante durante las perturbaciones sísmicas indican lo indeseado de remplazar muros masivos cerca de su base con miembros de columnas más ligeras.

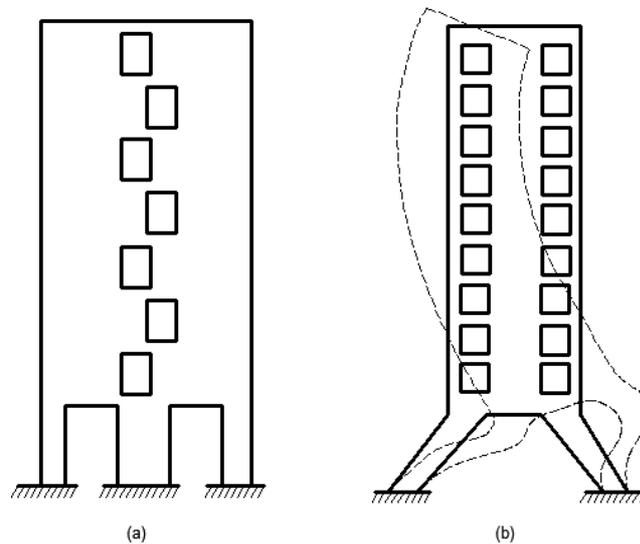


Figura 21. Muros irracionales de cortante. a) Interferencia con la resistencia a flexión.

b) Deformaciones indeseables debidas a las columnas inclinadas.



RESPUESTA ESTRUCTURAL DE MUROS DE CONCRETO Y MAMPOSTERÍA A CORTANTE

Muchos muros de cortante tienen una o más hileras verticales de aberturas. Un ejemplo especialmente común de ese tipo de estructura es el “núcleo de cortante” de un edificio alto, que acomoda los cubos de elevadores, pozos de escaleras y ductos de servicio. Las puertas de acceso de todos estos atraviesan los muros, los muros a cada lado de las aberturas se pueden interconectar mediante vigas cortas, a menudo muy peraltadas. Se acostumbra referirse a esos muros como “acoplados” por las vigas. En la figura 21b se ilustra una estructura típica.

Es difícil clasificar una estructura de muro de cortante acoplada, se puede considerar que la estructura es un muro que contiene aberturas; por otra parte, puede ser más apropiado hablar de un marco rígido constituido por miembros muy peraltados. Ambas definiciones indican que es posible que las técnicas manuales convencionales de análisis estructural no sean adecuadas. Antes que se puedan evaluar el comportamiento de un muro a cortante acoplado, se deben examinar dos tipos de deformación normalmente despreciados en el análisis de marcos.

El sistema de acoplamiento, que consiste en un conjunto de vigas cortas de acoplamiento, transmite fuerzas cortantes de un muro a otro, lo que sujeta a las vigas de acoplamiento a flexión y a cortante. Debido a la pequeña relación claro/peralte de estas vigas, las deformaciones a cortante pueden volverse muy significativas.

Debido a que sus rigideces son grandes, las vigas de acoplamiento son sensibles a los movimientos relativos de sus apoyos empotrados. Por este motivo las deformaciones axiales de los muros acoplados, que son responsables de esos movimientos, pueden tener un efecto considerable en el comportamiento global. La pequeña relación



claro/peralte de los miembros y la consideración requerida de deformaciones axiales, significa que no se pueden aplicar fácilmente las técnicas manuales de análisis de marcos.

Comportamiento elastoplástico de muros de cortante acoplados.

La resistencia de dos muros de cortante acoplados, sujetos a cargas laterales de tipo sísmico, se alcanza cuando se forma un mecanismo de colapso. Se requieren dos articulaciones plásticas en cada viga de acoplamiento para aceptar cortante adicional. También se necesita desarrollar una articulación plástica en cada uno de los muros de cortante, normalmente en su base, para completar el mecanismo de colapso.

El comportamiento de algunos de los muros de cortante acoplados expuesto a sismos severos indicó que todas o casi todas las vigas de acoplamiento fallaron antes de lograrse la resistencia máxima de los muros acoplados.

Resistencia y comportamiento de las vigas de acoplamiento.

Las observaciones de los daños ocasionados por sismos han indicado repetidamente la falla por tensión diagonal de las vigas de acoplamiento o de fachada que contienen insuficiente refuerzo del alma. Es claro que esas fallas, generalmente frágiles, que dan una elevada tasa de degradación de resistencia bajo las cargas cíclicas, se deben suprimir para que se pueda dar resistencia satisfactoria sísmica. Sin importar las cargas de diseño, la resistencia a cortante de una viga de acoplamiento debe ser igual o mayor a su capacidad e flexión, requerimiento que debe imponer un límite superior al



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN



RESPUESTA ESTRUCTURAL DE MUROS DE CONCRETO Y MAMPOSTERÍA A CORTANTE

contenido de acero a flexión en tales vigas, especialmente cuando son muy peraltadas con relación a su claro.



CAPITULO 3

MÉTODO DE ANÁLISIS

Los sismos o terremotos de tierra, son vibraciones de la corteza terrestre, generadas por distintos fenómenos, como la actividad volcánica, la caída de techos de cavernas subterráneas y hasta por explosiones.

Los sismos más severos y los más importantes desde el punto de vista de la ingeniería, son los de origen tectónico, que se deben a desplazamientos bruscos de las grandes placas en que está subdividida la corteza terrestre. Las presiones que se generan en la corteza por los flujos de magma desde el interior de la tierra llegan a vencer la fricción que mantienen en contacto los bordes de las placas y producen caídas de esfuerzos y liberación de enormes cantidades de energía almacenada en la roca. La energía se libera principalmente en forma de ondas vibratorias que se propagan a grandes distancias a través de la roca de la corteza.

Es esta vibración de la corteza terrestre la que pone en peligro las edificaciones que sobre ella se desplantan, al ser éstas solicitadas por el movimiento de su base. Por los movimientos vibratorios de las masas de los edificios, se generan fuerzas de inercias que inducen esfuerzos importantes en los elementos de la estructura y que pueden conducirla a la falla. La base del edificio tiende a seguir el movimiento del suelo, mientras que, por inercia, la masa del edificio se opone a ser desplazada



RESPUESTA ESTRUCTURAL DE MUROS DE CONCRETO Y MAMPOSTERÍA A CORTANTE

dinámicamente y a seguir el movimiento de su base. Se generan entonces las fuerzas de inercia (fuerzas resultantes) que ponen en peligro la seguridad de la estructura.

El diseño de las estructuras para resistir sismo difiere del que se realiza para el efecto de otras acciones. Lo peculiar del problema sísmico no estriba sólo en la complejidad de la respuesta estructural a los efectos dinámicos de los sismos, sino sobre todo, se deriva de lo poco predecible que es el fenómeno y de las intensidades extraordinarias que puede alcanzar sus efectos, asociado a que la probabilidad de que se presenten dichas intensidades en la vida esperada de la estructura es muy pequeña.

La mayoría de los reglamentos de diseño sísmico establecen como objetivos, por una parte, evitar el colapso, pero aceptar el daño, ante un sismo excepcionalmente severo que se pueda presentar en la vida de la estructura; y, por otra parte, evitar daños de cualquier tipo ante sismos moderados que tengan una probabilidad significativa de presentarse en ese lapso.

Estos objetivos se plantean en términos de los siguientes estados límites:

- a) Estado límite de servicio; para el cual no se excedan deformaciones que ocasionen pánico a los ocupantes, interferencia con el funcionamiento de equipos e instalaciones, ni daños en elementos no estructurales.
- b) Estado límite de integridad estructural; para el cual se puede presentar daño no estructural y daño estructural menor, como agrietamiento en estructuras de



RESPUESTA ESTRUCTURAL DE MUROS DE CONCRETO Y MAMPOSTERÍA A CORTANTE

concreto pero no se alcanza la capacidad de carga de los elementos estructurales.

- c) Estado límite de supervivencia; para el cual puede haber daño estructural significativo, y hasta en ocasiones más allá de lo económicamente reparable, pero se mantiene la estabilidad general de la estructura y se evita el colapso.

El cumplimiento de los objetivos, implica que la estructura posea una rigidez adecuada para limitar sus desplazamientos laterales y para proporcionarle características dinámicas que eviten amplificaciones excesivas de la vibración; y que tenga alta capacidad de disipación de energía mediante deformaciones inelásticas, lo que se logra proporcionándole ductilidad.

El diseño sísmico de una estructura implica las siguientes etapas:

- I) La selección de un sistema estructural adecuado. El sistema estructural debe ser capaz de absorber y disipar la energía introducida por el sismo sin que se generen efectos particularmente desfavorables, como concentraciones o amplificaciones dinámicas.
- II) El análisis sísmico. El Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal definen las acciones sísmicas para las cuales debe calcularse la estructura y proporcionan métodos de análisis como el método simplificado de análisis, análisis estático y dinámico.



RESPUESTA ESTRUCTURAL DE MUROS DE CONCRETO Y MAMPOSTERÍA A CORTANTE

III) El dimensionamiento de las secciones. Los métodos de dimensionamiento de las secciones y elementos estructurales no difieren sustancialmente de los que se especifican para otros tipos de acciones.

IV) Detallado de la estructura. Para que las estructuras tengan un comportamiento dúctil es necesario detallar sus elementos y conexiones para proporcionarles gran capacidad de deformación antes del colapso.

3.1 SIMPLIFICADO

Este método es aplicable a estructuras a base de muros de carga, de baja altura, planta rectangular, con una distribución sensiblemente simétrica, y en pisos tienen rigidez suficiente para transmitir las fuerzas sísmicas a los muros paralelos en dirección del movimiento del terreno. Los muros resistentes a cargas laterales pueden ser de mampostería, de concreto o de madera.

Este método permite ignorar los efectos de flexión y de torsión sísmica, así como concentrar la atención en la revisión de la fuerza cortante. Se basa en la hipótesis de que la suma de las resistencias de todos los muros alineados en la dirección del análisis, para tomar en cuenta que los muros muy cortos, y por lo tanto muy flexibles, pueden no alcanzar su resistencia antes de que los más rígidos pierdan su capacidad, su contribución se afecta por un factor de reducción que depende de las dimensiones del muro en su propio plano.



RESPUESTA ESTRUCTURAL DE MUROS DE CONCRETO Y MAMPOSTERÍA A CORTANTE

Para el cálculo de la fuerza cortante en cada entrepiso se siguen los mismos principios del método estático, con la simplificación de que los efectos del periodo de vibración y de la reducción por factores de comportamiento sísmico se han incorporado en los coeficientes sísmicos, los cuales se multiplican directamente por el peso total para obtener la fuerza cortante basal.

REQUISITOS Y DESCRIPCIÓN

La sección 2.1 de las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por sismo permite efectuar un análisis sísmico simplificado en estructuras que cumplan simultáneamente los siguientes requisitos:

- a) En cada planta, al menos el 75% de las cargas verticales estarán soportadas por muros ligados entre sí mediante losas monolíticas u otros sistemas de piso suficientemente resistentes y rígidos al corte. Dichos muros tendrán distribución sensiblemente simétrica a dos ejes ortogonales, que la excentricidad torsional calculada estáticamente, es, no exceda del 10% de la dimensión en planta del edificio medida paralelamente a dicha excentricidad, b. La excentricidad torsional es podrá estimarse como el cociente del valor absoluto de la suma algebraica del momento de las áreas efectivas de los muros, con respecto al centro cortante del entrepiso, entre el área total de los muros, con respecto al centro cortante del entrepiso, entre el área total de los muros orientados en la dirección del análisis. El área efectiva es el producto del área bruta de la sección transversal del muro y del factor de área



RESPUESTA ESTRUCTURAL DE MUROS DE CONCRETO Y MAMPOSTERÍA A CORTANTE

efectiva de los muros de carga F_{AE} , que está dado por

$$F_{AE} = 1; \quad \text{Si } \frac{H}{L} \leq 1.33$$

$$F_{AE} = \left(1.33 \frac{L}{H}\right)^2; \quad \text{Si } \frac{H}{L} > 1.33$$

$$e_{sj} = \frac{\left[\sum_{i=1}^n x_i F_{AE} A_{Ti} \right]}{\sum_{i=1}^n F_{AE} A_{Ti}}$$

Donde H es la altura de entrepiso y L la longitud del muro.

Los Muros a que se refieren a este párrafo podrán ser de mampostería, concreto reforzado, placa de acero, compuestos de estos dos últimos materiales, o de madera; en este último caso estarán arriostrado con diagonales. Los muros deberán satisfacer las condiciones que establecen las Normas Correspondientes.

- b) La relación entre longitud y ancho de la planta del edificio no excederá de 2.0, a menos que para fines de análisis sísmico se pueda suponer dividida dicha planta en tramos independientes cuya relación entre longitud y ancho satisfaga esta restricción y las que se fijan en el inciso anterior, y cada tramo resista según el criterio que marca la sección 7 de las Normas Técnicas para Diseño por Sismo.
- c) La relación entre altura y la dimensión mínima de la base del edificio no excederá de 1.5 y la altura del edificio no será mayor de 13 m.



RESPUESTA ESTRUCTURAL DE MUROS DE CONCRETO Y MAMPOSTERÍA A CORTANTE

TABLA 2: Coeficientes sísmicos reducidos para el método simplificado correspondientes a las estructuras del grupo B, establecidas en las Normas Técnicas Complementarias para diseño por Sismo.						
Zona	Muros de concreto o de mampostería de piezas macizas			Muros de mampostería de piezas huecas		
	Menor de 4	Entre 4 y 7	Entre 7 y 13	Menor de 4	Entre 4 y 7	Entre 7 y 13
I	0.07	0.08	0.08	0.1	0.11	0.11
II y III	0.13	0.16	0.019	0.15	0.19	0.23

EJEMPLO:

Como ejemplo para este método se analiza una vivienda de dos niveles, la planta de la construcción se presenta en la figura 22. Los sistemas de piso son de losa de concreto y los muros de mampostería de pieza macizo, tabique de barro recocido espesor de 12 cm y esfuerzo cortante nominal de la mampostería $V \cdot m = 3.5 \text{ kg/cm}^2$. La construcción está ubicada en zona II de acuerdo a la zonificación del Distrito Federal para fines de diseño por sismo, la altura de cada nivel es de 2.50 m. El área de la losa es de 81 m^2 .

Se satisfacen las condiciones para la aplicación del método simplificado de acuerdo a las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo ya que las cargas verticales están soportadas en más del 75% por muros de mampostería; y existen muros perimetrales que abarcan más del 50% de la dimensión mayor en planta de la vivienda.

La relación entre longitud y anchura de la construcción no excede de 2.

$$\frac{\text{longitud}}{\text{anchura}} = 1.30$$

La relación entre la altura y la dimensión mínima de la base de la vivienda no excede de 1.5.



RESPUESTA ESTRUCTURAL DE MUROS DE CONCRETO Y MAMPOSTERÍA A CORTANTE

$$\frac{h}{\text{Dimensión min.}} = \frac{5}{9.5} = 0.53$$

DETERMINACIÓN DE CARGAS

AZOTEA

Carga muerta

Peso de la Losa 12 cm	=	2400 kg/m ³ x 0.12m	=	288	kg/m ²
Mortero	=	2100 kg/m ³ x 0.02m	=	30	kg/m ²
Plafón	=		=	5	kg/m ²
Relleno, impermeabilizante	=		=	130	kg/m ²
Carga muerta adicional, RCDF	=		=	40	kg/m ²
Wm (Carga muerta)			=	493	kg/m²

Carga viva	Wv	=	100	kg/m ²
	Wtotal (Wm+Wv)	=	593	kg/m²

ENTREPISO

Carga muerta

Peso de la Losa 12 cm	=	2400 kg/m ³ x 0.12m	=	288	kg/m ²
Acabado	=		=	100	kg/m ²
Plafón	=		=	5	kg/m ²
Carga muerta adicional, RCDF	=		=	40	kg/m ²
Wm (Carga muerta)			=	433	kg/m²

Carga viva	Wv	=	170	kg/m ²
	Wtotal (Wm+Wv)	=	603	kg/m²

MUROS

Peso volumétrico del tabique rojo recocido	=	1,500 kg/m ³
Peso volumétrico del mortero	=	2,100 kg/m ³
Espesor del tabique rojo recocido	=	0.12 m
Peso del muro por m²	= (1,500 x 0.12)+(2,100 x 0.02)	= 222 kg/m²
Altura de entrepiso	=	2.5 m
Peso del muro por metro lineal (r =	222 x (2.5 - 0.12)	= 528 kg/m



RESPUESTA ESTRUCTURAL DE MUROS DE CONCRETO Y MAMPOSTERÍA A CORTANTE

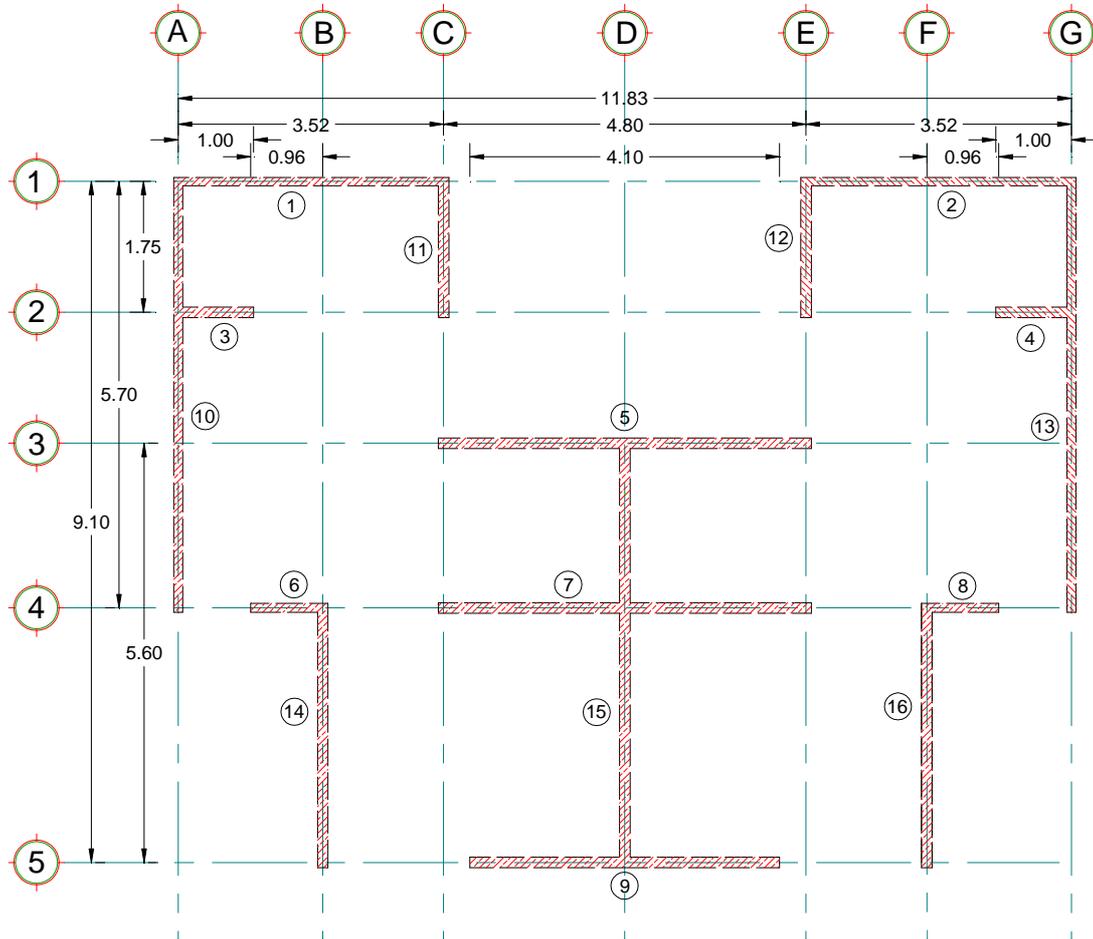


Figura 22. Planta vivienda



RESPUESTA ESTRUCTURAL DE MUROS DE CONCRETO Y MAMPOSTERÍA A CORTANTE

Cálculo de la excentricidad e_s en cada dirección:

El centro geométrico en dirección x , es $x_c = 5.92$ m y en dirección y , $y_c = 4.55$ m; por lo tanto, se determina la excentricidad e_s en dirección x como se muestra en la siguiente tabla para verificar las condiciones citadas anteriormente:

TABLA 3: CÁLCULO e_s DIRECCIÓN x							
MURO	y_i (m)	L	A_{Ti} (m ²)	H/L	F_{AE}	$F_{AE} A_{Ti}$	$y_i F_{AE} A_{Ti}$
1	4.55	3.52	0.42	0.71	1.00	0.42	1.92
2	4.55	3.52	0.42	0.71	1.00	0.42	1.92
3	2.80	1.00	0.12	2.50	0.21	0.03	0.07
4	2.80	1.00	0.12	2.50	0.21	0.03	0.07
5	1.05	4.80	0.58	0.52	1.00	0.58	0.60
6	-1.15	0.96	0.12	2.60	0.20	0.02	-0.03
7	-1.15	4.80	0.58	0.52	1.00	0.58	-0.66
8	-1.15	0.96	0.12	2.60	0.20	0.02	-0.03
9	-4.55	4.10	0.49	0.61	1.00	0.49	-2.24
SUMA		24.66				2.59	1.64

$$e_{sy} = \frac{1.64}{2.59} = 0.63 \leq 0.91 \text{ Se cumple la condición.}$$

$$= 0.1(9.10) = 0.91$$

En dirección y se tiene:

TABLA 4: CÁLCULO e_s DIRECCIÓN y							
MURO	x_i (m)	L	A_{Ti} (m ²)	H/L	F_{AE}	$F_{AE} A_{Ti}$	$y_i F_{AE} A_{Ti}$
10	5.92	5.70	0.68	0.44	1.00	0.68	4.05
11	2.4	1.75	0.21	1.43	0.65	0.14	0.33
12	-2.4	1.75	0.21	1.43	0.65	0.14	-0.33
13	-5.92	5.70	0.68	0.44	1.00	0.68	-4.05
14	4	3.40	0.41	0.74	1.00	0.41	1.63
15	0	5.60	0.67	0.45	1.00	0.67	0.00
16	-4	3.40	0.41	0.74	1.00	0.41	-1.63
SUMA		27.30				3.13	0.00

$$e_{sx} = \frac{0.00}{3.13} = 0.00 \leq 1.18 \text{ Se cumple la condición.}$$

$$= 0.1(11.83) = 1.18$$



RESPUESTA ESTRUCTURAL DE MUROS DE CONCRETO Y MAMPOSTERÍA A CORTANTE

DETERMINACIÓN DE FUERZAS CORTANTES:

Coefficiente sísmico:

El coeficiente sísmico reducido c aplicable es $c=0.16$, según la tabla del artículo 7 de las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo del RCDF, de acuerdo a la zona (zona II), la altura de construcción esta entre 4 y 7 metros y de acuerdo a la pieza empleada en la construcción.

Cálculo del peso de la estructura:

En cada planta existe una longitud total de los muros es de 51.96 m y el peso de muro por metro lineal es de 528 kg/m. Por lo tanto el peso de muro en cada nivel es 27.43 ton.

Determinación de las cargas en azotea y entrepiso:

$$\text{Azotea} \quad W = W_m + W_v = 593 \text{ kg/cm}^2 = 0.59 \text{ Ton.}$$

$$\text{Entrepiso} \quad W = W_m + W_v = 603 \text{ kg/cm}^2 = 0.60 \text{ Ton.}$$

Por lo tanto el peso de la estructura en cada nivel será:

$$W_{\text{azotea}} = (0.59 \text{ ton/m}^2 \times 81 \text{ m}^2) + 13.72 = 61.51 \text{ Ton.}$$

$$W_{\text{entrepiso}} = (0.60 \text{ ton/m}^2 \times 81 \text{ m}^2) + 27.43 = 76.03 \text{ Ton.}$$

$$W_T = 137.54 \text{ Ton.}$$

El cortante en la base en ambas direcciones resulta:

$$V_x = V_y = cW_T = 0.16 \times 137.54 = 22 \text{ Ton.}$$

El cortante último actuante en cada dirección es:

$$V_{ux} = V_{uy} = 1.1 cW_T = 1.1 \times 0.16 \times 137.54 = 24.20 \text{ Ton.}$$



RESPUESTA ESTRUCTURAL DE MUROS DE CONCRETO Y MAMPOSTERÍA A CORTANTE

FUERZA CORTANTE RESISTIDA POR LA MAMPOSTERIA

La fuerza cortante de diseño V_{mR} , se determina como sigue:

$$V_{mR} = F_R (0.5V_m * A_T + 0.3P) \leq 1.5F_R V_m * A_T$$

Donde:

F_R = Factor de resistencia y se afectará por el factor F_{AE} y se tomará igual 0.7.

V_m^* = Resistencia de diseño a compresión, =3.5 kg/cm² o 35 Ton/m².

La resistencia efectiva de diseño es:

$$V_{mRD} = F_{AE} V_m *$$

Calculando la capacidad resistente de cada muro como se presenta en la siguiente tabla:

TABLA 5: CÁLCULO DE LA CAPACIDAD RESISTENTE DE LOS MUROS DIRECCIÓN X							
MURO	A_T (m ²)	P	F_R	V_{mR}	$1.5F_R V_m^* A_T$	F_{AE}	V_{mRD}
1	0.42	3.84	0.70	5.98	15.52	1.00	5.98
2	0.42	3.84	0.70	5.98	15.52	1.00	5.98
3	0.12	1.71	0.70	1.83	4.41	0.21	0.39
4	0.12	1.71	0.70	1.83	4.41	0.21	0.39
5	0.58	4.85	0.70	8.07	21.17	1.00	8.07
6	0.12	1.97	0.70	1.83	4.23	0.20	0.36
7	0.58	8.04	0.70	8.74	21.17	1.00	8.74
8	0.12	1.97	0.70	1.83	4.23	0.20	0.36
9	0.49	5.21	0.70	7.12	18.08	1.00	7.12
SUMA	2.96						37.40

La capacidad resistente de los muros en dirección x es 37.40 Ton. es mayor que 24.20 Ton. se concluye que en esta dirección son suficientes los muros.



RESPUESTA ESTRUCTURAL DE MUROS DE CONCRETO Y MAMPOSTERÍA A CORTANTE

TABLA 6: CÁLCULO DE LA CAPACIDAD RESISTENTE DE LOS MUROS EN DIRECCIÓN Y							
MURO	A_T (m ²)	P	F_R	V_{mR}	$1.5F_r V_m^* A_T$	F_{AE}	V_{mRD}
10	0.68	6.38	0.70	9.72	25.14	0.68	6.65
11	0.21	1.98	0.70	2.99	7.72	0.14	0.41
12	0.21	1.98	0.70	2.99	7.72	0.14	0.41
13	0.68	6.38	0.70	9.72	25.14	0.68	6.65
14	0.41	4.13	0.70	5.86	14.99	0.41	2.39
15	0.67	8.48	0.70	10.01	24.70	0.67	6.73
16	0.41	4.13	0.70	5.86	14.99	0.41	2.39
SUMA	3.28						25.63

La capacidad resistente de los muros en dirección **y** es 25.63 Ton. es mayor que 24.20 Ton. se concluye que en esta dirección son suficientes los muros.

3.2 ESTÁTICO

El reglamento de Construcciones para el Distrito Federal permite que el análisis sísmico de edificios con altura no mayor de 30 m, y estructuras irregulares de no más de 20 m se realice de acuerdo con el método estático. Para edificios ubicados en zona I, los límites se amplían a 40 m y 30 m, respectivamente. Para calcular las fuerzas cortantes a diferentes niveles de una estructura se supondrá un conjunto de fuerzas horizontales actuando sobre cada uno de los puntos donde se suponga concentradas las masas. Cada uno de estas fuerzas se tomará igual al peso de la masa que corresponde, multiplicando por un coeficiente proporcional a h, siendo h la altura de la masa en cuestión sobre el desplante (o nivel a partir del cual las deformaciones estructurales pueden ser apreciables). El coeficiente se tomará de tal manera que la relación V_0/W_0 sea igual a C/Q' pero no menor que a_0 , donde a_0 es la ordenada espectral que corresponde a $T=0$ y c el coeficiente sísmico a_0 Y c se presenta en la tabla 7.



RESPUESTA ESTRUCTURAL DE MUROS DE CONCRETO Y MAMPOSTERÍA A CORTANTE

ZONA	c	a ₀	T _a ^I	T _b ^I	r
I	0.16	0.04	0.20	1.35	1.00
II	0.32	0.08	0.20	1.35	1.33
IIIa	0.40	0.10	0.53	1.80	2.00
IIIb	0.45	0.11	0.85	3.00	2.00
IIIc	0.40	0.10	1.25	4.20	2.00
IIId	0.30	0.10	0.85	4.20	2.00

De acuerdo con este requisito, la fuerza lateral que actúa en el i-ésimo nivel F_i , resulta ser:

$$F_i = \frac{C}{Q'} W_i h_i \frac{\sum W_i}{\sum W_i h_i}; \frac{C}{Q} \geq a_0$$

Donde

W_i peso de la i-ésima masa; y

h_i altura de la i-ésima masa sobre el desplante



Ejemplo:

Para ejemplificar el análisis sísmico estático se calculará un edificio de cinco niveles, determinando las fuerzas cortantes actuantes en cada uno de sus elementos, en este caso muros de concreto. Se trata de una construcción del grupo B (vivienda), localizada en un terreno que corresponde a la zona III.

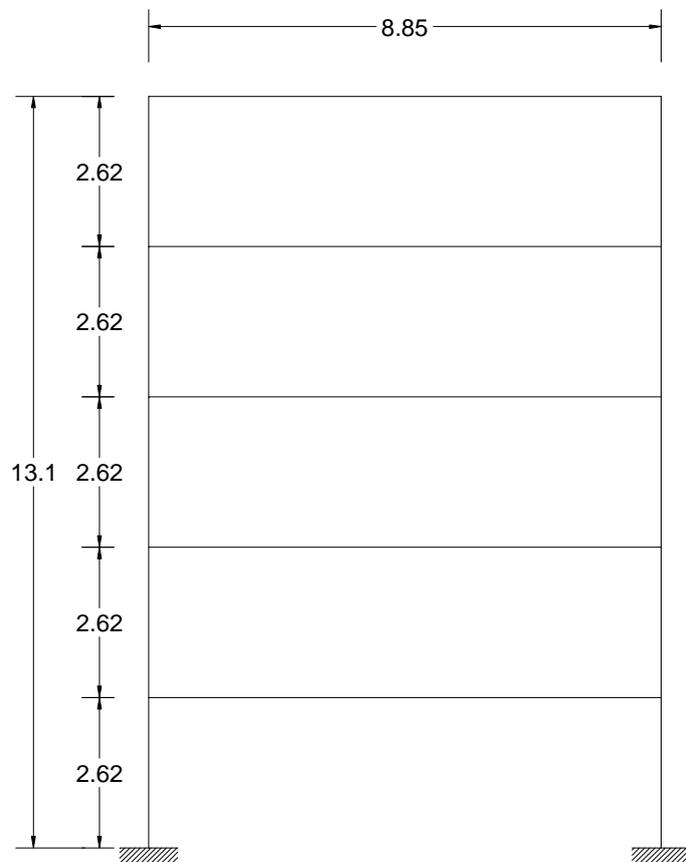


Figura 23. Elevación



RESPUESTA ESTRUCTURAL DE MUROS DE CONCRETO Y MAMPOSTERÍA A CORTANTE

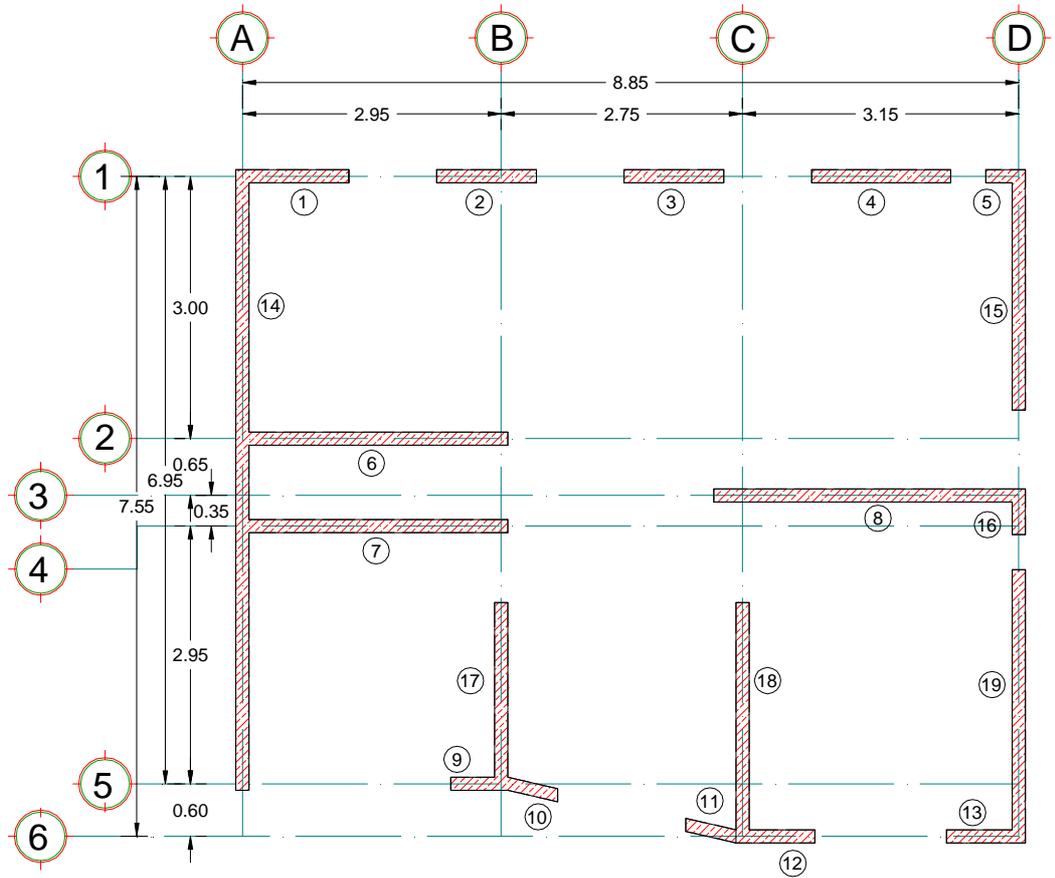


Figura 24. Planta tipo



RESPUESTA ESTRUCTURAL DE MUROS DE CONCRETO Y MAMPOSTERÍA A CORTANTE

Determinación de cargas de la estructura a analizar.

CARGA VERTICAL EN LA ESTRUCTURA

AZOTEA

Carga muerta	Wm (Carga muerta) =	543	kg/m²
Carga viva	Wv =	100	kg/m ²
	Wtotal (Wm+Wv) =	643	kg/m²

ENTREPISOS

Carga muerta	Wm (Carga muerta) =	483	kg/m²
Carga viva	Wv =	170	kg/m ²
	Wtotal (Wm+Wv) =	653	kg/m²

MUROS

Peso volumétrico del concreto reforzado	=	2400	kg/m ³
Peso del muro por m²	= (2400 x 0.15) =	360	kg/m²
Altura de entepiso	=	2.62	m
Peso del muro por metro lineal	= 360x(2.62-0.15) =	889.20	kg/m

Area losa por piso	=	68.83	m ²
--------------------	---	-------	----------------

De los datos anteriores da como resultado a los siguientes pesos

Longitud de muros por planta	=	36.66	m
Peso de muros por planta	= (36.66 x 0.89) =	32.63	Ton.

W _{azotea}	= 1.1 x (68.83 x 0.64)	=	48.46	Ton.
W _{planta tipo}	= 1.1 x ((68.83 x 0.64) + 32.63)	=	84.35	Ton.



RESPUESTA ESTRUCTURAL DE MUROS DE CONCRETO Y MAMPOSTERÍA A CORTANTE

Cálculo de cortantes sísmicos en cada entrepiso.

$$\begin{aligned} \text{Coeficiente Sísmico (c)} &= 0.30 \\ \text{Factor de Comportamiento Sísmico (Q)} &= 2 \end{aligned}$$

$$F_i = \frac{C}{Q} W_i h_i \frac{\sum W_i}{\sum W_i h_i}$$

TABLA 8: CORTANTES EN CADA ENTREPISO					
Nivel	W _i (Ton)	h _i (m)	W _i h _i (Ton-m)	F _i (Ton)	V (Ton)
5	48.46	13.10	634.83	12.92	12.92
4	84.35	10.48	883.99	17.99	30.90
3	84.35	7.86	662.99	13.49	44.39
2	84.35	5.24	441.99	8.99	53.38
1	84.35	2.62	221.00	4.50	57.88
SUMA	385.86		2,844.80		



RESPUESTA ESTRUCTURAL DE MUROS DE CONCRETO Y MAMPOSTERÍA A CORTANTE

Determinación de las propiedades geométricas de los elementos de la estructura.

TABLA 9: PROPIEDADES GEOMÉTRICAS DE LOS MUROS EN DIRECCIÓN X								
Muro No.	L (m)	Espesor (m)	Área (m ²)	W _{muro} (Ton/m)	W (Ton)	\bar{y}_i (m)	Wy _i (Ton-m)	I _x
1	1.29	0.15	0.19	0.89	1.15	7.55	8.67	0.027
2	1.14	0.15	0.17	0.89	1.01	7.55	7.66	0.019
3	1.14	0.15	0.17	0.89	1.01	7.55	7.66	0.019
4	1.59	0.15	0.24	0.89	1.42	7.55	10.68	0.050
5	0.45	0.15	0.07	0.89	0.40	7.55	3.02	0.001
6	3.03	0.15	0.45	0.89	2.70	4.55	12.27	0.348
7	3.03	0.15	0.45	0.89	2.70	3.55	9.57	0.348
8	3.48	0.15	0.52	0.89	3.10	3.90	12.08	0.527
9	0.58	0.15	0.09	0.89	0.52	0.60	0.31	0.002
10	0.66	0.15	0.10	0.89	0.59	0.47	0.28	0.004
11	0.66	0.15	0.10	0.89	0.59	0.13	0.08	0.004
12	0.83	0.15	0.12	0.89	0.74	0.00	0.00	0.007
13	0.83	0.15	0.12	0.89	0.74	0.00	0.00	0.007
SUMA					16.65		72.28	1.361

TABLA 10: PROPIEDADES GEOMÉTRICAS DE LOS MUROS EN DIRECCIÓN Y								
Muro No.	L (m)	Espesor (m)	Área (m ²)	W _{muro} (Ton/m)	W (Ton)	\bar{x}_i (m)	My (Ton-m)	I _y
14	6.95	0.15	1.04	0.89	6.19	0.00	0.00	4.196
15	2.75	0.15	0.41	0.89	2.45	8.85	21.66	0.260
16	0.45	0.15	0.07	0.89	0.40	8.85	3.54	0.001
17	2.07	0.15	0.31	0.89	1.84	2.95	5.43	0.111
18	2.68	0.15	0.40	0.89	2.39	5.70	13.60	0.241
19	3.05	0.15	0.46	0.89	2.71	8.85	24.02	0.355
SUMA					15.98		68.26	5.164



RESPUESTA ESTRUCTURAL DE MUROS DE CONCRETO Y MAMPOSTERÍA A CORTANTE

Cálculo de rigideces en los muros.

FORMULA:

$$K_i = \frac{GA_i}{\alpha H}$$

donde:

- H Altura de piso
E Módulo de elasticidad del muro
A_i Área del muro
G Módulo de rigidez a cortante

$$G = 0.4E$$

Módulo de elasticidad del concreto

Para concreto clase 2

$$E = 8000\sqrt{f'c}$$

$$f'c = 200 \text{ kg/cm}^2$$

$$\alpha = 1.2$$

TABLA 11: RIGIDECES EN LOS MUROS DIRECCIÓN X

Muro No.	L (m)	Espesor (m)	Área (m ²)	\bar{y}_i (m)	I _x (m ⁴)	H (m)	E (kg/cm ²)	G (kg/cm ²)	K _x kg/cm
1	1.29	0.15	0.19	7.55	0.027	2.62	113,137.08	45,254.83	2,785.25
2	1.14	0.15	0.17	7.55	0.019	2.62	113,137.08	45,254.83	2,461.38
3	1.14	0.15	0.17	7.55	0.019	2.62	113,137.08	45,254.83	2,461.38
4	1.59	0.15	0.24	7.55	0.050	2.62	113,137.08	45,254.83	3,432.98
5	0.45	0.15	0.07	7.55	0.001	2.62	113,137.08	45,254.83	971.60
6	3.03	0.15	0.45	4.55	0.348	2.62	113,137.08	45,254.83	6,542.09
7	3.03	0.15	0.45	3.55	0.348	2.62	113,137.08	45,254.83	6,542.09
8	3.48	0.15	0.52	3.90	0.527	2.62	113,137.08	45,254.83	7,513.68
9	0.58	0.15	0.09	0.60	0.002	2.62	113,137.08	45,254.83	1,252.28
10	0.66	0.15	0.10	0.47	0.004	2.62	113,137.08	45,254.83	1,425.01
11	0.66	0.15	0.10	0.13	0.004	2.62	113,137.08	45,254.83	1,425.01
12	0.83	0.15	0.12	0.00	0.007	2.62	113,137.08	45,254.83	1,792.06
13	0.83	0.15	0.12	0.00	0.007	2.62	113,137.08	45,254.83	1,792.06
SUMA					1.361				40,396.85

TABLA 12: RIGIDECES EN LOS MUROS DIRECCIÓN Y

Muro No.	L (m)	Espesor (m)	Área (m ²)	\bar{x}_i (m)	I _y (m ⁴)	H (m)	E (kg/cm ²)	G (kg/cm ²)	K _y kg/cm
14	6.95	0.15	1.04	4.43	4.196	2.62	113,137.08	45,254.83	15,005.78
15	2.75	0.15	0.41	-4.43	0.260	2.62	113,137.08	45,254.83	5,937.54
16	0.45	0.15	0.07	-4.43	0.001	2.62	113,137.08	45,254.83	971.60
17	2.07	0.15	0.31	2.95	0.111	2.62	113,137.08	45,254.83	4,469.35
18	2.68	0.15	0.40	-1.28	0.241	2.62	113,137.08	45,254.83	5,786.40
19	3.05	0.15	0.46	-4.43	0.355	2.62	113,137.08	45,254.83	6,585.27
SUMA					5.164				38,755.93



RESPUESTA ESTRUCTURAL DE MUROS DE CONCRETO Y MAMPOSTERÍA A CORTANTE

Estimación del desplazamiento x_i y periodo fundamental de vibración T.

TABLA 13: CÁLCULO DE DESPLAZAMIENTO PARA UNA POSIBLE REDUCCIÓN DEL CORTANTE SÍSMICO						
Nivel	F_i (Ton)	V (Ton)	DESPLAZAMIENTOS			
			DIRECCIÓN X		DIRECCIÓN Y	
			Relativos V/K_x (cm)	Totales x_i (cm)	Relativos V/K_y (cm)	Totales y_i (cm)
5	12.92	12.92	0.32	1.43	0.33	5.15
4	17.99	30.90	0.45	1.11	0.80	4.81
3	13.49	44.39	0.33	0.67	1.15	4.02
2	8.99	53.38	0.22	0.33	1.38	2.87
1	4.50	57.88	0.11	0.11	1.49	1.49



RESPUESTA ESTRUCTURAL DE MUROS DE CONCRETO Y MAMPOSTERÍA A CORTANTE

Cálculo del periodo fundamental de vibración:

Formula:

$$T = 2\Pi \left(\frac{\sum W_{iy} x_{iy}^2}{g \sum F_{iy} x_{iy}} \right)^{1/2}$$

- T Período fundamental de vibración de la estructura
- g aceleración debido a la gravedad (981 cm/seg²)
- x_i Desplazamiento en dirección x
- y_i Desplazamiento en dirección y

TABLA 14: PERIODO FUNDAMENTAL DE VIBRACIÓN LA ESTRUCTURA DIRECCIÓN X						
Nivel	W _i (ton)	F _i (ton)	x _i (cm)	x _i ² (cm ²)	W _i x _i ² (ton-cm ²)	F _i x _i (ton-cm)
5	48.46	12.92	1.43	2.05	99.48	18.51
4	84.35	17.99	1.11	1.24	104.50	20.02
3	84.35	13.49	0.67	0.45	37.62	9.01
2	84.35	8.99	0.33	0.11	9.40	3.00
1	84.35	4.50	0.11	0.01	1.04	0.50
SUMA					252.04	51.03

T_x= 0.45 seg.

TABLA 15: PERIODO FUNDAMENTAL DE VIBRACIÓN LA ESTRUCTURA DIRECCIÓN Y						
Nivel	W _i (ton)	F _i (ton)	y _i (cm)	y _i ² (cm ²)	W _i y _i ² (ton-cm ²)	F _i y _i (ton-cm)
5	48.46	12.92	5.15	26.49	1283.68	66.48
4	84.35	17.99	4.81	23.17	1954.40	86.57
3	84.35	13.49	4.02	16.13	1360.56	54.17
2	84.35	8.99	2.87	8.24	695.18	25.82
1	84.35	4.50	1.49	2.23	188.13	6.71
SUMA					5481.95	239.75



RESPUESTA ESTRUCTURAL DE MUROS DE CONCRETO Y MAMPOSTERÍA A CORTANTE

Cálculo para una posible reducción de fuerzas sísmicas

En dirección X, T_x es menor que T_b , se procederá de acuerdo a lo que establece las Normas Técnicas para Diseño por Sismo, pero, de tal manera que la relación V_o/W_o sea igual a a/Q' , calculándose a y Q' .

$$a = a_0 + (c - a_0) \frac{T}{T_a}$$

$$Q' = 1 + \frac{T}{T_a} (Q - 1)$$

DATOS

a	ordenada del espectro de aceleraciones	
a_0	ordenada espectral a $T=0$	0.10
c	coeficiente sísmico	0.30
Q	factor de comportamiento sísmico, independiente de T	2
Q'	factor de reducción de las fuerzas sísmicas	
T_a	periodo característico del espectro de diseño	0.85

a= 0.21

Q' = 1.53

a/Q' = 0.13

En dirección Y, T es menor que T_b , se aplica la misma condición mencionada anteriormente por lo que no se hará reducción de las fuerzas sísmicas en este sentido.

a= 0.33

Q' = 2.13

a/Q' = 0.15

Fuerza cortante en los muros, efectos de torsión.

A continuación se describirá la manera de distribuir el cortante sísmico del primer nivel en cada uno de los elementos resistentes de la estructura considerando los efectos de torsión en cada dirección analizada.



RESPUESTA ESTRUCTURAL DE MUROS DE CONCRETO Y MAMPOSTERÍA A CORTANTE

Se efectúa el cálculo del centro de las cargas, (x_m, y_m) , y el de rigideces (X_{CT}, Y_{CT}) . Como todos los niveles son iguales, solo se efectuó el cálculo de las coordenadas del centro de masas de un nivel.

A continuación se presenta la expresión matemática para determinar el centro de rigideces o de torsión.

$$X_{CT} = \frac{\sum K_{ix} y_i}{\sum K_{iy}}$$

$$Y_{CT} = \frac{\sum K_{iy} x_i}{\sum K_{iy}}$$

donde:

- K_i rigidez del muro en la dirección de análisis
- x_i, y_i localización del centro de gravedad del muro con respecto a un sistema auxiliar

Para calcular el efecto cortante directo y por torsión en los muros se tienen las siguientes expresiones:

V directo $V_{D_{ix}} = \frac{K_{ix}}{\sum R_{ix}} V_{ix}$

V torsión $V_{T_{ix}} = \frac{K_{ix} Y_{CT}}{\sum K_{ix} Y_{CT}^2 + \sum K_{iy} X_{CT}^2} V_{ix} e_{dx}$

V total $V_{ix} = V_{D_{ix}} + V_{T_{ix}}$



RESPUESTA ESTRUCTURAL DE MUROS DE CONCRETO Y MAMPOSTERÍA A CORTANTE

Determinación de la excentricidad

Cálculo de la excentricidad de diseño dirección x

$$e_{sx} = Y_{CT} - Y_{vi}$$
$$e_{sx} = 4.34 - 3.86 = 0.48$$
$$b = 7.65$$

$$e_d = 1.5 e_s + 0.1b$$
$$e_{d1} = 1.5 (0.48) + 0.1(7.65)$$
$$e_{d1} = \mathbf{1.49}$$

$$e_{d2} = e_{sx} - 0.1b$$
$$e_{d2} = 0.48 - 0.1(7.65)$$
$$e_{d2} = \mathbf{-0.28}$$

Cálculo de la excentricidad de diseño dirección y

$$e_{sy} = X_{CT} - X_{vi}$$
$$e_{sy} = 4.27 - 4.37 = -0.10$$
$$b = 8.85$$

$$e_d = 1.5 e_s + 0.1b$$
$$e_{d1} = 1.5 (-0.10) + 0.1(8.85)$$
$$e_{d1} = \mathbf{0.73}$$

$$e_{d2} = e_{sy} - 0.1b$$
$$e_{d2} = -0.10 - 0.1(8.85)$$
$$e_{d2} = \mathbf{-0.99}$$

Se toma la excentricidad que resulte más desfavorable, e_{dx} , e_{dy} la mayor de las excentricidades de diseño, al valor positivo calculado.



RESPUESTA ESTRUCTURAL DE MUROS DE CONCRETO Y MAMPOSTERÍA A CORTANTE

NIVEL 1

TABLA 16: CÁLCULO DE CORTANTES DIRECTOS Y EFECTOS DE TORSIÓN EN DIRECCIÓN X										
EJE	K _{ix} (ton/m)	y _i (m)	K _{ix} y _i (ton)	Y _{CT} (m)	K _{ix} Y _{CT} (ton)	K _{ix} Y _{CT} ² (ton-m)	EFECTOS DE V _x		EFECTOS DE V _y	
							DIRECTO (ton)	TORSIÓN (ton)	TOTAL (ton)	TORSIÓN (ton)
1	12.11	7.55	91.45	3.21	38.87	124.75	17.35	3.99	21.34	1.97
2	6.54	4.55	29.77	0.21	1.37	0.29	9.37	0.14	9.51	0.07
3	7.51	3.90	29.30	-0.44	-3.31	1.46	10.77	0.34	11.10	0.17
4	6.54	3.55	23.22	-0.79	-5.17	4.09	9.37	0.53	9.90	0.26
5	2.68	0.60	1.61	-3.74	-10.01	37.46	3.84	1.03	4.86	0.51
6	5.01	0.00	0.00	-4.34	-21.74	94.38	7.18	2.23	9.41	1.10
SUMA	40.40		175.35			262.43				

Y_{CT}= 4.34

TABLA 17: CÁLCULO DE CORTANTES DIRECTOS Y EFECTOS DE TORSIÓN EN DIRECCIÓN Y										
EJE	K _{iy} (ton/m)	X _i (m)	K _{iy} X _i (ton)	X _{CT} (m)	K _{iy} X _{CT} (ton)	K _{iy} X _{CT} ² (ton-m)	EFECTOS DE V _y		EFECTOS DE V _x	
							DIRECTO (ton)	TORSIÓN (ton)	TOTAL (ton)	TORSIÓN (ton)
A	15.01	0.00	0.00	-4.27	-64.12	273.95	21.50	3.25	24.75	6.58
B	4.47	2.95	13.18	-1.32	-5.91	7.82	6.40	0.30	6.70	0.61
C	5.79	5.70	32.98	1.43	8.26	11.79	8.29	0.42	8.71	0.85
D	13.49	8.85	119.43	4.58	61.77	282.73	19.33	3.13	22.47	6.33
SUMA	38.76		165.59			576.28				

X_{CT}= 4.27

NIVEL 2

TABLA 18: CÁLCULO DE CORTANTES DIRECTOS Y EFECTOS DE TORSIÓN EN DIRECCIÓN X										
EJE	K _{ix} (ton/m)	y _i (m)	K _{ix} y _i (ton)	Y _{CT} (m)	K _{ix} Y _{CT} (ton)	K _{ix} Y _{CT} ² (ton-m)	EFECTOS DE V _x		EFECTOS DE V _y	
							DIRECTO (ton)	TORSIÓN (ton)	TOTAL (ton)	TORSIÓN (ton)
1	12.11	7.55	91.45	3.21	38.87	124.75	16.01	3.68	19.68	1.82
2	6.54	4.55	29.77	0.21	1.37	0.29	8.65	0.13	8.77	0.06
3	7.51	3.90	29.30	-0.44	-3.31	1.46	9.93	0.31	10.24	0.15
4	6.54	3.55	23.22	-0.79	-5.17	4.09	8.65	0.49	9.13	0.24
5	2.68	0.60	1.61	-3.74	-10.01	37.46	3.54	0.95	4.49	0.47
6	5.01	0.00	0.00	-4.34	-21.74	94.38	6.62	2.06	8.68	1.02
SUMA	40.40		175.35			262.43				

Y_{CT}= 4.34



RESPUESTA ESTRUCTURAL DE MUROS DE CONCRETO Y MAMPOSTERÍA A CORTANTE

TABLA 19: CÁLCULO DE CORTANTES DIRECTOS Y EFECTOS DE TORSIÓN EN DIRECCIÓN Y

EJE	K_{iy} (ton/m)	X_i (m)	$K_{iy}X_i$ (ton)	X_{CT} (m)	$K_{iy}X_{CT}$ (ton)	$K_{iy}X_{CT}^2$ (ton-m)	EFECTOS DE V_y		EFECTOS DE V_x	
							DIRECTO (ton)	TORSIÓN (ton)	TOTAL (ton)	TORSIÓN (ton)
A	15.01	0.00	0.00	-4.27	-64.12	273.95	20.67	3.00	23.67	6.06
B	4.47	2.95	13.18	-1.32	-5.91	7.82	6.16	0.28	6.43	0.56
C	5.79	5.70	32.98	1.43	8.26	11.79	7.97	0.39	8.36	0.78
D	13.49	8.85	119.43	4.58	61.77	282.73	18.59	2.89	21.48	5.84
SUMA	38.76		165.59			576.28				

$X_{CT} = 4.27$

NIVEL 3

TABLA 20: CÁLCULO DE CORTANTES DIRECTOS Y EFECTOS DE TORSIÓN EN DIRECCIÓN X

EJE	K_{ix} (ton/m)	y_i (m)	$K_{ix}y_i$ (ton)	Y_{CT} (m)	$K_{ix}Y_{CT}$ (ton)	$K_{ix}Y_{CT}^2$ (ton-m)	EFECTOS DE V_x		EFECTOS DE V_y	
							DIRECTO (ton)	TORSIÓN (ton)	TOTAL (ton)	TORSIÓN (ton)
1	12.11	7.55	91.45	3.21	38.87	124.75	13.31	3.06	16.37	1.51
2	6.54	4.55	29.77	0.21	1.37	0.29	7.19	0.11	7.30	0.05
3	7.51	3.90	29.30	-0.44	-3.31	1.46	8.26	0.26	8.52	0.13
4	6.54	3.55	23.22	-0.79	-5.17	4.09	7.19	0.41	7.60	0.20
5	2.68	0.60	1.61	-3.74	-10.01	37.46	2.94	0.79	3.73	0.39
6	5.01	0.00	0.00	-4.34	-21.74	94.38	5.50	1.71	7.21	0.85
SUMA	40.40		175.35			262.43				

$Y_{CT} = 4.34$

TABLA 21: CÁLCULO DE CORTANTES DIRECTOS Y EFECTOS DE TORSIÓN EN DIRECCIÓN Y

EJE	K_{iy} (ton/m)	X_i (m)	$K_{iy}X_i$ (ton)	X_{CT} (m)	$K_{iy}X_{CT}$ (ton)	$K_{iy}X_{CT}^2$ (ton-m)	EFECTOS DE V_y		EFECTOS DE V_x	
							DIRECTO (ton)	TORSIÓN (ton)	TOTAL (ton)	TORSIÓN (ton)
A	15.01	0.00	0.00	-4.27	-64.12	273.95	17.19	2.49	19.68	5.04
B	4.47	2.95	13.18	-1.32	-5.91	7.82	5.12	0.23	5.35	0.46
C	5.79	5.70	32.98	1.43	8.26	11.79	6.63	0.32	6.95	0.65
D	13.49	8.85	119.43	4.58	61.77	282.73	15.46	2.40	17.86	4.86
SUMA	38.76		165.59			576.28				

$X_{CT} = 4.27$

**RESPUESTA ESTRUCTURAL DE MUROS DE CONCRETO Y MAMPOSTERÍA A CORTANTE**

NIVEL 4

TABLA 22: CÁLCULO DE CORTANTES DIRECTOS Y EFECTOS DE TORSIÓN EN DIRECCIÓN X										
EJE	K_{ix} (ton/m)	y_i (m)	$K_{ix}y_i$ (ton)	Y_{CT} (m)	$K_{ix}Y_{CT}$ (ton)	$K_{ix}Y_{CT}^2$ (ton-m)	EFECTOS DE V_x		EFECTOS DE V_y	
							DIRECTO (ton)	TORSIÓN (ton)	TOTAL (ton)	TORSIÓN (ton)
1	12.11	7.55	91.45	3.21	38.87	124.75	9.27	2.13	11.39	1.05
2	6.54	4.55	29.77	0.21	1.37	0.29	5.00	0.07	5.08	0.04
3	7.51	3.90	29.30	-0.44	-3.31	1.46	5.75	0.18	5.93	0.09
4	6.54	3.55	23.22	-0.79	-5.17	4.09	5.00	0.28	5.29	0.14
5	2.68	0.60	1.61	-3.74	-10.01	37.46	2.05	0.55	2.60	0.27
6	5.01	0.00	0.00	-4.34	-21.74	94.38	3.83	1.19	5.02	0.59
SUMA	40.40		175.35			262.43				

$$Y_{CT} = 4.34$$

TABLA 23: CÁLCULO DE CORTANTES DIRECTOS Y EFECTOS DE TORSIÓN EN DIRECCIÓN Y										
EJE	K_{iy} (ton/m)	X_i (m)	$K_{iy}X_i$ (ton)	X_{CT} (m)	$K_{iy}X_{CT}$ (ton)	$K_{iy}X_{CT}^2$ (ton-m)	EFECTOS DE V_y		EFECTOS DE V_x	
							DIRECTO (ton)	TORSIÓN (ton)	TOTAL (ton)	TORSIÓN (ton)
A	15.01	0.00	0.00	-4.27	-64.12	273.95	11.96	1.74	13.70	3.51
B	4.47	2.95	13.18	-1.32	-5.91	7.82	3.56	0.16	3.72	0.32
C	5.79	5.70	32.98	1.43	8.26	11.79	4.61	0.22	4.84	0.45
D	13.49	8.85	119.43	4.58	61.77	282.73	10.76	1.67	12.43	3.38
SUMA	38.76		165.59			576.28				

$$X_{CT} = 4.27$$

NIVEL 5

TABLA 25: CÁLCULO DE CORTANTES DIRECTOS Y EFECTOS DE TORSIÓN EN DIRECCIÓN X										
EJE	K_{ix} (ton/m)	y_i (m)	$K_{ix}y_i$ (ton)	Y_{CT} (m)	$K_{ix}Y_{CT}$ (ton)	$K_{ix}Y_{CT}^2$ (ton-m)	EFECTOS DE V_x		EFECTOS DE V_y	
							DIRECTO (ton)	TORSIÓN (ton)	TOTAL (ton)	TORSIÓN (ton)
1	12.11	7.55	91.45	3.21	38.87	124.75	3.87	0.89	4.76	0.44
2	6.54	4.55	29.77	0.21	1.37	0.29	2.09	0.03	2.12	0.02
3	7.51	3.90	29.30	-0.44	-3.31	1.46	2.40	0.08	2.48	0.04
4	6.54	3.55	23.22	-0.79	-5.17	4.09	2.09	0.12	2.21	0.06
5	2.68	0.60	1.61	-3.74	-10.01	37.46	0.86	0.23	1.09	0.11
6	5.01	0.00	0.00	-4.34	-21.74	94.38	1.60	0.50	2.10	0.25
SUMA	40.40		175.35			262.43				

$$Y_{CT} = 4.34$$



RESPUESTA ESTRUCTURAL DE MUROS DE CONCRETO Y MAMPOSTERÍA A CORTANTE

TABLA 26: CÁLCULO DE CORTANTES DIRECTOS Y EFECTOS DE TORSIÓN EN DIRECCIÓN Y										
EJE	K _{iy} (ton/m)	X _i (m)	K _{iy} X _i (ton)	X _{CT} (m)	K _{iy} X _{CT} (ton)	K _{iy} X _{CT} ² (ton-m)	EFECTOS DE V _y		EFECTOS DE V _x	
							DIRECTO (ton)	TORSIÓN (ton)	TOTAL (ton)	TORSIÓN (ton)
A	15.01	0.00	0.00	-4.27	-64.12	273.95	5.00	0.73	5.73	1.47
B	4.47	2.95	13.18	-1.32	-5.91	7.82	1.49	0.07	1.56	0.14
C	5.79	5.70	32.98	1.43	8.26	11.79	1.93	0.09	2.02	0.19
D	13.49	8.85	119.43	4.58	61.77	282.73	4.50	0.70	5.20	1.41
SUMA	38.76		165.59			576.28				

X_{CT}= 4.27

A continuación se presentan los resúmenes de los efectos cortantes en cada nivel y dirección analizada.

TABLA 27. CORTANTES TOTALES EN DIRECCIÓN X					
NIVEL	1	2	3	4	5
EJE	V TOTAL (ton)				
1	21.34	19.68	16.37	11.39	4.76
2	9.51	8.77	7.30	5.08	2.12
3	11.10	10.24	8.52	5.93	2.48
4	9.90	9.13	7.60	5.29	2.21
5	4.86	4.49	3.73	2.60	1.09
6	9.41	8.68	7.21	5.02	2.10

TABLA 28: CORTANTES TOTALES EN DIRECCIÓN Y					
NIVEL	1	2	3	4	5
EJE	V TOTAL (ton)				
A	24.75	23.67	19.68	13.70	5.73
B	6.70	6.43	5.35	3.72	1.56
C	8.71	8.36	6.95	4.84	2.02
D	22.47	21.48	17.86	12.43	5.20



RESPUESTA ESTRUCTURAL DE MUROS DE CONCRETO Y MAMPOSTERÍA A CORTANTE

Efectos bidireccionales.

Los efectos de ambos componentes horizontales del movimiento del terreno se combinarán tomando, en cada dirección en que se analice la estructura, el 100% de los efectos del componente que obra en esa dirección y el 30% de los efectos del que obra perpendicularmente a ella, con los signos que resulten más desfavorables para concepto.

TABLA 29: CORTANTES EN MUROS EJE 1 DIRECCIÓN X						
NIVEL	DIRECCIÓN FUERZA CORTANTE	EFECTO CORTANTE DIRECTO	EFECTO CORTANTE TORSIÓN	TOTAL	EFECTO MÁS DESFAVORABLE PARA DISEÑO	
					X + 0.3Y *	Y + 0.3X
1	X	17.35	3.99	21.34	21.93	8.37
	Y	0	1.97	1.97		
2	X	16.01	3.68	19.68	20.23	7.72
	Y	0	1.82	1.82		
3	X	13.31	3.06	16.37	16.82	6.42
	Y	0	1.51	1.51		
4	X	9.27	2.13	11.39	11.71	4.47
	Y	0	1.05	1.05		
5	X	3.87	0.89	4.76	4.89	1.87
	Y	0	0.44	0.44		

* rigen para diseño

TABLA 30: CORTANTES EN EL MURO 14						
NIVEL	DIRECCIÓN FUERZA CORTANTE	EFECTO CORTANTE DIRECTO	EFECTO CORTANTE TORSIÓN	TOTAL	EFECTO MÁS DESFAVORABLE PARA DISEÑO	
					Y + 0.3X *	X + 0.3Y
1	Y	21.50	3.25	24.75	26.72	14.00
	X	0	6.58	6.58		
2	Y	20.67	3.00	23.67	25.49	13.16
	X	0	6.06	6.06		
3	Y	17.19	2.49	19.68	21.19	10.95
	X	0	5.04	5.04		
4	Y	11.96	1.74	13.70	14.75	7.62
	X	0	3.51	3.51		
5	Y	5.00	0.73	5.73	6.17	3.19
	X	0	1.47	1.47		

* rigen para diseño



RESPUESTA ESTRUCTURAL DE MUROS DE CONCRETO Y MAMPOSTERÍA A CORTANTE

Momento de volteo

El momento de volteo para marco o grupo de elementos resistentes en un nivel dado podrá reducirse multiplicándolo por

$$=0.8+ 0.2 z$$

Donde z es la relación entre la altura del nivel en que se calcula el momento de volteo y la altura total de la construcción.

$$z = \frac{h_i}{H}$$

El momento de volteo reducido no podrá ser menor que el producto de la fuerza cortante en el nivel en cuestión, multiplicada por su distancia al centro de gravedad de la parte de estructura que se encuentra por encima de dicho nivel.

TABLA 31: MOMENTOS DE VOLTEO									
NIVEL	ENTREPISO	V (ton)	F _i (ton)	M _v (ton-m)	z=h _i /h	i= 0.8 + 0.2 z	M _d = iM _v (ton-m)	y _g	Vy _g * (ton-m)
5			4.89	0.00			0.00	0.00	0.00
	5	4.89							
4			6.82	12.82	0.80	0.96	12.31	2.62	12.82
	4	11.71							
3			5.11	43.50	0.60	0.92	40.02	3.93	46.02
	3	16.82							
2			3.41	87.57	0.40	0.88	77.06	5.24	88.14
	2	20.23							
1			1.70	140.57	0.20	0.84	118.08	6.55	132.50
	1	21.93							
0			0.00	198.03	0.00	0.8	158.43	7.86	172.39

* rigen para diseño



3.3 DINÁMICO

En los temas anteriores de este capítulo se presentaron dos métodos de análisis sísmico, el método simplificado y el estático, en este apartado abordaremos el análisis sísmico dinámico y citando un ejemplo de su desarrollo, apoyándonos de un programa de cómputo de análisis y diseño de estructuras.

El análisis dinámico ofrece la ventaja de ser más preciso porque incorpora información ignorada en el análisis estático, conviene considerar que la precisión de un análisis depende de la certeza en reducir ampliamente la posibilidad de daños fuertes a la estructura e incrementar la seguridad de dicha estructura.

ANÁLISIS MODAL

Se llama análisis modal, ya que implica el uso simultáneo de modos de vibrar y espectros de diseño.

ESPECTRO DE DISEÑO

Las construcciones no pueden diseñarse para resistir un sismo en particular en una zona dada, puesto que el próximo presentará características diferentes, de tal manera que los espectros de respuesta elástico o inelástico, no pueden utilizarse para el diseño sísmico. El diseño o revisión de las construcciones sismoresistentes se realiza a partir de espectros suavizados (no tienen variaciones bruscas como los espectros elásticos o inelásticos) y que consideran el efecto de varios terremotos, es decir que presentan una



envolvente de los espectros de respuesta de los terremotos típicos de una zona. Los espectros de diseño se obtienen generalmente mediante procedimientos estadísticos.

Requisitos generales

Los requisitos aplicables al análisis dinámico se encuentran plasmadas en el capítulo 9 del Reglamento de Construcciones del Distrito de las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo, estableciendo los siguientes criterios.

Se aceptarán como métodos de análisis dinámico el análisis modal y el cálculo paso a paso de respuestas a sismos específicos.

Cuando en el análisis modal se desprece el acoplamiento entre los grados de libertad de traslación horizontal y de rotación con respecto a un eje vertical, deberá incluirse el efecto de todos los modos naturales de vibración con periodo no mayor o igual a 0.4 segundos, pero en ningún caso podrán considerarse menos de los tres primeros modos de vibrar en cada dirección de análisis, excepto para estructuras de uno o dos niveles.

Si en el análisis modal se reconoce explícitamente el acoplamiento mencionado, deberá incluirse el efecto de los modos naturales que, ordenados según valores decrecientes de sus periodos de vibración, sean necesarios para que la suma de los pesos efectivos en cada dirección de análisis sea mayor o igual a 90% del peso total de la estructura.

Los pesos modales efectivos, W_{ei} , se determinarán como

$$W_{ei} = \frac{(\{\phi_i\}^T [W] \{J\})^2}{\{\phi_i\}^T [W] \{\phi_i\}}$$



RESPUESTA ESTRUCTURAL DE MUROS DE CONCRETO Y MAMPOSTERÍA A CORTANTE

Donde $\{\phi_i\}$ es el vector de amplitudes del i -ésimo modo natural de vibrar de la estructura $[W]$ la matriz de pesos de las masas de la estructura y $\{J\}$ un vector formado con “unos” en las posiciones correspondientes a los grados de libertad de traslación a la dirección de análisis, y “ceros” en las otras posiciones.

El efecto de la torsión accidental se tendrá en cuenta trasladando transversalmente $\pm 0.1b$ las fuerzas sísmicas resultantes para cada dirección de análisis, considerando el mismo signo en todos los niveles.

Para calcular la participación de cada modo natural en las fuerzas laterales que actúan sobre la estructura, se supondrá las aceleraciones espectrales de diseño especificadas en el capítulo 3 de las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo, reducidas como se establece en el capítulo 4 de las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo.

Las respuestas modales S_i (donde S_i puede ser fuerza cortante, desplazamiento lateral, momento de volteo, u otras), se combinarán para calcular las respuestas totales S , de acuerdo con la expresión.

$$S = \sqrt{\sum S_i^2}$$

Siempre que los periodos de los modos naturales en cuestión difieran al menos 10% entre sí. Para las respuestas en modos naturales que no cumplen esta condición se tendrá en cuenta el acoplamiento entre ellos. Los desplazamientos laterales así calculados, y multiplicados por el factor de comportamiento sísmico Q , se utilizarán para determinar efectos de segundo orden y para verificar que la estructura no excede los



desplazamientos máximos establecidos en el apartado 1.8 de las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo.

ANÁLISIS PASO A PASO

Si se emplea el método de cálculo paso a paso de respuestas a temblores específicos, podrá acudir a acelerogramas de temblores reales o de movimientos simulados, o a combinaciones de éstos, siempre que se usen no menos de cuatro movimientos representativos, independientes entre sí, cuyas intensidades sean compatibles con los demás criterios que consignan estas las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo, y que se tengan en cuenta el comportamiento no lineal de la estructura y las incertidumbres que haya en cuanto a sus parámetros.

REVISIÓN POR CORTANTE BASAL

Si con el método de análisis dinámico que se haya aplicado se encuentra que, en la dirección que se considera, la fuerza cortante basal V_o es menor que

$$0.8a \frac{W_o}{Q'}$$

Se incrementarán todas las fuerzas de diseño y desplazamiento laterales correspondientes, en una proporción tal que V_o iguales a este valor; a y Q' se calculan para el periodo fundamental de la estructura en la dirección de análisis.

En ningún caso V_o se tomará no menor que $a_0 W_o$.



EFFECTOS BIDIRECCIONALES.

Cualquiera que sea el método dinámico de análisis que se emplee, los efectos de movimientos horizontales del terreno en direcciones ortogonales se combinarán como se especifica en relación con el método estático de análisis sísmico en la sección 8.7 de las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por sismo. Igualmente aplicables son los demás disposiciones del Capítulo 8 de las mismas normas en cuanto al cálculo de fuerzas internas y desplazamientos laterales.

EJEMPLO ANÁLISIS DINÁMICO

Se trata de un edificio de forma irregular de seis niveles, construcción tipo B, esta estructurada a base de muros de mampostería reforzada interiormente (tabique de barro) y en combinación de muros de concreto reforzado, la estructura se encuentra en zona III, las plantas en cada nivel son tipos, la altura de cada entrepiso es de 2.80 m, la altura total de la estructura es de 16.80 m, la losa de los pisos es de concreto reforzado con un espesor de 12 cm. Para ejemplificar este método como se explico anteriormente no apoyaremos de un software para diseño estructural para su análisis, cabe mencionar que no se intenta dar una explicación de los procedimientos que se tiene que seguir para modelar una estructura con este programa, nos concentraremos únicamente en el análisis sísmico dinámico y en específico los efectos de las fuerzas generadas en los muros de concreto y mampostería.



RESPUESTA ESTRUCTURAL DE MUROS DE CONCRETO Y MAMPOSTERÍA A CORTANTE

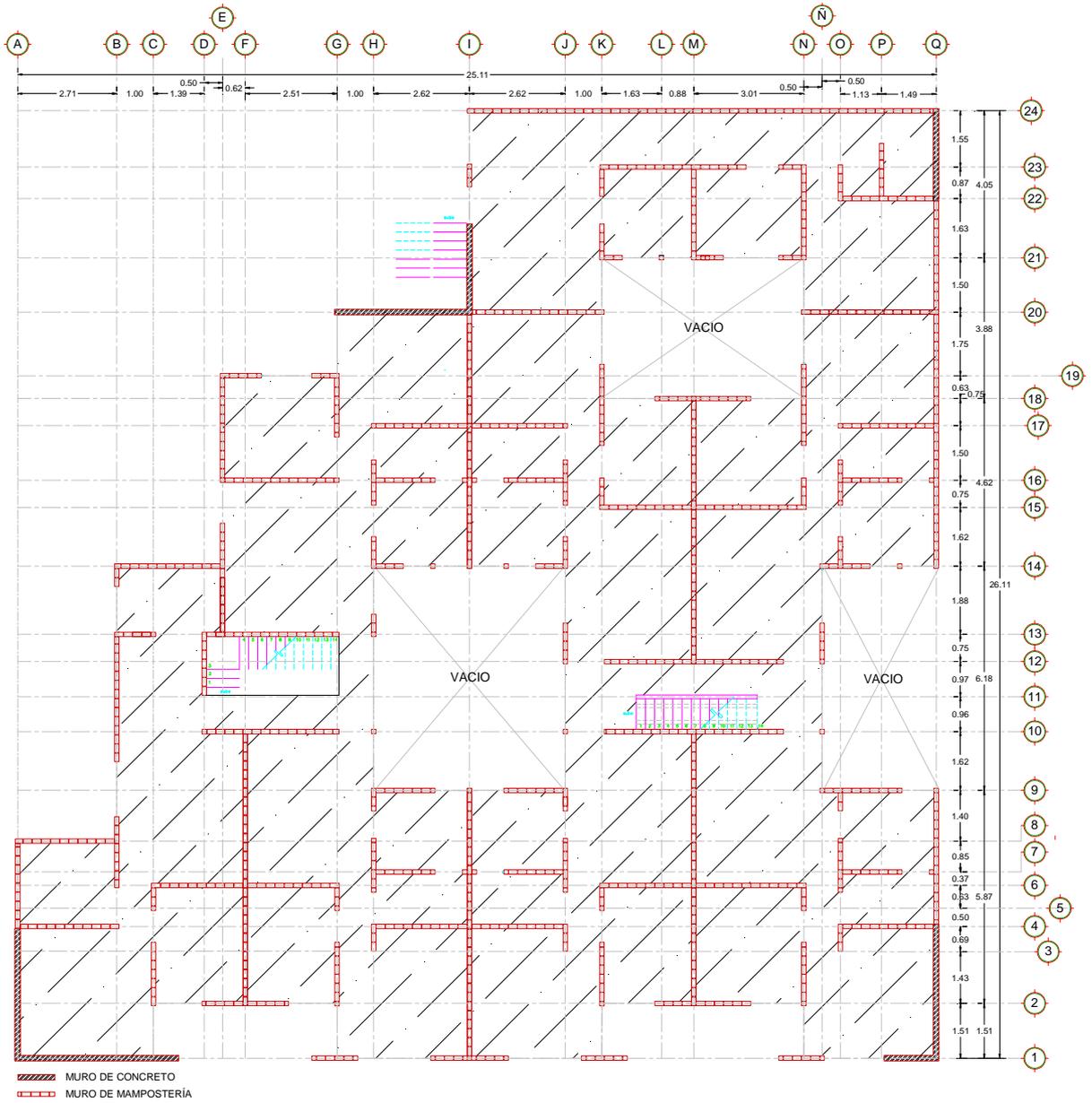


Figura 25. Planta tipo de la estructura

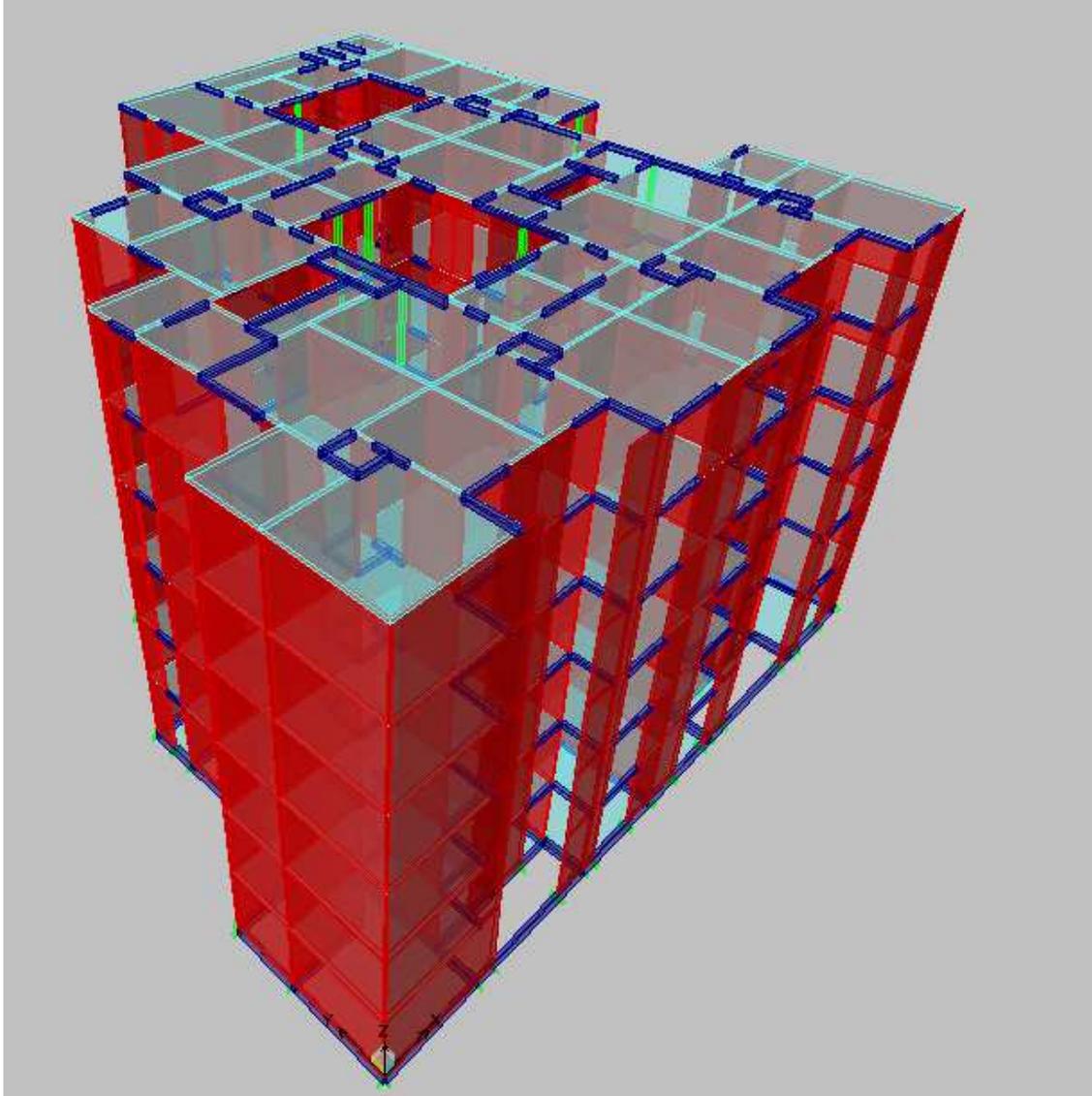


Figura 26. Vista en 3D de la estructura



Descripción general

Característica de la mampostería:

Tabique de barro (Multex) espesor 11.5 cm
Resistencia a la compresión de la mampostería $f_m^* = 60 \text{ kg/cm}^2$
Peso volumétrico 1500 kg/m^3
Resistencia al esfuerzo cortante $v_m^* = 5 \text{ kg/cm}^2$

Característica del concreto:

Concreto $f_c' = 200 \text{ kg/cm}^2$
Peso volumétrico del concreto $= 2400 \text{ kg/m}^3$
Muro de concreto espesor de 12 cm
Acero de refuerzo $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$

Característica de la estructura

Área de la losa = 428.32 m^2

Altura de entrepiso = 2.80 m

Altura total: 16.80 m

Niveles: 6



RESPUESTA ESTRUCTURAL DE MUROS DE CONCRETO Y MAMPOSTERÍA A CORTANTE

Determinación de cargas en azotea y entrepiso.

TABLA 32: ANÁLISIS DE CARGAS DE 1 m² DE LOSA				
AZOTEA				
Carga muerta				
Peso de la Losa 12 cm	=	2400 kg/m ³ x 0.12m	=	288.0 kg/m ²
Mortero	=	2100 kg/m ³ x 0.03m	=	45.0 kg/m ²
Plafón			=	5.0 kg/m ²
Relleno de Tezontle	=	1250 kg/m ³ x 0.05m	=	62.5 kg/m ²
Impermeabilizante	=		=	5.0 kg/m ²
Carga muerta adicional (RCDF)			=	40.0 kg/m ²
CM (Carga muerta)			=	440.5 kg/m²
Carga viva por reglamento en azotea		W_m	=	100.0 kg/m ²
Wtotal (CV+CM)			=	540.5 kg/m²
Factor de carga	=	1.4(Wtotal)	=	756.7 kg/m²
Carga instantánea (RCDF)		W_a	=	70.0 kg/m ²
Carga media (RCDF)		W	=	15.0 kg/m ²
ENTREPISO				
Carga muerta				
Peso de la Losa 12 cm	=	2400 kg/m ³ x 0.12m	=	288.0 kg/m ²
Mortero	=	2100 kg/m ³ x 0.02m	=	30.0 kg/m ²
Acabado			=	100.0 kg/m ²
Plafón			=	5.0 kg/m ²
Carga muerta adicional, (RCDF)			=	40.0 kg/m ²
W (Carga muerta)			=	433.0 kg/m²
Carga viva en entrepiso (RCDF)		W_m	=	170.0 kg/m ²
Wtotal (CV+CM)			=	603.0 kg/m²
Factor de carga	=	1.4(Wtotal)	=	844.2 kg/m²
Carga instantánea (RCDF)		W_a	=	90.0 kg/m ²
Carga media (RCDF)		W	=	70.0 kg/m ²



RESPUESTA ESTRUCTURAL DE MUROS DE CONCRETO Y MAMPOSTERÍA A CORTANTE

Espectro de diseño sísmico de acuerdo al Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal.

Datos para definir el espectro de diseño sísmico zona IIIa, Distrito Federal.

c	0.40	Q	1.50
ao	0.10	F.I.	0.75
Ta	0.53	F.A.	1.00
Tb	1.80	c*F.A.	0.40
r	2.00		



RESPUESTA ESTRUCTURAL DE MUROS DE CONCRETO Y MAMPOSTERÍA A CORTANTE

TABLA 33: ESPECTRO DE DISEÑO SÍSMICO DE ACUERDO AL RCDF-NTCDS 2004	
PERIODO	ACELERACIÓN
0.00	0.10
0.53	0.36
1.80	0.36
1.85	0.34
1.90	0.32
1.95	0.30
2.00	0.29
2.05	0.27
2.10	0.26
2.15	0.25
2.20	0.24
2.25	0.23
2.30	0.22
2.35	0.21
2.40	0.20
2.45	0.19
2.50	0.18
2.55	0.18
2.60	0.17
2.65	0.16
2.70	0.16
2.75	0.15
2.80	0.15
2.85	0.14
2.90	0.14
2.95	0.13
3.00	0.13
3.05	0.12
3.10	0.12
3.15	0.12
3.20	0.11
3.25	0.11
3.30	0.11
3.35	0.10
3.40	0.10
3.45	0.10
3.50	0.09
3.55	0.09
3.60	0.09
3.65	0.09
3.70	0.08
3.75	0.08
3.80	0.08
3.85	0.08
3.90	0.08
3.95	0.07
4.00	0.07



RESPUESTA ESTRUCTURAL DE MUROS DE CONCRETO Y MAMPOSTERÍA A CORTANTE

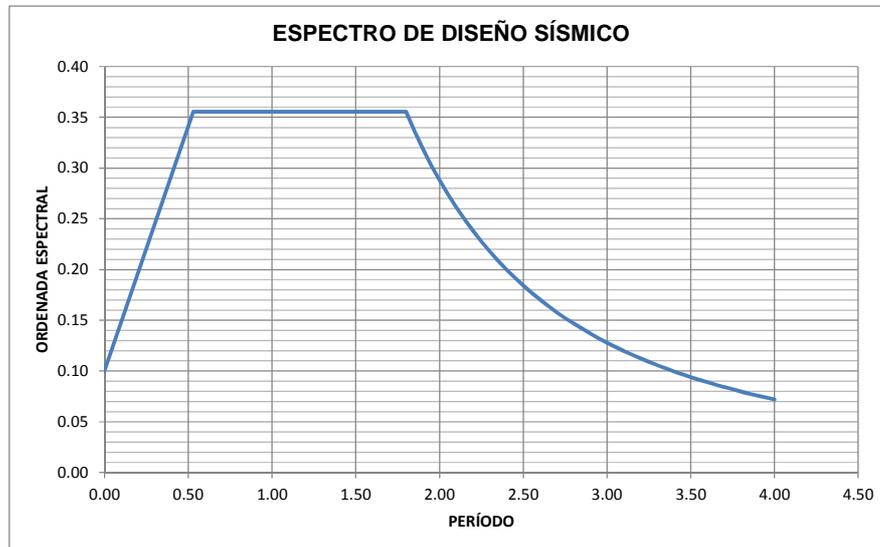


Figura 27. Gráfica espectro de respuesta

En la tabla 34 se presentan los periodos naturales de vibración de la estructura determinados mediante el programa de computo de análisis y diseño estructural, en la tabla se presentan los 12 periodos naturales de vibración de la estructura.

TABLA 34: MODOS DE VIBRACIÓN DE LA ESTRUCTURA Y PERIODOS NATURALES	
MODO DE VIBRACIÓN	PERIODO NATURALES (Seg.)
1	0.2986
2	0.2907
3	0.2375
4	0.1095
5	0.1064
6	0.1057
7	0.1045
8	0.1026
9	0.1011
10	0.0877
11	0.0868
12	0.0698



RESPUESTA ESTRUCTURAL DE MUROS DE CONCRETO Y MAMPOSTERÍA A CORTANTE

El apartado 9.1 del análisis modal de las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo establece que los modos de naturales de vibración no deben de ser mayor a 0.4 Segundos, en los resultados del análisis el primer modo de vibración es 0.2986 segundos, por lo tanto es menor a 0.4 segundos, se acepta.

Revisión de desplazamientos laterales

En la siguiente tabla se presenta los valores de los desplazamientos por cada nivel obtenidos a del análisis modal apoyado del programa computacional.

TABLA 35: DESPLAZAMIENTOS LATERALES EN LA DIRECCIÓN DE ANÁLISIS					
NIVEL	Q (FACTOR DE COMPORTAMIENTO SÍSMICO)	DESPLAZAMIENTO EN X (cm)	DESPLAZAMIENTO EN Y (cm)	DESPLAZAMIENTO ACTUANTE EN DIRECCIÓN X (cm)	DESPLAZAMIENTO ACTUANTE EN DIRECCIÓN Y (cm)
6	1.5	0.0082	0.0074	1.24	1.12
5	1.5	0.0071	0.0064	1.06	0.95
4	1.5	0.0056	0.0051	0.85	0.76
3	1.5	0.0040	0.0036	0.61	0.54
2	1.5	0.0024	0.0021	0.36	0.32
1	1.5	0.0009	0.0008	0.14	0.13

Conforme a las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por sismo en el apartado 1.8 establece que los desplazamientos laterales de pisos consecutivos por las fuerzas cortantes sísmicas de entrepiso no excederán 0.006 veces la diferencia de elevaciones correspondientes, se tiene que la altura del edificio es de 16.80 m y tenemos que haciendo el producto de 0.006 por 16.80 obtenemos un desplazamiento lateral máximo permisible de 10 cm y también establece de los resultados que se obtengan se multiplicará por el factor del comportamiento sísmico. De acuerdo a los resultados del análisis dinámico tenemos en el punto más alto de la estructura es de



RESPUESTA ESTRUCTURAL DE MUROS DE CONCRETO Y MAMPOSTERÍA A CORTANTE

1.24 cm en dirección X y en dirección Y es 1.16 cm, los desplazamientos laterales son aceptables y podemos deducir que se debe a que existe suficiente densidad de muros en cada dirección y cada piso.

Revisión del cortante de entrepisos obtenidos del análisis dinámico.

TABLA 36: CORTANTES SÍSMICOS EN LA ESTRUCTURA					
NIVEL	W _i (ton)	h _i (ton)	V estático sin considerar T (ton)	V _x modal	
				X (ton)	Y (ton)
6	235.24	16.80	111.69	78.53	83.30
5	334.51	14.00	244.04	172.85	181.95
4	334.51	11.20	349.92	247.45	259.00
3	334.51	8.40	429.33	302.50	314.72
2	334.51	5.60	370.58	336.38	349.37
1	334.51	2.80	455.80	350.54	363.53

El análisis de la tabla 36 se presenta los cortantes estáticos sin considerar el periodo fundamental de la estructura, los cortantes estáticos son mayores que los resultados obtenidos del método dinámico, podemos deducir que el análisis modal resulta más refinado los resultados del análisis y resulta conveniente su aplicación. A continuación revisaremos que el cortante basal V₀ no sea menor que el cortante mínimo V_{min} conforme a las solicitaciones del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal.

$$V_{\min} = 0.8a \frac{W_0}{Q'}$$

a = ordenada los espectros de diseño, como fracción de la aceleración de la gravedad.

Q' = factor de la reducción de las fuerzas sísmicas con fines de diseño, función del periodo natural.

W₀ = valor de W de la base de la estructura.



RESPUESTA ESTRUCTURAL DE MUROS DE CONCRETO Y MAMPOSTERÍA A CORTANTE

$$a = a_0 + (c - a_0) \frac{T}{T_a}$$

a_0 = valor de a que corresponde a $T = 0$

c = coeficiente sísmico

T = periodo natural de vibración de la estructura

T_a, T_b = periodo característicos de los espectros de diseño

$$Q' = 1 + \frac{T}{T_a} (Q - 1)$$

Q = factor de comportamiento sísmico

Q' = factor de reducción de las fuerzas sísmicas con fines de diseño.

$$a = 0.17$$

$$Q' = 1.28$$

$$V_{\min} = 0.8 \times (0.17) \times \left(\frac{334.51}{1.282} \right)$$

$$V_{\min} = 35.49 \text{ ton.}$$

Como resultado del cálculo anterior y recurriendo a la tabla 36 los cortantes en la base $V_x = 350.54$ ton y en $V_y = 363.53$, mayor en ambas direcciones que $V_{\min} = 35.48$ ton, no es necesario modificar V en ninguno de los demás resultados del análisis.



RESPUESTA ESTRUCTURAL DE MUROS DE CONCRETO Y MAMPOSTERÍA A CORTANTE

En la siguiente tabla se muestra los centros de masas y rigideces de cada piso

Centro de masas y rigideces de la estructura

TABLA 37: CENTRO DE MASAS Y RIGIDECES										
NIVEL	Masa en X (ton/m s ²)	Masa en Y (ton/m s ²)	X _{CM} (m)	Y _{CM} (m)	Masa acum X (ton/m s ²)	Masa acum Y (ton/m s ²)	X _{CCM} (m)	Y _{CCM} (m)	X _{CR} (m)	Y _{CR} (m)
6	23.98	23.98	14.44	11.75	23.98	23.98	14.44	11.75	14.30	12.95
5	34.10	34.10	14.46	11.80	58.08	58.08	14.45	11.78	14.31	12.76
4	34.10	34.10	14.46	11.80	92.18	92.18	14.46	11.79	14.29	12.51
3	34.10	34.10	14.46	11.80	126.27	126.27	14.46	11.79	14.28	12.20
2	34.10	34.10	14.46	11.80	160.37	160.37	14.46	11.79	14.34	11.82
1	34.10	34.10	14.46	11.80	194.47	194.47	14.46	11.79	14.60	11.36

El siguiente paso a realizar es revisar algunos muros de mampostería para verificar que cumplan con la resistencia a cortante y de acuerdo a las solicitaciones del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal en las Normas Técnicas Complementarias y para Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería.

Resistencia a compresión y a flexocompresión en el plano del muro.

Para determinar la resistencia a compresión de mampostería con refuerzo interior se tiene la siguiente expresión:

La carga vertical resistente, P_R, se calculará como:

$$P_R = F_R F_E (f_m * A_T + \sum A_s f_y) \leq 1.25 F_R F_E f_m * A_T$$

Donde:

F_E se obtendrá de acuerdo con la sección 3.2.2 de las Normas Técnicas complementarias para Diseño y Construcción de estructuras de mampostería.



RESPUESTA ESTRUCTURAL DE MUROS DE CONCRETO Y MAMPOSTERÍA A CORTANTE

F_R se tomará igual a 0.6 (sección 6.3.1 Normas Técnicas Complementarias para Diseño y construcción de estructuras de mampostería).

Para mampostería reforzada interiormente se tiene las siguientes formulas:

Alternativamente, P_R , se podrá calcular con

$$P_R = F_R F_E (f_m^* + 7) A_T \leq 1.25 F_R F_E f_m^* A_T$$

F_R = factor de resistencia, se tomará igual a 0.6

F_E = factor de reducción por efectos de excentricidad y esbeltez, se tomará igual a 0.6

f_m^* = resistencia de diseño a compresión de la mampostería

A_T = área bruta de la sección transversal del muro que incluye los castillos.

Resistencia a flexocompresión en el plano del muro.

El momento flexionante resistente de diseño de la sección, M_R , se calculará de acuerdo con las siguientes ecuaciones.

$$M_R = F_R M_0 + 0.3 P_u d \quad \text{si } 0 \leq P_u \leq \frac{P_R}{3}$$

$$M_R = (1.5 F_R M_0 + 0.15 P_R d) \left(1 - \frac{P_u}{P_R} \right); \quad \text{si } P_u > \frac{P_R}{3}$$

$M_0 = A_s f_y d'$, resistencia a flexión pura del muro

A_s = área total de acero de refuerzo longitudinal colocada en los extremos del muro

d' = distancia entre los centroides del acero colocado en ambos extremos del muro

d = distancia entre el centroide del acero de tensión y la fibra a compresión máxima

P_u = carga axial de diseño a compresión

F_R = factor de resistencia, se tomará igual a 0.8, si $P_u \leq P_R / 3$ e igual a 0.6 en caso contrario.



Resistencia a cargas laterales

Fuerza cortante resistida por la mampostería

La fuerza cortante resistente de diseño de la mampostería, V_{mR} , se determinará como sigue:

$$V_{mR} = F_R (0.5v_m^* A_T + 0.3P) \leq 1.5F_R v_m^* A_T$$

P = carga vertical que actúa sobre el muro

v_m^* = resistencia a compresión diagonal de la mampostería

donde P se deberá tomar positiva en compresión.

La carga vertical que actúa sobre el muro deberá considerar las acciones permanentes, variables con intensidad instantánea, y accidentales que conduzcan al menor valor y sin multiplicar por el factor de carga. Si la carga vertical P es de tensión se despreciará la contribución de la mampostería V_{mR} , por lo que la totalidad de la fuerza cortante deberá ser resistida por el refuerzo horizontal.

El refuerzo horizontal se atenderá de acuerdo a las solicitaciones de las Normas Técnicas complementarias para Diseño y Construcción de estructuras de mampostería sección 6.4.3 y la separación máxima del refuerzo horizontal, S_h , no excederá de seis hiladas o 600 mm.



RESPUESTA ESTRUCTURAL DE MUROS DE CONCRETO Y MAMPOSTERÍA A CORTANTE

A continuación se presenta una memoria de cálculo para la revisión de los muros de mampostería de los resultados obtenidos del análisis dinámico modal. Se presenta únicamente los cálculos de algunos de los muros del primer nivel de acuerdo a las siguientes tablas:

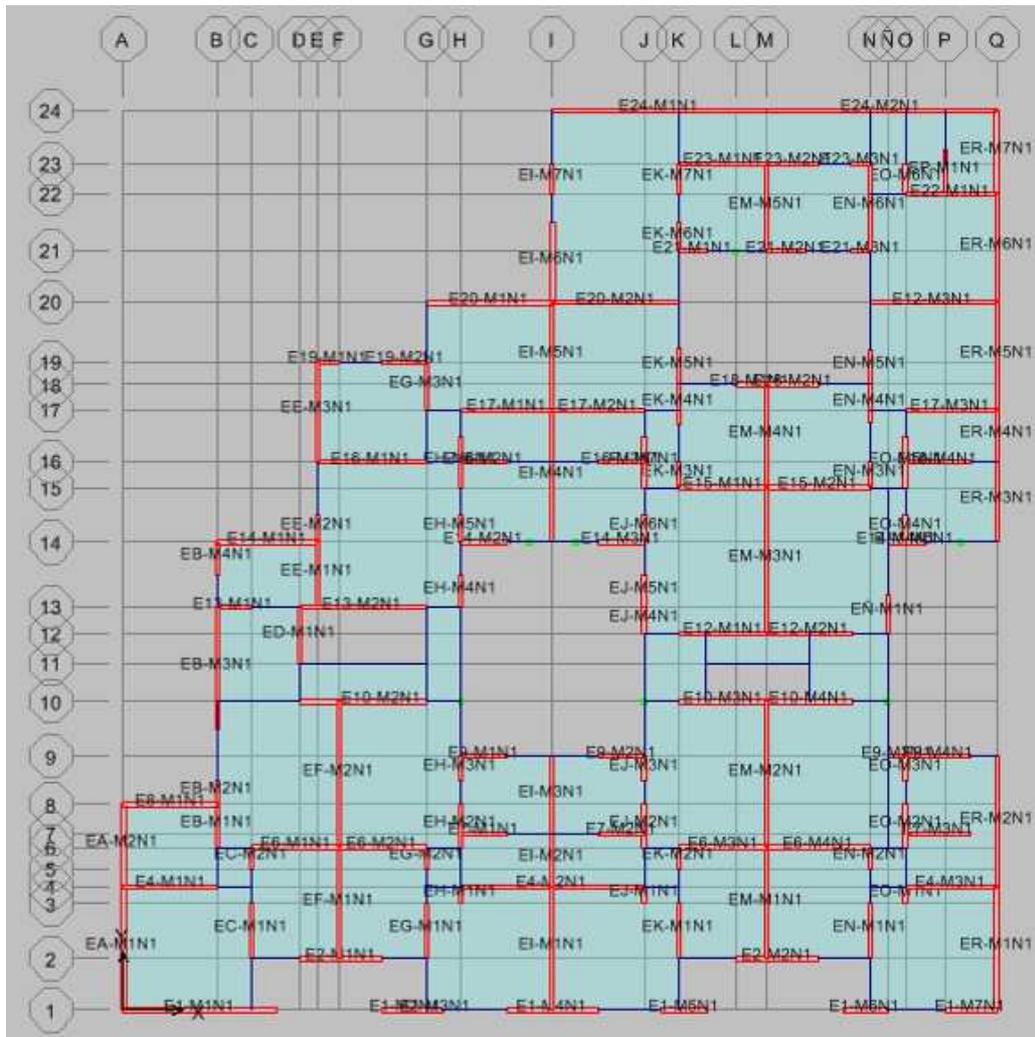


Figura 28. Distribución de los muros en cada piso



RESPUESTA ESTRUCTURAL DE MUROS DE CONCRETO Y MAMPOSTERÍA A CORTANTE

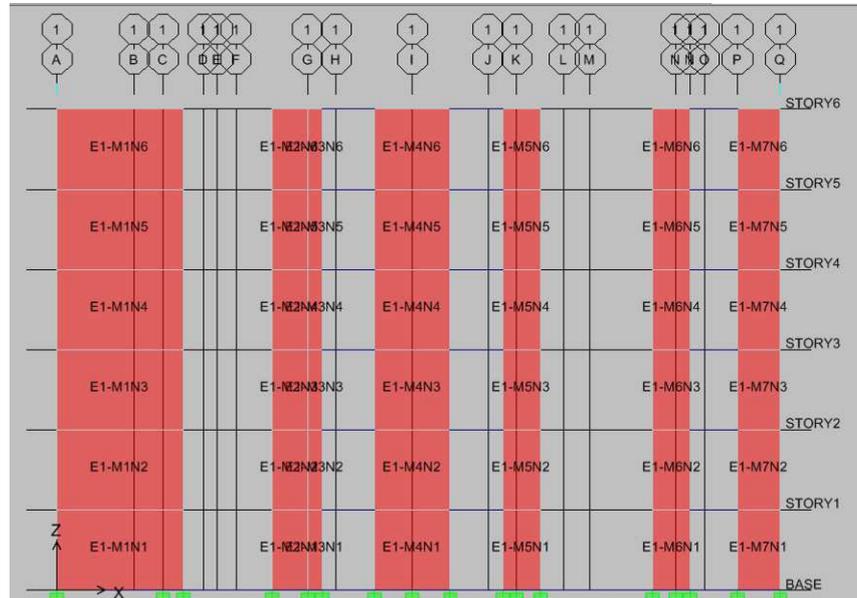


Figura 29. Ejemplo elevación muros y nombres asignados a los muros por piso dirección X.



Figura 29. Ejemplo elevación muros y nombres asignados a los muros por piso dirección Y.



RESPUESTA ESTRUCTURAL DE MUROS DE CONCRETO Y MAMPOSTERÍA A CORTANTE

TABLA 38: CARACTERÍSTICA DE LOS MUROS EN LAS DOS DIRECCIONES				
PISO	EJE-MURO-NIVEL	LONGITUD DEL MURO (m)	ESPESOR DEL MURO (m)	MATERIAL
1	E1-M1N1	4.40	0.15	CONC200 (CONCRETO $f'c= 200 \text{ kg/cm}^2$)
1	E1-M2N1	1.25	0.115	MULTEX (TABIQUE MULTIPERFORADO)
1	E1-M3N1	0.50	0.115	MULTEX (TABIQUE MULTIPERFORADO)
1	E1-M4N1	2.65	0.115	MULTEX (TABIQUE MULTIPERFORADO)
1	E1-M5N1	1.33	0.115	MULTEX (TABIQUE MULTIPERFORADO)
1	E1-M6N1	1.30	0.115	MULTEX (TABIQUE MULTIPERFORADO)
1	E1-M7N1	1.50	0.15	CONC200 (CONCRETO $f'c= 200 \text{ kg/cm}^2$)
1	E2-M1N1	2.40	0.115	MULTEX (TABIQUE MULTIPERFORADO)
1	E2-M2N1	2.40	0.115	MULTEX (TABIQUE MULTIPERFORADO)
1	E4-M1N1	2.70	0.115	MULTEX (TABIQUE MULTIPERFORADO)
1	E4-M2N1	5.30	0.115	MULTEX (TABIQUE MULTIPERFORADO)
1	E4-M3N1	2.65	0.115	MULTEX (TABIQUE MULTIPERFORADO)
1	E6-M1N1	2.55	0.115	MULTEX (TABIQUE MULTIPERFORADO)
1	E6-M2N1	2.50	0.115	MULTEX (TABIQUE MULTIPERFORADO)
1	E6-M3N1	2.55	0.115	MULTEX (TABIQUE MULTIPERFORADO)
1	E6-M4N1	3.00	0.115	MULTEX (TABIQUE MULTIPERFORADO)
1	E7-M1N1	1.33	0.115	MULTEX (TABIQUE MULTIPERFORADO)
1	E7-M2N1	1.33	0.115	MULTEX (TABIQUE MULTIPERFORADO)
1	E7-M3N1	1.90	0.115	MULTEX (TABIQUE MULTIPERFORADO)
1	E9-M1N1	1.33	0.115	MULTEX (TABIQUE MULTIPERFORADO)
1	E9-M2N1	1.33	0.115	MULTEX (TABIQUE MULTIPERFORADO)
1	E9-M3N1	0.50	0.115	MULTEX (TABIQUE MULTIPERFORADO)
1	E9-M4N1	1.90	0.115	MULTEX (TABIQUE MULTIPERFORADO)
1	E10-M2N1	2.50	0.115	MULTEX (TABIQUE MULTIPERFORADO)
1	E10-M3N1	2.55	0.115	MULTEX (TABIQUE MULTIPERFORADO)
1	E10-M4N1	2.45	0.115	MULTEX (TABIQUE MULTIPERFORADO)
1	E1-M4N1	3.85	0.115	MULTEX (TABIQUE MULTIPERFORADO)
1	E12-M1N1	2.55	0.115	MULTEX (TABIQUE MULTIPERFORADO)
1	E12-M2N1	2.45	0.115	MULTEX (TABIQUE MULTIPERFORADO)
1	E13-M1N1	1.00	0.115	MULTEX (TABIQUE MULTIPERFORADO)
1	E13-M2N1	3.65	0.115	MULTEX (TABIQUE MULTIPERFORADO)
1	E12-M3N1	3.65	0.115	MULTEX (TABIQUE MULTIPERFORADO)
1	E14-M1N1	2.90	0.115	MULTEX (TABIQUE MULTIPERFORADO)
1	E14-M2N1	1.33	0.115	MULTEX (TABIQUE MULTIPERFORADO)
1	E14-M3N1	1.33	0.115	MULTEX (TABIQUE MULTIPERFORADO)
1	E14-M4N1	0.50	0.115	MULTEX (TABIQUE MULTIPERFORADO)
1	E14-M5N1	0.58	0.115	MULTEX (TABIQUE MULTIPERFORADO)
1	E15-M1N1	2.55	0.115	MULTEX (TABIQUE MULTIPERFORADO)
1	E15-M2N1	3.00	0.115	MULTEX (TABIQUE MULTIPERFORADO)
1	E16-M1N1	3.15	0.115	MULTEX (TABIQUE MULTIPERFORADO)
1	E16-M2N1	1.33	0.115	MULTEX (TABIQUE MULTIPERFORADO)
1	E16-M3N1	1.33	0.115	MULTEX (TABIQUE MULTIPERFORADO)
1	E16-M4N1	1.90	0.115	MULTEX (TABIQUE MULTIPERFORADO)
1	E17-M1N1	2.65	0.115	MULTEX (TABIQUE MULTIPERFORADO)
1	E17-M2N1	2.65	0.115	MULTEX (TABIQUE MULTIPERFORADO)
1	E17-M3N1	2.65	0.115	MULTEX (TABIQUE MULTIPERFORADO)
1	E18-M1N1	0.90	0.115	MULTEX (TABIQUE MULTIPERFORADO)
1	E18-M2N1	1.50	0.115	MULTEX (TABIQUE MULTIPERFORADO)



RESPUESTA ESTRUCTURAL DE MUROS DE CONCRETO Y MAMPOSTERÍA A CORTANTE

TABLA 38: CARACTERÍSTICA DE LOS MUROS EN LAS DOS DIRECCIONES				
PISO	EJE-MURO-NIVEL	LONGITUD DEL MURO (m)	ESPESOR DEL MURO (m)	MATERIAL
1	E19-M1N1	0.65	0.115	MULTEX (TABIQUE MULTIPERFORADO)
1	E19-M2N1	1.25	0.115	MULTEX (TABIQUE MULTIPERFORADO)
1	E20-M1N1	3.65	0.15	CONC200 (CONCRETO f'c= 200 kg/cm ²)
1	E20-M2N1	3.65	0.115	MULTEX (TABIQUE MULTIPERFORADO)
1	E21-M1N1	0.83	0.115	MULTEX (TABIQUE MULTIPERFORADO)
1	E21-M2N1	1.12	0.115	MULTEX (TABIQUE MULTIPERFORADO)
1	E21-M3N1	0.55	0.115	MULTEX (TABIQUE MULTIPERFORADO)
1	E22-M1N1	2.65	0.115	MULTEX (TABIQUE MULTIPERFORADO)
1	E23-M1N1	2.55	0.115	MULTEX (TABIQUE MULTIPERFORADO)
1	E23-M2N1	1.50	0.115	MULTEX (TABIQUE MULTIPERFORADO)
1	E23-M3N1	0.55	0.115	MULTEX (TABIQUE MULTIPERFORADO)
1	E24-M1N1	6.20	0.115	MULTEX (TABIQUE MULTIPERFORADO)
1	E24-M2N1	6.65	0.115	MULTEX (TABIQUE MULTIPERFORADO)
1	E8-M1N1	2.70	0.115	MULTEX (TABIQUE MULTIPERFORADO)
1	EA-M1N1	3.60	0.15	CONC200 (CONCRETO f'c= 200 kg/cm ²)
1	EA-M2N1	2.40	0.115	MULTEX (TABIQUE MULTIPERFORADO)
1	EB-M1N1	1.25	0.115	MULTEX (TABIQUE MULTIPERFORADO)
1	EB-M2N1	0.70	0.115	MULTEX (TABIQUE MULTIPERFORADO)
1	EB-M3N1	3.55	0.115	MULTEX (TABIQUE MULTIPERFORADO)
1	EB-M4N1	0.95	0.115	MULTEX (TABIQUE MULTIPERFORADO)
1	EC-M1N1	1.60	0.115	MULTEX (TABIQUE MULTIPERFORADO)
1	EC-M2N1	0.65	0.115	MULTEX (TABIQUE MULTIPERFORADO)
1	ED-M1N1	1.65	0.115	MULTEX (TABIQUE MULTIPERFORADO)
1	EE-M1N1	1.90	0.115	MULTEX (TABIQUE MULTIPERFORADO)
1	EE-M2N1	0.80	0.115	MULTEX (TABIQUE MULTIPERFORADO)
1	EE-M3N1	2.90	0.115	MULTEX (TABIQUE MULTIPERFORADO)
1	EF-M1N1	3.25	0.115	MULTEX (TABIQUE MULTIPERFORADO)
1	EF-M2N1	4.25	0.115	MULTEX (TABIQUE MULTIPERFORADO)
1	EG-M1N1	1.60	0.115	MULTEX (TABIQUE MULTIPERFORADO)
1	EG-M2N1	0.65	0.115	MULTEX (TABIQUE MULTIPERFORADO)
1	EG-M3N1	1.40	0.115	MULTEX (TABIQUE MULTIPERFORADO)
1	EH-M1N1	0.50	0.115	MULTEX (TABIQUE MULTIPERFORADO)
1	EH-M2N1	1.25	0.115	MULTEX (TABIQUE MULTIPERFORADO)
1	EH-M3N1	0.70	0.115	MULTEX (TABIQUE MULTIPERFORADO)
1	EH-M4N1	0.95	0.115	MULTEX (TABIQUE MULTIPERFORADO)
1	EH-M5N1	0.80	0.115	MULTEX (TABIQUE MULTIPERFORADO)
1	EH-M6N1	1.50	0.115	MULTEX (TABIQUE MULTIPERFORADO)
1	EI-M1N1	3.60	0.115	MULTEX (TABIQUE MULTIPERFORADO)
1	EI-M2N1	1.55	0.115	MULTEX (TABIQUE MULTIPERFORADO)
1	EI-M3N1	2.25	0.115	MULTEX (TABIQUE MULTIPERFORADO)
1	EI-M5N1	3.15	0.115	MULTEX (TABIQUE MULTIPERFORADO)
1	EI-M6N1	2.33	0.15	CONC200 (CONCRETO f'c= 200 kg/cm ²)
1	EI-M7N1	0.90	0.115	MULTEX (TABIQUE MULTIPERFORADO)
1	EJ-M1N1	0.50	0.115	MULTEX (TABIQUE MULTIPERFORADO)
1	EJ-M2N1	1.25	0.115	MULTEX (TABIQUE MULTIPERFORADO)
1	EJ-M3N1	0.70	0.115	MULTEX (TABIQUE MULTIPERFORADO)
1	EJ-M4N1	0.75	0.115	MULTEX (TABIQUE MULTIPERFORADO)



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN



RESPUESTA ESTRUCTURAL DE MUROS DE CONCRETO Y MAMPOSTERÍA A CORTANTE

TABLA 38: CARACTERÍSTICA DE LOS MUROS EN LAS DOS DIRECCIONES				
PISO	EJE-MURO-NIVEL	LONGITUD DEL MURO (m)	ESPESOR DEL MURO (m)	MATERIAL
1	EJ-M5N1	0.95	0.115	MULTEX (TABIQUE MULTIPERFORADO)
1	EJ-M6N1	0.80	0.115	MULTEX (TABIQUE MULTIPERFORADO)
1	EJ-M7N1	1.50	0.115	MULTEX (TABIQUE MULTIPERFORADO)
1	EK-M1N1	1.60	0.115	MULTEX (TABIQUE MULTIPERFORADO)
1	EK-M2N1	0.65	0.115	MULTEX (TABIQUE MULTIPERFORADO)
1	EK-M3N1	0.75	0.115	MULTEX (TABIQUE MULTIPERFORADO)
1	EK-M4N1	1.17	0.115	MULTEX (TABIQUE MULTIPERFORADO)
1	EK-M5N1	1.06	0.115	MULTEX (TABIQUE MULTIPERFORADO)
1	EK-M6N1	0.83	0.115	MULTEX (TABIQUE MULTIPERFORADO)
1	EK-M7N1	0.90	0.115	MULTEX (TABIQUE MULTIPERFORADO)
1	EM-M1N1	3.25	0.115	MULTEX (TABIQUE MULTIPERFORADO)
1	EM-M2N1	4.25	0.115	MULTEX (TABIQUE MULTIPERFORADO)
1	EM-M3N1	4.25	0.115	MULTEX (TABIQUE MULTIPERFORADO)
1	EM-M4N1	3.00	0.115	MULTEX (TABIQUE MULTIPERFORADO)
1	EM-M5N1	2.55	0.115	MULTEX (TABIQUE MULTIPERFORADO)
1	EN-M1N1	1.60	0.115	MULTEX (TABIQUE MULTIPERFORADO)
1	EN-M2N1	0.65	0.115	MULTEX (TABIQUE MULTIPERFORADO)
1	EN-M3N1	0.75	0.115	MULTEX (TABIQUE MULTIPERFORADO)
1	EN-M4N1	1.11	0.115	MULTEX (TABIQUE MULTIPERFORADO)
1	EN-M5N1	0.99	0.115	MULTEX (TABIQUE MULTIPERFORADO)
1	EN-M6N1	2.55	0.115	MULTEX (TABIQUE MULTIPERFORADO)
1	EÑ-M1N1	1.15	0.115	MULTEX (TABIQUE MULTIPERFORADO)
1	EO-M1N1	0.50	0.115	MULTEX (TABIQUE MULTIPERFORADO)
1	EO-M2N1	1.25	0.115	MULTEX (TABIQUE MULTIPERFORADO)
1	EO-M3N1	0.70	0.115	MULTEX (TABIQUE MULTIPERFORADO)
1	EO-M4N1	0.80	0.115	MULTEX (TABIQUE MULTIPERFORADO)
1	EO-M5N1	1.50	0.115	MULTEX (TABIQUE MULTIPERFORADO)
1	EO-M6N1	0.90	0.115	MULTEX (TABIQUE MULTIPERFORADO)
1	EP-M1N1	1.28	0.115	MULTEX (TABIQUE MULTIPERFORADO)
1	ER-M1N1	3.60	0.15	CONC200 (CONCRETO $f'c= 200 \text{ kg/cm}^2$)
1	ER-M2N1	3.80	0.115	MULTEX (TABIQUE MULTIPERFORADO)
1	ER-M3N1	2.35	0.115	MULTEX (TABIQUE MULTIPERFORADO)
1	ER-M4N1	1.50	0.115	MULTEX (TABIQUE MULTIPERFORADO)
1	ER-M5N1	3.15	0.115	MULTEX (TABIQUE MULTIPERFORADO)
1	ER-M6N1	3.15	0.115	MULTEX (TABIQUE MULTIPERFORADO)
1	ER-M7N1	2.45	0.15	CONC200 (CONCRETO $f'c= 200 \text{ kg/cm}^2$)
1	E8-M1N1	2.70	0.115	MULTEX (TABIQUE MULTIPERFORADO)
1	EO-M6N1	0.90	0.115	MULTEX (TABIQUE MULTIPERFORADO)



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN



RESPUESTA ESTRUCTURAL DE MUROS DE CONCRETO Y MAMPOSTERÍA A CORTANTE

TABLA 39: REVISIÓN DE MUROS DE MAMPOSTERÍA POR CARGA LATERAL EN EL PRIMER NIVEL DEL EDIFICIO																
Muro	COMB	Pu (ton)	Vu (ton)	Mu (ton-m)	Pu/Pr	Pr (ton)	Vu/Vr	Vr (ton)	Mu/Mr	Mr (ton-m)	As (cm ²)	Vmr (ton)	Vsr (ton)	t (cm)	L (cm)	At (cm ²)
E1-M3N1	SX	0.40	0.63	0.93	0.02	26.20	0.52	1.21	0.28	3.30	2.85	0.00	1.21	11.50	50.00	575.00
E1-M3N1	SY	1.83	0.03	0.04	0.07	26.20	0.02	1.21	0.01	3.12	2.85	0.00	1.21	11.50	50.00	575.00
E1-M3N1	COMB1	-6.54	-0.02	-0.03	0.25	26.20	0.01	3.59	0.01	4.19	2.85	2.38	1.21	11.50	50.00	575.00
E1-M4N1	SX	0.81	3.69	10.61	0.01	73.37	0.58	6.40	0.46	23.31	2.85	0.00	6.40	11.50	265.00	3047.50
E1-M4N1	SY	14.99	0.06	0.19	0.20	73.37	0.01	6.40	0.02	12.36	2.85	0.00	6.40	11.50	265.00	3047.50
E1-M4N1	COMB1	-33.57	-0.04	-0.09	0.46	73.37	0.00	18.78	0.00	29.98	2.85	12.38	6.40	11.50	265.00	3047.50
E1-M5N1	SX	3.01	1.42	2.76	0.07	44.30	0.44	3.20	0.27	10.12	2.85	0.00	3.20	11.50	132.50	1523.75
E1-M5N1	SY	5.58	0.11	0.14	0.13	44.30	0.03	3.20	0.02	9.16	2.85	0.00	3.20	11.50	132.50	1523.75
E1-M5N1	COMB1	-18.89	0.19	0.25	0.43	44.30	0.02	9.83	0.02	12.02	2.85	6.63	3.20	11.50	132.50	1523.75
E1-M6N1	SX	3.06	1.46	2.77	0.07	43.84	0.46	3.15	0.28	9.92	2.85	0.00	3.15	11.50	130.40	1499.60
E1-M6N1	SY	3.81	0.08	0.11	0.09	43.84	0.03	3.15	0.01	9.65	2.85	0.00	3.15	11.50	130.40	1499.60
E1-M6N1	COMB1	-14.87	-0.01	-0.04	0.34	43.84	0.00	8.89	0.00	13.56	2.85	5.75	3.15	11.50	130.40	1499.60
E2-M1N1	SX	1.57	3.91	8.99	0.02	67.89	0.67	5.79	0.44	20.45	2.85	0.00	5.79	11.50	240.00	2760.00
E2-M1N1	SY	12.35	0.15	0.20	0.18	67.89	0.03	5.79	0.02	12.93	2.85	0.00	5.79	11.50	240.00	2760.00
E2-M1N1	COMB1	-26.47	-0.26	-0.22	0.39	67.89	0.02	16.18	0.01	29.23	2.85	10.39	5.79	11.50	240.00	2760.00
E2-M2N1	SX	0.50	3.60	8.78	0.01	67.89	0.62	5.79	0.41	21.20	2.85	0.00	5.79	11.50	240.00	2760.00
E2-M2N1	SY	12.94	0.22	0.16	0.19	67.89	0.04	5.79	0.01	12.52	2.85	0.00	5.79	11.50	240.00	2760.00
E2-M2N1	COMB1	-28.19	0.17	0.06	0.42	67.89	0.01	16.54	0.00	28.02	2.85	10.75	5.79	11.50	240.00	2760.00
E4-M1N1	SX	3.44	5.77	11.49	0.05	74.47	0.89	6.52	0.53	21.71	2.85	0.00	6.52	11.50	270.00	3105.00
E4-M1N1	SY	8.51	1.83	0.82	0.11	74.47	0.28	6.52	0.05	17.72	2.85	0.00	6.52	11.50	270.00	3105.00
E4-M1N1	COMB1	-16.11	-1.84	-0.84	0.22	74.47	0.12	15.33	0.02	37.11	2.85	8.82	6.52	11.50	270.00	3105.00
E4-M3N1	SX	1.20	6.19	11.40	0.02	73.37	0.97	6.40	0.50	23.01	2.85	0.00	6.40	11.50	265.00	3047.50
E4-M3N1	SY	6.90	1.73	0.76	0.09	73.37	0.27	6.40	0.04	18.61	2.85	0.00	6.40	11.50	265.00	3047.50
E4-M3N1	COMB1	-16.93	1.75	0.77	0.23	73.37	0.11	15.29	0.02	37.02	2.85	8.89	6.40	11.50	265.00	3047.50
E6-M1N1	SX	3.83	7.16	11.34	0.05	71.18	1.00	7.17	0.56	20.14	2.85	0.00	7.17	11.50	255.00	2932.50
E6-M1N1	SY	1.43	0.61	0.36	0.02	71.18	0.09	7.17	0.02	21.92	2.85	0.00	7.17	11.50	255.00	2932.50
E6-M1N1	COMB1	-28.54	-0.87	-0.52	0.40	71.18	0.05	18.29	0.02	31.32	2.85	11.13	7.17	11.50	255.00	2932.50
E6-M2N1	SX	2.29	7.10	11.12	0.03	70.08	1.01	7.03	0.53	20.84	2.85	0.00	7.03	11.50	250.00	2875.00
E6-M2N1	SY	1.07	0.37	0.22	0.02	70.08	0.05	7.03	0.01	21.73	2.85	0.00	7.03	11.50	250.00	2875.00
E6-M2N1	COMB1	-30.38	-0.42	-0.29	0.43	70.08	0.02	18.44	0.01	28.78	2.85	11.41	7.03	11.50	250.00	2875.00
E6-M3N1	SX	2.88	7.41	11.47	0.04	71.18	1.03	7.17	0.55	20.84	2.85	0.00	7.17	11.50	255.00	2932.50
E6-M3N1	SY	1.10	0.46	0.28	0.02	71.18	0.06	7.17	0.01	22.17	2.85	0.00	7.17	11.50	255.00	2932.50
E6-M3N1	COMB1	-32.09	0.23	0.07	0.45	71.18	0.01	19.04	0.00	28.71	2.85	11.87	7.17	11.50	255.00	2932.50
E6-M4N1	SX	3.64	8.59	13.96	0.04	81.05	1.02	8.43	0.58	24.10	2.85	0.00	8.43	11.50	300.00	3450.00
E6-M4N1	SY	2.37	0.80	0.22	0.03	81.05	0.09	8.43	0.01	25.21	2.85	0.00	8.43	11.50	300.00	3450.00
E6-M4N1	COMB1	-35.91	0.42	0.04	0.44	81.05	0.02	22.01	0.00	36.91	2.85	13.58	8.43	11.50	300.00	3450.00



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN



RESPUESTA ESTRUCTURAL DE MUROS DE CONCRETO Y MAMPOSTERÍA A CORTANTE

TABLA 39: REVISIÓN DE MUROS DE MAMPOSTERIA POR CARGA LATERAL EN EL PRIMER NIVEL DEL EDIFICIO													
v* (kg/cm2)	Vrm1 (ton)	Vrm2 (ton)	ph ()	fyh (kg/cm2)	ph fyh	h	fy (kg/cm2)	d' (cm)	d (cm)	Mo (ton-m)	Fr	Mr1 (ton-m)	Mr2 (ton-m)
5.00	0.92	3.02	0.00	6000.00	5.00	0.60	4200.00	35.00	42.50	4.19	0.80	3.30	6.80
5.00	0.62	3.02	0.00	6000.00	5.00	0.60	4200.00	35.00	42.50	4.19	0.80	3.12	7.17
5.00	2.38	3.02	0.00	6000.00	5.00	0.60	4200.00	35.00	42.50	4.19	0.80	4.19	5.03
5.00	5.16	16.00	0.00	6000.00	5.00	0.60	4200.00	250.00	257.50	29.93	0.80	23.31	64.96
5.00	2.19	16.00	0.00	6000.00	5.00	0.60	4200.00	250.00	257.50	29.93	0.80	12.36	77.38
5.00	12.38	16.00	0.00	6000.00	5.00	0.60	4200.00	250.00	257.50	29.93	0.60	43.89	29.98
5.00	2.03	8.00	0.00	6000.00	5.00	0.60	4200.00	117.50	125.00	14.06	0.80	10.12	26.89
5.00	1.49	8.00	0.00	6000.00	5.00	0.60	4200.00	117.50	125.00	14.06	0.80	9.16	28.36
5.00	6.63	8.00	0.00	6000.00	5.00	0.60	4200.00	117.50	125.00	14.06	0.60	15.52	12.02
5.00	1.98	7.87	0.00	6000.00	5.00	0.60	4200.00	115.40	122.90	13.81	0.80	9.92	26.38
5.00	1.82	7.87	0.00	6000.00	5.00	0.60	4200.00	115.40	122.90	13.81	0.80	9.65	26.80
5.00	5.75	7.87	0.00	6000.00	5.00	0.60	4200.00	115.40	122.90	13.81	0.60	13.77	13.56
5.00	4.50	14.49	0.00	6000.00	5.00	0.60	4200.00	225.00	232.50	26.93	0.80	20.45	57.29
5.00	2.24	14.49	0.00	6000.00	5.00	0.60	4200.00	225.00	232.50	26.93	0.80	12.93	66.18
5.00	10.39	14.49	0.00	6000.00	5.00	0.60	4200.00	225.00	232.50	26.93	0.60	34.62	29.23
5.00	4.73	14.49	0.00	6000.00	5.00	0.60	4200.00	225.00	232.50	26.93	0.80	21.20	56.41
5.00	2.11	14.49	0.00	6000.00	5.00	0.60	4200.00	225.00	232.50	26.93	0.80	12.52	66.67
5.00	10.75	14.49	0.00	6000.00	5.00	0.60	4200.00	225.00	232.50	26.93	0.60	35.82	28.02
5.00	4.71	16.30	0.00	6000.00	5.00	0.60	4200.00	255.00	262.50	30.52	0.80	21.71	69.00
5.00	3.65	16.30	0.00	6000.00	5.00	0.60	4200.00	255.00	262.50	30.52	0.80	17.72	73.49
5.00	8.82	16.30	0.00	6000.00	5.00	0.60	4200.00	255.00	262.50	30.52	0.80	37.11	51.68
5.00	5.08	16.00	0.00	6000.00	5.00	0.60	4200.00	250.00	257.50	29.93	0.80	23.01	65.30
5.00	3.88	16.00	0.00	6000.00	5.00	0.60	4200.00	250.00	257.50	29.93	0.80	18.61	70.29
5.00	8.89	16.00	0.00	6000.00	5.00	0.60	4200.00	250.00	257.50	29.93	0.80	37.02	49.42
5.00	4.33	15.40	0.00	6000.00	6.42	0.54	4200.00	240.00	247.50	28.73	0.80	20.14	64.18
5.00	4.83	15.40	0.00	6000.00	6.42	0.54	4200.00	240.00	247.50	28.73	0.80	21.92	62.12
5.00	11.13	15.40	0.00	6000.00	6.42	0.54	4200.00	240.00	247.50	28.73	0.60	38.43	31.32
5.00	4.55	15.09	0.00	6000.00	6.42	0.54	4200.00	235.00	242.50	28.13	0.80	20.84	61.18
5.00	4.81	15.09	0.00	6000.00	6.42	0.54	4200.00	235.00	242.50	28.13	0.80	21.73	60.15
5.00	11.41	15.09	0.00	6000.00	6.42	0.54	4200.00	235.00	242.50	28.13	0.60	38.98	28.78
5.00	4.53	15.40	0.00	6000.00	6.42	0.54	4200.00	240.00	247.50	28.73	0.80	20.84	63.36
5.00	4.90	15.40	0.00	6000.00	6.42	0.54	4200.00	240.00	247.50	28.73	0.80	22.17	61.84
5.00	11.87	15.40	0.00	6000.00	6.42	0.54	4200.00	240.00	247.50	28.73	0.60	41.06	28.71
5.00	5.27	18.11	0.00	6000.00	6.42	0.54	4200.00	285.00	292.50	34.11	0.80	24.10	79.93
5.00	5.54	18.11	0.00	6000.00	6.42	0.54	4200.00	285.00	292.50	34.11	0.80	25.21	78.74
5.00	13.58	18.11	0.00	6000.00	6.42	0.54	4200.00	285.00	292.50	34.11	0.60	51.98	36.91



RESPUESTA ESTRUCTURAL DE MUROS DE CONCRETO Y MAMPOSTERÍA A CORTANTE

En la tabla 39 se presenta un resumen de los datos obtenidos en la revisión de cada muro en las dos direcciones, se presentan tres valores de las combinaciones de cargas realizadas, sismo en x (SX), sismo en Y (SY), y combinación 1(COMB1), del muro E1-M3N1 en SY se tiene que la carga vertical actuante P_u es 1.83 ton., y la carga vertical resistente P_R es 26.20 ton, por lo tanto P_u es menor que P_R el muro es aceptable por carga vertical. Analizando el mismo muro revisaremos los valores obtenidos en la revisión por cortante, se tiene que la carga lateral actuante es 0.03 ton., y la carga lateral resistentes es V_{mR} o V_{rm} es: V_{rm1} es 0.62 ton. y V_{rm2} es 3.02 ton., por lo que se tiene que $V_u < V_{rm1} < V_{rm2}$, se deduce que la seguridad de los muros por la acción de fuerza lateral o cortante es adecuada. Por último analizaremos los resultados obtenidos por momentos, el momento actuante M_u del muro en análisis es 0.04 ton-m y el momento resistente M_r es 3.12, se deduce también que la resistencia de los muros por momentos es adecuado.



CAPITULO 4

4.1 REGLAMENTO DE CONSTRUCCIONES PARA EL DISTRITO FEDERAL.

4.1.1 DISEÑO MURO DE CONCRETO

Como ejemplo se diseña el muro 1 de la planta tipo presentado en la figura del análisis estático realizado en el capítulo 3, el muro tiene una longitud de 1.29 m, altura de 2.62 m y con espesor de 15 cm, del análisis sísmico se obtuvo un cortante actuante de 21.93 ton y una carga vertical de 1.15 como se ilustra en la siguiente figura.

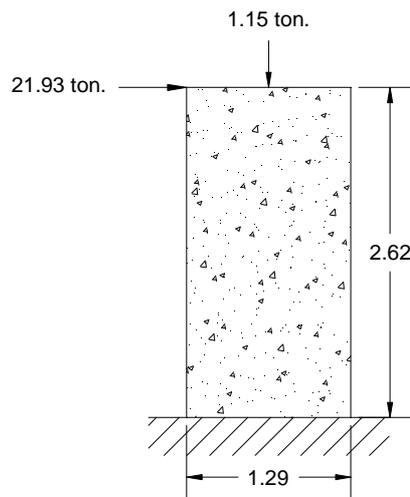


Figura 30. Dimensiones y fuerzas actuantes del muro de concreto.



RESPUESTA ESTRUCTURAL DE MUROS DE CONCRETO Y MAMPOSTERÍA A CORTANTE

DATOS:

$$\begin{aligned} L &= 1.29 \text{ m} = 129 \text{ cm} \\ H_m &= 2.62 \text{ m} = 262 \text{ cm} \\ t &= 0.15 \text{ m} = 15 \text{ cm} \\ f_c &= 200 \text{ kg/cm}^2 \\ f_c^* &= 0.8 f_c = 160 \text{ kg/cm}^2 \\ f_y &= 4200 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

Determinar el cortante máximo permisible

Formula

$$2F_R A_{cm} \sqrt{f_c^*}$$

$$F_R = 0.8 \quad \text{Para cortante y torsión, apartado 1.7-b, NTC-Diseño de Estructuras de Concreto}$$

$$= 2(0.8)(129)(15)\sqrt{160}$$

$$= 39,161.65 \text{ kg} = 39.16 \text{ ton.}$$

$$21.93 < 39.16 \quad \text{Se acepta, apartado 6.5.2.5-d, NTC-Diseño de Estructuras de Concreto}$$

Calcular la resistencia al cortante V_{CR} , proporcionada por el concreto

De la relación de esbeltez obtenemos

$$\frac{H_m}{L} = \frac{2.62}{1.29} = 2.03 \text{ m}$$

H_m/L es mayor que 1.5, primero determinamos la cuantía para ver que expresión matemática aplicaremos de acuerdo al RCDF.



RESPUESTA ESTRUCTURAL DE MUROS DE CONCRETO Y MAMPOSTERÍA A CORTANTE

Deducción de la cuantía mínima y el área de acero mínimo y máximo

$$\rho = \frac{A_s}{bd}$$

As= Área del refuerzo transversal
b= Ancho del muro
d= peralte efectivo, en muros $d=0.8L$

$$A_s = \frac{0.7\sqrt{f'_c}}{f_y} bd$$

$$d = 1.032 \text{ m} = 103.20 \text{ cm}$$

$$A_{s \text{ min}} = \frac{0.7\sqrt{200}}{4200} (15)(103.20)$$

$$A_{s \text{ min}} = 3.65 \text{ cm}^2$$

$$A_{s \text{ max}} = \frac{f'_c}{f_y} \frac{6000\beta_1}{f_y + 6000} bd$$

$$A_{s \text{ max}} = \frac{136}{4200} \times \frac{6000 \times 0.85}{4200 + 6000} (15 \times 103.20)$$

$$A_{s \text{ max}} = 25.06 \text{ cm}^2$$

$$\rho = \frac{3.65}{(15 \times 103.20)}$$

$$\rho = 0.0024$$

$\rho < 0.015$ aplica la siguiente expresión.

$$V_{CR} = F_R bd (0.2 + 20\rho) \sqrt{f'_c}$$

$$V_{CR} = (0.80) \times (15) \times (103.20) \times (0.2 + 20 \times (0.0024)) \times (\sqrt{160})$$

$$V_{cR} = 3,871.37 \text{ kg} = 3.87 \text{ ton.}$$



RESPUESTA ESTRUCTURAL DE MUROS DE CONCRETO Y MAMPOSTERÍA A CORTANTE

Calcular el refuerzo horizontal a cortante.

Cuántía para el refuerzo horizontal

$$\rho_m = \frac{V_U - V_{CR}}{F_R f_y A_{cm}}$$

$$\rho_m = \frac{21,930 - 3,871.37}{0.8 \times 4200 \times 1548}$$

$$\rho_m = 0.0035$$

Cálculo del área de acero

$$A_s = \rho b d$$

$$A_s = 5.37 \text{ cm}^2$$

Determinación de la cantidad de refuerzo

$$\text{Area varilla \# 4} = 1.27 \text{ cm}^2$$

$$\text{Varilla del num. 4} = \frac{5.37}{1.27} = 4 \text{ Varillas}$$

Separación del refuerzo

$$S = \frac{100 a_s}{A_s}$$

$$\text{Varilla del num. 4 Sep.} = 24 \text{ cm}$$

Colocar 4 varillas del # 4 @ 24 cm



RESPUESTA ESTRUCTURAL DE MUROS DE CONCRETO Y MAMPOSTERÍA A CORTANTE

Calcular el refuerzo vertical al cortante.

Determinación de la cuantía

$$\rho_n = 0.0025 + 0.5 \left(2.5 - \frac{H_m}{L} \right) (P_m - 0.0025)$$

$$\rho_m = \frac{A_{vm}}{s_m t}$$

S_m = separación de los refuerzos paralelo a la fuerza cortante

A_{vm} = área de refuerzo paralelo a la fuerza cortante de diseño comprendida en una distancia s_m

$$\rho_m = \frac{5.375}{23.63 \times 15}$$

$$\rho_m = 0.015$$

$$\rho_n = 0.0025 + 0.5 \left(2.5 - \frac{2.62}{1.29} \right) (0.015 - 0.0025)$$

$$\rho_n = 0.0055$$

$$A_s = \rho b d$$

$$A_s = (0.0055) \times (15) \times (103.20)$$

$$A_s = 8.47 \text{ cm}^2$$

Determinación de la cantidad de refuerzo

$$\text{varilla del num. 5} = \frac{8.47}{1.98} : 4 \text{ Varillas}$$

$$\text{Separación del refuerzo} \quad \text{Sep.} = 23$$

Colocar 4 varillas del # 5 @ 23



RESPUESTA ESTRUCTURAL DE MUROS DE CONCRETO Y MAMPOSTERÍA A CORTANTE

Determinar el refuerzo del muro por momento.

$$M_u = V_u H_m$$

$$M_u = (21.93) \times (2.62)$$

$$M_u = 57.46 \text{ ton-m} = \mathbf{5,745,660 \text{ kg-cm}}$$

$$M_R = F_R b d^2 f''_c q (1 - 0.5q) \quad \text{apartado 2.2.4, NTC-Diseño de Estructuras de Concreto}$$

$$q = \rho \frac{f_y}{f''_c}$$

de las expresiones anteriores obtenemos la siguiente deducción para obtener la cuantía por momento

$$\rho = \frac{f''_c}{f_y} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2M_u}{F_R b d^2 f''_c}} \right]$$

$$\rho = 0.01159$$

$$A_s = \rho b d$$

$$A_s = (0.0012) \times (15) \times (103.20)$$

$$A_s = 17.94 \text{ cm}^2$$

Determinación de la cantidad de refuerzo

$$\text{Varilla del num. 5} = \frac{17.94}{1.98} = 9 \text{ Varillas}$$

$$\text{Separación del refuerzo} \quad \text{Sep.} = 10 \text{ cm}$$

Colocar 9 varillas del # 5 @ 10 cm



RESPUESTA ESTRUCTURAL DE MUROS DE CONCRETO Y MAMPOSTERÍA A CORTANTE

En la siguiente figura se presenta el detallado del muro 1 de acuerdo a los resultados del cálculo realizado.

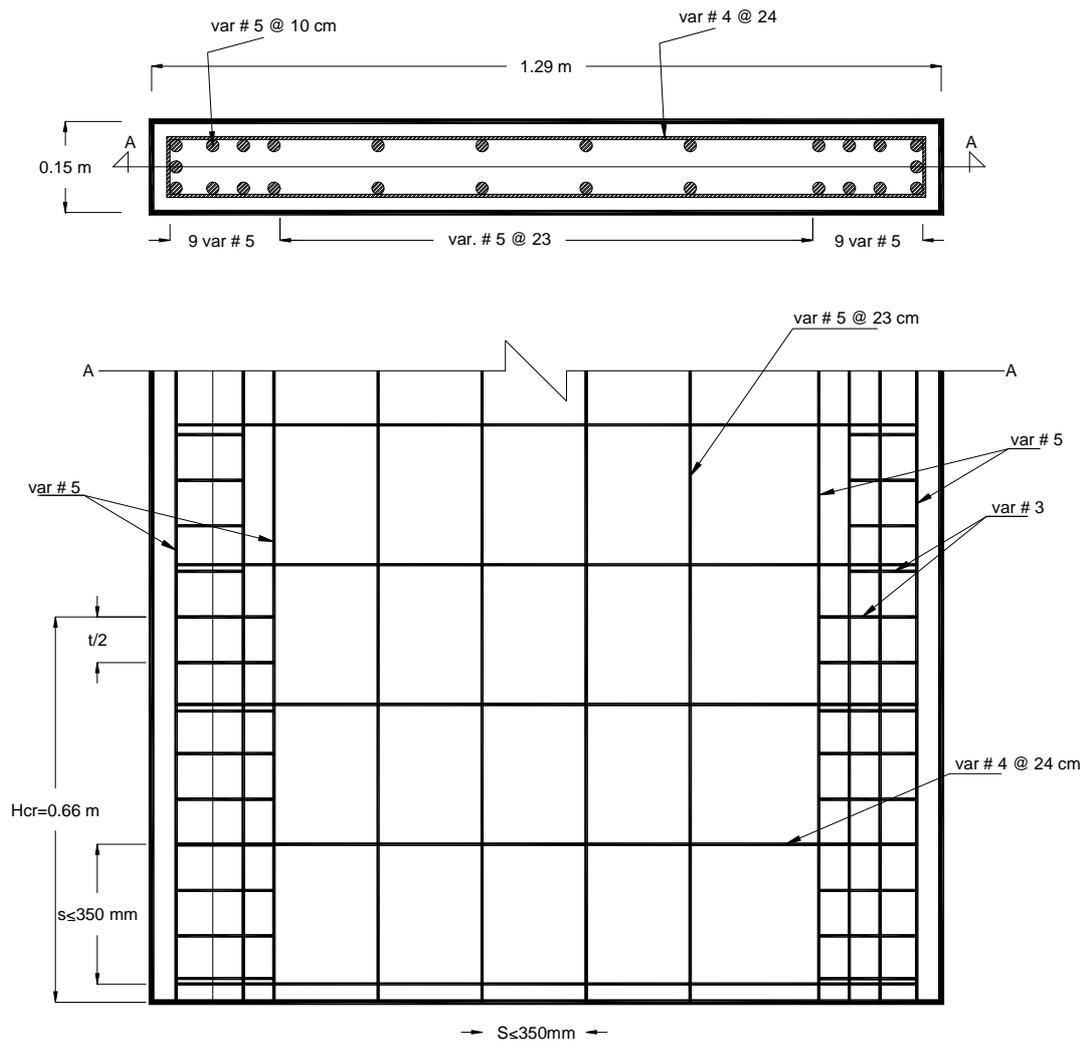


Figura 31. Detallado de muro de concreto



RESPUESTA ESTRUCTURAL DE MUROS DE CONCRETO Y MAMPOSTERÍA A CORTANTE

En el siguiente ejercicio se diseña el muro 14 de la planta tipo presentado en la figura del análisis estático realizado en el capítulo 3, el muro tiene una longitud de 6.95 m, altura de 2.62 m y con espesor de 15 cm, del análisis sísmico se obtuvo un cortante actuante de 26.72 ton y una carga vertical de 6.19 ton como se ilustra en la figura 32.

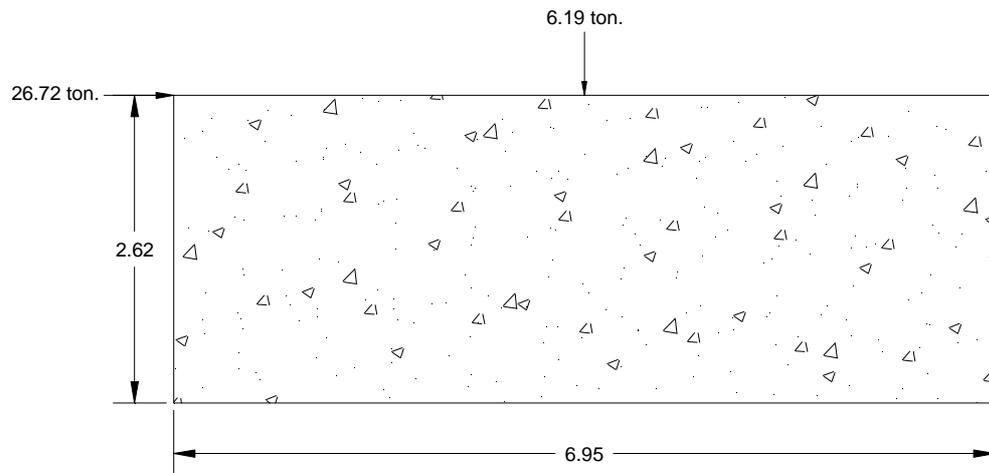


Figura 32. Dimensiones y fuerzas actuantes del muro 14.



RESPUESTA ESTRUCTURAL DE MUROS DE CONCRETO Y MAMPOSTERÍA A CORTANTE

DATOS:

L=	6.95 m	=	695	cm
H _m =	2.62 m	=	262	cm
t=	0.15 m	=	15	cm
f' _c =	200 kg/cm ²			
f* _c =	0.8 f' _c	=	160	kg/cm ²
f'' _c =	0.85f* _c	=	136	kg/cm ²
f _y =	4200 kg/cm ²			
V _u =	26.72 ton.		26720	

Determinar el cortante máximo permisible

Formula

$$2F_R A_{cm} \sqrt{f^*_{c}}$$

F_R= 0.8 Para cortante y torsión, apartado 1.7-b, NTC-Diseño de Estructuras de Concreto

$$= 2(0.8)(695)(15)\sqrt{160}$$

$$= \frac{210,987.17 \text{ kg}}{26.72} = 210.99 \text{ ton.}$$

26.72 < 210.99 Se acepta, apartado 6.5.2.5-d, NTC-Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto

Calcular la resistencia al cortante V_{CR}, proporcionada por el concreto

De la relación de esbeltez obtenemos

$$\frac{H_m}{L} = \frac{2.62}{6.95} = 0.38m$$

H_m/L es menor que 1.5, aplicamos la siguiente expresión matemática que establece las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto, apartado 6.5.2.5-a, 6.5.2-d.

$$V_{CR} = 0.85F_R \sqrt{f^*_{c}} tl$$

Fuerza cortante que toma el concreto

$$V_{CR} = 0.85x(0.80)x(\sqrt{160})x(15)x(695)$$

$$V_{CR} = 89,669.55 \text{ kg} = 89.67 \text{ ton}$$



RESPUESTA ESTRUCTURAL DE MUROS DE CONCRETO Y MAMPOSTERÍA A CORTANTE

Calcular el área de acero máximo y mínimo

Acero mínimo

$$A_s = \frac{0.7\sqrt{f'_c}}{f_y} bd$$

$$A_{s\min} = 24.57 \quad \text{cm}^2$$

$$A_{s\max} = \frac{f'_c}{f_y} \frac{6000\beta_1}{f_y + 6000} bd$$

$$A_{s\max} = 63.63 \quad \text{cm}^2$$

Cálculo de la cuantía máxima y mínima

Cuantía mínima

$$\rho_{\min} = \frac{0.7\sqrt{f'_c}}{f_y}$$

$$\rho_{\min} = 0.0024$$

Cuantía máxima

$$\rho_{\max} = 0.75 \left[\frac{f'_c}{f_y} \frac{6000\beta_1}{f_y + 6000} \right]$$

$$\rho_{\max} = 0.012$$



RESPUESTA ESTRUCTURAL DE MUROS DE CONCRETO Y MAMPOSTERÍA A CORTANTE

Calcular el refuerzo horizontal a cortante

$$\rho_m = \frac{V_U - V_{CR}}{F_R f_y A_{cm}}$$

$$\rho_m = 0.0018$$

0.0018 < 0.0025 La cuantía no debe ser menor que 0.0025

Por lo tanto la cuantía para el refuerzo horizontal es 0.0025

Cálculo del área de acero

$$A_s = \rho b d$$

$$A_s = 9.83 \text{ cm}^2$$

Determinar el número de refuerzo

$$\begin{aligned} \text{Area varilla n}^\circ 5 &= 1.98 \text{ cm}^2 \\ \text{Varillas del n}^\circ 5 &= 5 \text{ Varillas} \end{aligned}$$

Separación del refuerzo

$$S = \frac{100a_s}{A_s}$$

$$\text{Varillas del No. 5 Sep.} = 20 \text{ cm}$$

Colocar 5 varillas del # 5 @ 20 cm



RESPUESTA ESTRUCTURAL DE MUROS DE CONCRETO Y MAMPOSTERÍA A CORTANTE

Determinar el refuerzo del muro por momento.

$$M_u = V_u H_m$$

$$M_u = 70.01 \text{ ton-m} = 7,000,640 \text{ kg-m}$$

$$M_R = F_R b d^2 f''_c q (1 - 0.5q) \quad \text{apartado 2.2.4, NTC-Diseño de Estructuras de Concreto}$$

$$q = \rho \frac{f_y}{f''_c}$$

de las expresiones anteriores obtenemos la siguiente deducción para obtener la cuantía por momento

$$\rho = \frac{f''_c}{f_y} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2M_u}{F_R b d^2 f''_c}} \right]$$

$$\rho = 0.0019$$

0.0019 < 0.0025 La cuantía no debe ser menor que 0.0025

Para determinar el área de refuerzo por momento es 0.0025

Cálculo del área de acero

$$A_s = \rho b d$$

$$A_s = 26.06 \text{ cm}^2$$

Determinar el número de refuerzo

Area varilla n° 6	=	2.85	cm ²
Varillas del n°. 6	=	9	Varillas

$$S = \frac{100a_s}{A_s}$$

Varillas del No. 5	Sep.=	11	cm
--------------------	-------	----	----

Colocar 9 varillas del # 6 @ 11 cm



CAPITULO 5

CONSERVACIÓN Y MANTENIMIENTO

5.1 MAMPOSTERÍA

PRINCIPIOS BÁSICOS PARA UN DESEMPEÑO SÍSMICO ADECUADO DE ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERÍA

Es importante considerar los principios básicos que una estructura de mampostería o elementos de mampostería, debe alcanzar para presentar un desempeño adecuado ante fuerzas o movimientos causados por sismos, estos elementos se mencionan algunas a continuación.

- Forma robusta de la edificación. La planta debe ser simétrica, regular y compacta. Los muros deben estar arriostrados entre si. Se debe usar una misma configuración de muros en los pisos o niveles subsecuentes. Debe existir separación entre las edificaciones entre si cuando menos 50 mm. Debe procurarse tener áreas abiertas lo mínimo posible.
- Cimentaciones sólidas. Usar cimentaciones continuas y que dicha cimentación sea de acuerdo al tipo de suelo y conforme a las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Cimentaciones.
- Materiales. Deben satisfacer de acuerdo a las normas, los morteros poseer una resistencia consistente con la resistencia de las piezas por unir.
- Muros resistentes. Las estructuras deben poseer una adecuada densidad de muros. La resistencia de un muro depende de la resistencia de los materiales empleados, la relación de esbeltez (altura/espesor).



RESPUESTA ESTRUCTURAL DE MUROS DE CONCRETO Y MAMPOSTERÍA A CORTANTE

- Aberturas bien distribuidas. El tamaño de las aberturas debe ser el más pequeño posible; éstas deben estar alejadas de las esquinas de los muros.
- Elementos horizontales de confinamiento. Los muros reforzados con dalas en su extremo superior tienen un mejor comportamiento sísmico que aquellos que no las tienen. Deben ser continuas en las estructuras mediante conexiones adecuadas entre ellas. Las dalas deben tener una anchura mínima de su sección transversal igual al espesor del muro, y un peralte de 100 mm. Deben estar reforzadas, el refuerzo longitudinal debe anclarse en las esquinas de modo desarrollar su esfuerzo nominal de fluencia en el costado del muro.
- Elementos verticales de confinamiento. Castillos. La ubicación y diseño adecuado de estos elementos permiten confinar la mampostería, redituando en una mejor capacidad de deformación horizontal, mayor resistencia y un menor deterioro de la resistencia y rigidez.
- Mantenimiento periódico. La falta de mantenimiento, puede evaluar el daño como: debilitamiento de la mampostería (ya sea por humedad, congelamiento, vegetación), agrietamiento de gran anchura, por escaso recubrimiento, o pérdida de este, agrietamientos por asentamientos diferenciales, daños en sismo previo. Conviene establecer y emprender inspecciones regulares de la estructura, dirigidas a identificar deterioros en morteros y piezas, agrietamiento y corrosión. Inspección de la instalación eléctrica e hidrosanitaria.



Daños estructuras de mampostería

Modo de comportamiento

Las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería establece, que de acuerdo al modo de comportamiento de los elementos estructurales y no estructurales, se deberá de clasificar el tipo y magnitud de daño.

Magnitud de daño

La magnitud o severidad del daño en elementos estructurales se podrá clasificar en cinco niveles.

- a) Insignificante
- b) Ligero
- c) Moderado
- d) Severo
- e) Muy grave

A continuación se menciona algunos daños en los elementos de la estructura de mampostería.

Mampostería confinada

- Agrietamiento inclinado del muro. Con frecuencia se debe a un confinamiento, insuficiente, ya sea por la cantidad de elementos confinantes (castillos y dadas) es baja, porque su separación es excesiva, o porque su detallado es inadecuado.
- Fallas locales o desprendimientos del muro debido a un anclaje insuficiente del



RESPUESTA ESTRUCTURAL DE MUROS DE CONCRETO Y MAMPOSTERÍA A CORTANTE

refuerzo longitudinal de castillos y dadas, en la unión del castillo de la dada.

- Deslizamiento del sistema piso/techo sobre los muros debido a una inadecuada conexión.
- Falla del muro por flexocompresión debido a cargas verticales excesivas.
- Excesivas demandas de desplazamientos ya sea por oscilaciones de torsión, baja densidad de muros, o bien por falta de continuidad en la altura de muros.

Mampostería reforzada

- Falta de supervisión durante la construcción, lo que da lugar a vicios y defectos constructivos, así como diferencias respecto al proyecto de diseño.
- Traslapes del refuerzo interior del muro, ya sea insuficientes o mal ubicados.
- Deficiente colocación y compactación del mortero de relleno.
- Uso del mortero de pega como mortero de relleno, por diferencias de resistencias y fluidez.
- Inadecuada o nula conexión entre muros transversales.

Mampostería simple.

- Deslizamiento
- Volteo de muros perimetrales
- Agrietamiento inclinado, normalmente a lo largo de las diagonales.
- Daños locales severos debido a aberturas de gran tamaño.
- Falla de muros por excesiva esbeltez.



- Falta de continuidad en la altura.
- Asentamientos diferenciales.

EVALUACIÓN Y REHABILITACIÓN

La rehabilitación implica la evaluación de la estructura identificando las debilidades potenciales de la estructura considerando el aspecto económico, no modificar la función y el uso de la estructura, cuidando también la estética y la apariencia de la estructura el esquema de la rehabilitación debe proporcionar confianza y seguridad a los habitantes . El Reglamento de Construcciones para el Distrito, establece los siguientes criterios para el proceso de evaluación.

- a) Investigación y documentación de la estructura, incluyendo daños causados por sismo u otras acciones.
- b) Si es aplicable, clasificación del daño en cada elemento.
- c) De la edificación (estructural y no estructural) según su severidad y modo de comportamiento.
- d) Si aplica, estudio de los efectos del daño en los elementos estructurales en el desempeño futuro de la edificación.
- e) Determinación de la necesidad de rehabilitar.

Evaluación se define como la revisión, e investigación técnica de la configuración de la estructura existente, tipos de elementos y de materiales de construcción, condición y deficiencias, así como cualquier característica relevante al análisis y diseño estructural.



RESPUESTA ESTRUCTURAL DE MUROS DE CONCRETO Y MAMPOSTERÍA A CORTANTE

La meta de la evaluación es identificar las variables y características más relevantes de una estructura para desarrollar un análisis estructural lo suficientemente completo.

REGISTRO DOCUMENTAL DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN

Se deben incluir cálculos, especificaciones, normas, planos de diseño y de taller, modificaciones al proyecto, dictámenes, inspecciones, determinaciones de propiedades de los materiales, y cualquier otra evidencia que ayude a caracterizar el diseño original y la configuración actual.

INSPECCIONES

En una inspección se deben revisar:

- Configuración
- Condición
- Deficiencias de la estructura.

PROPIEDAD DE LOS MATERIALES

Una de las dificultades en un proyecto de rehabilitación es el acceso físico a los elementos de carga de modo de poder cuantificar las propiedades de los materiales.

EVALUACIÓN DE GRIETAS

La falla más frecuente en la mampostería son las grietas en los muros, no existe una clasificación universal absoluta de la anchura de las grietas que pueda considerarse

**RESPUESTA ESTRUCTURAL DE MUROS DE CONCRETO Y MAMPOSTERÍA A CORTANTE**

peligrosa.

Una clasificación de anchura de grietas según el nivel de exposición de la estructura se presenta en la tabla 40.

TABLA 40: CLASIFICACIÓN DE LAS GRIETAS SEGÚN EL NIVEL DE EXPOSICIÓN DE LA ESTRUCTURA		
CATEGORÍA		ANCHURA DE GRIETA (AG), mm
Muy finas	Impermeable	$AG < 0.15$
Finas	Exposición exterior	$0.15 < AG < 0.30$
Mediano	Exposición Interior-humeda	$0.30 < AG < 0.50$
Extenso	Exposición interior-seca	$0.50 < AG < 0.60$
Severo		$AG < 0.60$

TABLA 41: CRITERIOS PARA DETERMINAR EL GRADO DE DAÑO DE MUROS DE MAMPOSTERÍA DESPUES DE UN SISMO	
GRADO	ESTADO DE DAÑO
I	Grietas pequeñas, difícilmente visibles sobre la superficie del muro. Grietas mínimas en castillos y dalas de confinamiento. Grietas con anchuras menores que 0.2 mm.
II	Grietas claramente visibles sobre la superficie del muro, con anchuras entre 0.2 y 1 mm.
III	Inicio de formación de agrietamiento diagonal en muros confinados con castillos y dalas. Grietas grandes en la superficie del muro, con anchuras entre 1 y 3 mm.
IV	Agrietamiento diagonal en muros confinados con castillos y dalas, o en muros de relleno ligados a marcos; grietas con anchuras mayores de 3 mm. Inicio de la formación de agrietamiento diagonal en muros sin castillos y dalas.
V	Desprendimiento de partes de piezas. Aplastamiento local de la mampostería. Prolongación del agrietamiento diagonal en muros sin castillos y dalas. Deformación, inclinación horizontal o vertical apreciable al muro.

Par entender el comportamiento de la estructura, el diseñador debe registrar:

- Patrón de grietas (horizontal, vertical, inclinado).
- Longitud
- Anchura (Uniforme o variable uniformemente).



RESPUESTA ESTRUCTURAL DE MUROS DE CONCRETO Y MAMPOSTERÍA A CORTANTE

- Profundidad (Si pasa a través del recubrimiento)
- Edad

La manera más sencilla para medir la anchura es mediante la comparación de la grieta con marcas de diferentes anchuras pintadas en láminas plásticas (grietómetro). Es importante considerar si la grieta es activa o es pasiva. Las activas manifiestan deslizamientos e incrementando su anchura y las pasivas no cambian.

Existen tres métodos para detectar los movimientos de las grietas:

- a. Mediciones periódicas con ayuda de las láminas plásticas. Las mediciones se hacen sobre una misma grieta y entres o cuatro lugares seleccionados con anterioridad.
- b. Testigos de yeso. Conviene usar agua caliente para acelerar el fraguado del yeso y registrar la fecha de colocación. Es importante tener el cuidado que el testigo no se agriete por contracción del yeso.
- c. Monitores plásticos de grietas. El monitor se instala tal que los ejes ortogonales coincidan con el cero de la cuadrícula graduada. Las piezas se pueden desplazar relativamente sin restricción. Conforme la grieta se mueve, los ejes ortogonales marcan la magnitud del desplazamiento en sentido vertical y horizontal.

REHABILITACIÓN

Si se detectan daños en la estructura que puedan poner en peligro su estabilidad, deberá controlarse el acceso a la misma y proceder a su



RESPUESTA ESTRUCTURAL DE MUROS DE CONCRETO Y MAMPOSTERÍA A CORTANTE

rehabilitación temporal en tanto se termina la evaluación. En aquellos casos en que los daños hagan inminente el derrumbe total o parcial, con riesgo para las construcciones o vías de comunicaciones vecinas, será necesario proceder a la demolición urgente de la estructura o de la zona que representa riesgo (Apartado 11.3 Normas Técnicas Complementarias para diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería).

Para la rehabilitación se considera dos aspectos relevantes:

1. Mejorar el comportamiento de la estructura.
2. Reparar la estructura dañada, y si es necesario, reforzarla con el objeto de mejorar las características de su desempeño.

Los requisitos y referencias que establece el reglamento de construcciones para el Distrito Federal sobre evaluación y rehabilitación de estructuras de mampostería se presenta en el capítulo 11 de las NTC-Mampostería.

Para determinar la seguridad estructural del edificio existente y poder así determinar la conveniencia de rehabilitar una estructura, se sugiere seguir los métodos de análisis simplificado y el estático, ya que la mayoría de las estructuras de mampostería son de baja altura y de relativa simple estructuración.

Para el análisis estructural, se pueden usar modelos, los muros perforados se pueden modelar que las porciones horizontales, arriba y debajo de las aberturas, son infinitamente rígidas y resistentes, de modo que los desplazamientos se concentren en los pilares intermedios. Se debe prestar atención a los cambios de rigidez que pueda sufrir la estructura. De especial importancia tiene el cálculo del periodo fundamental de



RESPUESTA ESTRUCTURAL DE MUROS DE CONCRETO Y MAMPOSTERÍA A CORTANTE

vibración para diseño sísmico, así mismo en el análisis se debe considerar cualquier modificación en las capacidades de deformación y disipación de energía que haya sufrido la estructura por daño, o que pueda experimentar por la rehabilitación.

Otro método para identificar la necesidad de rehabilitar e incluso, para especificar niveles de diseño, se apoya en la densidad de muros en la dirección en estudio dividida por el área de la planta del edificio. Su mayor uso está cuando se necesita una evaluación global rápida.

Los coeficientes sísmicos empleados deben ser consistentes con el peligro sísmico de la zona. En algunas situaciones, será necesario determinar para el sitio en estudio los valores de las demandas para un periodo de retorno dado.

TOMA DE DECISIONES PARA UNA REHABILITACIÓN

Medidas a tomar después de un sismo.

El tipo de medidas por adoptar depende del nivel de daño observado. Si la estructura no presenta daño o solo existen daños ligeros, no es necesario hacer nada, el paso y uso de la estructura estará permitido. Si el daño es tal que afecta la resistencia del edificio a cargas laterales, se debe restringir el acceso mientras se realiza una evaluación más detallada, sin embargo, es recomendable un apuntamiento de emergencia. Si el nivel de daño es alto o ocurrieron colapsos parciales, se debe prohibir el acceso al edificio y restringirlos a zonas adyacentes. Las zonas en pie del edificio se deben apuntalar.

Entre las medidas que se puede adoptar para apuntamiento de emergencia están los



RESPUESTA ESTRUCTURAL DE MUROS DE CONCRETO Y MAMPOSTERÍA A CORTANTE

apoyos verticales, horizontales, arriostramiento diagonal, tensores, colocación rápida de concreto en columnas muy dañadas, retirar el material desprendido, reducir cargas en la estructura, entre otras.

Una vez que se ha concluido la evaluación, resulta necesario rehabilitar. La intervención debe considerar los siguientes aspectos:

- Costos, tanto iniciales como a de largo plazo.
- Durabilidad de los elementos originales, de los nuevos y de las juntas entre ellos.
- Mano de obra y equipos disponibles.
- Necesidad de mantener ocupado el edificio mientras se realizan los trabajos de rehabilitación.
- Conservación del carácter histórico.
- Duración de la construcción.

La selección del tipo, la técnica, la extensión y urgencia de la rehabilitación depende de la información de la estructura conseguida durante la evaluación.

TIPOS DE INTERVENCIÓN

La intervención puede ser uno o la combinación de los siguientes tipos:

- No intervenir, a menos que se tenga que corregir algunos problemas de durabilidad
- Reducir la masa o restringir el uso del edificio
- Modificar el sistema estructural, mejorando la condición y los elementos
- Adicionar nuevos elementos estructurales



RESPUESTA ESTRUCTURAL DE MUROS DE CONCRETO Y MAMPOSTERÍA A CORTANTE

- Modificar local o globalmente los elementos con y sin daño
- Reemplazar los elementos inadecuados o severamente dañados
- Redistribuir los efectos de las acciones
- Colocar elementos de control
- Demoler total o parcialmente la estructura.

TECNICAS DE ENSAYE Y EVALUACIÓN ENSAYE EN EL SITIO DE ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERÍA

A continuación se presentan algunos de los principales métodos para evaluar la mampostería. No todos los métodos son no destructivos; algunos requieren la extracción o remoción de probetas.

La extracción de algunas probetas, como corazones, usualmente requiere de agua para enfriar la broca durante el barrenado. Esta agua puede dañar los acabados interiores y exteriores. En la tabla 42 se presenta la aplicabilidad de algunos de los métodos, en términos generales, se puede considerar que son las mismas para concreto.



RESPUESTA ESTRUCTURAL DE MUROS DE CONCRETO Y MAMPOSTERÍA A CORTANTE

TABLA 42: APLICABILIDAD DE LOS MÉTODOS DE EVALUACIÓN Y ENSAYES EN SITIO																				
MÉTODO DE PRUEBA																				
CONDICIÓN	INSPECCIÓN VISUAL	MARTILLO DE REBOTE	EXTRACCIÓN	BARRENADO	PENETRACIÓN	ENSAYES DE CORTE	CORAZONES	ADHERENCIA MORTERO-PIEZA	GATOS PLANOS	VELOCIDAD DE PULSO	IMPACTO ECO	MAGNÉTICO	RADIOGRAFÍAS	TERMOGRAFÍA INFRAROJA	MICROONDAS	RESISTIVIDAD DE LA MAMPOSTERÍA	POTENCIAL DE CORROSIÓN	PETROGRAFÍA	PRUEBAS DE CARGA	
RESISTENCIA DE LAS PIEZAS																X				
RESISTENCIA EN EL PLANO		X	X		X	X	X	X	X	X	X									X
UNIFORMIDAD EN EL PLANO	X	X	X	X	X				X	X	X									
DEFORMABILIDAD EN EL PLANO									X											X
NIVEL DE ESFUERZOS EN EL PLANO									X											
LOCALIZACIÓN DE GRIETAS	X									X	X		X							
MOVIMIENTO DE GRIETAS	X																			
DESEMPEÑO ANTE CARGA																				X
TAMAÑO DE BARRA, LOCALIZACIÓN Y RECUBRIMIENTO												X	X	X						
LOCALIZACIÓN DE ANCLAS												X	X	X						
VACIOS EN MORTERO FLUIDO	X									X	X		X	X						
VACIOS EN LA MAMPOSTERÍA	X									X	X		X	X						
CORROSIÓN DEL ACERO DE REFUERZO	X														X		X			
PROBLEMAS DE DURABILIDAD	X									X	X				X			X		



Figura 33. Martillo de rebote o esclerómetro



Figura 34. Equipo de transmisión de pulsos ultrasónicos



Figura 35. Equipo para localizar barras de acero y para determinar su diámetro.



TÉCNICAS DE REHABILITACIÓN

Modalidades de conexión a la mampostería.

Anclas:

Es frecuente que se usen anclas o conectores para facilitar la conexión entre elementos de acero o concreto a la mampostería existente.

Para instalar los conectores adhesivos, o de tipo químico, se barrena el muro y se limpia el agujero, se rellena éste con resina (epóxica, vinilester, o poliéster) y se introduce el conector.

Un aspecto importante para el comportamiento del ancla es el mezclado de los componentes adhesivos, se debe prestar atención a que el color de la resina sea uniforme. Las resinas se deben usar desde el fondo de barreno hacia la superficie, considerando la compatibilidad del adhesivo con la mampostería existente y con las condiciones ambientales consideradas.

Los conectores mecánicos suelen ser de tres tipos, de expansión, de campana, y de percusión. Los de expansión transmiten la carga mediante fricción contra la pared lateral del agujero; los de campana transmiten la carga mediante trabazón mecánica del conector y la mampostería justo en la base del conector. Los de percusión trabajan a fricción y son instalados con herramientas especiales accionados con cargas explosivas controladas. Existen ciertas reservas sobre el uso de conectores mecánicos de expansión y campana en aplicaciones sísmicas.



CONEXIONES MAMPOSTERIA ACERO

El método más popular para conectar elementos de acero a la mampostería es mediante conectores roscados instalados en barrenos con algún tipo de resina. La conexión puede postensarse, de modo que la carga se transmita por fricción en la interfaz mampostería-acero.

Los conectores roscados se instalan siguiendo las mismas recomendaciones que las anclas. Para mejorar la resistencia y rigidez de la conexión se recomienda aplicar resina en la cara del elemento del acero en contacto con la mampostería, así como el espacio anular que queda entre el perno y el agujero en el acero.

REEMPLAZO DE PIEZAS Y DE CONCRETO DAÑADOS

Este método es aplicable en muros muy dañados, su eficiencia depende de la calidad de su ejecución, para el correcto reemplazo de piezas se recomienda usar materiales del mismo tipo y con una resistencia similar. Con propiedades muy diferentes puede desencadenar concentraciones de esfuerzos que puede dañar la estructura.

REPARACIÓN DE GRIETAS

La manifestación obvia de daño en un muro de mampostería es su agrietamiento. La reparación de las grietas consiste en llenarlas o cerrarlas con materiales similares o diferentes de la mampostería original. Se pueden clasificar dos tipos de reparaciones: inyección y rajuelo.



RESPUESTA ESTRUCTURAL DE MUROS DE CONCRETO Y MAMPOSTERÍA A CORTANTE

En el primer caso, las grietas se rellenan mediante la inyección de resinas epóxicas, morteros epóxicos o morteros fluidos de cemento (con consistencia de lechada), es aplicable a muros con bajos números de grietas y que estén bien definidas. La inyección de grietas representa una manera viable de mantener la funcionalidad del edificio, incrementar su seguridad y durabilidad.

INYECCIÓN DE RESINAS Y MORTEROS EPÓXICOS

Un aspecto esencial para lograr la penetración completa de la resina en la grieta es la viscosidad y es en función de la anchura de las grietas; mientras mayor sea la grieta, mayor será la viscosidad. Las resinas poseen altas resistencias a la tensión y a la adherencia con las piezas. La anchura mínima para rellenar grietas a presión es de 0.05 mm, y por gravedad 0.30 mm.

El proceso se inicia con la limpieza de las grietas, retirando todo residuo de polvo y de material flojo o suelto. Se recomienda no usar agua para la limpieza ya que los materiales epóxicos no se adhieren a superficies húmedas. Posteriormente, se sellan las grietas y se colocan las boquillas de inyección. Una vez terminada la inyección de las grietas del muro, se puede retirar las boquillas y el sellador en calor.

Con esta técnica si se ejecuta adecuadamente, se restituye entre el 70 y 90% resistencia, 30 a 80% de la rigidez y del 75 al 90% de la capacidad de la deformación del muro original.



INYECCIÓN DE MORTEROS

Las lechadas o morteros fluidos de cemento deben ser inyectables, estables, resistentes y deben tener partículas pequeñas. Para su colocación, se debe barrenar el muro a lo largo de la grieta para colocar ahí las boquillas deben estar separadas entre 70 y 300 mm; su separación dependerá de la anchura y rugosidad de la grieta. Los barrenos deben tener diámetros entre 6 y 12 mm, y una profundidad de 50 mm, se limpia la grieta y los barrenos, retirando el polvo y el material flojo o suelto con aspirado u otra herramienta. La inyección se hace a presiones de 0,05 a 0,1 MPa (0,5 a 1 kg/cm²) aunque la presión dependerá del nivel de daño en el muro y de la calidad de la mampostería. Para inyectar, se usa un recipiente a presión que posea un regulador y un manómetro para verificar y mantener la presión de inyección señalada. La bomba de pistón debe contar con accesorios adecuados para conectar las mangueras a las boquillas de inyección.

Muros que han sido reparados mediante inyección de morteros de cemento han recuperado, e incluso mejorado, su resistencia (80 a 120% de recuperación), rigidez (50 a 100 por ciento) y capacidad de deformación (80 a 90%) con respecto a las propiedades originales.

ENCAMISADOS DE MUROS

Los muros se pueden rehabilitar adosando mallas metálicas al muro y recubriéndolas con mortero de cemento colocado a mano o bien lanzado. Una desventaja del



encamisado de muros es la modificación de la apariencia de la estructura, lo cual puede ser determinante si el edificio posee un valor histórico o estético sobresaliente.

ENCAMISADO CON MALLAS METÁLICAS

La técnica más confiable, eficiente y económica es la colocación de mallas metálicas, preferentemente electrosoldadas o hechas con barras convencionales, adecuadamente ancladas a los muros y recubiertas con 30 mm o más de mortero o concreto lanzado. Con esta técnica se pueden esperar incrementos en resistencia, rigidez y capacidad de deformación originales superiores al 50, 20 y 100 %.

Para lograr un comportamiento monolítico del encamisado con la mampostería existente, es indispensable tratar la superficie del muro antes de colocar la malla y aplicar el mortero. Se debe retirar todo recubrimiento del muro y, en caso de muros dañados, los fragmentos y piezas sueltas de la superficie de la mampostería; limpiar el polvo y las partículas en el interior de las grietas mediante chorro de agua. Previo al encamisado, se recomienda reparar las grietas. Las mallas se pueden fijar directamente sobre las caras del muro, o bien usando separadores.

En muros hechos con piezas macizas, las mallas de calibre pequeño (8 y 10) se pueden fijar con clavos de 64 mm de longitud para madera colocados manualmente con martillo (Figura 35). Se recomienda una separación vertical y horizontal de 450 mm si las piezas son de mala calidad, se puede reducir la separación a 250 mm.

En la práctica nacional y en la literatura mundial sobre el tema, se ha sugerido el uso de alambres (grapas o sujetadores) que pasen de lado a lado del muro para fijar mallas en



RESPUESTA ESTRUCTURAL DE MUROS DE CONCRETO Y MAMPOSTERÍA A CORTANTE

ambos lados (Figura 35). Esto requiere, por supuesto, de la perforación del muro en su espesor en varios lugares, así como el relleno del hueco que queda entre el alambre y el barreno con resina epóxica o un material similar. La separación máxima recomendada es de 800 mm.

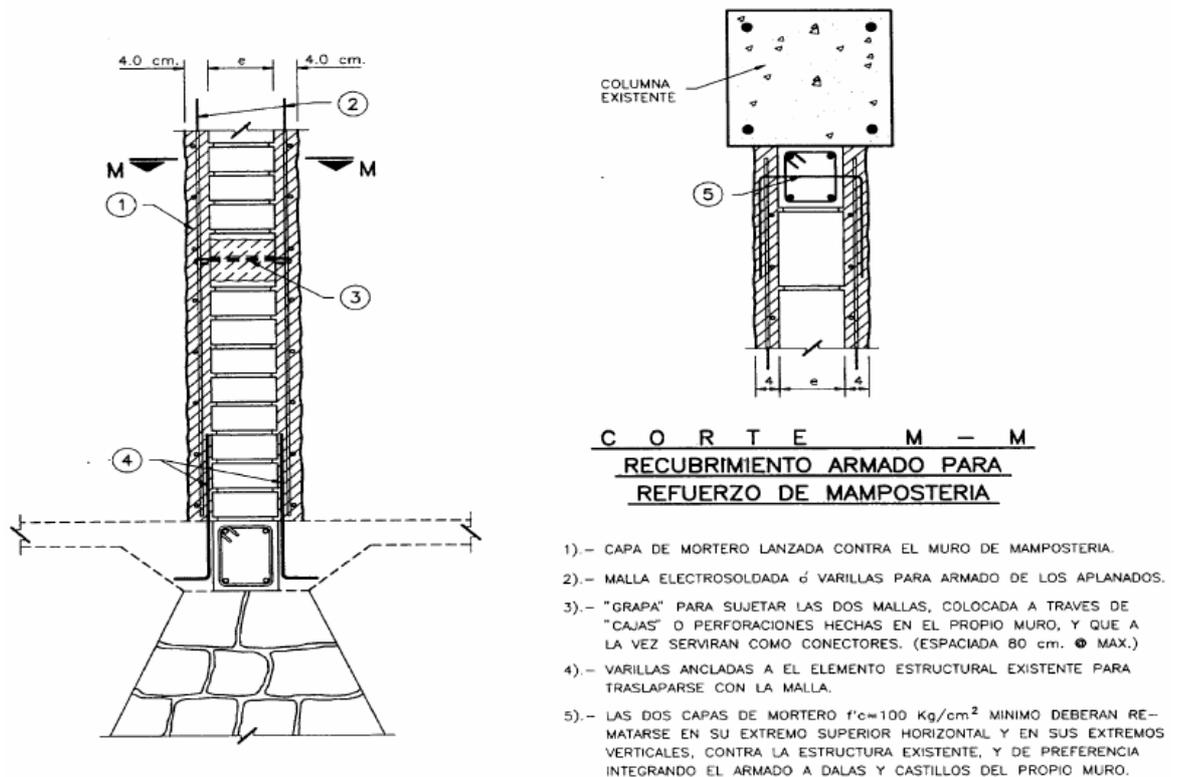


Figura 36. Recubrimiento armado para la rehabilitación de la mampostería.



Figura 37. Encamisado de muros de mampostería con malla y mortero

Las mallas deben rodear a los castillos (Figura 35). Esto se puede resolver traslapando la malla en forma de U que rodeará el castillo con las mallas sobre el muro. Para el traslape se siguen las recomendaciones para diseño de estructuras de concreto reforzado.

Las mallas deben ser continuas en muros ortogonales; en los cambios de dirección conviene incrementar el número de conectores. Las mallas deben rodear las aberturas



RESPUESTA ESTRUCTURAL DE MUROS DE CONCRETO Y MAMPOSTERÍA A CORTANTE

en los muros. El mortero se puede colocar manualmente o bien con dispositivos neumáticos (lanzado), siguiendo los procedimientos recomendados para concreto lanzado. Se ha observado que, con una buena ejecución, muros con recubrimiento de concreto lanzado tienen una mayor resistencia y rigidez que aquéllos con mortero colocado manualmente. En cualquier caso, antes de aplicar el mortero, se debe saturar la superficie del muro.

ADICIÓN DE ELEMENTOS CONFINANTES DE CONCRETO REFORZADO

Con objeto de mejorar el comportamiento de toda la estructura, y no solamente de ciertos muros, es a menudo necesario construir castillos y dadas, ya sea porque no existen o bien porque sus dimensiones, ubicación o detallado son inadecuados. En su diseño y construcción se deben satisfacer los requisitos de las NTCM. Los armados deben estar debidamente anclados para desarrollar la resistencia de diseño. Se sugiere revisar las recomendaciones que para construcciones nuevas se han hecho y que son, la mayoría, aplicables a este caso.



5.2 CONCRETO

MANTENIMIENTO DEL CONCRETO

Inspecciones

Propósito

Evaluar su capacidad estructural y funcional para asegurar la protección de la vida humana, del equipo y la obra misma.

Cualquier estructura bien diseñada y bien construida requiere de mantenimiento preventivo continuo con la finalidad de que no se expongan innecesariamente las condiciones adversas al medio ambiente que puedan generar algún deterioro. Las inspecciones consisten en exámenes visuales para juzgar el estado de las estructuras y, si es necesario efectuar una inspección más profunda en la que se incluyen estudios analíticos, de laboratorio y de campo. Deben de realizarse tres tipos de inspección de rutina general, de rutina específica, especiales.

Personal de inspección

La experiencia y los conocimientos requeridos del personal que realiza los programas de inspección periódica varían considerablemente, desde los ingenieros con conocimientos no especializados, que efectúan las inspecciones de rutina general hasta los profesionales muy experimentados.



Mantenimiento preventivo

La prevención debe ser el eje de todas las acciones de conservación para evitar que el deterioro destruya las estructuras.

El mantenimiento preventivo del concreto consiste en la aplicación de medidas destinadas a protegerlo contra el deterioro prematuro debido al envejecimiento, agentes agresivos o acciones que causen detrimento.

Deterioro prematuro del concreto

Depende de tres factores principalmente.

- a) La calidad original propia del concreto.
- b) La severidad de las condiciones de exposición y servicio.
- c) La adecuación que en cada caso existe entre estos últimos tres factores.

Calidad propia del concreto

La calidad propia del concreto como se encuentra en la estructura, depende en gran medida de su composición original y de las prácticas seguidas en su fabricación y utilización.

Entre estos posibles defectos de calidad del concreto, cabe mencionar:

- Composición inadecuada (elemento, agregados, proporciones).
- Resistencia insuficiente (compresión, tensión).
- Homogeneidad defectuosa (juntas frías, segregación, sangrado).
- Porosidad elevada (Permeabilidad y absorción, lixiviación).



RESPUESTA ESTRUCTURAL DE MUROS DE CONCRETO Y MAMPOSTERÍA A CORTANTE

- Cambios volumétricos excesivos (contracción por secado, cambios de volumen por variaciones de humedad y temperaturas).
- Naturaleza químicamente inestable (reacciones destructivas potenciales entre el cemento y los agregados).

Prevención del deterioro prematuro del concreto

Medidas:

Para proteger el concreto de un eventual deterioro prematuro y bajo condiciones de exposición y servicio conocidas y de efecto predecibles, es posible aplicar diversas medidas, cuya selección depende del estado del concreto, la causa probable del deterioro y las características y funciones de las estructuras. Entre estas medidas utilizables pueden señalarse.

1. Alivio de las condiciones de carga de la estructura.
2. Aplicación de un recubrimiento superficial que impermeabilice el concreto.
3. Aplicación de un recubrimiento superficial que reduzca la absorción del concreto.
4. Aplicación de un recubrimiento superficial que forme una capa resistente para dar protección al concreto.
5. Aplicación de una pintura sobre el concreto, con fines decorativo y de conservación.
6. Medidas de protecciones especiales.



Mantenimiento correctivo

Las actividades que corresponden al mantenimiento preventivo y al correctivo suele definirse por el estado de apariencia del concreto. Si el concreto se aprecia sano, las medidas que se adoptan para protegerlo en una situación potencialmente dañina se definen como preventivas. De otro modo, si el concreto esta dañado o deteriorado, las acciones necesarias para rehabilitarlo se considera parte del mantenimiento correctivo.

Para que el mantenimiento de las estructuras de concreto en servicio se realice de una manera integral es necesario que cuando se manifieste un daño o deterioro no solo se corrija, también se indague la causa.

El éxito de un mantenimiento correctivo depende del cumplimiento de una serie de condiciones, entre las que destacan:

- a. Descubrimiento oportuno del deterioro, antes que afecte seriamente la estructura.
- b. Identificación acertada de la causa, para procurar su anulación o la inhibición de sus efectos.
- c. Determinación precisa de la importancia y extensión del daño, y su influencia en el comportamiento de la estructura.
- d. Decisión acertada si basta con restaurar el concreto deteriorado, si es necesario hacer modificaciones a la estructura para evitar que se continúe el daño, si se justifica hacer la demolición y reposición total o parcial de la estructura.
- e. Selección de los materiales y de los métodos idóneos para el mantenimiento correctivo de la estructura.



RESPUESTA ESTRUCTURAL DE MUROS DE CONCRETO Y MAMPOSTERÍA A CORTANTE

- f. Ejecución esmerada del trabajo y supervisión del mismo en todos sus detalles.
- g. Reevaluación minuciosa de la estructura y de las nuevas condiciones en que presta servicio después de la reparación.

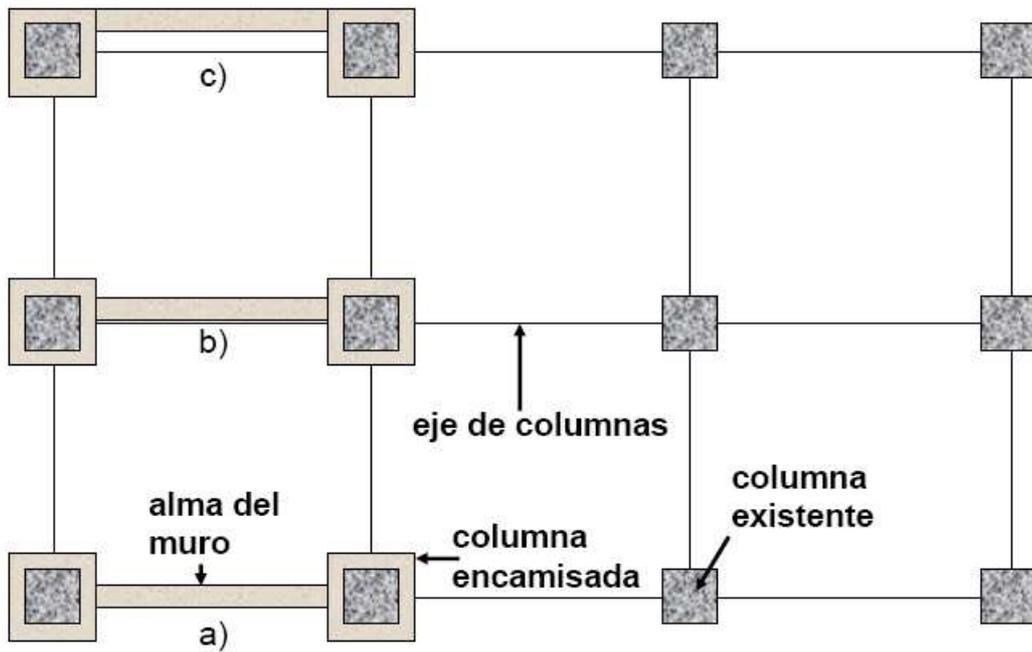


Figura 38. Solución con refuerzo de muros de concreto y encamisado de columnas.



Principales formas, y causas del deterioro del concreto.

El deterioro del concreto puede adoptar varias formas, dependiendo de diversos factores tales como las causas que los originan.

TABLA 43: TIPOS DE DETERIORO EN EL CONCRETO Y CAUSAS	
TIPOS	CAUSA
Erosiones	1) Por abrasión mecánica 2) Por abrasión hidráulica 3) Por cavitación 4) Por ataque químico 5) Por impacto y frotamiento
Agrietamientos	1) Estructurales 2) No estructurales: 2.1) Del concreto en estado plástico 2.2) Del concreto en estado endurecido a) Por cambios de temperatura b) Por pérdida de humedad c) Por corrosión del refuerzo d) Por reacciones entre el cemento y los agregados
Daños por fuego	
Daños estructurales	Asentamientos diferenciales Sismo
Otros	Empolvamiento Descascaramiento Lixiviación de la cal Eflorescencia Defectos de la construcción



CONCLUSIONES

Es importante considerar los principios básicos que una estructura de mampostería o elementos de mampostería, debe alcanzar para presentar un desempeño adecuado ante fuerzas o movimientos causados por sismos, estos elementos se mencionan algunas a continuación.

1. Forma robusta de la edificación. La planta debe ser simétrica, regular y compacta. Los muros deben estar arriostrados entre si. Se debe usar una misma configuración de muros en los pisos o niveles subsecuentes. Debe existir separación entre las edificaciones entre si cuando menos 50 mm.
2. Cimentaciones sólidas. Usar cimentaciones continuas y que dicha cimentación sea de acuerdo al tipo de suelo.
3. Materiales. Deben satisfacer de acuerdo a las normas, los morteros poseer una resistencia consistente con la resistencia de las piezas por unir.
4. Muros resistentes. Las estructuras deben poseer una adecuada densidad de muros.
5. Aberturas bien distribuidas. El tamaño de las aberturas debe ser el más pequeño posible; éstas deben estar alejadas de las esquinas de los muros.
6. Elementos horizontales de confinamiento. Los muros reforzados con dalas en su extremo superior tienen un mejor comportamiento sísmico que aquellos que no las tienen. Deben ser continuas en las estructuras mediante conexiones adecuadas entre ellas.



RESPUESTA ESTRUCTURAL DE MUROS DE CONCRETO Y MAMPOSTERÍA A CORTANTE

7. Elementos verticales de confinamiento. Castillos. La ubicación y diseño adecuado de estos elementos permiten confinar la mampostería, reduciendo en una mejor capacidad de deformación horizontal, mayor resistencia y un menor deterioro de la resistencia y rigidez.
8. Mantenimiento periódico. Conviene establecer y emprender inspecciones regulares de la estructura, dirigidas a identificar deterioros en morteros y piezas, agrietamiento y corrosión.

En cuanto a los elementos de concreto resulta fundamental conocer desde los aspectos como la fabricación, refuerzo, fraguado. El concreto se presta para la posible producción de todos los componentes básicos de un edificio: cimentación, losas, muros y marcos así como los diversos sistemas estructurales. También es el material de construcción más inerte y durable, que resiste el envejecimiento y efectos climáticos. Es primordial conocer los requisitos que establece las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto.

Desde hace mucho se ha reconocido la utilidad de los muros en la planeación estructural de edificios de niveles múltiples. Cuando los muros se colocan en posiciones ventajosas dentro de una construcción, pueden ser muy eficientes para resistir las cargas laterales producidas por el viento o sismo. Estos muros se han denominado muros de cortante debido a que con frecuencia gran parte de la carga lateral de un edificio y la fuerza cortante horizontal se transfiere a estos elementos.



RESPUESTA ESTRUCTURAL DE MUROS DE CONCRETO Y MAMPOSTERÍA A CORTANTE

En general el diseño sísmico de cualquier estructura de concreto o mampostería implica las siguientes etapas y se plantean también objetivos por una parte, como; evitar el colapso, pero aceptar el daño, ante un sismo excepcionalmente severo que se pueda presentar en la vida de la estructura.

Estos objetivos se plantean en términos de los siguientes estados límites:

- a) Estado límite de servicio; para el cual no se excedan deformaciones que ocasionen pánico a los ocupantes, interferencia con el funcionamiento de equipos e instalaciones, ni daños en elementos no estructurales.
- b) Estado límite de integridad estructural; para el cual se puede presentar daño no estructural y daño estructural menor, como agrietamiento en estructuras de concreto pero no se alcanza la capacidad de carga de los elementos estructurales.
- c) Estado límite de supervivencia; para el cual puede haber daño estructural significativo, y hasta en ocasiones más allá de lo económicamente reparable, pero se mantiene la estabilidad general de la estructura y se evita el colapso

El diseño sísmico de una estructura implica las siguientes etapas:

- I. La selección de un sistema estructural adecuado. Debe ser capaz de absorber y disipar la energía introducida por el sismo sin que se generen efectos desfavorables.
- II. El análisis sísmico. El Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal definen las acciones sísmicas para las cuales debe calcularse la respuesta de la estructura y proporcionan métodos de análisis de distinto grado de refinamiento.



RESPUESTA ESTRUCTURAL DE MUROS DE CONCRETO Y MAMPOSTERÍA A CORTANTE

- III. El dimensionamiento de las secciones. Los métodos de dimensionamiento de las secciones y elementos estructurales no difieren sustancialmente de los que se especifican para otros tipos de acciones.
- IV. Detallado de la estructura. Para que las estructuras tengan un comportamiento dúctil es necesario detallar sus elementos y conexiones para proporcionarles gran capacidad de deformación antes del colapso.

Para el análisis sísmico se presentaron tres ejemplos. En el método simplificado se considero una construcción de dos niveles, por lo que el método considera a estructuras a base de muros de carga, de baja altura, planta rectangular, con una distribución sensiblemente simétrica, y en pisos tienen rigidez suficiente para transmitir las fuerzas sísmicas a los muros paralelos en dirección del movimiento del terreno. Este método permite ignorar los efectos de flexión y de torsión sísmica, así como concentrar la atención en la revisión de la fuerza cortante. Se recomienda que por no considerar los efectos de flexión y de torsión se optara el método de análisis estático para un mayor refinamiento de los cálculos y diseño e incrementar la seguridad y confianza en el comportamiento de la estructura.

En el método de análisis estático se considero como ejemplo una edificación de cinco niveles, construcción del grupo B (vivienda), localizada en un terreno que corresponde a la zona III. Para este ejemplo se considero porque la construcción es de forma regular de acuerdo a las solicitaciones que hace las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por sismo, cumple con las condiciones de regularidad, la altura de la estructura



RESPUESTA ESTRUCTURAL DE MUROS DE CONCRETO Y MAMPOSTERÍA A CORTANTE

es menor a 30 metros. Ni la rigidez ni los cortantes de ningún entrepiso exceden en más del 50%, en ningún entrepiso la excentricidad torsional calculada estáticamente, e_{sx} excede el 10% de la dimensión en planta. El método estático proporciona resultados en base al modo fundamental de vibración de la estructura, su uso es limitado a construcciones de altura moderada, por lo que no es recomendable aplicarlo a edificios de forma irregulares ya que se pueden subestimar los cortantes de los entrepisos.

En el análisis dinámico se considero una estructura de forma irregular como se ejemplifica en el Capitulo tres, es importante elegir un método de análisis adecuado ya que nos determinarán factores como la seguridad estructural, pero también es necesario tener los conocimientos sobre el análisis y diseño estructural y tener en cuenta los lineamientos del Reglamento de Construcciones de cada entidad. El método dinámico es más preciso ya que agrega información que en los dos métodos anteriores tratados ignoran.

Cualquier estructura bien diseñada y bien construida se debe considerar aspectos para el mantenimiento preventivo y en el caso que la edificación presente daño o deterioro debe considerarse un mantenimiento correctivo. Para que el mantenimiento de las estructuras en servicio se realice de una manera integral es necesario que cuando se manifieste un daño o deterioro no solo se corrija, también se indague la causa. Se recomienda que cualquier estructura que se desee construir se analice y se diseñe todos sus elementos, tenga una cimentación adecuada de acuerdo al tipo de suelo del sitio a construir, que los materiales sean los adecuados y que estén normalizados.



BIBLIOGRAFÍA

1. Comisión Federal de Electricidad, 1991, Manual de mantenimiento para concreto, México.
2. Enrique Bazán y Roberto Meli, 2010, Diseño Sísmico de Edificios, Editorial Limusa, México.
3. Fundación ICA, 2002, Edificaciones de Mampostería para Vivienda, Segunda Edición, México.
4. Gabriel O. Gallo Ortiz, 2005, Diseño estructural Casas Habitación, Segunda edición, Editorial Mc Graw Hill, México.
5. Gere-Timoshenko, 1984, Mecánica de materiales, Segunda Edición, Editorial Iberoamericana, México.
6. James Ambrose, 2005, Análisis y diseño de estructuras, Segunda Edición, Editorial Limusa.
7. Luis Arnal Simón, 2005, Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal, Reglamento, Normas Técnicas, Ley de Desarrollo Urbano del Distrito Federal, Reglamento de la Ley de Desarrollo Urbano del Distrito Federal, 5a edición, Editorial Trillas, México.
8. Newmark N. M., 1982, Fundamentos de ingeniería sísmica, Editorial Diana, México.
9. Nilson Arthur, 2007, Diseño de estructuras de concreto, Quinta Edición, Editorial Mc Graw Hill, México.
10. Oscar López Bátiz, 1994, Estructuras de concreto reforzado, CENAPRED UNAM, México.



RESPUESTA ESTRUCTURAL DE MUROS DE CONCRETO Y MAMPOSTERÍA A CORTANTE

11. Oscar M. González Cuevas, 2005, Aspectos Fundamentales del Concreto Reforzado, Cuarta Edición, Editorial Limusa, México.
12. Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación (2006), Norma Nmx-C-404-ONNCE-2004, México.
13. Park And Paulay, 1983, Estructuras de concreto reforzado, Editorial Limusa, México.
14. Roberto Meli, 1992, Comentarios y ejemplos de las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería, DDF, No. ES-4, series Instituto de Ingeniería UNAM, México.
15. Roberto Meli, 2008, Diseño estructural, Segunda Edición, Editorial Limusa, México.
16. Raúl Gómez Tremari, 1988, Fundamentos de diseño y construcción sismoresistente, Universidad de Guadalajara, México.
17. Vicente Pérez Alama, 2000, Materiales y procedimientos de construcción, Editorial Trillas, México.