



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
CAMPUS ARAGÓN**

**“DISEÑO DE UN EDIFICIO PARA  
VIVIENDA A BASE DE MAMPOSTERÍA”**

**T E S I S**

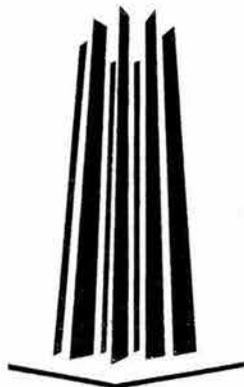
**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**

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

**P R E S E N T A :**

**ARTONIO GÓMEZ MONTAÑO**

**ASESOR : ING. RICARDO HERAS CRUZ**



**MÉXICO**

**2004**



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  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
ARAGÓN

DIRECCIÓN

ANTONIO GOMEZ MONTAÑO  
Presente

Con fundamento en el punto 6 y siguientes, del Reglamento para Exámenes Profesionales en esta Escuela, y toda vez que la documentación presentada por usted reúne los requisitos que establece el precitado Reglamento; me permito comunicarle que ha sido aprobado su tema de tesis y asesor.

TÍTULO:

"DISEÑO DE UN EDIFICIO PARA VIVIENDA A BASE DE MAMPOSTERÍA"

ASESOR: Ing. RICARDO HERAS CRUZ

Aprovecho la ocasión para reiterarle mi distinguida consideración.

Atentamente  
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"

San Juan de Aragón, México, 29 de enero de 2004.

LA DIRECTORA

ARQ. LILIA TURCOTT GONZÁLEZ



C p Secretaría Académica  
C p Jefatura de Carrera de Ingeniería Civil  
C p Asesor de Tesis

LTG/AIR/

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo no habría podido concluirse sin el apoyo de mi familia, mis profesores, mis amigos, mi asesor, mi novia y a todos aquellos que me dieron su ayuda, confianza, paciencia, ánimo y conocimientos. Mencionar a cada uno de ellos sería difícil en un espacio tan corto, ya que de verdad, cada uno de ellos es igual de importante. De todo corazón, gracias.

Antonio G. Montaña

---

## INDICE

Página

### OBJETIVO Y ALCANCE

### INTRODUCCIÓN

|                                                                           |    |
|---------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. ANTECEDENTES                                                           | 1  |
| 1.1 Historia                                                              | 1  |
| 1.1.1 Prehistoria                                                         | 1  |
| 1.1.2 Inicio de la historia: Sumeria                                      | 2  |
| 1.1.3 Mesoamérica                                                         | 3  |
| 1.1.4 Egipto y Grecia                                                     | 7  |
| 1.1.5 Roma                                                                | 8  |
| 1.1.6 Del siglo V al siglo XIX                                            | 10 |
| 1.1.7 Mampostería reforzada                                               | 12 |
| 1.1.8 Notas finales                                                       | 13 |
| 1.2 Nociones Constructivas en la Mampostería                              | 14 |
| 1.2.1 Cantería                                                            | 14 |
| 1.2.1.1 Labra de piedras                                                  | 14 |
| 1.2.1.2 Muros de contención                                               | 17 |
| 1.2.1.3 Aparejo de muros                                                  | 19 |
| 1.2.1.4 Paredes de piedra                                                 | 21 |
| 1.2.1.5 Forma de los sillares                                             | 22 |
| 1.2.2 El ladrillo                                                         | 23 |
| 1.2.2.1 Aparejos del ladrillo                                             | 23 |
| 1.2.2.2 Formas de solape                                                  | 23 |
| 1.2.2.3 Tipos de aparejos                                                 | 24 |
| 1.2.2.4 Enlaces de muros y construcción de pilares                        | 26 |
| 2. MATERIALES PARA MAMPOSTERÍA                                            | 29 |
| 2.1 Piedras Naturales                                                     | 29 |
| 2.1.1 Resistencia nominal a la compresión                                 | 29 |
| 2.1.2 Absorción                                                           | 30 |
| 2.1.3 Resistencia al intemperismo                                         | 30 |
| 2.1.4 Forma y volumen                                                     | 30 |
| 2.2 Piedras artificiales                                                  | 30 |
| 2.2.1 Adobe                                                               | 31 |
| 2.2.1.1 Ladrillos de adobe estabilizado o adocretos                       | 31 |
| 2.2.1.2 Normatividad y reglamentación                                     | 32 |
| 2.2.2 Tabique o ladrillos cerámicos de barro o arcilla                    | 32 |
| 2.2.2.1 Normatividad                                                      | 32 |
| 2.2.2.2 Materia prima utilizada en la fabricación de ladrillos (tabiques) | 32 |
| 2.2.2.3 Procedimientos de manufactura                                     | 33 |
| 2.2.2.4 Estados de fusión de un ladrillo                                  | 33 |
| 2.2.2.5 Propiedades significativas de las arcillas                        | 34 |
| 2.2.2.6 Propiedades ingenieriles de los ladrillos                         | 34 |
| 2.2.2.7 Características físicas de los ladrillos                          | 34 |
| 2.2.2.8 Durabilidad de ladrillos o tabiques                               | 34 |
| 2.2.2.9 Pruebas experimentales para los ladrillos                         | 34 |
| 2.2.2.10 Procedimiento ideal de prueba (ASTM C67-91)                      | 38 |
| 2.2.3 Bloques de concreto                                                 | 38 |
| 2.2.3.1 Normatividad                                                      | 38 |
| 2.2.3.2 Dimensiones                                                       | 38 |

---

|           |                                                                                                 |    |
|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.2.3.3   | Materia prima                                                                                   | 38 |
| 2.2.3.4   | Designaciones de la ASTM                                                                        | 38 |
| 2.2.3.5   | Método de manufactura                                                                           | 39 |
| 2.2.3.6   | Propiedades físicas                                                                             | 39 |
| 2.2.3.7   | Propiedades con implicaciones ingenieriles                                                      | 40 |
| 2.2.4     | Tabicones                                                                                       | 40 |
| 2.2.4.1   | Normatividad                                                                                    | 40 |
| 2.2.4.2   | Dimensiones                                                                                     | 40 |
| 2.2.4.3   | Propiedades con implicaciones ingenieriles                                                      | 40 |
| 2.2.5     | Morteros                                                                                        | 40 |
| 2.2.5.1   | Morteros antiguos                                                                               | 40 |
| 2.2.5.2   | Morteros modernos                                                                               | 41 |
| 2.2.5.3   | Requerimientos de los morteros para pegar piezas según el RCDF - 2000 y NTCM -2000              | 41 |
| 2.2.5.4   | Retentividad de agua                                                                            | 42 |
| 2.2.5.5   | Combinación deseable en una mampostería                                                         | 42 |
| 2.2.5.6   | Importancia de la cal en los morteros                                                           | 42 |
| 2.2.5.7   | Mezclado y remezclado del mortero                                                               | 42 |
| 2.2.5.8   | Prueba para determinar el esfuerzo a compresión de los morteros                                 | 43 |
| 2.2.6     | Morteros y concretos de relleno                                                                 | 43 |
| 2.2.6.1   | Componentes                                                                                     | 43 |
| 2.2.6.2   | Revenimiento                                                                                    | 44 |
| 2.2.6.3   | Prueba para la resistencia a la compresión                                                      | 44 |
| 2.2.6.4   | Métodos de colado                                                                               | 45 |
| 2.2.6.5   | Morteros y concretos de relleno conforme a las NTCM – 2000                                      | 45 |
| 2.2.7     | Acero de refuerzo                                                                               | 47 |
| 2.2.7.1   | Refuerzo de la hilada o juntas                                                                  | 47 |
| 2.2.7.2   | NTCM – 2000                                                                                     | 48 |
| 2.2.8     | Castillos y dalas                                                                               | 48 |
| 3.        | ESPECIFICACIONES DE ANÁLISIS Y DISEÑO                                                           | 51 |
| 3.1       | De las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería | 51 |
| 3.1.1     | Materiales para mampostería                                                                     | 51 |
| 3.1.1.1   | Piezas                                                                                          | 51 |
| 3.1.1.1.1 | Tipo de piezas                                                                                  | 51 |
| 3.1.1.1.2 | Resistencia a compresión                                                                        | 52 |
| 3.1.1.2   | Cementantes                                                                                     | 53 |
| 3.1.1.2.1 | Cemento hidráulico                                                                              | 53 |
| 3.1.1.2.2 | Cemento de albañilería                                                                          | 53 |
| 3.1.1.2.3 | Cal hidratada                                                                                   | 53 |
| 3.1.1.3   | Agregados pétreos                                                                               | 53 |
| 3.1.1.4   | Agua de mezclado                                                                                | 53 |
| 3.1.1.5   | Morteros                                                                                        | 53 |
| 3.1.1.5.1 | Resistencia a compresión                                                                        | 53 |
| 3.1.1.5.2 | Mortero para pegar piezas                                                                       | 54 |
| 3.1.1.5.3 | Morteros y concretos de relleno                                                                 | 54 |
| 3.1.1.6   | Acero de refuerzo                                                                               | 55 |
| 3.1.1.7   | Mampostería                                                                                     | 55 |
| 3.1.1.7.1 | Resistencia a compresión                                                                        | 55 |
| 3.1.1.7.2 | Resistencia a compresión diagonal                                                               | 58 |
| 3.1.1.7.3 | Resistencia al aplastamiento                                                                    | 59 |
| 3.1.1.7.4 | Resistencia a tensión                                                                           | 59 |
| 3.1.1.7.5 | Módulo de elasticidad                                                                           | 59 |
| 3.1.1.7.6 | Módulo de cortante                                                                              | 60 |

---

|                                                                          |    |
|--------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.1.2 Especificaciones generales de análisis y diseño                    | 60 |
| 3.1.2.1 Criterios de diseño                                              | 60 |
| 3.1.2.1.1 Estado límite de falla                                         | 60 |
| 3.1.2.1.2 Estado límite de servicio                                      | 61 |
| 3.1.2.1.3 Diseño por durabilidad                                         | 61 |
| 3.1.2.1.4 Factores de resistencia                                        | 61 |
| 3.1.2.1.5 Contribución del refuerzo a la resistencia a cargas verticales | 62 |
| 3.1.2.1.6 Hipótesis para la resistencia de diseño a flexión              | 62 |
| 3.1.2.1.7 Resistencia de la mampostería a cargas laterales               | 62 |
| 3.1.2.2 Métodos de análisis                                              | 62 |
| 3.1.2.2.1 Criterio general                                               | 62 |
| 3.1.2.2.2 Análisis por cargas verticales                                 | 62 |
| 3.1.2.2.3 Análisis por cargas laterales                                  | 65 |
| 3.1.2.2.4 Análisis por temperatura                                       | 69 |
| 3.1.2.3 Detallado del refuerzo                                           | 69 |
| 3.1.2.3.1 General                                                        | 69 |
| 3.1.2.3.2 Tamaño del acero de refuerzo                                   | 69 |
| 3.1.2.3.3 Colocación y separación del acero de refuerzo longitudinal     | 69 |
| 3.1.2.3.4 Protección del acero de refuerzo                               | 69 |
| 3.1.2.3.5 Dobleces del refuerzo                                          | 70 |
| 3.1.2.3.6 Anclaje                                                        | 71 |
| 3.2 De las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo.        | 73 |
| 3.2.1 Criterios generales de diseño                                      | 73 |
| 3.2.1.1 Propósito                                                        | 73 |
| 3.2.1.2 Condiciones de análisis y diseño                                 | 73 |
| 3.2.1.3 Muros divisorios, de fachada y de colindancia                    | 73 |
| 3.2.1.3.1 Muros que contribuyan a resistir fuerzas laterales             | 73 |
| 3.2.1.3.2 Muros que no contribuyan a resistir fuerzas laterales          | 74 |
| 3.2.1.4 Zonificación                                                     | 74 |
| 3.2.1.5 Coeficiente sísmico                                              | 74 |
| 3.2.1.6 Reducción de fuerzas sísmicas                                    | 74 |
| 3.2.1.7 Combinación de acciones                                          | 74 |
| 3.2.1.8 Revisión de desplazamientos laterales                            | 74 |
| 3.2.2 Elección del tipo de análisis                                      | 75 |
| 3.2.2.1 Método simplificado de análisis                                  | 75 |
| 3.2.2.2 Análisis estático y dinámico                                     | 76 |
| 3.2.3 Espectros para diseño sísmico                                      | 76 |
| 3.2.4 Reducción de fuerzas sísmicas y desplazamientos                    | 76 |
| 3.2.4.1 Factor de reducción                                              | 76 |
| 3.2.5 Factor de comportamiento sísmico                                   | 77 |
| 3.2.5.1 Requisitos para $Q = 4$                                          | 77 |
| 3.2.5.2 Requisitos para $Q = 3$                                          | 77 |
| 3.2.5.3 Requisitos para $Q = 2$                                          | 78 |
| 3.2.5.4 Requisitos para $Q = 1.5$                                        | 78 |
| 3.2.5.5 Requisitos para $Q = 1$                                          | 78 |
| 3.2.6 Condiciones de regularidad                                         | 78 |
| 3.2.6.1 Estructura regular                                               | 78 |
| 3.2.6.2 Estructura irregular                                             | 79 |
| 3.2.6.3 Estructura fuertemente irregular                                 | 79 |
| 3.2.6.4 Corrección por irregularidad                                     | 79 |
| 3.2.7 Método simplificado de análisis                                    | 79 |
| 3.2.8 Análisis estático                                                  | 80 |
| 3.2.8.1 Fuerzas cortantes                                                | 80 |
| 3.2.8.2 Reducción de las fuerzas cortantes                               | 80 |

---

---

|                                                                               |     |
|-------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 3.2.8.3 Efectos de torsión                                                    | 81  |
| 3.2.8.4 Efectos bidireccionales                                               | 81  |
| 3.2.9 Análisis dinámico                                                       | 81  |
| 3.2.9.1 Análisis modal                                                        | 81  |
| 3.2.9.2 Análisis paso a paso                                                  | 82  |
| 3.2.9.3 Revisión por cortante basal                                           | 82  |
| 3.2.9.4 Efectos bidireccionales                                               | 83  |
| 3.3 Del RCDF                                                                  | 83  |
| 3.3.1 Disposiciones generales                                                 | 83  |
| 3.3.1.1 Clasificación de las construcciones                                   | 83  |
| 3.3.1.2 Zonificación para el Distrito Federal                                 | 83  |
| 3.3.2 Criterios de diseño estructural                                         | 84  |
| 3.3.2.1 Acciones actuantes sobre las estructuras                              | 84  |
| 3.3.2.2 Combinación de acciones                                               | 85  |
| 3.3.2.3 Factor de carga                                                       | 85  |
| 3.3.3 Cargas muertas                                                          | 86  |
| 3.3.3.1 Criterio                                                              | 86  |
| 3.3.3.2 Losas                                                                 | 87  |
| 3.3.4 Cargas vivas                                                            | 88  |
| 3.3.4.1 Criterio                                                              | 88  |
| 3.3.4.2 Aplicación de cargas                                                  | 88  |
| 3.3.5 Diseño por sismo                                                        | 89  |
| 3.3.5.1 Criterio                                                              | 89  |
| 3.3.5.2 Coeficiente sísmico                                                   | 90  |
| 4. MAMPOSTERÍA CONFINADA                                                      | 91  |
| 4.1 Alcance                                                                   | 91  |
| 4.1.1 Castillos y dadas exteriores                                            | 91  |
| 4.1.2 Muros con castillos interiores                                          | 93  |
| 4.1.3 Muros con aberturas                                                     | 93  |
| 4.1.4 Espesor y relación altura a espesor de los muros                        | 93  |
| 4.2 Fuerzas y momentos de diseño                                              | 93  |
| 4.3 Resistencia a compresión y flexocompresión en el plano del muro           | 94  |
| 4.3.1 Resistencia a compresión de muros confinados                            | 94  |
| 4.3.2 Resistencia a flexocompresión en el plano del muro                      | 94  |
| 4.3.2.1 Método general de diseño                                              | 94  |
| 4.3.2.2 Método optativo                                                       | 94  |
| 4.4 Resistencia a cargas laterales                                            | 95  |
| 4.4.1 Consideraciones generales                                               | 95  |
| 4.4.2 Fuerza cortante resistida por la mampostería                            | 96  |
| 4.4.3 Fuerza cortante resistida por el acero de refuerzo horizontal           | 96  |
| 4.4.3.1 Tipos de acero de refuerzo                                            | 96  |
| 4.4.3.2 Separación del acero de refuerzo horizontal                           | 96  |
| 4.4.3.3 Cuantías mínima y máxima del acero de refuerzo horizontal             | 96  |
| 4.4.3.4 Diseño del refuerzo horizontal                                        | 97  |
| 5. ANÁLISIS Y DISEÑO DE ESTRUCTURA PROPUESTA                                  | 98  |
| 5.1 Alcance                                                                   | 98  |
| 5.2 Características y propiedades de la estructura                            | 107 |
| 5.3 Determinación de cargas                                                   | 107 |
| 5.4 Bajada de cargas en muros de planta baja y planta tipo                    | 108 |
| 5.5 Proposición de ejes                                                       | 110 |
| 5.6 Obtención de las características de los muros de la estructura            | 111 |
| 5.7 Análisis por cargas verticales                                            | 112 |
| 5.7.1 Cálculo del factor de reducción por efectos de excentricidad y esbeltez | 113 |
| 5.7.2 Resultados de revisión por cargas verticales                            | 116 |

---

---

|                                                         |     |
|---------------------------------------------------------|-----|
| 5.8 Análisis por cargas laterales                       | 117 |
| 5.8.1 Coeficiente sísmico reducido                      | 122 |
| 5.8.2 Factor de carga                                   | 122 |
| 5.8.3 Fuerza cortante última                            | 122 |
| 5.8.4 Capacidad resistente de diseño                    | 123 |
| 5.8.4.1 Revisión gruesa en dirección "X"                | 123 |
| 5.8.4.2 Revisión detallada en dirección "X"             | 124 |
| 5.8.4.3 Revisión gruesa en dirección "Y"                | 126 |
| 5.8.4.4 Revisión detallada en dirección "Y"             | 126 |
| 5.8.4.5 Determinación del refuerzo horizontal requerido | 127 |
| 5.9 Diseño de dalas                                     | 131 |

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

---

## OBJETIVO Y ALCANCE

El trabajo aquí presentado, tienen como objetivo principal obtener el grado de Ingeniero Civil y aplicar los conocimientos obtenidos durante el estudio de la carrera, en un problema real, bajo la asesoría del Ing. Ricardo Heras Cruz.

En este trabajo se pretende hacer una exposición que englobe la historia, la importancia y la normatividad de la mampostería. Ya que en México más del 90% de la vivienda, ya sea unifamiliar o multifamiliar se construye a base de muros de carga de mampostería. Esto hace que la edificación de la vivienda a base de este sistema estructural represente un poco más del 50% del volumen total de la construcción que se hace en nuestro país. A causa de ello, pretendemos contribuir con este trabajo, con el desarrollo profesional e intelectual de los alumnos de Ingeniería Civil, como una fuente bibliográfica más.

Además de ello, se hará el análisis y diseño de la estructura propuesta, y así demostrar la aplicación de toda la información aquí recopilada en un problema real. Y mostrar que la normalización de los materiales y procedimientos constructivos, así como su constante investigación, es fundamental para garantizar una seguridad adecuada, tal que, bajo las condiciones más desfavorables no habrá fallas estructurales mayores ni pérdidas de vidas, aunque llegase a presentarse daños que lleguen a afectar el funcionamiento de la estructura y requerir reparaciones importantes.

---

---

## INTRODUCCIÓN

En nuestro país se ha realizado investigaciones referentes a la mampostería de muy alta calidad. Actualmente es posible diseñar y construir estructuras de mampostería que tengan un excelente desempeño estructural, con la fabricación de piezas industrializadas de buena calidad y con las especificaciones derivadas de dichas investigaciones.

Aquí pretendemos demostrar las grandes ventajas del uso de la mampostería reforzada haciendo énfasis en las virtudes del refuerzo horizontal.

Al seleccionar un buen sistema de mampostería y al desarrollarlo adecuadamente se tendrán las siguientes cualidades:

- Mayor capacidad de deformación.
- Patrón de agrietamiento más uniforme.
- Capacidad para tomar esfuerzos por temperatura.
- Disminución de fisuras ante sollicitaciones de servicio.
- Mayor capacidad ante la presencia de asentamientos.
- Eliminación o disminución de los muros de concreto necesarios para resistir las acciones sísmicas.

Sin embargo, muchas de las viviendas se siguen erigiendo sin los sistemas y detalles adecuados, incluso en las zonas sísmicas del país.

Uno de los problemas más serios que enfrenta el país es el déficit en vivienda. Por ello, este trabajo pretende resaltar la importancia de la mampostería como una de las estructuras de mayor importancia de la vivienda.

Este trabajo se ha dividido en cinco capítulos. En el capítulo 1 describimos a groso modo la historia del desarrollo de la mampostería y sus nociones constructivas. En el capítulo 2 se hace referencia a los materiales utilizados en la mampostería, su clasificación, propiedades y normatividad. En el capítulo 3 presentamos las especificaciones de análisis y diseño para las estructuras de mampostería; en él se exponen los requisitos de calidad con los que deben contar los materiales utilizados, los criterios de diseño, los métodos de análisis y demás disposiciones que se establecen en el RCDF y sus NTCM que garanticen que no habrá fallas estructurales que pongan en peligro la vida de los usuarios y obtener una edificación segura y confiable. En el capítulo 4 se describen las características que conforman a la mampostería confinada, sus requisitos y elementos que la componen, los criterios de diseño y análisis; con los cuales nos guiaremos para el desarrollo de la estructura propuesta. En el capítulo 5 desarrollamos el análisis y diseño de la estructura propuesta, comenzando por describir las características físicas de la estructura, su distribución en cada planta, las propiedades de los materiales a emplear y sus dimensiones; posteriormente comenzamos el análisis de la estructura determinando las cargas que deberá resistir nuestra estructura conforme al RCDF, en seguida se determina si la mampostería es capaz de resistir dichas cargas para poder determinar el diseño que cumplirá con la responsabilidad de conformar una estructura segura y confiable.

Finalmente presentamos nuestras conclusiones y recomendaciones, esperando que este trabajo se de gran ayuda para el lector.

---

## CAPÍTULO 1

### ANTECEDENTES

#### 1.1 HISTORIA

Para poder comprender mejor el trabajo desarrollado aquí, empezaremos por dar una definición de la mampostería. **Mampostería es toda obra arquitectónica a base de mampuestos (tabique, adobe, ladrillo, piedra, sillar, block, etc.) colocados a mano sin sujeción a determinado número de hiladas o tamaños y unidos con algún tipo de cementante.**

En cuanto a su historia, su evolución es muy similar alrededor de todo el mundo. Desde épocas remotas, con la agricultura surgieron las primeras comunidades sedentarias, con ello se fue arraigando la creencia de la existencia de la vida después de la muerte. Apareciendo los cementerios o lugares especiales para los muertos, donde por primera vez se comienza a hacer uso de la mampostería, ya que se empezaron a delimitar las fosas de los muertos con hiladas de piedra, principio de las tumbas y se hicieron las plataformas de tierra con revestimiento de piedra, como cimientos de las chozas y origen de la arquitectura.

Y al verse en la necesidad de tener un lugar en donde protegerse de las inclemencias de la naturaleza, el hombre, hizo uso de estas primeras técnicas y buscó para ello, materiales accesibles que sean fáciles de utilizar y que proporcionen mejor comodidad para la creación de refugios que le proporcionaran mayor seguridad y protección. Los tipos de materiales utilizados por las culturas de la antigüedad fueron determinados por las condiciones del terreno en donde se asentaron. En este capítulo se hará una descripción somera acerca de la historia de la mampostería desde la prehistoria, hasta la época actual mostrando la evolución que han tenido las edificaciones de mampostería a través del tiempo, y en particular, la historia de la mampostería en Mesoamérica.

##### 1.1.1 PREHISTORIA

Es probable que la mampostería haya sido inventada por un nómada, hace unos 15,000 años, cuando, al no encontrar un refugio natural para protegerse de las adversidades de la naturaleza, decidió apilar piedras para formar un lugar donde guarecerse. Sin embargo, como la transmisión de técnicas o ideas era muy lenta o no ocurría, la “invención” seguramente tuvo que repetirse innumerables veces.

El proceso inmediato en el desarrollo de la mampostería debió ser la utilización del mortero de barro, el cual permitió no sólo apilar, sino acomodar o asentar con más facilidad, y a mayor altura, las piedras irregulares naturales. Este paso se dio, seguramente, cuando se comenzaron a integrar las primeras aldeas.

Existen varios vestigios de poblados prehistóricos construidos con piedras asentadas con barro desde las Islas Aran, en Irlanda, hasta Catal Hüyük, en Anatolia; también, el mismo sistema constructivo, fue empleado en otro lugar distante y unos 10,000 años después, por los incas en Ollantaytambo (Fig. 1), cerca del Cusco, donde quedan construcciones importantes, con muros de piedra natural asentada con mortero de barro y techos de rollizos de madera cubiertos con una gruesa capa de paja.

La unidad de mampostería fabricada por el hombre a partir de una masa de barro secada al sol, para sustituir a la piedra natural, debió ocurrir en lugares donde esta última no podía encontrarse. El vestigio más antiguo se encontró realizando excavaciones arqueológicas en Jericó, en el Medio Oriente. La unidad de barro tiene la forma de un gran pan, fabricada a mano y secada al sol; su peso es de unos 15 kg, y en ella aún se notan las huellas del hombre que la elaboró. Las unidades de barro formadas a mano se han encontrado en formas diversas y no siempre muy lógicas. La forma cónica es de interés, pues se repite y está presente en lugares distantes, sin conexión directa y en tiempos de desarrollo semejantes; estas unidades se encuentran en muros construidos en Mesopotamia, con una antigüedad de 7,000 años, y en la zona de la costa norte del Perú, en Huaca Prieta, con una antigüedad de 5,000 años.

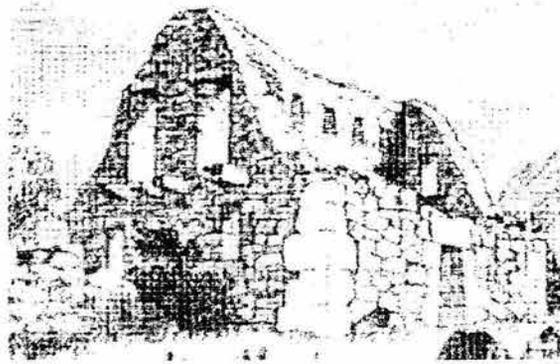


Figura 1. Ollantaytambo. Cusco. Perú (siglo XIV). Los muros son de piedra y han sido asentados con barro y recubiertos luego con enlucido de barro

### 1.1.2 INICIO DE LA HISTORIA: SUMERIA

En el cuarto milenio a.C. los sumerios, considerados como iniciadores de la civilización y de la ingeniería, inventaron la ciudad, la irrigación, la escritura, los números, la rueda y el molde. Este último constituido por un marco de madera elemental y rústico aún se emplea en algunos países. El molde es un avance sustantivo en la construcción de mampostería y en otras actividades, pues posibilita la producción rápida de unidades prácticamente iguales.

Aquella masa de barro mezclada con paja a la cual se daba la forma de paralelepípedo recto colocándola a presión dentro de un molde de madera, para luego dejarla secar al sol, hizo posible la libertad de construcción y la arquitectura monumental. El adobe puso en manos del hombre un medio de expresarse con libertad, escogiendo la manera de colocar y juntar adobes en donde la construcción podría hacerse en una escala monumental. Como tal, la obra ya no es una creación individual, sino esencialmente, el producto colectivo de muchas manos.

La arquitectura del adobe produjo pronto, en forma incidental, una contribución a las matemáticas aplicadas. Una ruma de adobes ilustra, admirablemente, el volumen del paralelepípedo.

El primer templo de forma sumeria fue edificado en la ciudad de Uruk (2 900 a.C.). En las excavaciones arqueológicas practicadas allí aparecen los cimientos de construcciones verdaderamente monumentales, una colina artificial y el prototipo del zigurat o torre escalonada, el cual era indispensable en un templo sumerio. Este primer zigurat está enteramente construido con adobes unidos con capas de betún.

El adobe fue llevado al horno a principios del tercer milenio antes de Cristo, para hacer ladrillos cerámicos. Para la construcción de la mampostería, el ladrillo era asentado con mortero de betún o alquitrán, (sustancia abundante en el suelo del Medio Oriente) al cual se añadía arena. Esta mampostería se convirtió entonces en el material fundamental de las construcciones más importantes y posibilitó alturas crecientes de los zigurates. El de la ciudad de Ur (2125 a.C.), con una base de 62 m por 43 m y una altura de 21 m, tenían un núcleo de adobe y un forro de mampostería de 2,4 m de espesor, hecho de ladrillos cerámicos asentados con mortero de betún, en el que se incorporó tejidos de caña. El aspecto de estos zigurates debió ser espectacular. El Génesis relata la historia de uno de ellos, conocido como la Torre de Babel.



Figura 2. Babilonia (primer milenio antes de Cristo). Muro de unidades de arcilla decorativas: esmaltadas y vitrificadas

En Babilonia los ladrillos cerámicos tenían inscripciones en bajo relieve que relataban la construcción de la obra y nombraban a sus autores; en las obras más suntuosas estos ladrillos eran esmaltados, formando en alto relieve y en colores, el león, el toro y el dragón, que actuaban de guardianes y protectores (Fig. 1.2). En construcciones elevadas, donde ocurrían grandes esfuerzos, el mortero era reforzado con fibras de caña, lo que procuraba a la mampostería una considerable resistencia a la tensión.

### 1.1.3 MESOAMÉRICA

Las culturas mesoamericanas lograron desarrollos sorprendentes en la construcción, cuyos vestigios son admirados y estudiados en la actualidad por propios y extraños.

Con las primeras culturas sedentarias, debido al desarrollo de la agricultura, hubo un mayor progreso cuando varias aldeas empezaron a reconocer a otra como núcleo integrador de una población mayor, la cual se fue transformando en un centro ceremonial; y allí se fueron concentrando los excedentes económicos, el control y la administración de ellos, el almacenamiento y el intercambio de productos. En los centros ceremoniales se construyen plataformas, basamentos para templos, altares, cuartos y otras estructuras menores que indican el nacimiento y desarrollo de la arquitectura; empleándose la piedra, el lodo, el estuco y otros materiales para la construcción; surgieron los mazos y cuñas para la extracción de la piedra, los cinceles para el corte y labrado de la misma, los pulidores de pisos y paredes, las plomadas y ciertos módulos de medidas; a la vez que en algunos lugares se construyeron tumbas para los personajes importantes, se terracearon las laderas de los cerros para evitar la erosión y para los cultivos, o se abrieron sencillos canales para irrigar las tierras de labranza. Las chozas, asentadas sobre bajas plataformas, sirvieron de inspiración para los basamentos de los templos, que suelen tener una planta rectangular o circular. Con la arquitectura se desarrolló la escultura en piedra (altares monolíticos, cabezas colosales, lápidas, delicados ornamentos), a la vez que comenzó el desarrollo de la escritura jeroglífica, la numeración y el calendario, impulsados por una naciente casta sacerdotal que gobernaba ayudada por una burocracia cada vez más compleja. En ese momento prosperó la arquitectura civil, religiosa y funeraria, lo mismo que la escultura y la pintura mural.

Después del auge de las sociedades teocráticas se entró a una etapa militarista, en la que grupos de individuos ajenos a la producción de alimentos se impusieron a otros grupos por medio de la fuerza de las armas; y con ellos fueron surgiendo también la conquista de lugares, los tributos obligatorios en productos y esfuerzo humano, la existencia de un ejército o policía, los centros fortificados, la fabricación de armamentos y los Estados Militaristas.

En esta etapa los caudillos militares relegaron a segundo plano al sacerdocio; se construyeron ciudades-fortalezas con murallas defensivas y fosas, especialmente en cerros y lugares elevados como Teotenango, Guiengola y Mayapán; algunas ciudades se orientaron hacia un mayor equilibrio urbano y a su transformación en metrópolis imperialistas, donde se controlaba y administraba un gran territorio, como Tzintzuntzan, Texcoco,

Tenochtitlan y Zaachila. El gobierno militar impulsó las obras hidráulicas en gran escala: canales, diques y acueductos que fueron construidos a base de mampuestos, por miles de personas bajo la dirección de especialistas en ingeniería, como fue el caso de Nezahualcoyotl de Texcoco; distribuyó el agua potable y mando construir fuentes públicas; fomentó la creación de jardines botánicos para el estudio de plantas y de parques zoológicos para el mejor conocimiento de los animales; embelleció las ciudades con monumentos y edificios, gracias a la mano de obra colectiva.

Las creencias religiosas y la organización política y social les llevaron a concebir una arquitectura monumental basada principalmente en las construcciones de mampostería con piezas naturales y artificiales. Progresivamente dominaron nuevas técnicas constructivas apoyadas en el desarrollo de materiales cada vez más durables y resistentes.

En general, las culturas mesoamericanas crearon procesos constructivos muy sofisticados, como es la actividad puzolánica de diferentes materiales como el nejayote, residuo del proceso de nixtamalización del maíz, las cenizas volcánicas y las arcillas calcinadas y finamente molidas. Con ello pudieron producir materiales cementantes de mejor calidad para realizar obras cada vez más sofisticadas. Algunas culturas como los mayas y los totonacas dominaron la tecnología del concreto de forma similar e independiente al hormigón de los romanos. El concreto lo utilizaron para construir losas de piso y de techo, muros de contención, muelles, pilas de puente, soportes y bóvedas. Es decir, desarrollaron formas estructurales variadas que aplicaron según sus necesidades y aspiraciones; se mencionan enseguida algunos casos específicos.

a) Muros de contención. Centros ceremoniales como los de Teotenango y Calixtlahuaca, en el Estado de México, se construyeron sobre terrazas artificiales en lo alto de cerros que requirieron importantes obras de contención. Para ello emplearon lajas de piedra de forma alargada e irregular para que una vez acomodadas interactuaran por fricción con el peso del terraplén, para así lograr la estabilidad del conjunto. De esta manera, el paramento de los muros podía ser vertical, inclinado o escalonado según los diseños arquitectónicos.

b) Grandes pirámides. La Pirámide del Sol en Teotihuacan fue construida hacia el año 500 a.C., y tiene un núcleo masivo de adobes que soporta el revestimiento de piedra. Para levantar el millón de metros cúbicos de material de que está hecha la pirámide, se estima que se necesitó la fuerza de 20 000 hombres trabajando ininterrumpidamente durante diez años. Otro ejemplo sobresaliente es la Pirámide Mayor de Cholula, la cual se realizó en varias etapas sobrepuestas; para acondicionar los soportes estructurales de las diferentes etapas constructivas se utilizaron diversos materiales como bloques de tepetate, sillares y adobes. La pirámide tiene mayor tamaño que la de Keops en Egipto, y es capaz de soportar en la cima el peso del edificio colonial que alberga al Santuario de Nuestra Señora de los Remedios, construcción de gran volumen y peso que consiste del templo principal y varios edificios anexos

c) Edificios cubiertos. El templo de Quetzal-Mariposa en Teotihuacan es un edificio de planta rectangular que cuenta con un patio interior. La estructuración es de pórticos con pilares que destacan por sus dimensiones, tallado y aparejo. Se han restaurado tres habitaciones con claro de 8 m, y un techo formado por un terrado soportado por un doble entramado de madera rolliza. Se puede agregar que durante el periodo clásico en Teotihuacan se depuró la técnica de construcción de los soportes prismáticos (columnas), para lo cual se sobreponían varios sillares tallados en forma especial con una espiga en la parte superior y un hueco en la inferior; así se formaba la columna con estos elementos machihembrados. Estas técnicas fueron utilizadas y perfeccionadas posteriormente por los toltecas y los mexicas.

Por otro lado, en el Tajín han sido estudiados varios edificios que originalmente estuvieron cubiertos con grandes losas de concreto ligero con espesor entre 0.6 a 1.0 m. Los agregados de piedra pómez fueron seleccionados especialmente por su bajo peso y transportados desde distancias considerables. Estas losas pudieron resistir su propio peso y las cargas adicionales de uso trabajando como placas sin refuerzo adicional, es decir, el esfuerzo de tensión provocado por la flexión es resistido únicamente por el concreto.

Muchos otros tipos estructurales se pueden mencionar, por ejemplo en Tenayuca, fundada hacia 1 200 d.C. por los chichimecas, son notables las grandes alfardas hechas con piedra volcánica con juntas de mortero de cal y arena con funciones estructurales y estéticas. Los texcocanos, antiguos chichimecas, heredaron las habilidades constructivas de éstos, y lograron fama de excelentes constructores; colaboraron de forma notable en

la construcción de Tenochtitlan. Otro caso interesante se tiene en Zempoala donde lograron grandiosas construcciones con boleos unidos con mortero agregado con materiales puzolánicos. En Malinalco, algunos de los edificios o parte de ellos se labraron directamente en la roca como esculturas monolíticas.

Sin embargo, no se puede dejar este subtítulo sin hacer mención especial y aparte de la cultura maya.

La cultura maya se desarrolló en una vasta zona cuya extensión territorial se estima en 400 mil km<sup>2</sup>. En términos de las fronteras actuales, dicho territorio comprende el sureste mexicano incluyendo gran parte de los estados de Chiapas y Tabasco, así como toda la Península de Yucatán. También comprende gran parte de Centroamérica incluyendo Guatemala y Belice, así como parte de Honduras y El Salvador, identificándose recientemente restos importantes de esta cultura en Costa Rica. Este amplio territorio donde prosperó la civilización maya está comprendido dentro del área cultural conocida como el Sureste Mesoamericano.

Entre los rasgos que caracterizan la civilización maya, se incluye, en primer lugar, la arquitectura monumental en los centros ceremoniales con el uso de bóvedas a base de piedras saledizas y de cresterías que aumentan de manera impresionante la altura de los edificios.

La importancia de los materiales constructivos, como el mortero y el concreto, en el desarrollo de la arquitectura maya se enfatiza señalando a la bóveda como uno de los tres rasgos distintivos de la tradición maya clásica. Además, en el aspecto estructural, la arquitectura maya se basa en cuatro elementos: las piedras, los materiales cementantes (estucos, morteros y concretos), los soportes y la bóveda.

En la tabla 1.1 se presenta un resumen de los principales estilos arquitectónicos que diversos autores han identificado, relacionando las características principales de cada estilo con los aspectos constructivos y estructurales.

Tomando en cuenta el esquema general representado en la tabla 1.1 se pueden señalar algunos aspectos estructurales particulares referidos a sitios arqueológicos conocidos.

| Tabla 1.1 Resumen de los diferentes estilos arquitectónicos |                                                                               |                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|-------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Estilo                                                      | Región                                                                        | Ejemplo                                               | Características                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| Petén                                                       | Norte de Guatemala, Belice.<br>Extremo meridional de Campeche y Quintana Roo. | Templo I del Gran Jaguar en Tikal, Guatemala          | Cuerpos escalonados, divididos por molduras y entrecalles. Esquinas remetidas y con una empinada escalinata sin alfardas. Muros muy anchos para soportar su propio peso y el de altas cresterías. Exteriores de los muros bien trabajados con sillares uniformes. Interiores de cascajo y tierra, en ocasiones de concreto ciclópeo.                                                         |
| Montagua                                                    | Suroeste de Honduras                                                          | Templo I 22 en Copán, Honduras                        | Cuerpos escalonados, divididos por molduras y entrecalles. Esquinas remetidas y con una empinada escalinata sin alfardas. Muros muy anchos para soportar su propio peso y el de altas cresterías. Exteriores de los muros bien trabajados con sillares uniformes. Interiores de cascajo y tierra, en ocasiones de concreto ciclópeo.                                                         |
| Usumacinta                                                  | Tierras altas de Chiapas y Guatemala.                                         | Estructura 22 (Gran Acrópolis) en Yaxchilán, Chiapas. | Secciones de salientes y entrantes en los muros, cuartos amplios con varios accesos gracias al uso de grandes bóvedas. Uso de grandes bloques de piedra caliza para formar dinteles y jambas. Cresterías de muro colado que se adelgaza hacia arriba y se apoya en la parte central del techo. Uso de morteros y concretos para dar estabilidad estructural, refinamiento en los materiales. |
| Río Bec                                                     | Área septentrional de la península de Yucatán.                                | Estructura I de Xpuhil, Quintana Roo.                 | Conserva algunos y principales elementos del estilo Petén (altos edificios crestería). La singularidad son torres macizas, escalinatas muy inclinadas casi verticales (haciendo imposible subir por ellas). Decoraciones zoomorfas en fachadas. Uso de concreto ciclópeo para lograr la estabilidad.                                                                                         |
| Chenes (Pozo)                                               | Área septentrional de la península de Yucatán.                                | Estructura A-1 Dzibinocac, Campeche.                  | Las características del Río Bec, pero además piedras salientes colocadas en la moldura media y en la crestería para apoyar figuras humanas esculpidas. Hileras de cuartos con escalinatas interiores para comunicar con niveles superiores.                                                                                                                                                  |
| Puuc (Lomas)                                                | Área septentrional de la península de Yucatán.                                | Cuadrángulo de las Monjas en Uxmal, Yucatán.          | Construcciones más ligeras y muros construidos con sillares de corte y ajuste cuidadoso. Marcado interés por dar mayor amplitud a los espacios interiores y un sentido de horizontalidad. Técnica del mosaico de piedra. Elemento decorativo: Mascarón del dios Chahac con gran nariz. Máximo desarrollo del arco de mampostería como arco triunfal.                                         |
| Norte de Yucatán                                            | Noreste de la Península de Yucatán                                            | El Castillo en Chichen Itzá, Yucatán.                 | Relación con el estilo Puuc, con influencia del centro de México y que corresponde ya a la época posclásica. Síntesis de la tradición constructiva maya combinada y enriquecida con otras de Mesoamérica, el resultado es un estilo distintivo e innovador cuyo principal rasgo son los edificios con columnas. Poco uso del concreto.                                                       |

Los edificios de Palenque tienen claros elementos del estilo del Petén, así como también del estilo Usumacinta. Sin embargo, presenta también aspectos singulares como la presencia de dos salas abovedadas paralelas que resultan más grandes y más abiertas que sus contemporáneas. En lugar de ser verticales, las fachadas superiores se inclinan hacia adentro (tipo buhardilla). Esto permitió reducir la carga soportada por las paredes exteriores y como resultado ser menos voluminosas. Esto a su vez fue factor para poder abrir múltiples entradas. Otra característica es la presencia de un solo muro interior transversal que sostiene la mayor parte del techo que incluye una crestería aligerada por ser de celosía abierta y no sólida, lo cual alivia considerablemente la carga

sobre el muro. Las bóvedas en Palenque son de una variedad de formas, entre ellas una con el intradós doblemente redondeado que lo acerca, en geometría y en forma de transmitir las cargas, al arco.

Otro caso digno de mención que ilustra los adelantos en ingeniería estructural de los mayas es Comalcalco. Ante la carencia de canteras próximas, se desarrolló toda una tecnología de la mampostería de tabique de arcilla cocida, muy similar a la usada en la actualidad. De esta manera se construyeron grandes edificios que sugieren estar en presencia de una construcción moderna, con sus hiladas bien logradas con juntas de mortero uniformes y el cuatrapeo necesario para lograr mayor estabilidad. Varios de los tabiques y ladrillos de arcilla están decorados en su cara oculta, representando rostros, manos, trazos geométricos, figuras zoomorfas y antropomorfas, personajes ricamente ataviados, así como otros muchos motivos, lo cual sugiere que existía una escuela de arte.

Además de los estucos y morteros, también utilizaron un material con las mismas características del hormigón o concreto moderno, ya sea como un concreto ciclópeo, consistente de piedras de diferente tamaño rodeadas del mortero de arena y cemento, o bien con agregados graduados, principalmente arenas y gravas calizas.

El cemento aparentemente se hacía a base de cal con adiciones variables de arcilla para lograr actividad puzolánica que permitía lograr materiales durables y resistentes. La utilización de este concreto, permitió diversificar los sistemas estructurales para su uso en las construcciones.

Un ejemplo notable es en la construcción de muros en los edificios del estilo Puuc. Se supone que procedían, en primer lugar, a construir un basamento rígido; posteriormente, se construían las caras exteriores de piedra caliza finamente cortada y ensamblada, levantándolas hasta una altura compatible con el procedimiento (se supone que no más de un metro). Entonces, se rellenaba el hueco con el concreto que al endurecer formaba un núcleo resistente, y al ir entrelazándose con otros muros transversales, se conseguía una estructura de considerable resistencia y rigidez.

Este breve resumen acerca de la ingeniería maya, tiene por objeto resaltar el hecho de que la gran variedad y cantidad de construcciones, fue posible gracias a la utilización de tres materiales y un elemento fundamental del cual los obtenían. Los materiales utilizados son: estucos, morteros y concretos, y el material fundamental es el cemento maya.

#### *1.1.4 EGIPTO Y GRECIA*

La materia prima para la fabricación de piezas de mampostería siempre ha estado determinada por las formaciones y condiciones geológicas del lugar donde va a ser utilizada. El ladrillo cerámico se remonta a Sumeria por que allí había abundantes depósitos de arcilla, pero no de rocas.

En Egipto, por la misma época, se pudo escoger y se prefirió para las grandes obras la roca traída de las montañas a lo largo del Nilo. Calizas, areniscas, granitos, basaltos y alabastros fueron explotados en las canteras estatales; allí, los bloques eran desprendidos perforando agujeros en los que luego introducían cuñas metálicas. Una vez separados, estos bloques eran desbastados con ayuda de bolas y martillos de diorita para formar grandes monolitos que pesaban cientos de toneladas, como los usados en los núcleos de las pirámides (Fig. 3) o incluso tallados directamente en la forma de columnas, vigas y losas, como en los templos de Luxor. Estas "unidades de mampostería" ciclópea eran asentadas con morteros de yeso y cal.



Figura 3 Monolitos de cuatro toneladas en el núcleo de las grandes pirámides en la vecindad de El Cairo, Egipto

Las obras comunes se construyeron de cañas o adobes; el ladrillo cerámico rara vez se usó.

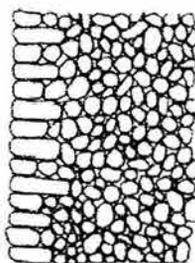
Grecia adoptó una arquitectura de lujo y de exteriores y, si bien carecía de las ricas canteras egipcias, poseía los mejores mármoles para llevarla a cabo. Ellos sirvieron para revestir su gruesa mampostería de piedra caliza asentada con morteros de cal.

En Egipto y en Grecia la construcción importante es de piedra, rectilínea; el arco era inexistente. Consecuentemente la arquitectura estaba limitada en sus posibilidades espaciales interiores por la escasa resistencia del material a la tensión. La piedra exigía claros pequeños para las vigas, y las losas y los espacios entre columnas tenían que ser reducidos.

### 1.1.5 ROMA

En algunas obras, los romanos utilizaron piedra importada de las mejores canteras egipcias y mármol griego; en la mayoría de los casos emplearon la piedra de sus depósitos de caliza, travertino y tufa volcánica, y la tecnología sumeria de la mampostería de ladrillos de arcilla. A esta tecnología aportaron una nueva racionalidad constructiva y la invención del mortero de cemento y del concreto.

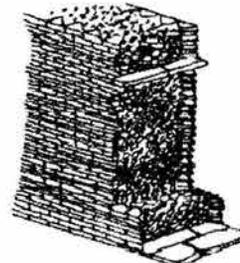
La nueva racionalidad consistió principalmente en el desarrollo de diferentes sistemas para la construcción de muros (Fig. 4), las cuales eran más económicas y fáciles de levantar, particularmente empleando el nuevo mortero de cal al cual incorporaron de acuerdo con el relato de Vitruvio (25 a.C.): "una clase de polvo que por causas naturales produce resultados asombrosos. Se le encuentra en la vecindad de Baia y Putuoli y en los alrededores del monte Vesubio. Esta sustancia, cuando es mezclada con cal o piedras, no solamente provee resistencias a construcciones, sino que cuando se construye pilares en el mar, endurece bajo el agua".



a) Opus incertum



b) Opus reticulatum



c) Opus testaceum

Figura 4. Tipos de muros romanos

El compuesto de las tres sustancias (aglomerante hidráulico, agregado grueso y agua) descrito por Vitruvio es lo que hoy llamamos concreto. El aglomerante hidráulico, pariente cercano de los cementos puzolánicos modernos, se elabora mezclando dos partes de la "arena" volcánica (muy fina, de color chocolate), con una parte de cal (material conocido por las más antiguas civilizaciones). Los óxidos de sílice finamente pulverizados, contenidos naturalmente en la puzolana, reaccionaban químicamente con el hidróxido de calcio (la cal) en presencia del agua, para formar los componentes básicos de un aglomerante hidráulico.

Si bien los romanos no sabían por qué la "arena" de Putuoli daba un resultado distinto y superior a la convencional, la aplicaron sabia y liberalmente en sus grandes construcciones portuarias, urbanas, viales e hidráulicas, tanto para asentar piedras o ladrillos formando mampostería como para elaborar concreto añadiendo piedras, con el que construyeron muros, bases de pavimentos y cimentaciones. El molde de ese concreto en los muros, arcos y bóvedas estaba constituido por mampostería permanente de ladrillos de cerámica asentados con mortero, mientras que para formar las cúpulas tuvieron que desarrollar moldes provisionales (encofrados o cimbras) de madera.

Las invenciones e innovaciones romanas significaron una verdadera revolución tecnológica de la construcción y tuvieron los siguientes efectos sustanciales:

- a) Posibilitar la construcción de cimentaciones más competentes.
- b) Simplificar la construcción de los muros. El muro romano de las construcciones públicas era tradicionalmente de mampostería de piedra natural o de ladrillos cerámicos asentados con mortero de cal, y en los muros más gruesos (Fig. 1.8), el espacio entre dos muros delgados de mampostería era rellenado con pedacera de ladrillos o piedras acomodadas con mortero de arena y cal. En ambos casos el proceso de endurecimiento de estos morteros se producía únicamente por medio de la carbonatación de la cal y la ganancia de resistencia era muy lenta. La invención del mortero de cemento permitió a los romanos un sustantivo incremento en la rapidez de construcción, contribuyendo a que en breve tiempo se tuviera una infraestructura adecuada al proceso de expansión del imperio. Esto no se hubiera conseguido con morteros que sólo tenían cal.
- c) Libertad para el desarrollo de la tecnología del arco, bóveda y la cúpula, que si bien eran formas estructurales conocidas desde los sumerios, 3 500 años antes, estaban aprisionadas por las ajustadas restricciones impuestas al constructor por la piedra y el ladrillo.
- d) Posibilitar aberturas totales o parciales en los muros usando arcos o bóvedas, proveyendo así una herramienta de gran potencial en el diseño de interiores.

Muchas grandes obras romanas son frutos de la revolución del mortero y del concreto. Una de las más notables es el Panteón (Fig. 5), porque reúne de manera coherente la totalidad de la creatividad arquitectónica y estructural y la refinada aplicación de la nueva tecnología constructiva.

La construcción del Panteón la inició 27 años antes de Cristo, el cónsul Agripa en honor a todos los dioses. Se trataba, en su versión primera, de un edificio clásico de planta rectangular soportado en columnas y construido en piedra. Su forma actual fue decidida por el emperador Adriano, quien modificó sustancialmente el edificio aprovechando las nuevas tecnologías del concreto y de la mampostería, terminando aproximadamente en el año 118 después de Cristo.

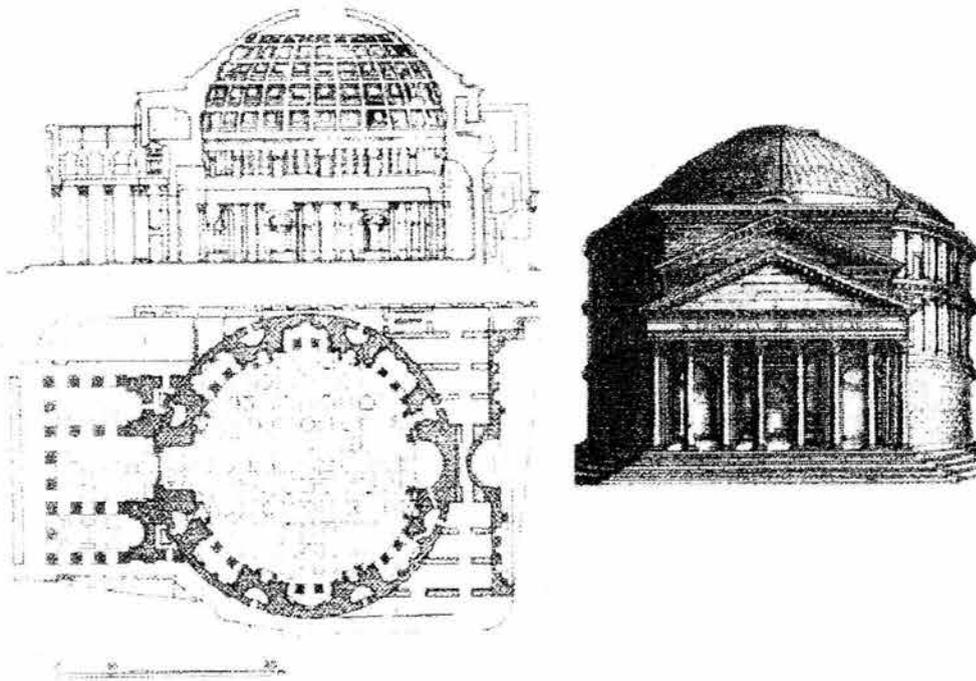


Figura 5. El Panteón. sección y planta

El Panteón es un edificio circular de mampostería y concreto con acabado de ladrillo en las paredes exteriores y mármoles en el interior, cubierto con un gran domo de concreto.

No se conoce con precisión el procedimiento utilizado en su construcción, pero es notoria su dependencia del mortero y concreto romanos, sin los cuales no hubiera existido. Su éxito y durabilidad se deben sin lugar a dudas, a una notable cimentación de un anillo de concreto sólido de 7.3 m de ancho por 4.5 m de alto, bajo todo el muro perimetral; a la excelente calidad del concreto y la construcción, y a la cuidadosa selección de agregados. La cimentación tiene agregado pesado basáltico; los muros son de la forma *opus incertum*, que se recomendaba por ser la más resistente, con agregado de travertino en la parte baja y de pedacería de ladrillo en la parte alta. Son aspectos notables de su construcción los rigidizadores de los muros y las bóvedas y arcos que forman los siete grandes nichos y la puerta, ubicados todos como parte integral de los muros; el acabado reticular del domo, y el gran lucernario (u ojo) que provee el total de la iluminación interna.

#### 1.1.6 DEL SIGLO V AL SIGLO XIX

Después de Roma, el avance de la tecnología de la mampostería en Europa se detiene por varios siglos ya que se dejan de fabricar ladrillos; los morteros de cemento y el concreto, desaparecen, perdiéndose su tecnología, siendo rescatada 13 siglos después por Smeaton, el fundador de la ingeniería civil moderna, quien en 1756 reconoció la necesidad de usar en Inglaterra una mezcla de cal y puzolana italiana para la reconstrucción de partes de estructuras sumergidas o expuestas a la acción del mar.

En el siglo XII, los arcos sumerio y romano de medio punto ceden el paso al arco apuntado gótico y a la bóveda de crucería que posibilitan cubrir grandes claros y transforman la estructuración tradicional de las obras de mampostería. Se sustituyen, así, gruesos muros laterales por muros esbeltos, y la pequeña ventana románica por grandes ventanas. Se alcanza una arquitectura de equilibrio, en donde el empleo de mampostería de arcilla o piedra con juntas gruesas de morteros de cal proveía la posibilidad de modificar su geometría inicial para acomodarse a las líneas resultantes de las fuerzas generadas por las cargas verticales y los empujes laterales, manteniendo al conjunto en una estabilidad de compresión en todas sus secciones y elementos.

La mampostería fue importante en Europa occidental para controlar desastrosos incendios que destruían a las ciudades medievales. Por ejemplo, después del gran incendio de 1666, Londres deja de ser una ciudad de

madera para convertirse en una de mampostería. En 1620, el rey de Inglaterra Jacobo I, había proclamado el espesor mínimo de los muros en sótanos y primeros niveles en dos y medio espesores de ladrillo, ella fue seguida en 1625 por otra ordenanza que especificaba las dimensiones del ladrillo estándar.

La mampostería era aplicada también en otras partes del mundo. La gran muralla china de 9 m de altura tiene una gran parte de su longitud construida con ladrillos de arcilla unidos con mortero de cal. Los árabes emplearon la mampostería en sus mezquitas y minaretes, desarrollando una construcción masiva en sus espesores, delicadísima en sus cierres y detallado y conteniendo muchas veces un increíble alarde geométrico (Fig. 6).



Figura 6. Minarete (siglo IX) de 60 m de altura en la gran mezquita de Samarra, actualmente Iraq

Con la revolución industrial (siglo XVIII), se extendió la aplicación de la mampostería de ladrillos de arcilla en Inglaterra. Desde un inicio las grandes plantas para fabricar ladrillos se ubicaron en la vecindad de las minas de carbón, combustible abundante y barato.

Un paso importante en el mejoramiento de la producción de las piezas lo constituyó el cambio de combustible, usualmente a gas y el salto más importante fue el rediseño de los hornos, emprendido en países como Dinamarca, donde era muy grande la necesidad de economizar combustible.

El perfeccionamiento del horno fue acompañado de maquinaria auxiliar: molinos, trituradoras y mezcladoras para las materias primas; extrusoras y prensas mecánicas para el formado de unidades (Fig. 7). El cambio más significativo durante la revolución industrial fue la gradual sustitución de la vía empírica por métodos científicos. Se realizó un análisis racional de las materias primas, una medición exacta de temperaturas del horno y una formulación de las normas para impedir el agrietamiento en ladrillos.

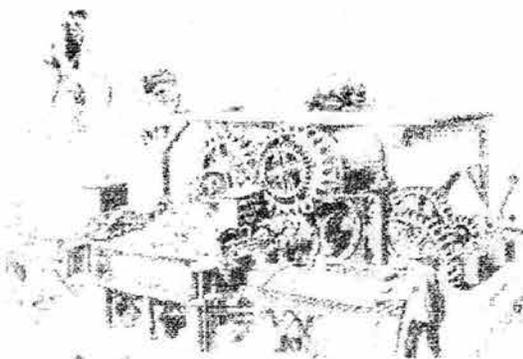


Figura 7. Máquina de Clayton (1863) para el proceso de extrusión. Incluía desde la molienda de la arcilla hasta el corte de las unidades

La mampostería de ladrillo llega al nuevo mundo traída por los europeos, aunque como se mencionó ya había sido utilizada esta tecnología por los mayas de Comalcalco. En las colonias de la costa Atlántica norteamericana se realizaron grandes producciones artesanales de ladrillos de arcilla empleando prácticamente los mismos moldes que miles de años atrás inventaron los sumerios. Los ladrillos fueron utilizados para construir con los mejores obreros de la colonia (los holandeses), edificios de mampostería dando formalidad inglesa a las partes antiguas de muchas ciudades norteamericanas y particularmente a las del estado de Virginia.

En Perú, el ladrillo no se fabricó localmente: se trajo como lastre en los barcos que en su viaje de vuelta trasladarían el botín a España. Por ello, la construcción es principalmente de adobe y caña hasta bien entrado el siglo XX. La gran Penitenciaría de Lima fue la excepción, ya que para su construcción en 1856 se instaló una fábrica donde se moldearon casi siete millones de ladrillos de cerámica. La mampostería se elaboró con mortero de cal.

Entre finales del siglo XVIII y el siglo XIX ocurrieron en Europa los siguientes avances:

En 1796, se patenta el "cemento romano" que era, estrictamente hablando, una cal hidráulica. En 1824 se inventa y patenta el cemento portland. Entre 1820 y 1840, se inventa la máquina para extruir ladrillos de arcilla, se usa por primera vez mampostería reforzada, y se inventa el horno de producción continua. Entre 1850 y 1870 se inventa y patenta el bloque de concreto, el ladrillo silico-calcáreo y el concreto armado.

### 1.1.7 MAMPOSTERÍA REFORZADA

Brunel, el insigne ingeniero británico, propuso en 1813 el refuerzo de una chimenea en construcción con mampostería reforzada con barras de hierro forjado. Sin embargo, fue con la construcción del túnel bajo el Támesis, en 1825, que aplicó por primera vez dicho material. Con él construyó dos accesos verticales al túnel que tenían 15 m de diámetro y 20 m de profundidad, con paredes de ladrillo de arcilla de 75 cm de espesor reforzadas verticalmente con pernos de hierro forjado de 25 mm de diámetro y zunchos circunferenciales de platabanda (moldura metálica plana y lisa comúnmente llamada solera) de 200 mm de ancho y 12 mm de espesor, que se iban colocando conforme iba avanzando el proceso de construcción. Los accesos fueron construidos sobre el suelo hasta una altura de 12 m y luego hundidos excavando la tierra de su interior a manera de caissons (pozo indio). Brunel y Pasley ensayaron posteriormente vigas de mampostería reforzada con pernos de hierro forjado con claros de 6 y 7 m cargándolas hasta la rotura, lo cual ocurrió por la falla en tensión del refuerzo. A pesar de intentarlo, los investigadores no pudieron llegar a métodos racionales de diseño.

El tema de la mampostería reforzada desaparece por 50 años, hasta que en 1889 el ingeniero francés Paul Cottancin patentó un método para reforzar y construir edificios de mampostería. En 1920 se construyeron varias obras de mampostería reforzada en la India, y se ensayaron un total de 682 especímenes entre vigas, losas, columnas y arcos. Este trabajo constituye la primera investigación organizada de mampostería reforzada, como el punto de inicio del desarrollo moderno de la mampostería estructural.

Japón un país también sometido a acciones sísmicas importantes construyó en las primeras décadas de este siglo muros de mampostería reforzada en edificios y en obras de contención, puentes, silos y chimeneas. En los Estados Unidos se inició en 1913 una investigación apoyada por los fabricantes de ladrillos de arcilla para el estudio experimental de la mampostería reforzada, sentando las bases para otras investigaciones similares en otras partes del mundo.

### 1.1.8 NOTAS FINALES

Entre los años 1889 - 1891 se construyó, en Chicago (Illinois, E.U.A.), el edificio Monadnock en el cual su diseñador empleó los criterios más modernos de la ingeniería alcanzados hasta ese momento que incluían la aplicación de fuerzas horizontales y la determinación, con criterios empíricos, del espesor de los muros de mampostería en función de la altura (Fig. 8). El edificio de muros de carga exteriores de mampostería simple consta de 16 pisos y de muros de 1.80 m de espesor en la base dando lugar a un área de ocupación de la planta por la estructura de 25% del área total. Este fue el último edificio alto de su clase en Chicago y es hoy un monumento histórico.

El reglamento de construcción de la Ciudad en Nueva York de 1924 indicaba que, un edificio de 12 pisos de altura de muros exteriores de carga de mampostería requería por cada metro cuadrado de área bruta, un tercio de metro cúbico de mampostería. Obviamente, un material estructural con tan elevado consumo de material y tan grande ocupación de área no era competitivo y estaba llamado a desaparecer. Era claro que el problema no estaba en el material en sí sino en la falta de conocimiento ingenieril del mismo, que imposibilitaba su análisis y dimensionamiento racionales. En los últimos 40 años, sobre la base de investigaciones analíticas y experimentales en diversas partes del mundo, incluyendo a México, el diseño y construcción de la mampostería se ha racionalizado y ha adquirido el apelativo redundante de mampostería estructural.



Figura 8. Edificio Monadnock, Chicago 1891

En 1954 se completó, en Zurich, el primer edificio de muros de carga de mampostería diseñada racionalmente. Su altura es de 20 pisos y los muros de mampostería simple tienen 320 mm de espesor, determinado prioritariamente por condiciones de aislamiento térmico. Por otra parte, la destrucción de edificaciones de mampostería simple por sismos en California, Colombia, China e Italia, y el buen comportamiento sísmico de la mampostería correctamente reforzada y construida en Nueva Zelanda, Chile, Perú y México han dado un fuerte impulso a la investigación, y a la determinación de configuraciones estructurales y a métodos de análisis, diseño y dimensionamiento racionales. En regiones sujetas a alto peligro sísmico, es usual la construcción de edificios de varios niveles con muros de carga de mampostería con diferentes modalidades de refuerzo, que son competitivos económicamente con otras formas y materiales estructurales.

Por su parte, en algunos países latinoamericanos y europeos, ubicados en zonas con alto y moderado peligro sísmico, se ha popularizado con mucho éxito el empleo de multifamiliares de altura media (hasta 5 ó 6 pisos) de muros de carga de 120 a 240 mm de espesor, de mampostería reforzada con elementos perimetrales de concreto reforzado (mampostería confinada) o de mampostería con refuerzo interior, diseñados y construidos con base a reglamentos propios que recogen las investigaciones y experiencias realizadas.

## 1.2 NOCIONES CONSTRUCTIVAS EN LA MAMPOSTERÍA

### 1.2.1 CANTERIA

Cada cantera produce material de distinto color, distinta estructura y distinto tamaño, y aun en la misma cantera encontramos diferencias apreciables. Por otra parte, cada clase de piedra tiene distinta resistencia a la compresión y a la fractura. Mientras las pizarras dan piezas largas, las piedras amorfas dan cortas, de modo que según la clase de piedra tendremos una proporción distinta entre la longitud y la altura de los sillares. Por lo tanto, en la distribución de las juntas no son solamente las condiciones estéticas las que nos dominan. La clase de piedra elegida determina el despiece.

Así como el escultor atribuye la mayor importancia al acabado de sus estatuas, el buen cantero emplea todos sus conocimientos en la labra de las superficies vistas de los sillares. Lo que impresiona a la vista no son entonces las piedras muertas; es un cuerpo lleno de una vida secreta y brillante.

También la desigualdad de colores de los sillares puede aprovecharse para dar vida a las fachadas. En las obras de mampostería conviene mezclar las piedras de distintos colores. En las de sillería se emplearán las más oscuras para los zócalos y plantas bajas, y las más claras para los pisos superiores.

#### 1.2.1.1 Labra de piedras

Las piedras se extraen hoy de las canteras, aproximadamente con los mismos procedimientos de hace dos mil años. Primeramente se limpia la superficie hasta alcanzar los bancos de piedra (fig. 9). Cuando la piedra se presenta en estratos, las distintas capas suelen tener propiedades distintas, principalmente la potencia (espesor) y el color; los canteros les dan nombres de acuerdo con estas propiedades y así se habla de la capa blanca, la amarilla, la delgada, etcétera. La capa de piedra superior se levanta con cuñas de hierro, y por medio de taladros y cuñas se separa del resto del estrato un bloque de las dimensiones deseadas (fig. 9a). Este bloque se pone de canto y se hende siguiendo la dirección de los lechos de cantera hasta dividirlo en placas de espesor previamente fijado (fig. 9b). El granito puede ser dividido en placas de hasta 10 cm de grueso. Las placas obtenidas en la forma indicada en la figura 9b se colocan planas y vuelven a hendirse para formar piezas de las dimensiones adecuadas para recercados de puertas y ventanas. Después la piedra es desbastada. Esta operación, se hace en las piedras duras, con un punzón que se golpea con un martillo de hierro, y en las piedras de dureza media, con el pico. En este trabajo hay que tener cuidado en dejar las dimensiones de las piezas al menos 2 cm mayores que las que deberán tener definitivamente, para que puedan ejecutarse los trabajos posteriores de labra.

Si el trabajo se ejecuta con maquinaria, los bloques se dividen con la sierra en placas del grueso fijado, en el sentido de los lechos de cantera, y después, con otra sierra, se dividen estas placas en piezas de las dimensiones que convengan.

Cuando hay que dar a las piedras una forma y una labra determinadas se llevan a un cobertizo abierto donde trabaja el cantero, y allí se labran en forma de placas, sillares o piezas molduras (fig. 9d). En los dos lados mayores de la cara superior se labran unas franjas y se dirige una visual por encima de ellas, para ver si están exactamente en el mismo plano. Se labran otras franjas en los lados menores y se mira con unas escuadras de hierro si cada par de caras concurrentes son perpendiculares (fig. 9e). Después se labran todas las aristas y finalmente el resto de la pieza (fig. 9f).

Las caras que después quedarán visibles se dejan en la forma indicada o se vuelven a labrar de una forma más exacta. Con el pico se suprimen las irregularidades más importantes. Después se continúa la labra con el martillo de cantero; según que los golpes se den todos en el mismo sentido o en sentidos distintos se obtienen efectos diversos, lo que puede aprovecharse para dar variedad de aspectos a la piedra. Con este martillo se aplanan la superficie hasta los bordes. Y si se quiere que la superficie quede todavía más lisa se usa la escoda. Con el

cincel se obtiene una estructura muy regular, pudiéndose labrar así toda la superficie o sólo una franja en los bordes. Con la martellina se trabajan solamente las piedras duras y homogéneas. Finalmente si la superficie tiene que quedar perfectamente lisa se esmerila o pulimenta con arenisca y agua. Cuando este trabajo se hace a máquina se emplea el carborundo.

Si lo que hay que labra es una cornisa, se coloca una plantilla en las cabezas ya labradas de la piedra y se dibuja el perfil con un lápiz o un punzón (fig. 9g). Después el picapedrero debe procurar ir aproximándose al perfil definitivo por medio de planos cada vez más pequeños (fig. 9h). Sólo al final se labran los detalles más finos.

Para adornos que no están dentro del perfil de la cornisa, deben dejarse salientes en la piedra, para labrarlos después.

Para las piezas de esquina, de ensamble, etc., se dibuja el perfil de la sección diagonal y se labra de la misma forma que antes (fig. 9i).

Finalmente, en la cara superior de cada piedra y coincidiendo con las indicaciones del plano que ha servido para los trabajos, se pone un signón que indica la hilada a que pertenece la piedra, y otro signo que indica el lugar que debe ocupar en esta hilada.

En la parte superior de la figura 1 se han indicado algunas marcas de cantero. Estas marcas, sencillas, formadas casi siempre por líneas rectas, se generalizaron durante la Edad media y servían para determinar el importe de los trabajos efectuados por los distintos operarios. Cada taller de cantería tenía un distintivo y cada uno de los operarios usaba una variante.

La figura 1.1k muestra el signo del constructor de catedrales de Zurcí, Felber.

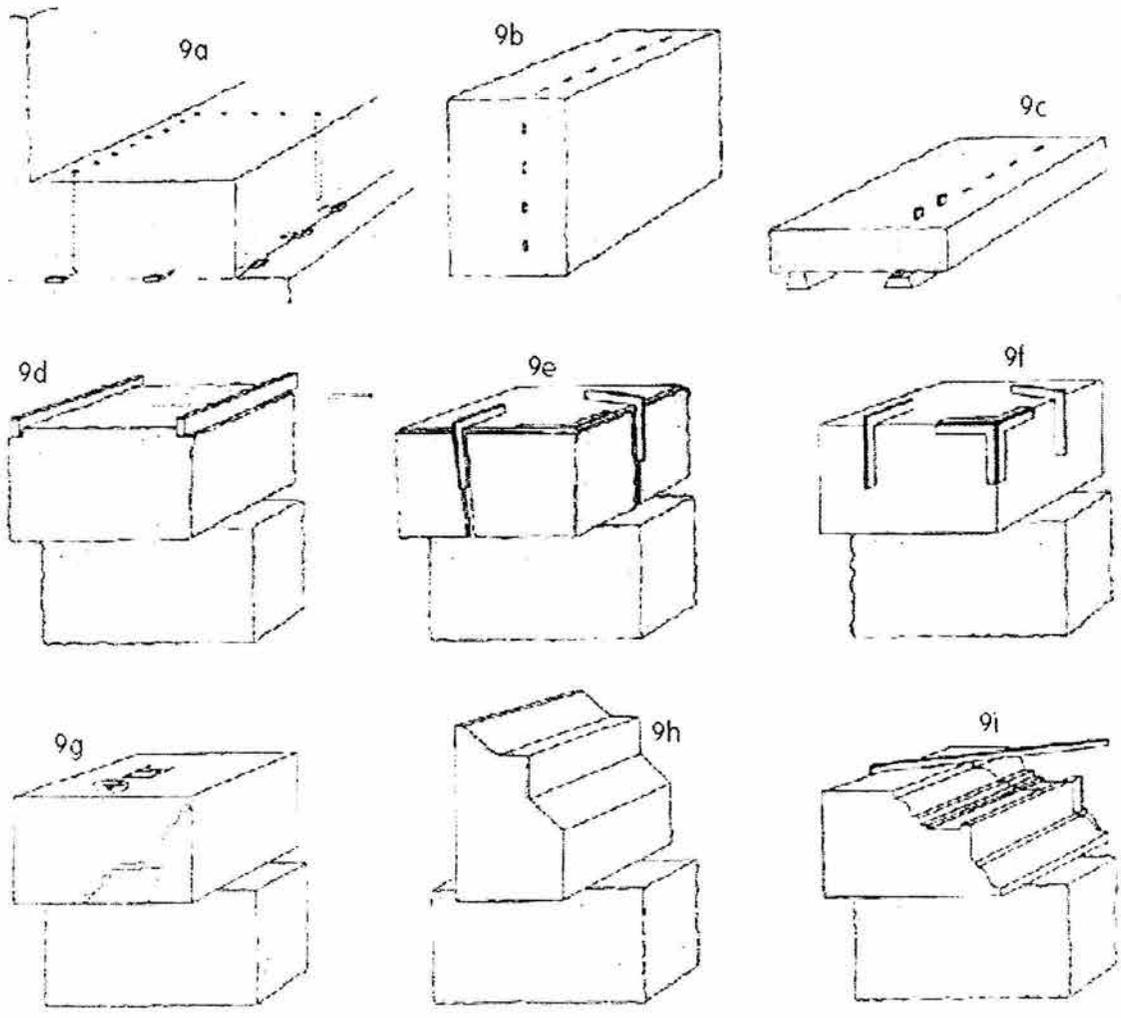
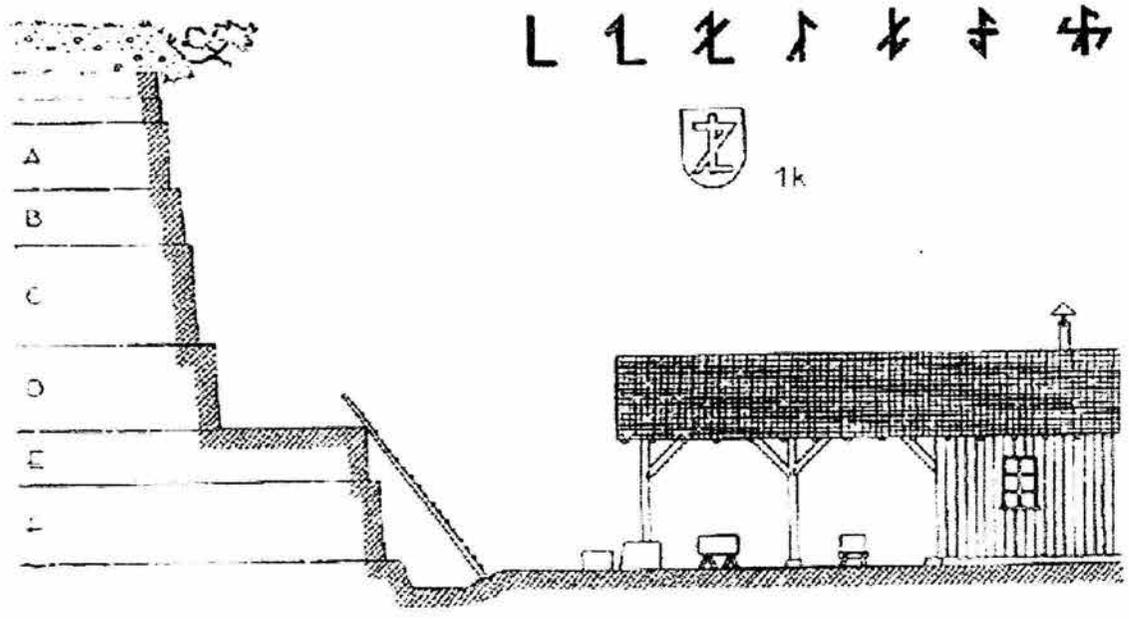


Figura 9. Labra de piedras

### 1.2.1.2 Muros de contención

El muro de contención, una de las construcciones arquitectónicas de menos apariencia, puede, sin embargo, despertar en nosotros una verdadera sensación artística cuando está dispuesto de manera adecuada.

Cuando un aldeano quiere levantar un muro al lado de un arroyo para impedir que la tierra vegetal de su prado o de su viña se deslice y se pierda, lo hace de la manera más barata, esto es, sin mortero. Pero este muro sin aglomerante, el llamado muro en seco, tiene una perfecta trabazón siempre que cada piedra quede bien enclavada en la estructura del muro. Las piedras que vienen de la cantera hacen fácil cumplir con esta condición, pues al menos tienen una cara plana, que sirve como superficie de asiento horizontal. Lo que les falta para completar un rectángulo se rellena con pedazos de piedra, hasta tener de nuevo una superficie horizontal donde asentar otra piedra (fig. 10.5). Si el muro debe construirse con mortero han de aplicarse también las mismas reglas de que todas las piedras deben asentarse sobre su base, de que deben rellenarse los huecos que quedan entre las piedras y, a ser posible, de que se pongan muchas piedras a tizón atravesando todo el muro (fig. 10.6). En la figura 10 se ha expuesto el procedimiento para construir muros de contención, que Alwin Seifert ha descrito así: “El albañil dispone sobre el muro un lecho horizontal. Se deja bien plana la cara de las piedras que debe quedar vista, y casi plana la cara que debe servir de asiento. Preparada así la piedra, se la coloca sobre la junta. Se rellenan los huecos con pedazos de piedra. Las pequeñas juntas y arista que sobresalen del plano de la próxima junta se suprimen en el mismo muro con el punzón. Con piedras pequeñas se prepara una nueva junta. Se rellenan los huecos con pedazos de piedra. Las pequeñas juntas y aristas que sobresalen del plano de la próxima junta se suprimen en el mismo muro con el punzón. Con piedras pequeñas se prepara una nueva junta plana y horizontal. La altura de las hiladas depende del tamaño de las piedras. Cuando hay algunas piedras muy grandes puede continuarse una hilada con dos hiladas más bajas que en conjunto tengan la misma altura. La habilidad del albañil se manifiesta haciendo las juntas muy delgadas, disponiendo las piedras de relleno de modo que las juntas queden bien horizontales y haciendo todas las hiladas aproximadamente de la misma altura.

Las piedras para los arcos de descarga y para las bóvedas se toman algo más pequeñas, pero deben escogerse de manera que sean bien uniformes y se unen formando un endentado con las hiladas horizontales.

En parte por motivos estáticos y en parte por motivos ópticos, los muros de contención deben tener un talud de 5:1 a 7:1 y sobre ellos se construye el muro que sirve de antepecho con un talud de 10:1. Este antepecho debe ser bajo, pero bastante ancho. Se da una buena terminación al muro rematándolo con una hilada de placas de 6 a 10 cm de grueso (fig. 10.7). Para impedir que las aguas pluviales penetren por las juntas de estas placas y arrastren el mortero del muro, muchas veces debajo de estas juntas se colocan unas piezas de piedra labradas que conducen el agua fuera del muro y acusan de una manera lógica aquellas juntas (fig. 10.7a).

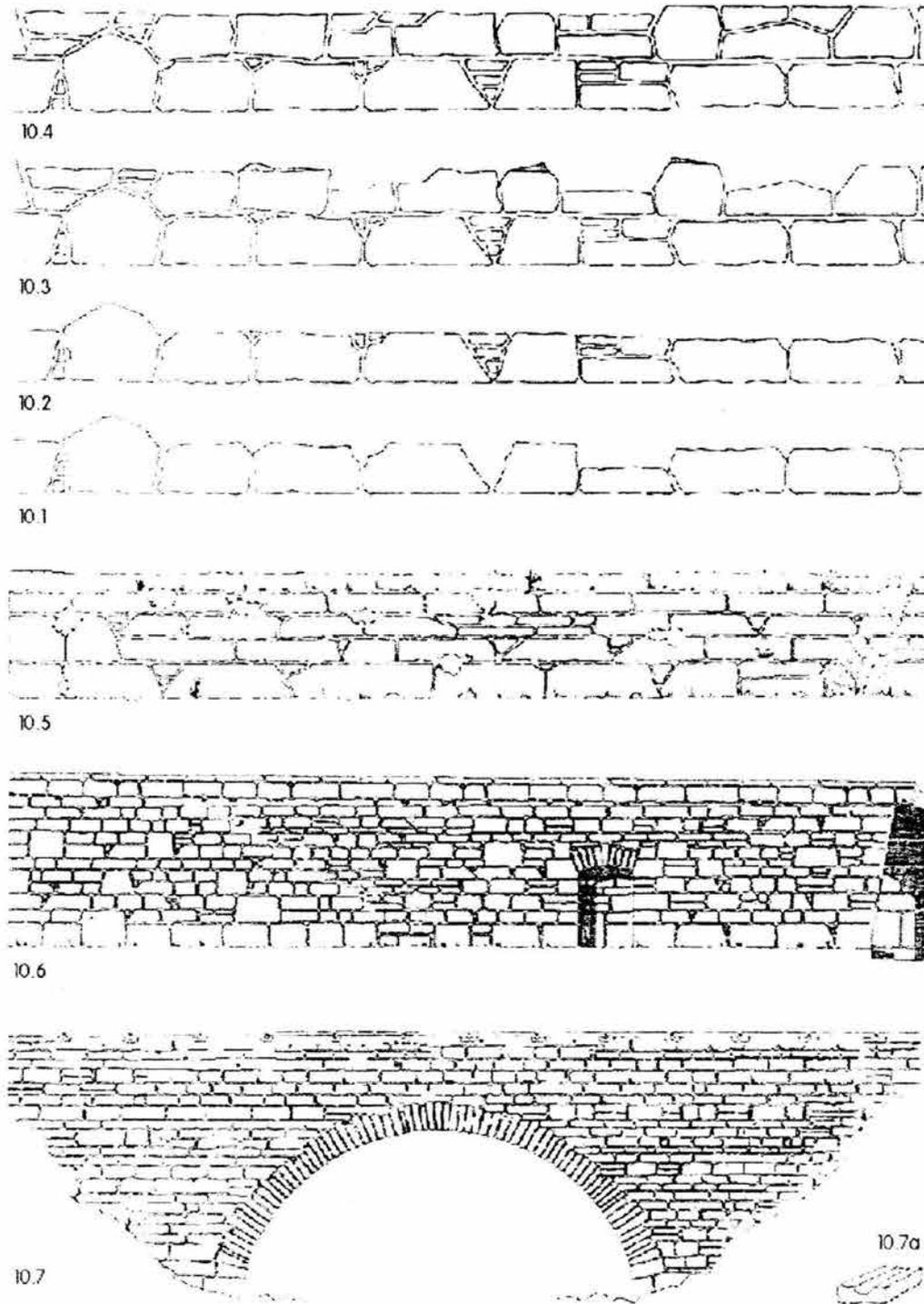


Figura 10. Muros de contención

### 1.2.1.3 Aparejo de los muros

Según la estructura y la manera de utilizar se han desarrollado distintos tipos de aparejo o disposición de los mampuestos. En la figura 11.1 tenemos un muro de cantos rodados. Estas piedras sueltas, llamadas también cantos erráticos, casi siempre de granito, a pesar de su forma más o menos redonda, pueden aprovecharse para formar un cierto tipo de aparejo. Primeramente se colocan en las esquinas del edificio las piedras mayores y de forma más regular, de manera que alternativamente actúen como soga y tizón. El resto del muro debe asegurarse poniendo tantas piedras a tizón como sea posible. Los muchos huecos que quedan entre las piedras, debido a su forma redondeada, deben llenarse con pequeños pedazos de piedra, a fin de no tener que emplear demasiado mortero. A pesar de esto aparecen siempre juntas de mortero anchas y otra estrechas, lo que unido a la distinta estructura y color de las piedras produce un efecto pintoresco.

Cuando se rompen estos cantos o se obtiene piedra por voladura en las canteras de piedra caliza obtenemos un aparejo poligonal (fig. 11.2). A causa del mayor ajuste de las piedras, esta estructura es mejor, pero la forma que así se obtienen sólo puede admitirse en superficies de grandes dimensiones, como en muros de contención y de revestimientos de terraplenes.

Si el material procede de una cantera, las piedras presentan ya caras más o menos paralelas. Generalmente estas piedras se pueden retocar algo con la maceta, mientras se hace el muro, construcción llamada de mampostería o sillarejo (fig. 11.3). En una misma cantera se encontrará siempre una gran cantidad de piedras de la misma altura, lo que facilitará la formación de la hiladas. De todas maneras conviene disponer una junta completamente horizontal a cada metro de altura. Hay que evitar que las juntas verticales se correspondan. En los ángulos también se colocan las piedras mayores en forma que aseguren la unión de las dos paredes que allí se encuentran, mientras en el resto de las paredes se colocan piedras a tizón que atraviesen el muro de una cara a la otra. El grueso máximo de estos muros es de 50 cm.

En la figura 11.4 tenemos un ejemplo de cómo incluso con cantos rodados, alternando con hiladas de ladrillo, se pueden obtener un buen aparejo. Pero todavía es mejor el representado en la figura 11.5, con piedra caliza combinada con hiladas de ladrillo.

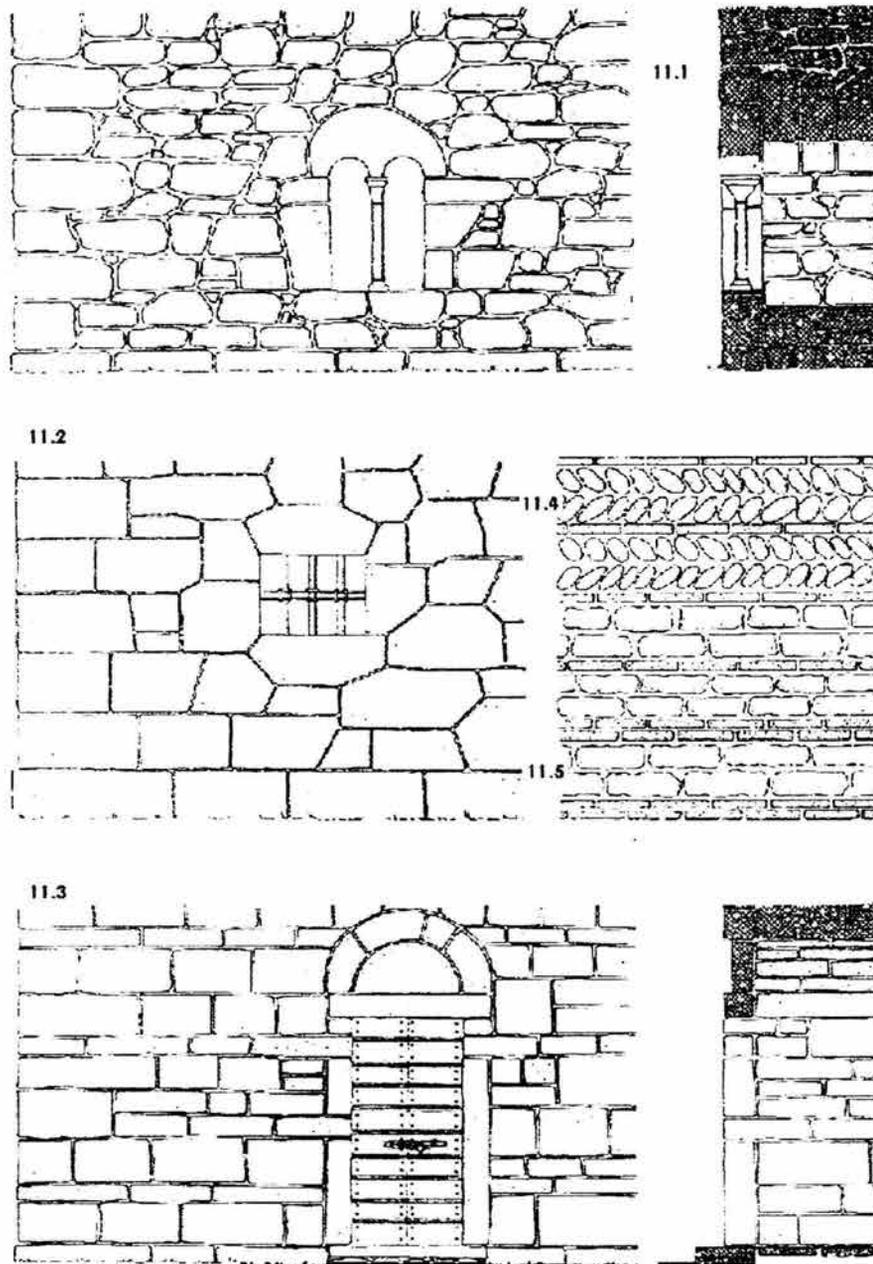


Figura 11. Aparejo de Muros

### 1.2.1.4 Paredes de piedra

Cuando el hombre vio la necesidad de contar con una vivienda que le proporcionara mayor seguridad y protección, dejó de utilizar la paja, los postes o bambúes y las ramas como material de construcción (fig. 12.1). Sustituyéndolos por la piedra, el barro, el adobe y el ladrillo. Cabe mencionar que lo anterior también dependía de los materiales que abundaran en la región, ya que en algunos lugares se desarrollaron técnicas de construcción a base de madera, pero por ahora sólo nos basaremos en la mampostería. La utilización de estos materiales no fue en conjunto, sino gradualmente. Así podemos encontrar cabañas que eran de una sola habitación burda con muros de piedra mal unidos y recubierta con un techo de ramas (fig. 12.2). Con el paso del tiempo, la construcción de viviendas se hizo a base de piedras o sillares unidos con barro o algún otro tipo de mortero. Así mismo, se buscó la creación de piedras artificiales o ladrillos, algunas pueblos usaron el adobe que es un tipo de ladrillo tosco con la diferencia que el adobe se seca al sol y no en horno, y tener menor resistencia que otros tipos de ladrillos o tabiques. Pensando no solo en la resistencia de los muros, sino también en las condiciones que poseen estos muros con respecto a la transmisión del frío y el calor, humedad, etc. Las paredes en la primeras construcciones tenían un espesor mínimo de 50 cm.

En la figura 12.3 se ha representado una pequeña casa con paredes de mampostería. Se ha hecho resaltar los grandes sillares que forman las esquinas y los dinteles de la puerta y las ventanas. Si la clase de piedra empleada es poco apropiada para dejarla vista, se aprovechan las piezas mejores para los sillares del zócalo y de las esquinas. Se ponen marcos de piedra en las puertas y ventanas. El resto de la fachada se revoca (fig. 12.4).

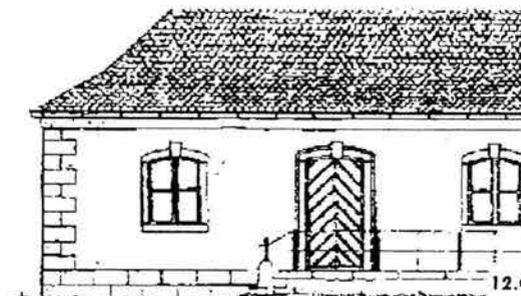
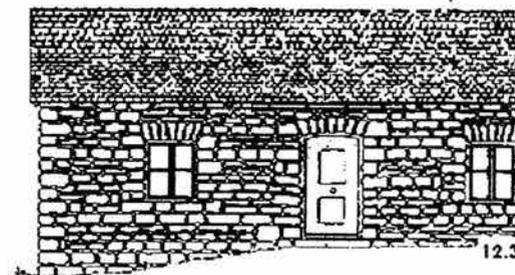
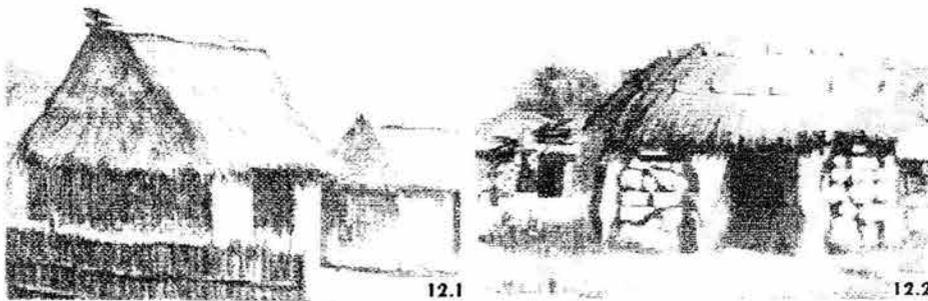


Figura 12. Paredes de piedra

### 1.2.1.5 Forma de los sillares

Al elegir la forma de los sillares, así como al estudiar el despiece de las juntas los puntos más importantes que hay que tener en cuenta son el aspecto estético de las piedras y las dimensiones del edificio. Hay que considerar que cuanto menor es el tamaño de los sillares, tanto mayor parece el edificio. Pero si bien podemos variar las dimensiones aparentes del edificio modificando las de los sillares, esto tienen naturalmente un límite. En tiempos pasados, la altura de los sillares en una casa para vivienda era de unos 25 cm; en un edificio con aspiraciones de palacio, de unos 35 cm.

También es muy importante, para que el edificio tenga el aspecto deseado, la forma de las juntas. A los lados de la junta puede dejarse una franja lisa, y el resto del sillar o almohadilla dejarse con algún relieve y picoteado.

Ya en tiempo de los romanos se empleaban sillares con los bordes moldurados. Con un despiece acertado, sea con almohadillas, sea dejando la piedra en forma rústica, o pulimentándola en formas adecuadas, hay muchas maneras de dar realce a un material que de otra forma quedaría sin vida. En la figura 13 hemos dibujado algunos ejemplos de esto.

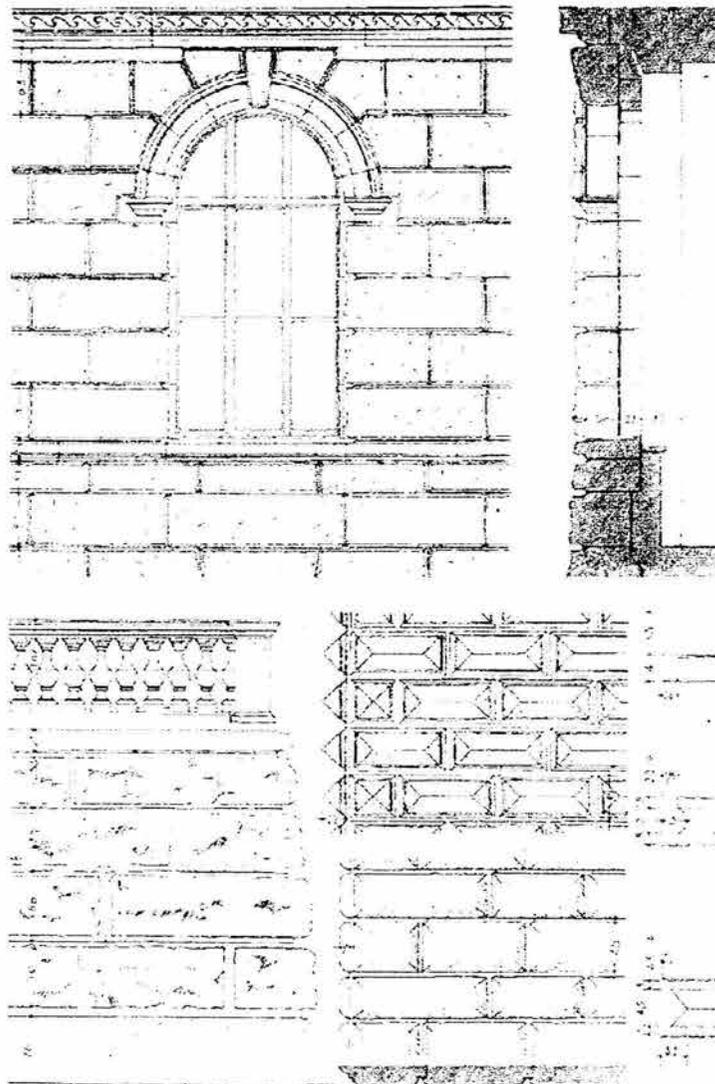


Figura 13. Forma de los sillares

### 1.2.2 EL LADRILLO

El ladrillo, uno de los materiales de construcción más usado durante miles de años. Debe su origen principalmente a dos situaciones dadas en toda cultura, que son: la falta de canteras en la región, donde se pudiera extraer piedra; y la otra, que se da en regiones que aunque no hace falta la cantera, la creación de piedras artificiales como es el ladrillo les resulta más conveniente que la extracción de piedra, demás procesos necesarios para llevar a la piedra hasta su colocación final en la construcción.

El ladrillo representa grandes ventajas por su gran adaptabilidad a toda construcción. Se coloca en su lugar con la mano, de uno en uno y no requiere de tanto esfuerzo físico como trabajar con piedra o con blocks de concreto que son más pesados.

Está hecho de arcilla que se moldea y se cuece a temperaturas muy altas en un horno. El color de la arcilla natural determina el color del ladrillo algunos fabricantes combinan más de un tipo de arcilla para producir una variedad de tabique de color de casi blanco a casi negro. Las texturas del ladrillo varían, dependiendo del proceso de moldeado.

La gama de medidas varía de un lugar a otro, aunque por lo general se considera que para recibir esa denominación las piezas no deben sobrepasar las medidas de 490 mm de largo, 240 mm de ancho y 115 mm de alto.

Cuando los ladrillos tengan misión estructural, al igual que los bloques, deberán ser colocados con algún tipo de aparejo que garantice la trabazón entre las piezas. Por lo general, los ladrillos son de arcilla cocida o de cal y arena, existiendo una amplia gama de resistencias, tipos, texturas, colores y formatos especiales.

En cuanto al grueso de los muros, contando las juntas de 1 cm se obtienen los siguientes valores.

|                             |        |
|-----------------------------|--------|
| Muros de citara .....       | 12 cm. |
| Muros de asta .....         | 25 cm. |
| Muros de asta y media ..... | 38 cm. |
| Muros de doble asta .....   | 51 cm. |

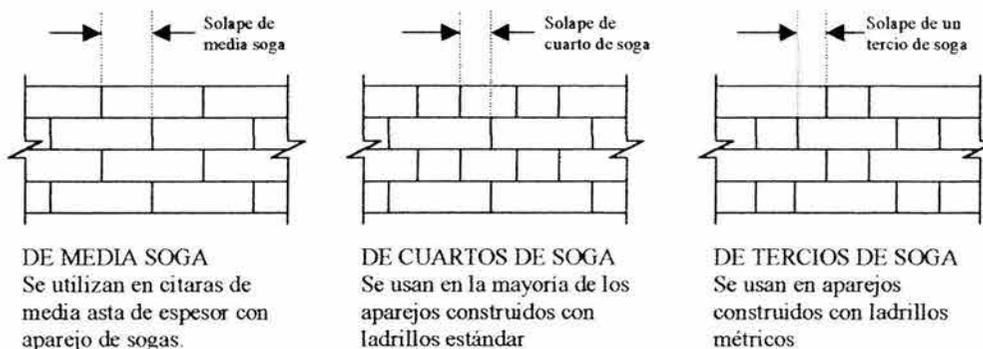
#### 1.2.2.1 Aparejos del ladrillo

La resistencia de un muro no depende tan sólo de la calidad de los materiales, sino también del acierto en la distribución de las juntas. Es decir, de un buen aparejo, y aparejo lo podemos definir como la disposición de los ladrillos en un muro, columna o pilastra siguiendo un dibujo repetitivo para lograr una trabazón adecuada.

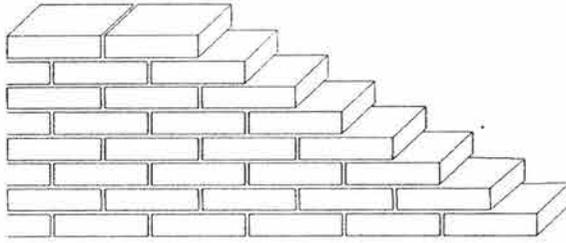
Los objetivos del aparejo son:

1. Obtener la máxima resistencia y la mejor distribución de las cargas en el muro, columna o pilastra.
2. Asegurar la estabilidad lateral y la resistencia contra los empujes laterales.
3. Obtener un aspecto agradable.

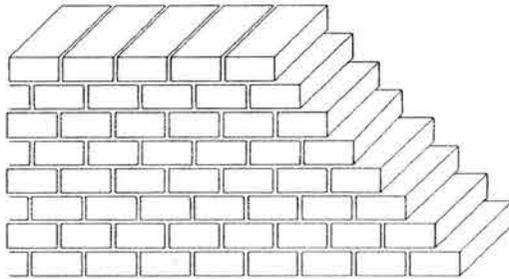
#### 1.2.2.2 Formas de solape



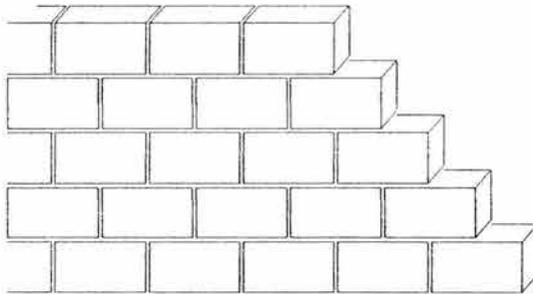
1.2.2.3 Tipos de aparejos



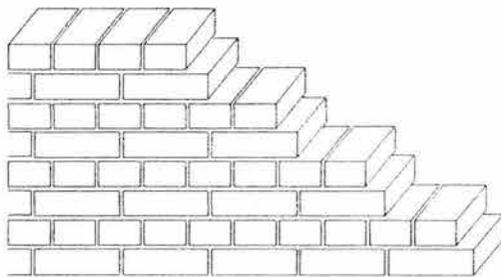
**A soga**



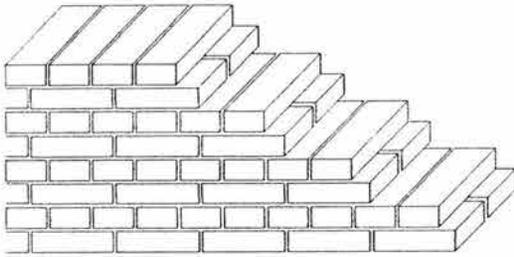
**A tizón**



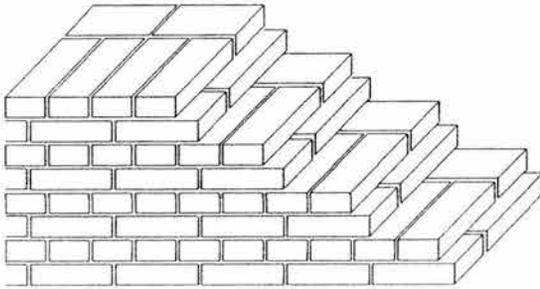
**Capuchino**



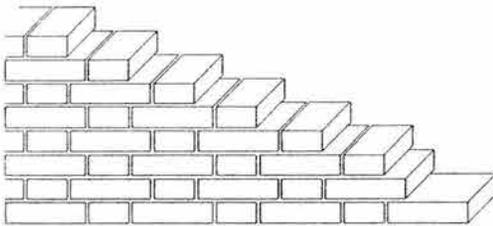
**Inglés en muro de citara**



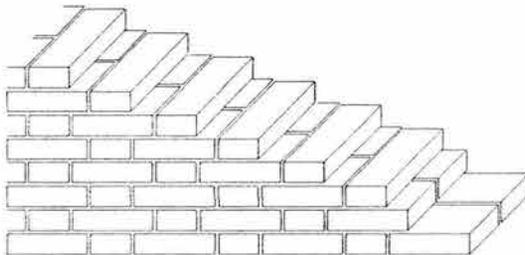
**Inglés en muro de asta**



**Inglés en muro de asta y media**



**Flamenco en muro de citara**

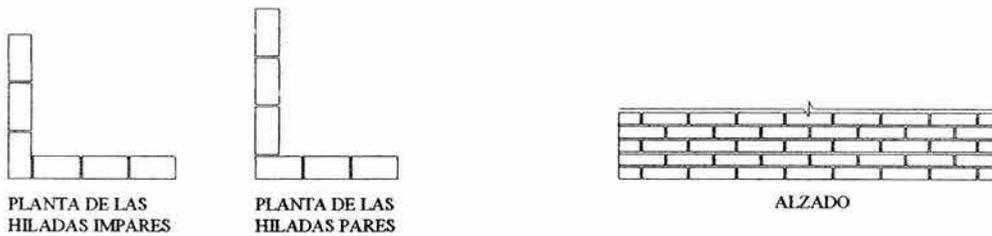


**Flamenco en muro de asta**

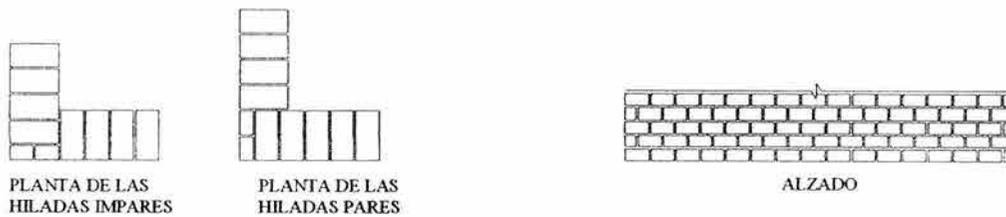
### 1.2.2.4 Enlaces de muros y construcción de pilares

Con los ladrillos colocados según los tipos de aparejo antes descritos, los muros no tienen nunca un final; el muro queda terminado en un endentado preparado para continuar su construcción, o bien hay que darle expresamente un final mediante el empleo de fragmentos de ladrillo. En seguida se presenta el enlace de muros conforme al orden antes descritos.

#### APAREJO A SOGA



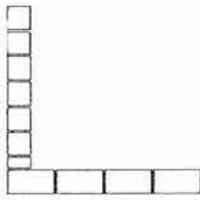
#### APAREJO A TIZÓN



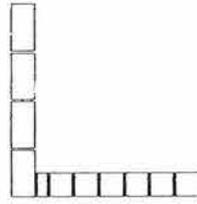
#### APAREJO CAPUCHINO



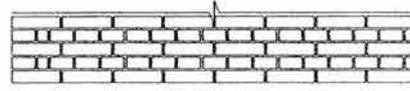
**APAREJO INGLES EN MURO DE CITARA**



PLANTA DE LAS HILADAS IMPARES

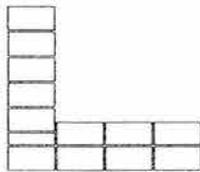


PLANTA DE LAS HILADAS PARES

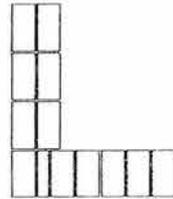


ALZADO

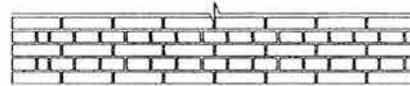
**APAREJO INGLES EN MURO DE ASTA**



PLANTA DE LAS HILADAS IMPARES

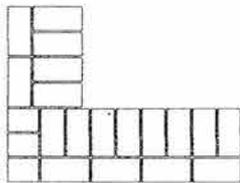


PLANTA DE LAS HILADAS PARES

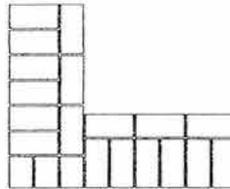


ALZADO

**APAREJO INGLES EN MURO DE ASTA Y MEDIA**



PLANTA DE LAS HILADAS IMPARES

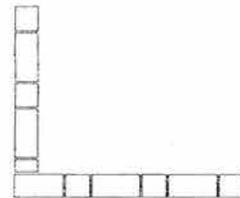


PLANTA DE LAS HILADAS PARES

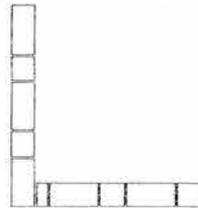


ALZADO

**APAREJO FLAMENCO EN MURO DE CITARA**



PLANTA DE LAS HILADAS IMPARES



PLANTA DE LAS HILADAS PARES



ALZADO

Los pilares de planta cuadrada pueden construirse en ladrillo visto, teniendo cuidado de colocar los cortes dados a los ladrillos hacia el interior del pilar. Para construir pilares redondos o pilares de formas especiales hay que fabricar ladrillos con plantillas especiales. Los pilares que contiene muchos ladrillos cortados deben ser revocados o aplanados (figura 14).

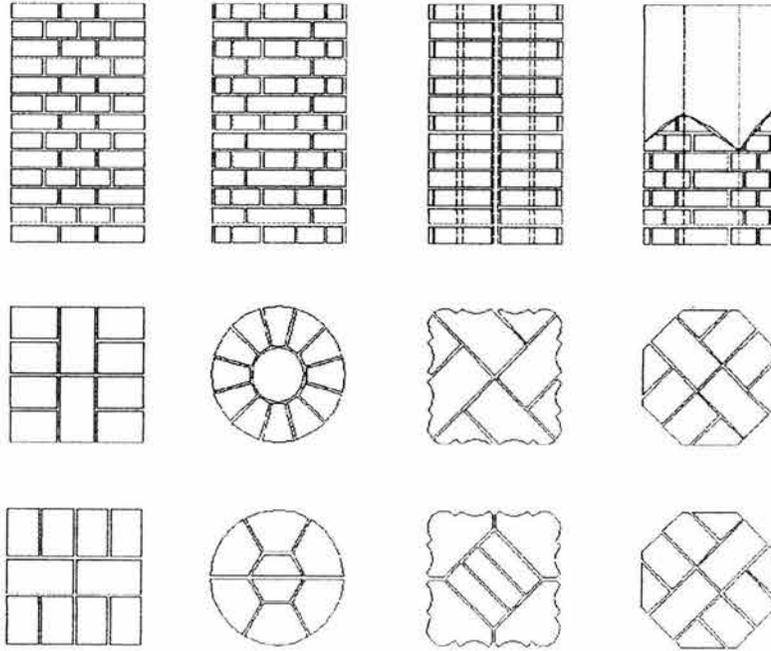


Figura 14. Construcción de pilares

## CAPÍTULO 2

### MATERIALES PARA MAMPOSTERÍA

En este capítulo se presentan las principales características de los materiales que con mayor frecuencia se utilizan para la construcción de mampostería para vivienda

Las propiedades mecánicas de la mampostería son más variables y difíciles de predecir que las de otros materiales estructurales como el concreto reforzado o el acero. Esto es debido al poco control que se tiene sobre las propiedades de los materiales componentes y sobre los procedimientos de construcción empleados. Así, el comportamiento estructural de la mampostería, ha sido objeto de una amplia gama de estudios experimentales y analíticos, que han dado como resultado la elaboración de normas para el control de calidad de los elementos que la constituyen así como para el diseño y construcción del producto compuesto.

#### 2.1 PIEDRAS NATURALES

Son todas aquellas construidas con material extraído directamente de formaciones rocosas, sea cual sea su origen (ígneo, metamórfico o sedimentario). Las piedras naturales pueden ser labradas o no. Muchos de los monumentos históricos más bellos del mundo son construcciones de mampostería de piedras naturales labradas.

Las construcciones de mampostería con piedras naturales se encuentran entre las más antiguas del mundo. Generalmente se tratan de piedras de la región, a excepción de las piedras labradas con motivo de ornato o estructural, que pueden provenir de un sitio muy en particular.

En México suele distinguirse los siguientes tipos de mampostería de acuerdo con la forma en que ha sido labrada la piedra natural (Fig. 15).

- a) Mampostería de primera. La piedra se labra en paralelepípedos regulares con su cara expuesta de forma rectangular. Las unidades de piedra de este tipo reciben el nombre de sillares.
- b) Mampostería de segunda. La piedra se labra en paralelepípedos de forma variable siguiendo la configuración natural con que llega de la cantera.
- c) Mampostería de tercera. La piedra se utiliza con la forma irregular con que llega de la cantera, aunque procurando que la cara expuesta sea aproximadamente plana.

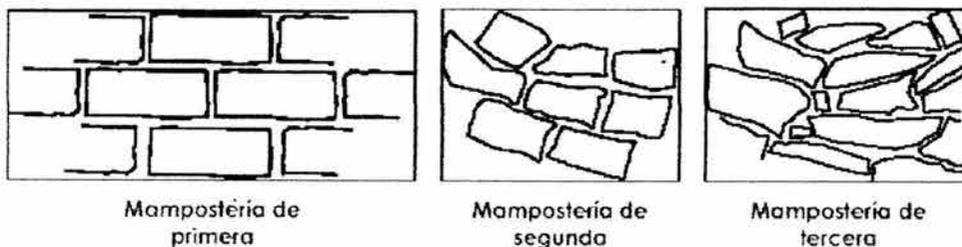


Figura 15. Tipos de mampostería de piedras naturales

En la actualidad, las piedras naturales que pretendan utilizarse con fines estructurales en México deben cumplir con las siguientes especificaciones, de acuerdo con las Normas Técnicas Complementarias Para Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería (NTCM-2000):

#### 2.1.1 RESISTENCIA NOMINAL A LA COMPRESIÓN

- La resistencia nominal a la compresión ( $f^*p$ ) mínima perpendicular a los planos de formación de la piedra deberá ser mayor o igual a  $150 \text{ kg/cm}^2$ .

- La resistencia nominal a la compresión ( $f^*p$ ) mínima paralela a los planos de formación de la piedra deberá ser mayor o igual a  $100 \text{ kg/cm}^2$ .

$$f^*p = 100 \text{ kg/cm}^2 \rightarrow \text{areniscas}$$

$$f^*p = 150 \text{ kg/cm}^2 \rightarrow \text{granitos y basaltos}$$

### 2.1.2 ABSORCIÓN

La absorción máxima de piedras naturales estará limitada al 4%.

### 2.1.3 RESISTENCIA AL INTEMPERISMO

La máxima pérdida de peso de piedras naturales después de cinco ciclos en solución saturada de sulfato de sodio (prueba de intemperismo acelerado ASTM C88-83) estará limitada a un 10%. Cada ciclo se definirá como la inmersión en sulfato de sodio de la muestra por 12 horas, paso seguido, secado en horno a  $100^\circ\text{C}$  por 12 horas.

$$RI(\%) = \frac{W_s - W_{scss}}{W_s} \times 100$$

### 2.1.4 FORMA Y VOLUMEN

- Las piedras naturales utilizadas con fines estructurales no deben tener formas redondeadas o cantos rodados.
- Al menos el 70% del volumen del elemento estructural debe estar formado por piedras que pesen por lo menos  $30 \text{ kg c/u}$ .

## 2.2 PIEDRAS ARTIFICIALES

Son todas aquellas en las cuales la piedra o elemento principal se obtiene por medio de un proceso de manufactura, como es el caso de los adobes, ladrillos, tabicones, bloques de concreto, etc.

Los procedimientos de construcción son muy variados: desde los artesanales (Fig. 16) como el cocido en horno para los tabiques comunes, hasta los industrializados (vibro-compactación, para los bloques de concreto, y extrusión para el bloque hueco de barro). La forma es prismática pero con distintas relaciones entre las dimensiones.

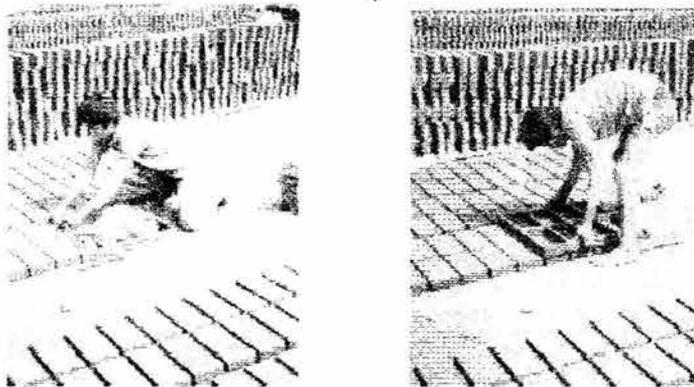


Figura 16. Procedimientos artesanales para la producción de tabique de barro recocido

Es recomendable que las piezas usadas en los elementos estructurales de mampostería cumplan los requisitos de calidad para cada material especificados en las Normas Mexicanas (NMX) cuya declaratoria de vigencia se publica en el Diario Oficial de la Federación. Cuando algún reglamento de construcción local haga referencia a una Norma Mexicana, ésta será obligatoria en dicha localidad. En particular deberán aplicarse las siguientes normas.

| Norma                  | Pieza                                                         |
|------------------------|---------------------------------------------------------------|
| NMX - C - 006          | Ladrillos, bloques cerámicos de barro, arcilla y/o similares. |
| NMX - C - 010          | Bloques, ladrillos o tabiques y tabicones de concreto.        |
| NMX - C - 404 - ONNCCE | Bloque, tabiques, ladrillos y tabiques para uso estructural   |

### 2.2.1 ADOBE

El adobe es probablemente la “piedra artificial” más antigua del mundo, como lo constatan las antiguas ruinas del medio oriente y las ruinas de Akrotiri en la isla de Santorini, Grecia. Se estima que las construcciones de adobe datan desde 1000 A. C., por lo menos.

Aunque existen adobes excelentes en construcciones coloniales, fabricados con arcillas arenosas, la mayoría de los adobes utilizados en las zonas rurales de Latinoamérica son de forma muy irregular y está hechos de lodo o barro, reforzados con paja u otras fibras vegetales. El uso de las fibras vegetales se debe a que reducen la evaporación de la pieza durante su curado y, por lo tanto, el agrietamiento de la misma. Los adobes hechos de esta manera poseen una resistencia muy baja a la compresión y aún más baja al corte, por lo que las viviendas rurales construidas con ellos son muy vulnerables a la acción de los sismos.



Figura 17. Vivienda construida con mampostería de adobe

#### 2.2.1.1 Ladrillos de adobe estabilizado o adocretos

Se tratan de ladrillos hechos con una mezcla de arcillas y arenas estabilizadas por medio de un agente químico, aunque existen empresas que utilizan tierras del sitio no necesariamente con esta composición. Se fabrica de dos maneras principalmente:

- a) La antigua, donde se deposita la mezcla en moldes de madera, los cuales se retiran varias horas después de haberse colado. Los ladrillos de adobe se dejan curar al aire por un periodo de varias semanas, dependiendo de la humedad del medio ambiente y de la mezcla en si.

b) La más moderna, en la cual se utilizan moldes metálicos similares a los empleados para la construcción de bloques de concreto, prensan al tabique de adobe. Se retiran los adobes para su curado en condiciones ambientales.

- Existe una gran variedad de materiales que se utilizan como estabilizadores de los adobes:
- *Emulsiones de asfalto.*- son el agente estabilizador más antiguo, y uno de los más eficaces, pues hacen a la pieza más compacta, además de que mejoran su impermeabilidad.
- *Cemento Pórtland.*- su acción no es tan efectiva como la de los asfaltos, ya que si por una parte aumenta la resistencia a la compresión, por otra parte no mejora la impermeabilidad de las piezas.
- *Limos.*- mejoran la plasticidad del suelo utilizado, pero no su impermeabilidad.
- *Cales y silicatos de calcio.*- Mejoran la impermeabilidad de la pieza, sobre todo porque se utiliza como recubrimiento de las superficies de la pieza de adobe.

### 2.2.1.2 Normatividad y reglamentación

No existe norma mexicana (oficial o recomendada) que regule los criterios de fabricación, calidad y resistencia de los ladrillos de adobe estabilizado. Existen escasas pruebas sobre las características de resistencia a la compresión, y sobre todo de resistencia al corte, de especímenes o muros elaborados con este tipo de piezas. Las pruebas que supuestamente se han hecho en México en muros de adobes estabilizados no han sido realizadas por profesionales de reconocido prestigio. Los fabricantes de estas piezas pregonan que sus adobes son la octava maravilla del mundo; sin embargo, a la hora de pedir información fidedigna de pruebas experimentales profesionalmente realizadas, no vuelven a comunicarse con un servidor. No obstante el vacío que existía en cuanto a reglamentación y evidencia experimental contundente, varias empresas fraccionadoras “ecológicas” (que son también fabricantes de estas piezas) han construido en México conjuntos habitacionales con adobes estabilizados, sobre todo en la provincia, ante la pasividad de las autoridades. Las nuevas normas técnicas complementarias para el diseño y construcción de estructuras de mampostería (NTCM-2000) están tomando cartas en el asunto, y en su sección 1.2 establecen que, para cualquier otro tipo de piezas (entre las que se encuentran los adobes), de refuerzo o de modalidad constructiva que no se encuentren debidamente especificadas en las NTCM-2000, deberán ser evaluados según lo establece el Reglamento y el Apéndice Normativo A de las NTCM-2000. este apéndice presenta un criterio de aceptación de sistemas constructivos a base de mampostería diseñados por sismo con base en pruebas experimentales.

### 2.2.2 TABIQUES O LADRILLOS CERÁMICOS DE BARRO O ARCILLA

Se puede definir como ladrillo o tabique a aquel producto cerámico de forma prismática fabricado con arcillas mediante un proceso de cocción. Los ladrillos se han utilizado por siglos debido a dos razones principalmente: 1) sus propiedades ingenieriles, sobre todo en cuanto durabilidad y resistencia ante cargas verticales y 2) estética.

#### 2.2.2.1 Normatividad

NMX-C-006-1976.- Industria de la construcción. Ladrillos y bloques cerámicos de barro, arcilla ó similares.

NMX-C-404-ONNCCE.- Industria de la construcción. Bloques, tabiques o ladrillos y tabicones para uso estructural. Especificaciones y métodos de prueba.

ASTM C62-91b.- Standard Specification for Building Brick (Solid Masonry Units Made From Clay or Shale).

ASTM C67-91.- Standard Test Methods of Sampling and Testing Brick and Structural Clay Tile.

#### 2.2.2.2 Materia prima utilizada en la fabricación de ladrillos (tabiques)

- Arcillas naturales.- Se pueden clasificar, de acuerdo a su origen en:

1) Superficiales.- arcillas de naturaleza sedimentaria.

2) Esquisto o pizarras (Shale).- arcillas que han sido sujetas a altas presiones en la tierra, hasta que se han endurecido para formar piedras laminadas.

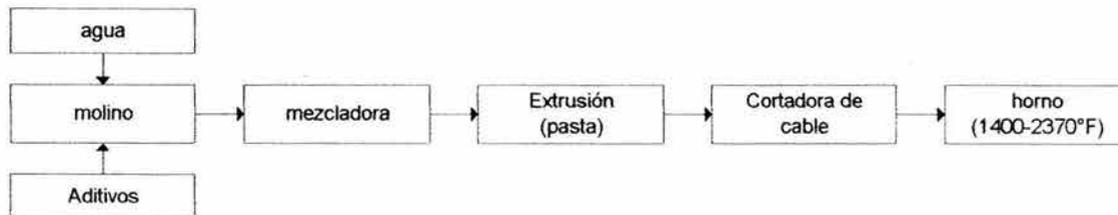
3) Fundidas.- arcillas que se localizan a grandes profundidades. Generalmente cuenta con una menor cantidad de óxidos metálicos, en cambio, su resistencia a la vitrificación es mayor que para otras arcillas.

- Silicatos hidratados de aluminio.- Reducen el acortamiento de las piezas por el efecto de cocción; sin embargo, en grandes cantidades reducen la cohesión.
- Óxidos de hierro ( $\text{FeO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ).- Mejoran la resistencia y alteran el color de la pieza.
- Impurezas.- Minerales como el calcio, magnesio, sodio, titanio y potasio, principalmente.

### 2.2.2.3 Procedimientos de manufactura

En la producción industrializada de ladrillos se utilizan principalmente tres métodos, con sus respectivas variantes:

- Lodo sólido o rígido (Stiff mud –wire cut).- Es un procedimiento utilizado principalmente en zonas áridas, y en el cual la masa de arcilla (lodo) posee un contenido de agua entre el 12% y 15%.



- Lodo blando (soft mud).- Se utiliza entre el 20% y 30% de contenido de agua en la masa de arcilla (lodo). Se emplea exclusivamente en la producción de ladrillos, los cuales se forman en moldes. En el pasado, este procedimiento era manual utilizando moldes de madera (aún se utiliza en producción artesanal). Actualmente, los ladrillos se moldean a presión utilizando maquinaria especializada.

- Prensado en seco.- Es un procedimiento similar al lodo sólido, en el cual se utiliza entre 7% y 12% de contenido de agua en el lodo. Los ladrillos se forman sujetos a presiones entre 500 y 1500 psi (35 – 105  $\text{kg}/\text{cm}^2$ ).



### 2.2.2.4 Estados de fusión de un ladrillo

- Incipiente.- Las partículas suaves se agrupan.
- Vitrificación.- La masa de arcilla se solidifica y, dentro del horno, se encuentra en un estado de cero absorción.
- Viscoso.- La masa de arcilla se desmorona o “derrite”. Este estado debe evitarse.

### 2.2.2.5 Propiedades significativas de las arcillas

- Plasticidad
- Fusibilidad
- Resistencia a la tensión
- Acortamiento elástico

### 2.2.2.6 Propiedades ingenieriles de los ladrillos

- Absorción
- Durabilidad (resistencia al intemperismo)
- Conductividad térmica
- Acústica
- Resistencia al fuego
- Resistencia a la compresión
- Resistencia a la tensión (flexión)
- Resistencia al corte
- Módulo de elasticidad
- Acortamiento elástico

1) Aerobio.- sucede después de que la pieza se moldea, pero antes de que ésta se introduzca al horno.

2) Por cocción.- sucede cuando la pieza se encuentra en el horno.

### 2.2.2.7 Características físicas de los ladrillos

- Color.- Depende de la materia prima, cantidad de óxidos e impurezas, aditivos, colorantes, así como del grado de cocción. En cuanto al último rubro, un color claro (salmón) puede indicar un subcocimiento, mientras que un color oscuro un sobrecocimiento.

- Textura, forma y tamaño.- Depende del proceso de manufactura, del uso y del país donde se produce la pieza.

### 2.2.2.8 Durabilidad de ladrillos o tabiques

En los Estados Unidos se ha elaborado una escala de durabilidad para los ladrillos de acuerdo con su capacidad para funcionar en diferentes tipos de clima. La escala utilizada es la siguiente:

- a) SW (Severe Weathering).- Ladrillos para climas severos, capaces de resistir congelamientos y deshielos.
- b) MW (Moderate Weathering).- Ladrillos para climas moderados, capaces de resistir temperaturas bajas, pero sin que el agua tome parte cuando estas bajas temperaturas se presentan.
- c) NW (No Weathering).- Ladrillos para climas templados o climas donde no se presentan temperaturas bajas.

### 2.2.2.9 Pruebas experimentales para los ladrillos

#### Absorción

Normas: ASTM C67-91, NMX-C-404-ONNCCE

$$\text{absorción} = \frac{\text{Peso del agua absorbida después de 24 hrs. de inmersión en agua fría}}{\text{Peso seco de la pieza}}$$

$$\text{absorción} = \frac{W_{24h} - W_s}{W_s} \times 100$$

La absorción está limitada en un intervalo del 13-21% para tabiques recocidos y entre el 12-19% para tabiques extruidos (NMX-C-404-ONNCCE).

#### Coefficientes de Saturación

Normas: ASTM C67-91

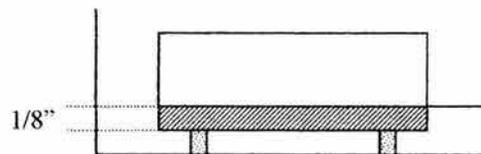
$$CS = \frac{C}{B} = \frac{\text{Peso del agua absorbida después de 24 hrs. de inmersión en agua fría}}{\text{Peso del agua absorbida después de 5 hrs. de inmersión en agua hirviendo}}$$

$$CS = \frac{W_{24h} - W_s}{W_{5h} - W_s} \leq 1.0$$

Un coeficiente de saturación bajo ( $CS < 0.8$ ) indica que la pieza contiene muchas cavidades, lo que es bueno en climas extremos porque permite acomodar deformaciones internas.

#### Absorción inicial

Es una prueba que mide las características de succión y capilaridad de la pieza. Consiste en sumergir 1/8" de profundidad a un ladrillo completamente seco por espacio de un minuto como se ilustra en la figura.



Después del minuto, se retira la pieza, se limpia con un trapo húmedo el exceso de agua y se pesa en la báscula de las características señaladas por la norma ASTM C67-91. La absorción inicial (IRA) se calcula como:

$$IRA = (W_{1min} - W_s) \frac{30in^2}{A_n} \leq 30 \frac{\text{gramos}}{\text{minutos}}$$

El límite de 30 gr/min ha sido adoptado por la norma NMX-C-404-ONNCCE. Una absorción inicial (IRA) grande indica que los ladrillos absorben a un ritmo muy rápido el agua del mortero, lo que tiene las siguientes implicaciones:

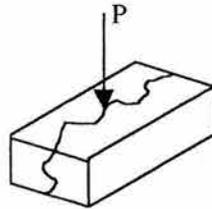
- El mortero se seque y agriete.

- La trabajabilidad del mortero se reduzca.
- Se reduzca la resistencia y adherencia de la unidad.
- La penetración de agua en la mampostería se empobrezca.

#### Resistencia a la compresión

Normas: ASTM C67-91, NMX-C-404-ONNCCE.

Depende del tipo arcilla utilizada, del proceso de manufactura y del grado de cocción.



$$f'_b = \frac{P}{A_{\text{neta}}}$$

Si el área es mayor del 75% del área gruesa, el área neta que deberá tomarse es el área gruesa de la pieza, puesto que los huecos, en estas proporciones, incrementan la resistencia de la pieza, ya que:

- Existe un acortamiento y secado más uniforme en el proceso de cocción.
- Existe un acuñaamiento entre el mortero y el ladrillo hueco, lo que resulta benéfico.
  - $f_b \rightarrow 563$  a  $1056 \text{ kg/cm}^2$  (ladrillos de los Estados Unidos)
  - $f_b \rightarrow 350 \text{ kg/cm}^2$  (ladrillos de la estación Gilroy, siglo pasado, E. U.)
  - $f^*p \rightarrow 60 \text{ kg/cm}^2$  tabiques recocidos, resistencia mínima según NMX-C-404-ONNCCE y NTCM-2000.
  - $f^*p \rightarrow 100 \text{ kg/cm}^2$  tabiques extruidos, resistencia mínima según NMX-C-404-ONNCCE.

#### Norma NTCM-2000

De acuerdo con la sección 2.1.2, la resistencia nominal a la compresión de tabiques  $f^*p$  para fines de diseño, se podrá calcular de la siguiente manera cuando se cuente, por lo menos, con los resultados experimentales del ensaye de tres lotes diferentes de 10 piezas cada uno, realizados conforme al procedimiento de ensaye especificado en la norma NMX-C-036.

$$f^*p = \frac{fp}{1 + 2.5c_p}$$

donde  $fp$  es la medida de la resistencia en compresión de las piezas ensayadas, referidas al área bruta y  $c_p$  es el coeficiente de variación de la resistencia en compresión de las piezas.

- $c_p \geq 0.20$  plantas mecanizadas con un sistema de control de calidad como el requerido en la norma NMX-C-404-ONNCCE.
- $c_p \geq 0.30$  plantas mecanizadas que no cuentan con un sistema de control de calidad.
- $c_p \geq 0.35$  producción artesanal.

- $f^*p \rightarrow 60$  a  $500 \text{ kg/cm}^2$  según NTCM-2000.

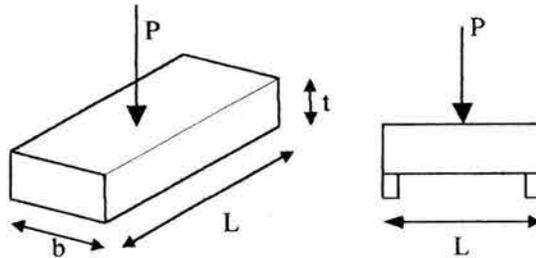
#### Módulo de elasticidad

- $E_b \rightarrow 1400$  a  $5000 \text{ ksi}$  ( $98.5$  a  $352 \text{ Ton/cm}^2$ )

#### Módulo de ruptura

Normas: ASTM C67-91, NMX-C-404-ONNCCE.

Es una prueba que mide la resistencia a la tensión de los tabiques.



$$M = \frac{PL}{4} \qquad fr = \frac{\frac{PL}{4}}{\frac{bt^2}{6}} = \frac{3 PL}{2 bt^2}$$

En los ladrillos de fabricación estadounidense:

- $fr \rightarrow 20$  a  $50 \text{ kg/cm}^2$  ( $0.06 fb$  a  $0.09 fb$ )

Según NMX-C-404-ONNCCE, los valores mínimos deberán ser:

- $fr \rightarrow 6 \text{ kg/cm}^2$  tabiques recocidos
- $fr \rightarrow 8 \text{ kg/cm}^2$  tabiques extruidos

#### Coefficiente de conductividad térmica

$$CCT \rightarrow \frac{2.8 \times 10^{-6}}{^{\circ}F} \text{ a } \frac{3.9 \times 10^{-6}}{^{\circ}F}$$

#### Peso volumétrico

$$\gamma = \frac{W_s}{V} \approx 1.3 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^3} \text{ a } 1.7 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^3}$$

### 2.2.2.10 Procedimiento ideal para realizar ensayos en los ladrillos (ASTM C67-91)

- a) Módulo de ruptura (se obtienen dos mitades de ladrillo)
- b) Secado de las mitades de ladrillos en el horno  $W_s, \gamma$
- c) Prueba de absorción inicial.
- d) Secado en horno.
- e) Inmersión de las piezas en agua fría por 24 horas  $\rightarrow$  absorción.
- f) Inmersión de las piezas en agua hirviendo por 5 horas  $\rightarrow CS = C/B$ .
- g) Secado en horno.
- h) Prueba de resistencia a la compresión.

### 2.2.3 BLOQUES DE CONCRETO

Se puede definir como bloque de concreto a todo aquel componente para uso estructural de forma prismática, que se obtiene por moldeo del concreto (u otros materiales) y puede ser macizo o hueco.

#### 2.2.3.1 Normatividad

|                  |                                                                                                                                     |
|------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| NMX-C-10-1986    | Industria de la construcción. Bloques, tabiques y tabicones de concreto.                                                            |
| NMX-C-404-ONNCCE | Industria de la construcción. Bloques, tabiques o ladrillos y tabicones para uso estructural. Especificaciones y métodos de prueba. |
| ASTM C90-90      | Standard Specification for Load-Bearing Concrete Masonry Units.                                                                     |
| ASTM C140-91     | Standard Methods of Sampling and Testing Concrete Masonry Units.                                                                    |

#### 2.2.3.2 Dimensiones

Las dimensiones nominales se especifican en el siguiente orden: ancho por altura por largo. En los Estados Unidos las dimensiones especificadas son generalmente 3/8" (0.95 cm) menores a la dimensión nominal. Las dimensiones reales están generalmente dentro de una tolerancia de 1/8" (3.2 mm) de la dimensión nominal.

Ejemplo: un bloque de 8" x 8" x 16" (20.32 cm x 20.32 cm x 40.64 cm) es especificado como uno de 7.625" x 7.625" x 15.625" (19.38 cm x 19.38 cm x 39.69 cm) y sus dimensiones reales se deben comprender dentro de 1/15" (1.6 mm) de éstas últimas.

En la norma NMX-C-404-ONNCCE se especifica que las dimensiones mínimas de un bloque deben ser 10 cm por 10 cm por 30 cm, con un espesor mínimo de pared de 2.5 cm. Las tolerancias en las dimensiones de las piezas no deberán ser mayores a  $\pm 3$  mm en la altura y a  $\pm 2$  mm en el largo y en el ancho.

#### 2.2.3.3 Materia prima

- Cemento Pórtland (NMX-C-414-ONNCCE y ASTM C595 para cemento hidráulico, ASTM C150 ó C175  $\rightarrow$  cemento Pórtland con inclusores de aire).
- Cal hidratada (NMX-C-003-ONNCCE, ASTM C207 tipo S).
- Puzolanas  $\rightarrow$  (ASTM C618) reducen las características de expansión en agregados de naturaleza alcalina e incrementan la resistencia al ataque de los sulfatos y de las propiedades cementantes.
- Aditivos: inclusores de aire (mejoran trabajabilidad), colorantes, repelentes al agua.
- Agregados: NMX-C-111, ASTM C33 (peso normal) o peso ligero (ASTM C331).

#### 2.2.3.4 Designaciones de la ASTM

- Bloque hueco estructural (ASTM C33):

- Grado N.- Para utilizarse en cualquier uso (por encima o debajo del nivel del terreno y expuesto o no a la humedad y a la intemperie).
  - Grado S.- Limitado a usarse por encima del nivel del terreno y protegido del intemperismo por medio de recubrimientos, o simplemente no exponerse al intemperismo.
  - Tipo I.: unidades con humedad controlada.
  - Tipo II: unidades sin control de humedad.
  - Unidades de peso ligero:  $\gamma < 1.68 \text{ Ton/m}^3$
  - Unidades de peso medio:  $1.68 \text{ Ton/m}^3 < \gamma < 2.0 \text{ Ton/m}^3$
  - Unidades de peso normal:  $\gamma > 2.0 \text{ Ton/m}^3$
- Bloque sólido estructural (ASTM C145).- Al menos el 75% del área de la sección transversal debe ser sólida. Mismas clasificaciones (Grado N, S, etc).
  - Tabique de concreto (ASTM C55).- Pieza completamente sólida, similar en sus dimensiones a los ladrillos de arcilla. En México, sus requerimientos de resistencia son , en general, considerablemente más altos que los de los tabiques rojos recocidos.
    - 1) Grado N: utilizada como fachada arquitectónica en muros exteriores y en muros donde se requiere una alta resistencia estructural, alta resistencia a la penetración del agua o a heladas fuertes.
    - 2) Grado S: para uso general, donde se requiera de una moderada resistencia estructural, al agua y a las heladas.
  - Bloques no estructurales huecos o sólidos (ASTM C129).- Se usan generalmente en muros de relleno.
  - Unidades pre-acabadas de concreto y silicato de calcio (arena silica), (ASTM C744).
  - Ladrillos pre-acabados de arena silica (silicato de calcio) (ASTM C73).

#### 2.2.3.5 Método de manufactura

Altamente industrializado y realizado con pequeñas cantidades de agua.

- a) Separación y peso de los agregados.- Los agregados son almacenados separadamente de acuerdo a su densidad y tamaño, después de lo cual son pesados y transportados por medio de bandas o de pequeños vagones a la mezcladora.
- b) Mezclado.- El cemento, los agregados, el agua, los colorantes y otros aditivos se combinan para formar una mezcla húmeda.
- c) Moldeado.- La mezcla se vacía en moldes y se consolida por medio de vibración (etapa de alimentación), poco después, un plancha se baja para compactar la mezcla dentro del molde, se realiza una segunda vibración para consolidar la mezcla (etapa final).
- d) Desmoldeado.- Las unidades son lanzadas fuera de los moldes de tres en tres.
- e) Curado.- Las unidades se colocan en un horno de seis a ocho horas. El curado se realiza bajo condiciones de saturación. La temperatura se puede incrementar para acelerar la hidratación del cemento. Las unidades se almacenan a la intemperie para continuar su curado.

#### 2.2.3.6 Propiedades físicas

- Color y textura.
- Forma y dimensión.

### 2.2.3.7 Propiedades con implicaciones ingenieriles

A. *Absorción (ASTM C140).*- Cambio de peso después de inmersión de 24 horas en agua fría. Realizada de similar manera que con los ladrillos y, en este caso, tienen una relación directa con las propiedades del mortero de relleno. Se mide con el promedio de tres unidades. Limitada entre 14% y 19% para unidades de peso ligero, 10% al 14% en unidades de peso medio y 8% a 10% en unidades de peso normal (0.16 a 0.32 ton/m<sup>3</sup>) por las normas ASTM. Limitada entre el 9% y 20% para todo tipo de peso por la norma NMX-C-404-ONNCCE. Las NTCM-2000 en su sección 2.5.3 incluye una tabla donde se recomiendan límites de los revenimientos máximos del mortero de relleno en función de la absorción de la pieza.

B. *Acortamiento lineal.*- Definido como el cambio de longitud de un pieza de su condición húmeda a seca. Limitado entre el 0.03% y el 0.65% (unidades tipo I) dependiendo del tipo de pieza. Se limita para evitar agrietamiento excesivo de la unidad.

C. *Contenido de humedad (ASTM C140).*- Limitado entre el 25% y 45% en unidades tipo I, no existe ningún límite para las unidades tipo II.

D. *Resistencia a la compresión (ASTM C140).*-  $f_{cu}$  varía entre 130 y 420 kg/cm<sup>2</sup>. La norma NMX-C-404-ONNCCE exige un valor mínimo de 60 kg/cm<sup>2</sup>. Las NTCM-2000 exigen un valor mínimo de 100 kg/cm<sup>2</sup>.

E. *Resistencia a la tensión (módulo de ruptura).*-  $f_t$  varía de 17.6 y 35.2 kg/cm<sup>2</sup> para bloques de manufactura estadounidense. La norma NMX-C-404-ONNCCE exige un valor mínimo de 5 kg/cm<sup>2</sup>.

### 2.2.4 TABICONES

Se puede definir como un componente para uso estructural, de forma prismática, fabricado de concreto (u otros materiales). En el mercado mexicano se producen tabicones de grava, cemento, arena-cemento, entre los más comerciales. Son primos hermanos de los bloques de concreto.

#### 2.2.4.1 Normatividad

|                  |                                                                                                                                     |
|------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| NMX-C-10-1986    | Industria de la Construcción. Bloques, tabiques y tabicones de concreto.                                                            |
| NMX-C-404-ONNCCE | Industria de la construcción. Bloques, tabiques o ladrillos y tabicones para uso estructural. Especificaciones y métodos de prueba. |

#### 2.2.4.2 Dimensiones

En la norma NMX-C-404-ONNCCE se especifica que las dimensiones mínimas de un tabicón deben ser 10 cm x 6 cm x 24 cm. Las tolerancias en las dimensiones de las piezas no deberán ser mayores a  $\pm 3$  mm en la altura y a  $\pm 2$  mm en el largo y en el ancho.

#### 2.2.4.3 Propiedades con implicaciones ingenieriles

- 1) Absorción: Limitada entre el 9% y el 20% para todo tipo de peso por la norma NMX-C-404-ONNCCE.
- 2) Resistencia a la compresión: La norma NMX-C-404-ONNCCE exige un valor mínimo de 100 kg/cm<sup>2</sup>.
- 3) Resistencia a tensión (módulo de ruptura): La norma NMX-C-404-ONNCCE exige un valor mínimo de 8 kg/cm<sup>2</sup>.

### 2.2.5 MORTEROS

#### 2.2.5.1 Morteros Antiguos

- Eran utilizados para rellenar los vacíos existentes entre las piedras.
- Eran básicamente lodos.

- Posteriormente consistían de limos y arenas.
- Los primeros aditivos fueron: clara de huevo, arcillas, orina humana y colorantes rojos.

### 2.2.5.2 Morteros modernos

Ingredientes básicos:

- 1) Cementates: Cemento Pórtland (NMX-C-414-ONNCCE, ASTM C150).  
Cemento de Albañilería (NMX-C-021-ONNCCE, ASTM C91).
- 2) Cales: Mejoran la trabajabilidad y la adherencia. Normada en NMX-C-003-ONNCCE.
  - Hidróxido de calcio  $\text{Ca(OH)}_2$
  - Óxido de calcio  $\text{CaO}_2 \rightarrow$  cal rápida
- 3) Arenas: Se pueden utilizar arenas de río, de playa o manufacturadas, siempre y cuando, cumplan con los límites granulométricos prescritos por las normas (ASTM C144, NMX-C-111):

| Granulometría de las arenas |                     |
|-----------------------------|---------------------|
| Malla                       | % que pasa la malla |
| 4                           | 100                 |
| 8                           | 95 – 100            |
| 100                         | 25 máx.             |
| 200                         | 10 máx.             |

### 2.2.5.3 Requerimientos de los morteros para pegar piezas según el RCDF-2000 y NTCM-2000

Los morteros que se empleen en elementos estructurales de mampostería deben cumplir con los siguientes requisitos:

- a) Resistencia en compresión del mortero,  $f^*j \geq 40 \text{ kg/cm}^2$ .
- b) Siempre deberá contener cemento hidráulico en la cantidad mínima que se indica en la Tabla 2.2 de dicha norma.
- c) El volumen de arena utilizado debe ser de 2.25 a 3 veces el volumen de los cementantes ( $V_a / V_c \cong 2.25$  a 3). El volumen de arena se medirá en estado suelto. La razón de esta recomendación es que la arena tiene aproximadamente 1/3 de volumen de vacíos, por lo tanto, para hacer una mezcla densa, se rellena ese tercio de volumen de vacíos con los cementantes. Esta práctica reduce el acortamiento elástico y la porosidad del mortero.
- d) La resistencia del mortero debe ser determinada de acuerdo con el ensaye especificado en la norma NMX-C-061.
- e) La cantidad de agua adicionada al mortero debe ser la mínima necesaria para fines de trabajabilidad. El exceso de agua puede traer como consecuencia un mortero demasiado fluido como para soportar el peso de varias hiladas, además de la reducción de la resistencia e incremento del acortamiento elástico del mortero.

| Morteros Estructurales (NTCM-2000, RCDF-2000) |                              |                                  |                         |                 |                                                                 |
|-----------------------------------------------|------------------------------|----------------------------------|-------------------------|-----------------|-----------------------------------------------------------------|
| Tipo                                          | Partes de Cemento Hidráulico | Partes de Cemento de Albañilería | Partes de Cal Hidratada | Partes de Arena | Resistencia nominal en compresión, $f^*j$ (kg/cm <sup>2</sup> ) |
| I                                             | 1                            | 0 a ½                            | 0 a ¼                   | 2.25 a 3        | 125                                                             |
| II                                            | 1                            | ½ a 1                            | ¼ a ½                   | 2.25 a 3        | 75                                                              |
| III                                           | 1                            | -                                | ½ a ¼                   | 2.25 a 3        | 40                                                              |

Nota: partes en volumen

| Morteros Estructurales (NTCM-2000, RCDF-2000) |                              |                                  |                         |                 |
|-----------------------------------------------|------------------------------|----------------------------------|-------------------------|-----------------|
| Tipo                                          | Partes de Cemento Hidráulico | Partes de Cemento de Albañilería | Partes de Cal Hidratada | Partes de Arena |
| M                                             | 1                            | ¼                                | ¼                       | 3½              |
| S                                             | 1                            | ½                                | ½                       | 4½              |
| N                                             | 1                            | 1                                | 1                       | 6               |
| O                                             | 1                            | 2                                | 2                       | 9               |

Nota: partes en volumen

#### 2.2.5.4 Retentividad de agua

Definida como el cambio de flujo antes y después de la succión. Se mide por medio de las pruebas especificadas por la ASTM (C109, C110, C230). La prueba consiste en preparar una pasta de mortero de cinco centímetros (dos pulgadas) de diámetro, la cual se deja caer de una altura de 1.27 cm (0.5 pulgadas) 25 veces en 15 segundos. El cambio de flujo se mide como:

$$\text{cambio de flujo (\%)} = \frac{\text{diámetro de la pasta después de la prueba}}{5 \text{ cm}} \times 100$$

#### 2.2.5.5 Combinación deseable en una mampostería

Unidades con bajo índice de absorción inicial + morteros con alta retentividad de agua, lo que redundará en una buena adherencia y una buena resistencia.

Esto se debe a que si el agua del mortero es absorbida rápidamente por la unidad, el cemento del mortero puede no hidratarse completamente, redundando en una reducción de la adherencia.

#### 2.2.5.6 Importancia de la cal en los morteros

La cal reduce la resistencia a compresión del mortero pero aumenta la retentividad de agua del mismo, lo que lleva a una mejor adherencia y resistencia de la mampostería en conjunto. Por tanto, el incrementar la cantidad de cal en un mortero, dentro de ciertos límites, redundará en:

- Menor capacidad a la compresión del mortero en sí.
- Mayor adherencia en la mampostería.
- Mayor capacidad a la compresión de la mampostería en conjunto.

#### 2.2.5.7 Mezclado y remezclado del mortero

- Palas o mezcladoras.

- Si se hace en mezcladoras, colocar el arena y el agua primero, mezclarlas, después se agrega el cemento y por último la cal. El tiempo de mezclado, una vez que se agrega el agua, no debe ser menor de tres minutos, ni el necesario para alcanzar 120 revoluciones si se usan mezcladoras (NTCM-2000, sección 9.2.1.2).
- El mortero debe colocarse antes de que se solidifique (lo que puede presentarse en un tiempo tan corto como 20 minutos).
- El remezclado del mortero (agregar el agua perdida por evaporación) ubicado en la paleta de colocación se permite hasta dos horas y media después de que preparó la mezcla. En las NTCM-2000 sólo se acepta un remezclado (sección 9.2.1.2).

#### 2.2.5.8 Prueba para determinar el esfuerzo a compresión de los morteros

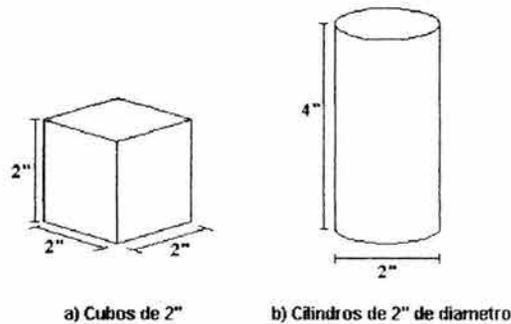


Figura 18. Especímenes para determinar el esfuerzo a compresión de los morteros

- Los cubos de 2" se construyen en moldes de bronce en el laboratorio.
- Los cilindros de 2" de diámetro se construyen en moldes de acero en el campo.

La resistencia de los especímenes es afectada severamente por el contenido de agua del mortero al tiempo del moldeado. Por lo tanto, se acostumbra remover agua de los cubos en el laboratorio para tomar en cuenta los efectos de succión. En el campo, se pone la muestra del mortero entre dos unidades por espacio de un minuto antes de ser vaciado en el molde. En la NTCM-2000, los procedimientos de muestreo y ensaye se especifican en la sección 10.2.2.1.

#### 2.2.6 MORTEROS Y CONCRETOS DE RELLENO

Conocido en inglés como grout, el cual proviene del sueco groot.

##### 2.2.6.1 Componentes

- Cemento Pórtland.
- Agregado fino (arena).
- Agregado grueso: grava de 3/8" máximo, si la grava es ligera, debe de remojar antes de mezclarse.
- Cal (en poca cantidad).
- Agua.

| Morteros de Relleno Estructurales (proporciones en volumen) |                  |          |       |            |
|-------------------------------------------------------------|------------------|----------|-------|------------|
| Tipo                                                        | Cemento Pórtland | Arena    | Grava | Cal (limo) |
| Fino                                                        | 1                | 2.25 - 3 | -     | 0.0 - 0.1  |
| Grueso                                                      | 1                | 2.25 - 3 | 1 - 2 | 0.0 - 0.1  |

El mortero de relleno debe ser lo suficientemente fluido para rellenar los huecos y recubrir completamente al acero de refuerzo. Sirve para:

- 1) Ensamblar o adosar muros dobles o triples.
- 2) Adherir a la mampostería con el refuerzo para que funcionen de alguna forma como una sección homogénea.
- 3) Incrementar el volumen de la mampostería para cargas permanentes y para su resistencia al fuego.

### 2.2.6.2 Revenimiento

El revenimiento del mortero de relleno es aproximadamente de  $10^\circ$  ó 25 cm (fig. 19). Sin embargo, el tener un revenimiento tan grande trae consigo un gran acortamiento elástico, lo que resulta indeseable porque no garantiza la adherencia con el refuerzo. Otros efectos indeseables son el sangrado y la reducción de la resistencia.

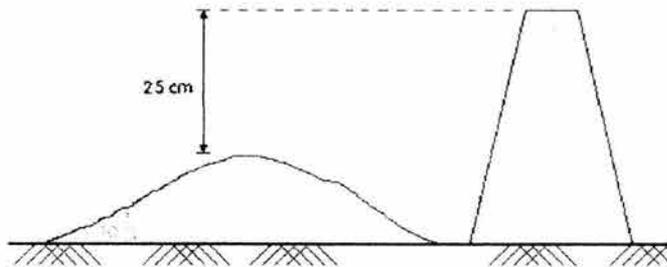


Figura 19. Revenimiento del mortero

### 2.2.6.3 Prueba para la resistencia a la compresión en mortero y concretos de relleno

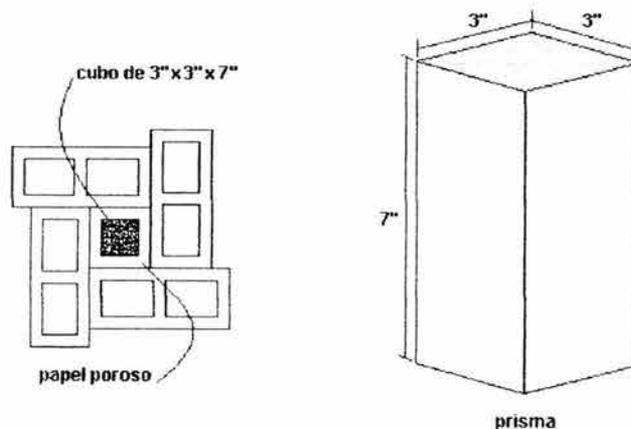


Figura 20. Especimen para determinar el esfuerzo a compresión en morteros de relleno

Esta configuración se utiliza para tener al mortero de relleno en un medio absorbente. La resistencia mínima especificada por el reglamento UBC (21 – 22) es de 2000 lb/in<sup>2</sup> (140 kg/cm<sup>2</sup>) a los 28 días.

#### 2.2.6.4 Métodos de colado

- Colado bajo: Se coloca y consolida conforme se construyen las hiladas.
- Colado alto: Se colocan después de que se termina un piso, por lo cual se necesita un vibrador. Se necesitan tener los huecos completamente limpios para garantizar que se rellenen completamente los huecos donde se dispone el refuerzo.

#### 2.2.6.5 Morteros y concretos de relleno conforme a las NTCM-2000

Uno de los cambios importantes en las NTCM-2000 con respecto a normas anteriores es la inclusión y definición precisa de los morteros de relleno, la cual se establece en su sección 2.5.3 en cuanto a sus características, 9.2.2.3 en cuanto a procedimientos constructivos y 10.2.2.2 para supervisión y control de obra.

En la sección 2.5.3 se establece que los mortero y concretos de relleno que se emplean en elementos estructurales de mampostería para rellenar celdas de piezas huecas deberán cumplir con los siguientes requisitos:

- Su resistencia en compresión será por lo menos de 125 kg/cm<sup>2</sup>.
- El tamaño máximo del agregado no excederá de 10 mm.
- Se empleará la mínima cantidad de agua que permita que la mezcla sea lo suficientemente fluida para rellenar las celdas y cubrir completamente las barras de refuerzo vertical, en el caso de que se cuente con refuerzo anterior. Se aceptará el uso de aditivos que mejoren la trabajabilidad.
- Los revenimientos máximos recomendados para morteros y concretos de relleno según la absorción de las piezas son los establecidos en la siguiente tabla, con un margen de tolerancia de 25 mm:

| Absorción de la pieza, % | Revenimiento máximo, mm |
|--------------------------|-------------------------|
| 8 a 10                   | 150                     |
| 10 a 15                  | 175                     |
| 15 a 20                  | 200                     |

Las relaciones volumétricas recomendadas de los distintos componentes se establecen en la siguiente tabla:

| Proporcionamientos, en volumen, recomendados y concretos de relleno en elementos estructurales |                              |                         |                                  |                 |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|-------------------------|----------------------------------|-----------------|
| Tipo                                                                                           | Partes de cemento hidráulico | Partes de cal hidratada | Partes de arena en estado suelto | Partes de grava |
| Mortero                                                                                        | 1                            | 0 a 0.25                | 2.25 a 3                         | -               |
| Cemento                                                                                        | 1                            | 0 a 0.1                 | 2.25 a 3                         | 1 a 2           |

Las disposiciones que se incluyen en las NTCM-2000 para morteros y concretos de relleno toman en cuenta tanto algunas recomendaciones que ya se encontraban de manera aislada (semi perdidas) en las normas anteriores, como recomendaciones que se basan en la práctica internacional, principalmente de Estados Unidos, Canadá y Europa. Por ejemplo, la definición de mortero de relleno es esencialmente un mortero tipo I según las mismas NTCM-2000 y es muy parecido, más no igual, a un mortero de relleno fino según la práctica

internacional. La definición de concreto de relleno es idéntica a la de un mortero de relleno grueso según la práctica internacional.

En la sección 9.2.2.3 se establecen los criterios para la construcción de muros que contengan morteros o concretos de relleno, entre las que destacan las siguientes:

- Los huecos deberán estar libres de materiales extraños y de mortero de la junta. En castillos y huecos interiores se colocará el concreto o mortero de relleno de manera que se obtenga un llenado completo de los huecos. Se admite la compactación del concreto y mortero, sin hacer vibrar excesivamente el refuerzo. El colado de elementos interiores verticales se efectuará en tramos no mayores de:
  - 500 mm, si el área de la celda es de hasta  $2500 \text{ mm}^2$ ,
  - 1.5 m, si el área de la celda es mayor que  $2500 \text{ mm}^2$ .
- Si por razones constructivas se interrumpiera la construcción del muro en ese día, el concreto o mortero de relleno deberá alcanzar hasta la mitad de la altura de la pieza.
- No es necesario llenar totalmente las perforaciones de la piezas multiperforadas.
- No se permite doblar el refuerzo una vez iniciada la colocación del mortero o concreto.
- En muros con piezas huecas y multiperforadas sólo se rellenarán las celdas de las primeras.

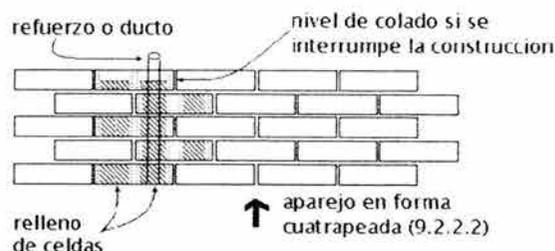
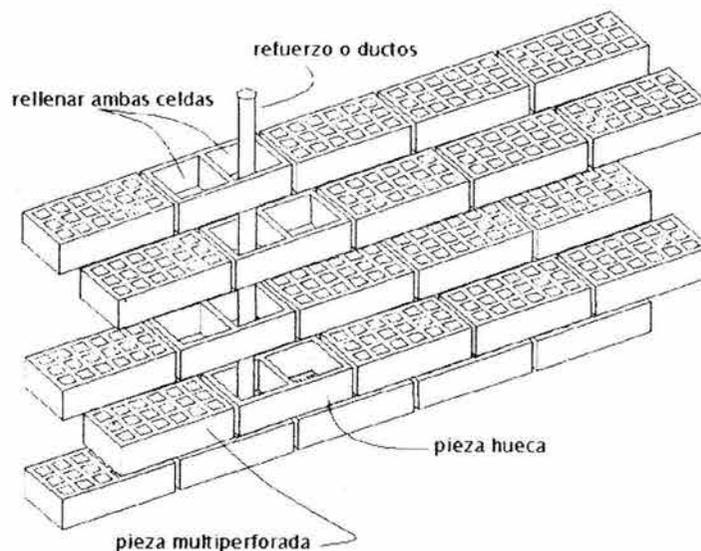
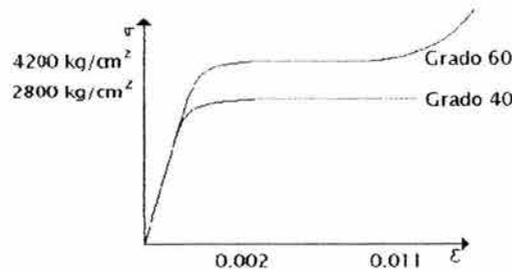


Figura 21. Relleno de piezas (NTCM - 2000)

## 2.2.7 ACERO DE REFUERZO



Se utiliza en muros, columna y vigas de mampostería. los diámetros más comunes son del #3 al #10. los aceros que se utilizan son Grado 40 (40ksi = 2800 kg/cm<sup>2</sup>) y Grado 60 (60ksi = 4200 kg/cm<sup>2</sup>), siendo el último el de uso más general en los Estados Unidos por su mayor ductilidad dadas las características de resistencia de sus mamposterías.... No se recomienda utilizar aceros de muy alta resistencia porque el acero no fluiría a niveles de deformación en que la mampostería se agrieta ( $n = E_s/E_m$ ).

## 2.2.7.1 Refuerzo de la hilada o juntas

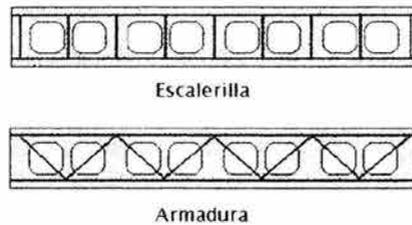


Figura 22. Refuerzo de la hilada o juntas

Este tipo de refuerzo horizontal suele usarse en México. Supuestamente tiene la ventaja de proporcionar una mayor adherencia con la mampostería que si se utilizaran barras de acero de refuerzo convencionales en la juntas, ya que tanto la armadura como la escalerilla, al ser de menor calibre, tienen un área de contacto más apropiada con la junta de mortero, pero esto depende además de que el anclaje con el refuerzo vertical sea óptimo. De hecho, este mecanismo es aún más importante para este tipo de refuerzo. El comportamiento de las armaduras es más confiable que el de las escalerillas, donde se han detectado fallas frágiles en pruebas experimentales, razón por la cual las escalerillas están excluidas como refuerzo horizontal para resistir cortantes por sismo en la NTCM-2000 (secciones 5.4.3.1 y 6.4.3.1).

Si se garantiza tanto un buen anclaje como una buena adherencia, entonces, el refuerzo teóricamente debe trabajar eficiente y rápidamente en el proceso de carga, con lo cual se lograría reducir el agrietamiento de la mampostería y mejorar las características de ductilidad del sistema.

En cuanto a resistencia al corte, en teoría debería de incrementar la capacidad del muro: sin embargo, pruebas experimentales conducidas en los años 70's (Hernández Basilio y Meli) y más (Alcocer y colaboradores) sugieren que esto no es necesariamente cierto, salvo cuando este refuerzo se ancla de manera adecuada en los castillos con detalles de anclaje similares a los que se utilizan en estructuras de concreto reforzado (Alcocer y colaboradores).

### 2.2.7.2 NTCM-2000

Las NTCM-2000 estipulan en su sección 2.6 el tipo y características del acero de refuerzo que se permite utilizar en estructuras de mampostería, que son las siguientes:

El refuerzo que se emplee en castillos, dalas, elementos colocados en el interior del muro y/o en el exterior del muro, estará constituido por barras corrugadas, por malla de acero, por alambres corrugados laminados en frío, o por armaduras soldadas por resistencia eléctrica de alambre de acero para castillos y dalas, que cumplan con las normas mexicanas correspondientes. Se admitirá el uso de barras lisas, como el alambón, únicamente en estribos, en mallas de alambre soldado o en conectores. El diámetro mínimo del alambre para ser usado en estribos es de 5.5 mm. Se podrán utilizar otros tipos de acero siempre y cuando se demuestre a satisfacción del Gobierno del Distrito Federal su eficiencia como refuerzo estructural.

El módulo de elasticidad del acero de refuerzo ordinario,  $E_s$ , se supondrá igual a 2000 kg/cm<sup>2</sup> (2 x 10<sup>5</sup> Mpa). Para diseño se considerará el esfuerzo de fluencia mínimo establecido en las normas citadas.

Además, las NTCM-2000 incluyen ahora, en su sección 3.3, los requisitos de detallado del refuerzo para las distintas modalidades de mampostería incluidas en las normas, tales como el tamaño del refuerzo, la colocación y separación del refuerzo longitudinal, protección del refuerzo, dobleces y anclaje del refuerzo, siendo esta una de las grandes mejoras de las NTCM-2000 con respecto a versiones anteriores. En las secciones 9.2.2.4 y 10.1.2 se establecen lineamientos para el acero de refuerzo que deben supervisarse durante la construcción y control de obra.

### 2.2.8 CASTILLOS Y DALAS

Se define como castillo a aquel elemento confinante vertical de la mampostería fabricado con concreto reforzado y dala al elemento confinante horizontal de la mampostería hecho de concreto reforzado.

Las NTCM-2000 señalan las siguientes especificaciones para castillos y dalas a emplearse en muros de mampostería confinada, en su sección 5.1.1 para castillos y dalas exteriores:

- *Dimensión mínima:* espesor del muro,  $t$ .
- *Resistencia nominal mínima a la compresión del concreto:*  $f'_c = 150 \text{ kg/cm}^2$ .
- *Refuerzo longitudinal:* Deberá dimensionarse para resistir las componentes vertical y horizontal correspondientes del puntal de compresión que se desarrolle en la mampostería para resistir las cargas laterales y verticales. En cualquier caso, estará formado por lo menos de tres barras, cuya área total sea al menos igual a la obtenida con:

$$A_s = 0.2 \frac{f'_c}{f_y} t^2$$

donde  $A_s$  es el área total de acero de refuerzo longitudinal colocada en el castillo o en la dala. Se debe utilizar un mínimo de tres barras. El refuerzo longitudinal del castillo y la dala estará anclado en los elementos que limitan al muro de manera que pueda alcanzar su esfuerzo de fluencia.

- *Refuerzo transversal:* Los castillos y dalas estarán reforzados transversalmente por estribos cerrados y con un área,  $A_{sc}$ , al menos igual a la calculada con la ecuación:

$$A_{sc} = \frac{1000s}{f_y h_c}$$

donde  $h_c$  es la dimensión del castillo o dala en el plano del muro. La separación de los estribos,  $s$ , no excederá de  $1.5 t$  ni de 200 mm, es decir.

$$s_{\max} = \begin{cases} 1.5 t \\ 20 \text{ cm} \end{cases}$$

Cuando la resistencia de diseño en compresión diagonal de la mampostería,  $v_m^*$  sea superior a  $6 \text{ kg/cm}^2$ , se suministrará refuerzo transversal, con área igual a la calculada con la ecuación anterior y con una separación no mayor que una hilada dentro de una longitud  $H_0$  en cada extremo de los castillos.  $H_0$  se tomará como el mayor de  $H/6$ ,  $2h_c$  y 400 mm,

En su sección 5.1.2 establece, para castillos y dalas interiores, que éstas deben cumplir con todos los requisitos establecidos para castillos y dalas exteriores, con excepción de la dimensión mínima. Además, se deberán colocar estribos o grapas en los extremos de los castillos como se indica para castillos y dala exteriores, independientemente del valor de  $v_m^*$ .

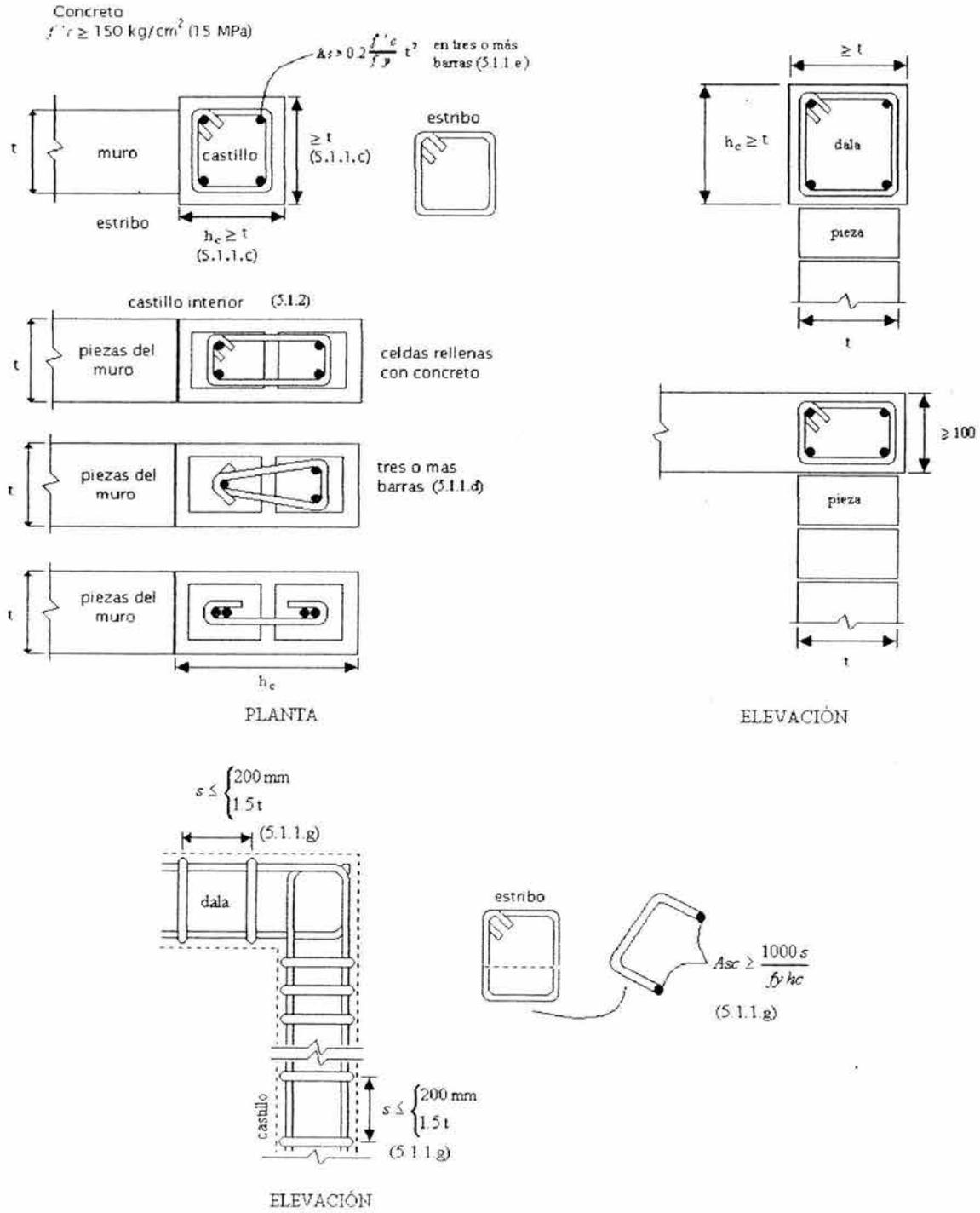


Figura 23. Refuerzo en castillos y dalas

## CAPÍTULO 3

### ESPECIFICACIONES DE ANÁLISIS Y DISEÑO

Estas son tomadas de las NTCM-2000 y del RCDF en las cuales nos basaremos posteriormente para el diseño propuesto en esta Tesis.

#### 3.1 DE LAS NORMAS TÉCNICAS COMPLEMENTARIAS PARA DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERIA

##### 3.1.1. MATERIALES PARA MAMPOSTERÍA

###### 3.1.1.1 Piezas

###### 3.1.1.1.1 TIPO DE PIEZAS

Las piezas usadas en los elementos estructurales de mampostería deberán cumplir con la Norma Mexicana NMX-C-404-ONNCCE, con excepción de lo dispuesto para el límite inferior del área neta de piezas huecas (fig. 24). El peso volumétrico neto mínimo de las piezas, en estado seco, será el indicado en la tabla 3.1.

| Tipo de pieza                          | Valores en kg/cm <sup>2</sup> (kN/m <sup>3</sup> ) |
|----------------------------------------|----------------------------------------------------|
| Tabique de barro recocido              | 1300 (13)                                          |
| Tabique de barro con huecos verticales | 1700 (17)                                          |
| Bloque de concreto                     | 1700 (17)                                          |
| Tabique de concreto (tabicón)          | 1500 (15)                                          |

En el subtítulo 3.2.5 se fijan los distintos factores de comportamiento sísmico,  $Q$ , en función del tipo de piezas que componen un muro y de su refuerzo.

###### 3.1.1.1.1.A PIEZAS MACIZAS

Se considerarán como piezas macizas aquéllas que tienen en su sección transversal más desfavorable un área neta de por lo menos 75 por ciento del área bruta, y cuyas paredes exteriores no tienen espesores menores de 20 mm.

###### 3.1.1.1.1.B PIEZAS HUECAS

Las piezas huecas a que hace referencia en este capítulo son las que tienen, en su sección transversal más desfavorable, un área neta de por lo menos 50 por ciento del área bruta; además el espesor de sus paredes exteriores no es menor que 15 mm (fig. 24). Para piezas multiperforadas y cuyas perforaciones sean de las mismas dimensiones, y cuya distribución sea uniforme, el espesor mínimo de las paredes interiores será de 7 mm. Se entiende como piezas multiperforadas aquellas con más de siete perforaciones o alvéolos (fig. 24).

Para fines de esta especificaciones sólo se permite usar piezas huecas con celdas o perforaciones ortogonales a la cara de apoyo.

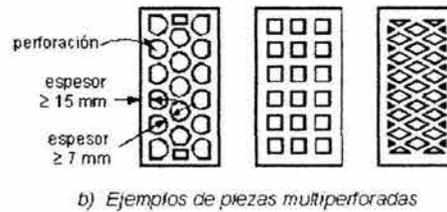
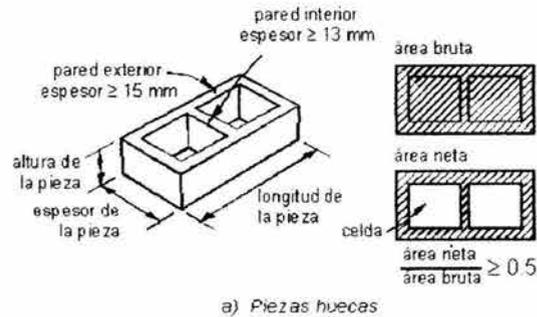


Figura 24. Piezas

### 3.1.1.1.2 RESISTENCIA A COMPRESIÓN

La resistencia a compresión se determinará para cada tipo de piezas de acuerdo con el ensaye especificado en la norma NMX-C-036.

Para diseño, se empleará un valor de la resistencia,  $f_p^*$ , medida sobre el área bruta, que se determinará como el que es alcanzado por lo menos por el 98 por ciento de las piezas producidas.

La resistencia de diseño se determinará con base en la información estadística existente sobre el producto o a partir de muestreos de la pieza, ya sea en planta o en obra. Si se opta por el muestreo, se obtendrán al menos tres muestras, cada una de diez piezas, de lotes diferentes de la producción. Las 30 piezas así obtenidas se ensayaran en laboratorios acreditados por la entidad de acreditación reconocida en los términos de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización. La resistencia de diseño se calculará como:

$$f_p^* = \frac{\overline{f_p}}{1 + 2.5c_p} \quad (3.1)$$

donde

$\overline{f_p}$  media de la resistencia a compresión de las piezas, referida al área bruta; y

$c_p$  coeficiente de variación de la resistencia a compresión de las piezas.

Para el valor de  $c_p$  ver 2.2.2.9 (Pruebas experimentales para los ladrillos).

El sistema de control de calidad se refiere a los diversos procedimientos documentados de la línea de producción de interés, incluyendo los ensayos rutinarios y sus registros.

### 3.1.1.2 Cementantes

#### 3.1.1.2.1 CEMENTO HIDRÁULICO

En la elaboración del concreto y morteros se empleará cualquier tipo de cemento hidráulico que cumpla con los requisitos especificados en la norma NMX-C-414-ONNCCE. Quedan excluidos de esta Norma los cementos de fraguado rápido.

#### 3.1.1.2.2 CEMENTO DE ALBAÑILERÍA

En la elaboración de morteros se podrá usar cemento de albañilería que cumpla con los requisitos especificados en la norma NMX-C-021-ONNCCE.

#### 3.1.1.2.3 CAL HIDRATADA

En la elaboración de morteros se podrá usar cal hidratada que cumpla con los requisitos especificados en la norma NMX-C-003-ONNCCE.

### 3.1.1.3 Agregados pétreos

Los agregados deben cumplir con las especificaciones de la norma NMX-C-111.

### 3.1.1.4 Agua de mezclado

El agua para el mezclado del mortero o del concreto debe cumplir con las especificaciones de la norma NMX-C-122. El agua debe almacenarse en depósitos limpios y cubiertos.

### 3.1.1.5 Morteros

#### 3.1.1.5.1 RESISTENCIA A COMPRESIÓN

La resistencia a compresión del mortero, sea para pegar piezas o de relleno, se determinará de acuerdo con el ensaye especificado en la norma NMX-C-061.

La resistencia a compresión del concreto de relleno se determinará del ensaye del cilindro elaborados, curado y probados de acuerdo con las normas NMX-C-160 y NMX-C-083-ONNCCE.

Para diseño, se empleará un valor de la resistencia,  $f_j^*$ , determinado como el que es alcanzado por lo menos por el 98 por ciento de las muestras. La resistencia de diseño se calculará a partir de muestras del mortero, para pegar piezas o del relleno, o del concreto de relleno por utilizar.

En caso del mortero, se obtendrán al menos tres muestras, cada una de al menos tres probetas cúbicas. Las nueve probetas se ensayarán siguiendo la norma NMX-C-061.

En caso de concreto de relleno, se obtendrán al menos tres probetas cilíndricas. Las probetas se elaborarán, curarán y probarán de acuerdo con las normas NMX-C-083-ONNCCE.

La resistencia de diseño será:

$$f_j^* = \frac{\bar{f}_j}{1 + 2.5c_j} \quad (3.2)$$

donde

$\bar{f}_j$  media de la resistencia a compresión de cubos de mortero o de cilindros de concreto de relleno; y

c) coeficiente de variación de la resistencia a compresión del mortero o del concreto de relleno, que en ningún caso se tomará menor que 0.2.

### 3.1.1.5.2 MORTERO PARA PEGAR PIEZAS

Los morteros que se emplean para pegar elementos estructurales de mampostería deberán cumplir con los requisitos siguientes:

- Su resistencia a compresión será por lo menos de  $40 \text{ kg/cm}^2$ .
- Siempre deberán contener cemento en la cantidad mínima indicada en la tabla 3.2.
- La relación volumétrica entre la arena y la suma de cementantes se encontrará entre 2.25 y 3. El volumen de arena se medirá en estado suelto.
- Se empleará la mínima cantidad de agua que dé como resultado un mortero fácilmente trabajable

Si el mortero incluye cemento de albañilería, la cantidad máxima de éste, a usar en combinación con cemento, será la indicada en la tabla 3.2.

| Tipo de mortero | Partes de cemento hidráulico | Partes de cemento de albañilería | Partes de cal hidratada         | Partes de arena en estado suelto                                     | Resistencia nominal en compresión, $f_j^*$ , $\text{kg/cm}^2$ (Mpa) |
|-----------------|------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|----------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| I               | 1                            | -                                | 0 a $\frac{1}{4}$               | No menos de 2.25 ni más de 3 veces la suma de cementantes en volumen | 125 (12.5)                                                          |
|                 | 1                            | 0 a $\frac{1}{2}$                | -                               |                                                                      |                                                                     |
| II              | 1                            | -                                | $\frac{1}{4}$ a $\frac{1}{2}$   |                                                                      | 75 (7.5)                                                            |
|                 | 1                            | $\frac{1}{2}$ a 1                | -                               |                                                                      |                                                                     |
| III             | 1                            | -                                | $\frac{1}{2}$ a 1 $\frac{1}{4}$ |                                                                      | 40 (4)                                                              |

### 3.1.1.5.3 MORTEROS Y CONCRETOS DE RELLENO

Los morteros y concretos de relleno que se emplean en elementos estructurales de mampostería para rellenar celdas de piezas huecas deberán cumplir con los siguientes requisitos:

- Su resistencia a compresión será por lo menos de  $125 \text{ kg/cm}^2$ .
- El tamaño máximo del agregado no excederá de 10 mm.
- Se empleará la mínima cantidad de agua que permita que la mezcla sea lo suficientemente fluida para rellenar las celdas y cubrir completamente las barras de refuerzo vertical, en el caso de que se cuente con refuerzo interior. Se aceptará el uso de aditivos que mejoren la trabajabilidad.
- En la tabla 3.3 se incluyen revenimientos nominales recomendados para morteros y concretos de relleno según la absorción de las piezas.

| Absorción de la pieza, % | Revenimiento nominal <sup>1</sup> , mm |
|--------------------------|----------------------------------------|
| 8 a 10                   | 150                                    |
| 10 a 15                  | 175                                    |
| 15 a 20                  | 200                                    |

<sup>1</sup> Se aceptan los revenimientos con una tolerancia de  $\pm 25 \text{ mm}$ .

### 3.1.1.6 Acero de refuerzo

El refuerzo que se emplee en castillos, dalas, elementos colocados en el interior del muro y/o en el exterior del muro, estará constituido por barras corrugadas, por malla de acero, por alambres corrugados laminados en frío, o por armaduras soldadas por resistencia eléctrica de alambre de acero para castillos y dalas, que cumplan con las Normas Mexicanas correspondientes. Se admitirá el uso de barras lisas, como el alambón, únicamente en estribos, en mallas de alambre soldado o en conectores. El diámetro mínimo del alambón para ser usado en estribos es de 5.5 mm. Se podrán utilizar otros tipos de acero siempre y cuando se demuestre a satisfacción de la Administración su eficiencia como refuerzo estructural.

El módulo de elasticidad del acero de refuerzo ordinario,  $E_s$  se supondrá igual a  $2 \times 10^6$  kg/cm<sup>2</sup>.

Para diseño se considerará el esfuerzo de fluencia mínimo,  $f_y$ , establecido en las Normas citadas.

### 3.1.1.7 Mampostería

#### 3.1.1.7.1 RESISTENCIA A COMPRESIÓN

La resistencia de diseño a compresión de la mampostería,  $f_m^*$ , sobre área bruta, se determinará con alguno de los tres procedimientos indicados en los subtítulos 3.1.1.7.1.1 a 3.1.1.7.1.3. El valor de la resistencia en estas especificaciones está referido a 28 días. Si se considera que el muro recibirá las acciones de diseño antes de este lapso, se deberá evaluar la resistencia para el tiempo estimado.

##### 3.1.1.7.1.1 ENSAYES DE PILAS CONSTRUIDAS CON LAS PIEZAS Y MORTEROS QUE SE EMPLEARÁN EN LA OBRA

Las pilas (fig. 25) estarán formadas por lo menos con tres piezas sobrepuestas. La relación altura a espesor de la pila estará comprendida entre dos y cinco; las pilas se ensayarán a la edad de 28 días. En la elaboración, curado, transporte, almacenamiento, cabeceado y procedimiento de ensaye de los especímenes se seguirá la Norma Mexicana correspondiente.

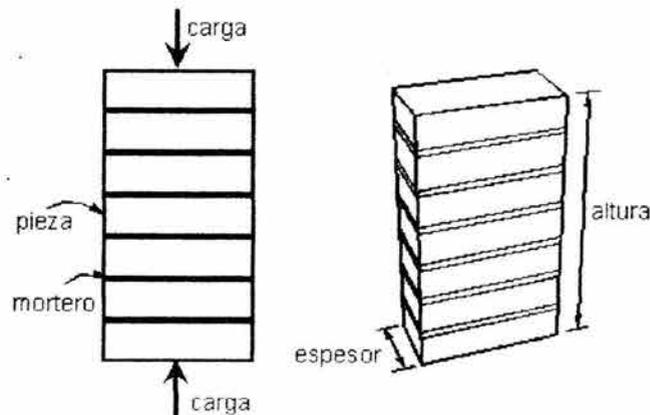


Figura 25. Pila para prueba en compresión

La determinación se hará en un mínimo de nueve pilas en total, construidas con piezas provenientes de por lo menos tres lotes diferentes del mismo producto.

El esfuerzo medio obtenido, calculado sobre el área bruta, se corregirá multiplicándolo por los factores de la tabla 3.4.

| Tabla 3.4 Factores correctivos para las resistencias de pilas con diferentes relaciones altura a espesor |      |      |      |      |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|------|------|------|
| Relación altura a espesor de la pila <sup>1</sup>                                                        | 2    | 3    | 4    | 5    |
| Factor correctivo                                                                                        | 0.75 | 0.90 | 1.00 | 1.05 |
| <sup>1</sup> Para relaciones altura a espesor intermedias se interpolará linealmente                     |      |      |      |      |

La resistencia de diseño a compresión se calculará como:

$$f_m^* = \frac{\bar{f}_m}{1 + 2.5c_m} \quad (3.3)$$

donde

$\bar{f}_m$  media de la resistencia a compresión de las pilas, corregida por su relación altura a espesor y referida al área bruta; y

$c_m$  coeficiente de variación de la resistencia a compresión de las pilas de mampostería, que en ningún caso se tomará inferior a 0.15.

#### 3.1.1.7.1.2 A PARTIR DE LA RESISTENCIA DE DISEÑO DE LAS PIEZAS Y EL MORTERO

Las piezas y el mortero deben cumplir con los requisitos de calidad especificados anteriormente.

a) Para bloques y tabiques de concreto con relación altura a espesor no menor que 0.5 y con  $f_p^* \geq 100$  kg/cm<sup>2</sup>, la resistencia de diseño a compresión podrá ser la que indica la tabla 3.5.

| Tabla 3.5 Resistencia de diseño a compresión de la mampostería de piezas de concreto ( $f_m^*$ , sobre área bruta) |                                    |            |             |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|------------|-------------|
| $f_p^*$<br>kg/cm <sup>2</sup> (Mpa)                                                                                | $f_m^*$ , kg/cm <sup>2</sup> (Mpa) |            |             |
|                                                                                                                    | Mortero I                          | Mortero II | Mortero III |
| 100 (10)                                                                                                           | 50 (5)                             | 45 (4.5)   | 40 (4)      |
| 150 (15)                                                                                                           | 75 (7.5)                           | 60 (6)     | 60 (6)      |
| 200 (20)                                                                                                           | 100 (10)                           | 90 (9)     | 80 (8)      |
| 1 Para valores intermedios se interpolará linealmente                                                              |                                    |            |             |

Los valores  $f_m^*$  de esta tabla son válidos para piezas que cumplen con la resistencia  $f_p^*$  señalada en ella y con el subtítulo 3.1.1.1, y para mampostería con espesores de junta horizontal comprendidos entre 10 y 12 mm si las piezas son de fabricación mecanizada, o de 15mm si son de fabricación artesanal. Para otros casos se deberá determinar la resistencia de acuerdo con el subtítulo anterior.

b) Para piezas de barro con relación altura a espesor no menor que 0.5, la resistencia de diseño a compresión podrá ser la que se obtiene de la tabla 3.6.

**Tabla 3.6 Resistencia de diseño a compresión de la mampostería de piezas de barro ( $f m^*$ , sobre área bruta)**

| $f p^*$<br>kg/cm <sup>2</sup> (Mpa) <sup>1</sup> | $f m^*$ , kg/cm <sup>2</sup> (Mpa) |            |             |
|--------------------------------------------------|------------------------------------|------------|-------------|
|                                                  | Mortero I                          | Mortero II | Mortero III |
| 60 (6)                                           | 20 (2)                             | 20 (2)     | 20 (2)      |
| 75 (7.5)                                         | 30 (3)                             | 30 (3)     | 25 (2.5)    |
| 100 (10)                                         | 40 (4)                             | 40 (4)     | 30 (3)      |
| 150 (15)                                         | 60 (6)                             | 60 (6)     | 40 (4)      |
| 200 (20)                                         | 80 (8)                             | 70 (7)     | 50 (5)      |
| 300 (30)                                         | 120 (12)                           | 90 (9)     | 70 (7)      |
| 400 (40)                                         | 140 (14)                           | 110 (11)   | 90 (9)      |
| 500 (50)                                         | 160 (16)                           | 130 (13)   | 110 (11)    |

<sup>1</sup> Para valores intermedios se interpolará linealmente

Los valores  $f m^*$  de esta tabla son válidos para piezas que cumplen con la resistencia  $f p^*$  señalada en ella y con el subtítulo 3.1.1.1, y para mampostería con espesores de junta horizontal comprendidos entre 10 y 12 mm si las piezas son de fabricación mecanizada, o de 15 mm si son de fabricación artesanal. Para otros casos se deberá determinar la resistencia de acuerdo con la sección anterior.

### 3.1.1.7.1.3 VALORES INDICATIVOS

Si no se realizan determinaciones experimentales podrán emplearse los valores de  $f m^*$  que, para distintos tipos de piezas y morteros, se presentan en la tabla 3.7.

**Tabla 3.7 Resistencia de diseño a compresión de la mampostería,  $f m^*$ , para algunos tipos de piezas, sobre área bruta**

| Tipo de piezas                                                                            | $f m^*$ , kg/cm <sup>2</sup> (Mpa) |            |             |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|------------|-------------|
|                                                                                           | Mortero I                          | Mortero II | Mortero III |
| Tabique de barro recocido ( $f p^* \geq 60$ kg/cm <sup>2</sup> , 6 Mpa)                   | 15 (1.5)                           | 15 (1.5)   | 15 (1.5)    |
| Tabique de barro con huecos verticales ( $f p^* \geq 120$ kg/cm <sup>2</sup> , 12 Mpa)    | 40 (4)                             | 40 (4)     | 30 (3)      |
| Bloque de concreto (pesado <sup>1</sup> ) ( $f p^* \geq 100$ kg/cm <sup>2</sup> , 10 Mpa) | 20 (2)                             | 15 (1.5)   | 15 (1.5)    |
| Tabique de concreto (tabicón) ( $f p^* \geq 100$ kg/cm <sup>2</sup> , 10 Mpa)             | 20 (2)                             | 15 (1.5)   | 15 (1.5)    |

<sup>1</sup> Con peso volumétrico neto, en estado seco, no menor que 2000 kg/m<sup>3</sup> (20 kN/m<sup>3</sup>)

Los valores  $f m^*$  de esta tabla son válidos para piezas que cumplen con la resistencia  $f p^*$  señalada en ella y con el subtítulo 3.1.1.1, y para mampostería con espesores de junta horizontal comprendidos entre 10 y 12 mm si las piezas son de fabricación mecanizada, o de 15 mm si son de fabricación artesanal. Para otros casos se deberá determinar la resistencia de acuerdo con la sección 3.1.1.7.1.1.

### 3.1.1.7.2 RESISTENCIA A COMPRESIÓN DIAGONAL

La resistencia de diseño a compresión diagonal de la mampostería,  $v_m^*$ , sobre área bruta de la diagonal, se determinará con alguno de los dos procedimientos indicados a continuación. El valor de la resistencia en estas especificaciones está referido a 28 días. Si se considera que el muro recibirá las acciones de diseño antes de este lapso, se deberá evaluar la resistencia para el tiempo estimado.

#### 3.1.1.7.2.1 ENSAYES EN MURETES CONSTRUIDOS CON LAS PIEZAS Y MORTEROS QUE SE EMPLEARÁN EN LA OBRA

Los muretes (fig. 26) tendrán una longitud de la menos una vez y media la longitud de la pieza y el número de hiladas necesario para que la altura sea aproximadamente igual a la longitud. Los muretes se ensayarán someténdolos a una carga de compresión monótona a lo largo de su diagonal y el esfuerzo cortante medio se determinará dividiendo la carga máxima entre el área bruta del murete medida sobre la misma diagonal.

Los muretes se ensayarán a la edad de 28 días. En la elaboración, curado, transporte, almacenamiento, cabeceado y procedimiento de ensaye de los especímenes se seguirá la Norma Mexicana correspondiente.

La determinación se hará sobre un mínimo de nueve muretes construidos con piezas provenientes de por lo menos tres lotes diferentes.

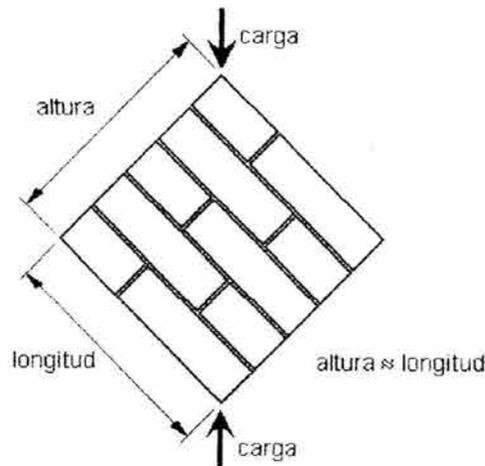


Figura 26. Murete para prueba en compresión diagonal

La resistencia de diseño a compresión diagonal,  $v_m^*$ , será igual a

$$v_m^* = \frac{\overline{v_m}}{1 + 2.5c_v} \quad (3.4)$$

donde

$\overline{v_m}$  media de la resistencia a compresión diagonal de muretes, sobre área bruta medida a lo largo de la diagonal paralela a la carga; y

$c_v$  coeficiente de variación de la resistencia a compresión diagonal de muretes, que en ningún caso se tomará inferior a 0.20.

Para muros que dispongan de algún sistema de refuerzo cuya contribución a la resistencia se quiera evaluar o que tengan características que no pueden representarse en la tamaño del murete, las pruebas de compresión diagonal antes descritas deberán realizarse en muros de al menos 2 m del lado.

### 3.1.1.7.2.2 VALORES INDICATIVOS

Si no se realizan ensayos de muretes, la resistencia de diseño a compresión diagonal será la que indica la tabla 3.8. Las piezas huecas referidas en el tabla deben cumplir con lo dispuesto en el subtítulo 3.1.1.1.

| <b>Tabla 3.8 Resistencia de diseño a compresión diagonal para algunos tipos de mampostería, sobre área bruta</b> |                 |                                          |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|------------------------------------------|
| Pieza                                                                                                            | Tipo de mortero | $v_m^{*1}$ ,<br>kg/cm <sup>2</sup> (Mpa) |
| Tabique de barro recocido<br>( $f_p^* \geq 60$ kg/cm <sup>2</sup> , 6 Mpa)                                       | I               | 3.5 (0.35)                               |
|                                                                                                                  | II y III        | 3 (0.3)                                  |
| Tabique de barro con huecos verticales<br>( $f_p^* \geq 120$ kg/cm <sup>2</sup> , 12 Mpa)                        | I               | 3 (0.3)                                  |
|                                                                                                                  | II y III        | 2 (0.2)                                  |
| Bloque de concreto (pesado <sup>2</sup> ) ( $f_p^* \geq 100$ kg/cm <sup>2</sup> , 10 Mpa)                        | I               | 3.5 (0.35)                               |
|                                                                                                                  | II y III        | 2.5 (0.25)                               |
| Tabique de concreto (tabicón) ( $f_p^* \geq 100$ kg/cm <sup>2</sup> , 10 Mpa)                                    | I               | 3 (0.3)                                  |
|                                                                                                                  | II y III        | 2 (0.2)                                  |

<sup>1</sup> Cuando el valor de la tabla sea mayor que  $0.8 \sqrt{f_m^*}$ , en kg/cm<sup>2</sup>

<sup>2</sup> Con peso volumétrico neto, en estado seco, no menor que 2000 kg/cm<sup>2</sup>

Los valores  $v_m^*$  de esta tabla son válidos para piezas que cumplen con la resistencia  $f_p^*$  señalada en ella y con el subtítulo 3.1.1, y para mampostería con espesores de junta horizontal comprendidos entre 10 y 12 mm. Para otros casos se deberá determinar la resistencia de acuerdo con el subtítulo anterior.

### 3.1.1.7.3 RESISTENCIA AL APLASTAMIENTO

Cuando una carga concentrada se transmite directamente a la mampostería, el esfuerzo de contacto no excederá de  $0.6 f_m^*$ .

### 3.1.1.7.4 RESISTENCIA A TENSIÓN

Se considerará que es nula la resistencia de la mampostería a esfuerzo de tensión perpendiculares a las juntas. Cuando se requiera esta resistencia deberá proporcionarse el acero de refuerzo necesario.

### 3.1.1.7.5 MÓDULO DE ELASTICIDAD

El módulo de elasticidad de la mampostería,  $E_m$ , se determinará con alguno de los dos procedimientos siguientes.

#### 3.1.1.7.5.1 ENSAYES DE PILAS CONSTRUIDAS CON LAS PIEZAS Y MORTEROS QUE SE EMPLEARÁN EN LA OBRA.

Se ensayarán pilas del tipo, a la edad y en la cantidad indicados en el subtítulo 3.1.1.7.1.1. El módulo de elasticidad para cargas de corta duración se determinará según lo especificado en la Norma Mexicana correspondiente.

Para obtener el módulo de elasticidad para cargas sostenidas se deberán considerar las deformaciones diferidas debidas al flujo plástico y el mortero. Optativamente, el módulo de elasticidad para cargas de corta duración obtenida del ensaye de pilas se podrá dividir entre 2.3 si se trata de piezas de concreto, o entre 1.7 si se trata de piezas de barro o de otro material diferente del concreto.

### 3.1.1.7.5.2 DETERMINACIÓN A PARTIR DE LA RESISTENCIA DE DISEÑO A COMPRESIÓN DE LA MAMPOSTERÍA

- a) Para mampostería de tabiques y bloques de concreto:

$$E_m = 800 f_m^* \text{ para cargas de corta duración.} \quad (3.5)$$

$$E_m = 350 f_m^* \text{ para cargas sostenidas.} \quad (3.6)$$

- b) Para mampostería de tabique de barro y otras piezas, excepto las de concreto.

$$E_m = 600 f_m^* \text{ para cargas de corta duración.} \quad (3.7)$$

$$E_m = 350 f_m^* \text{ para cargas sostenidas.} \quad (3.8)$$

### 3.1.1.7.6 MÓDULO DE CORTANTE

El módulo de cortante de la mampostería,  $G_m$ , se determinará con alguno de los dos procedimientos indicados en seguida. Se aplicará el subtítulo 3.1.1.7.6.2 si el módulo de elasticidad se determinó a partir de la resistencia de diseño a compresión de la mampostería.

#### 3.1.1.7.6.1 ENSAYES DE MURETES CONSTRUIDOS CON LAS PIEZAS Y MORTERO QUE SE EMPLEARÁN EN LA OBRA

Se ensayarán muretes del tipo, a la edad y en la cantidad señalados en “Ensayes en muretes construidos con las piezas y morteros que se emplearán en la obra”. El módulo de cortante se determinará según lo especificado en la Norma Mexicana correspondiente.

#### 3.1.1.7.6.2 DETERMINACIÓN A PARTIR DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD DE LA MAMPOSTERÍA

Si se opta por usar el módulo de elasticidad a partir de la resistencia de diseño para determinar el módulo de elasticidad de la mampostería, el módulo de cortante de la mampostería se puede tomar como:

$$G_m = 0.4 E_m \quad (3.9)$$

### 3.1.2 ESPECIFICACIONES GENERALES DE ANÁLISIS Y DISEÑO

#### 3.1.2.1 Criterios de diseño

El dimensionamiento y detallado de elementos estructurales se hará de acuerdo con los criterios relativos a los estados límite de falla y de servicio establecidos en el Título Sexto del Reglamento y en estas Normas, o por algún procedimiento optativo que cumpla con los requisitos de Título Sexto. Adicionalmente, se diseñarán las estructuras por durabilidad.

Las fuerza y momentos internos producidos por las acciones a que están sujetas las estructuras se determinarán de acuerdo con los criterios prescritos en el subtítulo 3.1.2.2.

#### 3.1.2.1.1 ESTADO LÍMITE DE FALLA

Según el criterio de estado límite de falla, las estructuras y elementos estructurales deben dimensionarse y detallarse de modo que la resistencia de diseño en cualquier sección sea al menos igual al valor de diseño de la fuerza o momento internos.

Las resistencias de diseño deben incluir el correspondiente factor de resistencia,  $F_R$ .

Las fuerzas y momentos internos de diseño se obtienen multiplicando por el correspondiente factor de carga, los valores de dichas fuerzas y momentos internos calculados bajo las acciones especificadas en el Título Sexto del Reglamento y en las Normas Técnicas Complementarias sobre Criterios y Acciones para el Diseño Estructural de las Edificaciones.

### 3.1.2.1.2 ESTADO LÍMITE DE SERVICIO

Se comprobará que las respuestas de la estructura (asentamientos, deformación, agrietamiento, vibraciones, etc.) queden limitadas a valores tales que el funcionamiento en condiciones de servicio sea satisfactorio.

### 3.1.2.1.3 DISEÑO POR DURABILIDAD

El diseño por durabilidad es un parámetro independiente del diseño de cualquier elemento de concreto. Las condiciones de exposición y servicio son necesarias de considerar en el diseño de una estructura de concreto, de tal manera que cada una de ellas sea contemplada o incluida en el análisis.

Se diseñarán y detallarán las estructuras por durabilidad para que la expectativa de vida útil sea de 50 años.

Los requisitos mínimos establecidos en estas especificaciones son válidos para elementos expuestos a ambientes no agresivos, tanto interior como exteriormente, y que corresponden a una clasificación de exposición  $A_1$  y  $A_2$ , según las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto.

Si el elemento estará expuesto a ambientes más agresivos, como pueden ser: corrosión en el acero de refuerzo, abrasión por el ataque de ácidos o sustancias altamente corrosivas, altas temperaturas, humedad excesiva en el ambiente o salinidad en el mismo; se deberán aplicar los criterios de diseño por durabilidad de estructuras de concreto; además de cumplir con la Norma NMX - C - 403.

### 3.1.2.1.4 FACTORES DE RESISTENCIA

Las resistencias deberán reducirse por un factor de resistencia  $F_R$ . Los valores del factor de resistencia serán los siguientes.

#### 3.1.2.1.4.1 EN MUROS SUJETOS A COMPRESIÓN AXIAL

$F_R = 0.6$  para muros confinados o reforzados interiormente.

$F_R = 0.3$  para muros no confinados ni reforzados interiormente.

#### 3.1.2.1.4.2 EN MUROS SUJETOS A FLEXOCOMPRESIÓN EN SU PLANO O A FLEXOCOMPRESIÓN FUERA DE SU PLANO

$F_R = 0.8$  si  $P_u \leq \frac{P_R}{3}$

$F_R = 0.6$  si  $P_u > \frac{P_R}{3}$

#### 3.1.2.1.4.3 EN MUROS SUJETOS A FUERZA CORTANTE

$F_R = 0.7$  para muros diafragma, muros confinados y muros con refuerzo interior.

$F_R = 0.4$  para muros no confinados ni reforzados interiormente.

### 3.1.2.1.5 CONTRIBUCIÓN DEL REFUERZO A LA RESISTENCIA A CARGAS VERTICALES

La contribución a la resistencia a carga vertical de castillos y dalas o del refuerzo interior se considerará según lo establecido en el Capítulo 4, a menos que mediante ensayos a escala natural se haya demostrado que se justifica un incremento mayor en la resistencia debido a dicho refuerzo.

### 3.1.2.1.6 HIPÓTESIS PARA LA RESISTENCIA DE DISEÑO A FLEXIÓN

La determinación de resistencias de secciones de cualquier forma sujetas a flexión, carga axial o una combinación de ambas, se efectuará con el criterio de resistencia a flexocompresión que se especifica para concreto reforzado, y con base en las hipótesis siguientes:

- a) La mampostería se comporta como un material homogéneo.
- b) La distribución de deformaciones unitarias longitudinales en la sección transversal de un elemento es plana.
- c) Los refuerzos de tensión son resistidos por el acero de refuerzo únicamente.
- d) Existe adherencia perfecta entre el acero de refuerzo vertical y el concreto de relleno que lo rodea.
- e) La sección falla cuando se alcanza, en la mampostería, la deformación unitaria máxima a compresión que se tomará igual a 0.003.
- f) A menos que ensayos en pilas permitan obtener una mejor determinación de la curva esfuerzo-deformación de la mampostería, ésta se supondrá lineal hasta la falla.

En muros con piezas huecas en los que no todas las celdas estén rellenas con concreto, se considerará el valor de  $f_m^*$  de las piezas huecas sin relleno en la zona a compresión.

Muros sometidos a momentos flexionantes, perpendiculares a su plano podrán ser confinados o bien reforzados interiormente. En este último caso podrá determinarse la resistencia a flexocompresión tomando en cuenta el refuerzo vertical del muro, cuando la separación de éste no exceda de seis veces el espesor del muro,  $t$ .

### 3.1.2.1.7 RESISTENCIA DE LA MAMPOSTERÍA A CARGAS LATERALES

La fuerza cortante que toma la mampostería se basa en el esfuerzo cortante resistente de diseño, será igual a la resistencia a compresión diagonal,  $v_m^*$ .

## 3.1.2.2 Métodos de análisis

### 3.1.2.2.1 CRITERIO GENERAL

La determinación de las fuerzas y momentos internos en los muros se hará, en general, por medio de un análisis elástico de primer orden. En la determinación de las propiedades elásticas de los muros deberá considerarse que la mampostería no resiste tensiones en dirección normal a las juntas y emplear, por tanto, las propiedades de las secciones agrietadas y transformadas cuando dichas tensiones aparezcan.

Los módulos de elasticidad del acero de refuerzo y de la mampostería, así como el módulo de cortante de la mampostería, se tomarán como se indica en los subtítulos 3.1.1.6, 3.1.1.7.5 y 3.1.1.7.6, respectivamente. Para el concreto se usará el valor supuesto en las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto.

### 3.1.2.2.2 ANÁLISIS POR CARGAS VERTICALES

#### 3.1.2.2.2.1 CRITERIO BÁSICO

Para el análisis por cargas verticales se tomará en cuenta que en las juntas de los muros y los elementos de piso ocurren rotaciones locales debidas al aplastamiento del mortero. Por tanto, para muros que soportan losas de concreto monolíticas o prefabricadas, se supone que la junta tiene suficiente capacidad de rotación para que pueda

considerarse que, para efectos de distribución de momentos en el nudo muro-losa, la rigidez de los muros es nula y que los muros sólo quedan cargados axialmente.

En el análisis se deberá considerar la interacción que pueda existir entre el suelo, la cimentación y los muros.

### 3.1.2.2.2 FUERZAS Y MOMENTOS DE DISEÑO

Será admisible determinar las cargas verticales que actúan sobre cada muro mediante una bajada de cargas por áreas tributarias.

Para el diseño sólo se tomarán en cuenta los momentos flexionantes siguientes:

a) Los momentos flexionantes que deben ser resistidos por condiciones de estática y que no pueden ser redistribuidos por la rotación del nudo, como son los debidos a un voladizo que se empotre en el muro y los debidos a empujes, de viento o sismo, normales al plano del muro.

b) Los momentos flexionantes debidos a la excentricidad con que se transmite la carga de la losa del piso inmediatamente superior en muros extremos; tal excentricidad,  $e_c$ , se tomará igual a:

$$e_c = \frac{t}{2} - \frac{b}{3} \quad (3.10)$$

donde  $t$  es el espesor del muro y  $b$  es longitud de apoyo de una losa soportada por el muro (fig. 27).

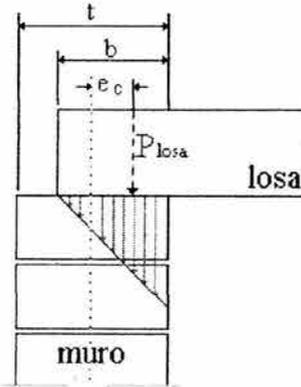


Figura 27. Excentricidad de la carga vertical

### 3.1.2.2.3 FACTOR DE REDUCCIÓN POR LOS EFECTOS DE EXCENTRICIDAD Y ESBELTEZ

Se podrán tomar en cuenta mediante los valores aproximados del factor de reducción  $F_E$ .

a) Se podrá tomar  $F_E$  igual a 0.7 para muros interiores que soporten claros que no difieren en más de 50 por ciento. Se podrá tomar  $F_E$  igual a 0.6 para muros extremos o con claros que difieran en más de 50 por ciento así como para casos en que la relación entre cargas vivas y cargas muertas de diseño excede de uno. Para ambos casos, se deberá cumplir simultáneamente que:

- 1) Las deformaciones de los extremos superior e inferior del muro en la dirección normal a su plano están restringidas por el sistema de piso, por dadas o por otros elementos;
- 2) La excentricidad en la carga axial aplicada es menor que  $t/12$  y no hay fuerzas significativas que actúan en dirección normal al plano del muro; y
- 3) La relación altura libre a espesor del muro,  $H/t$ , no excede de 20.

b) Cuando no se cumplan las condiciones del inciso anterior, el factor de reducción por excentricidad y esbeltez se determinará como el menor entre el especificado en el inciso anterior, y el que se obtienen con la ecuación siguiente:

$$F_E = \left(1 - \frac{2e'}{t}\right) \left[1 - \left(\frac{kH}{30t}\right)^2\right] \quad (3.11)$$

donde

$H$  = altura libre del muro entre elementos capaces de darle apoyo lateral;

$e'$  = excentricidad calculada para la carga vertical más una excentricidad accidental que se tomará igual a  $t/24$ ; y

$k$  = factor de altura efectiva del muro que se determinará según el criterio siguiente:

- |           |                                                                              |
|-----------|------------------------------------------------------------------------------|
| $k = 2$   | para muros sin restricción al desplazamiento lateral en su extremo superior; |
| $k = 1$   | para muros extremos en que se apoyan losas; y                                |
| $k = 0.8$ | para muros limitados por dos losas continuas a ambos lados del muro.         |

#### 3.1.2.2.4 EFECTO DE LAS RESTRICCIONES A LAS DEFORMACIONES LATERALES

En casos en que el muro en consideración esté ligado a muros transversales, a columnas o castillos que restrinjan su deformación lateral, el factor  $F_E$  se calculará como

$$F_E = \left(1 - \frac{2e'}{t}\right) \left[1 - \left(\frac{kH}{30t}\right)^2\right] \left[1 - \frac{H}{L'} + \frac{H}{L'}\right] \leq 0.9 \quad (3.12)$$

donde  $L'$  es la separación de los elementos rigidizantes transversales al muro (fig. 28)

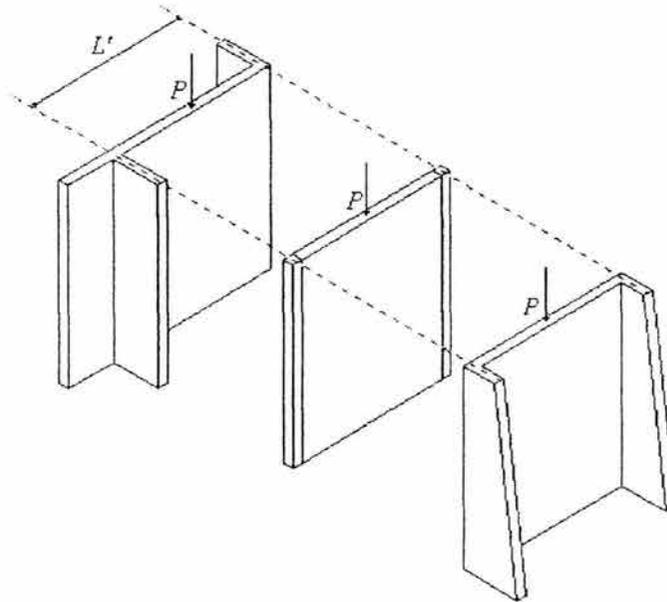


Figura 28. Restricción de la deformación lateral

### 3.1.2.2.3 ANÁLISIS POR CARGAS LATERALES

#### 3.1.2.2.3.1 CRITERIO BÁSICO

Para determinar las fuerzas y momentos internos que actúan en los muros, las estructuras de mampostería se podrán analizar mediante métodos dinámicos o estáticos o bien empleando el método simplificado de análisis descrito más adelante. Se deberá considerar el efecto de aberturas en la rigidez y resistencia laterales.

#### 3.1.2.2.3.2 MÉTODOS DE ANÁLISIS DINÁMICO Y ESTÁTICO

Se aceptará el análisis mediante métodos dinámicos o estáticos que cumplan con el subtítulo 3.2.2.

La determinación de los efectos de las cargas laterales inducidas por sismo se hará con base en las rigideces relativas de los distintos muros y segmentos de muro. Estas se determinarán tomando en cuenta las deformaciones por cortante y por flexión. Para la revisión del estado límite de falla y para evaluar las deformaciones por cortante, será válido considerar la sección transversal agrietada en aquellos muros o segmentos más demandados. Para evaluar las deformaciones por flexión se considerará la sección transversal agrietada del muro o segmento cuando la relación de carga vertical a momento flexionante es tal que se presenta tensiones verticales.

Se tomará en cuenta la restricción que impone a la rotación de los muros, la rigidez de los sistemas de piso y techo, así como la de los dinteles y pretiles.

En estructuras de mampostería confinada o reforzada interiormente, los muros y segmentos sin aberturas se pueden modelar como columna anchas (fig. 29), con momentos de inercia y áreas de cortante iguales a las de castillo intermedios, se deberá evaluar el comportamiento esperado para decidir si, para fines de análisis, el muro se divide en segmentos a cada uno de los cuales se les asignará el momento de inercia y el área de cortante correspondiente.

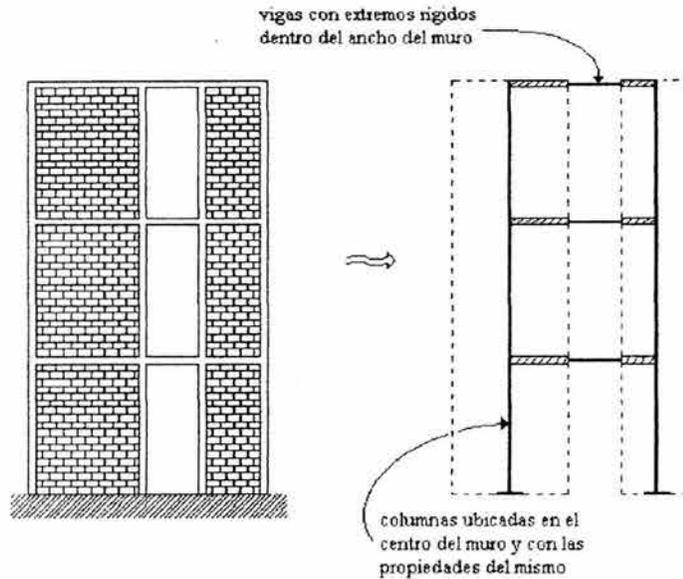


Figura 29. Modelo de columna ancha

Las columnas anchas estarán acopladas por vigas con el momento de inercia de la losa en un ancho equivalente, al cual deberá sumarse el momento de inercia de dinteles y pretiles.

En los análisis se usarán los módulos de elasticidad y de cortante de la mampostería,  $E_m$  y  $G_m$  con valores para cargas de corta duración. Los valores deberán reflejar las rigideces axiales y de cortante que se espera obtener de la mampostería en obra. Los valores usados en el análisis deberán indicarse en los planos.

Para estimar la rigidez a flexión en losas, con o sin pretiles se considerará un ancho de cuatro veces el espesor de la losa a cada lado de la trabe o dala, o de tres veces el espesor de la losa cuando no se tiene trabe o dala (fig. 30).

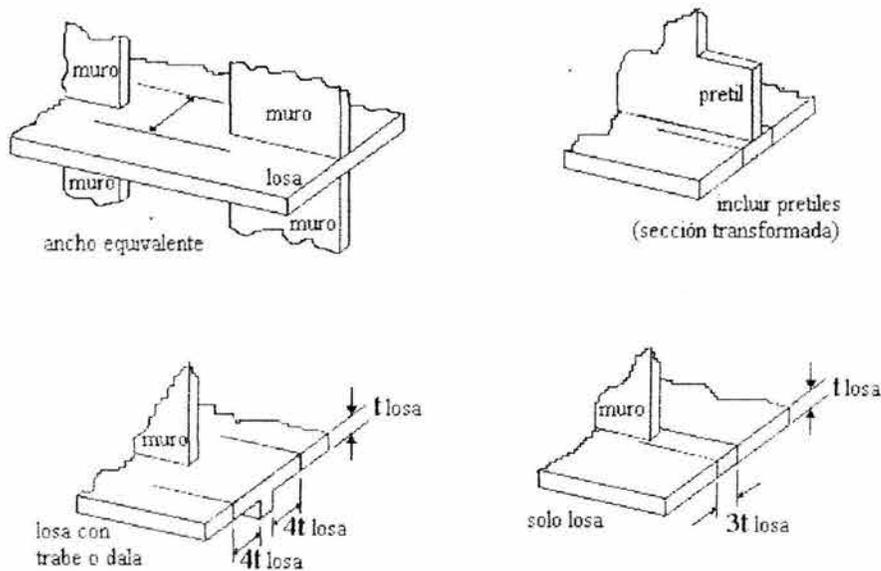


Figura 30. Ancho equivalente en losas

En los análisis a base de marcos planos, para estimar la rigidez a flexión de muros con patines, se considerará un ancho del patín a compresión a cada lado del alma que no exceda de seis veces el espesor del patín (fig. 31).

Para el caso de muros que contengan aberturas, éstos podrán modelarse como columnas anchas equivalentes, solamente si el patrón de aberturas es regular en elevación (fig. 29), en cuyo caso los segmentos sólidos del muro se modelarán como columnas anchas y éstas se acoplarán por vigas conforme se establece en el párrafo anterior. Si la distribución de aberturas es irregular o compleja en elevación, deberán emplearse métodos más refinados para el modelado de dichos muros. Se admite usar el método de elementos finitos, el método de puntales y tensores u otros procedimientos analíticos similares que permitan modelar adecuadamente la distribución de las aberturas en los muros y su impacto en las rigideces, deformaciones y distribuciones de esfuerzos a lo largo y lato de los muros.

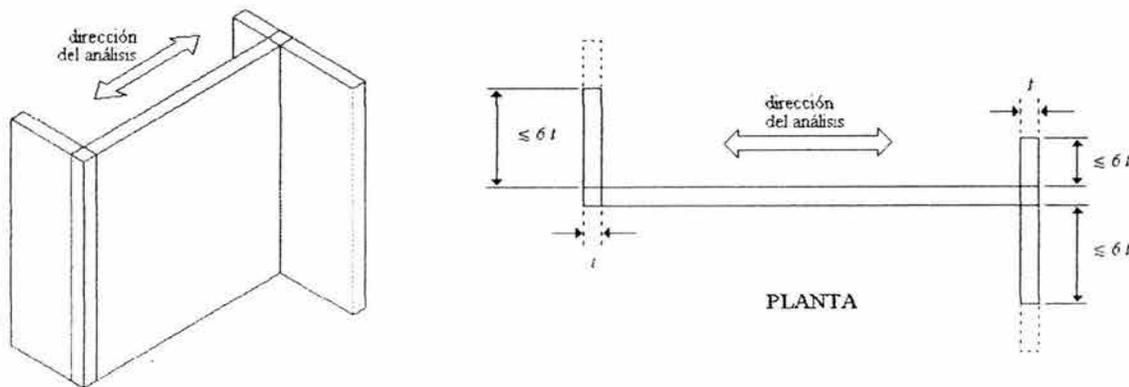


Figura 31. Ancho del patín a compresión en muros I, T, C o L

Los muros diafragma se podrán modelar como diagonales equivalentes o como paneles unidos en las esquinas con las vigas y columnas del marco perimetral.

Si se usan muros de mampostería y de concreto se deberán considerar las diferencias entre las propiedades mecánicas de ambos materiales.

Si se usa el cuerpo principal de la Normas Técnicas Complementaria para Diseño por Sismo, las distorsiones laterales permisibles que se usarán en la revisión de los desplazamientos laterales será las indicadas a continuación:

- 0.006 en muros diafragma.
- 0.0035 en muros de carga de mampostería confinada de piezas macizas con refuerzo horizontal o mallas.
- 0.0025 en muros de carga de:
  - a) mampostería confinada de piezas macizas;
  - b) mampostería de piezas huecas confinada y reforzada horizontalmente; o
  - c) mampostería de piezas huecas confinada y reforzada con malla.
- 0.002 en muros de carga de mampostería de piezas huecas con refuerzo interior.
- 0.0015 en muros de carga de mampostería que no cumplan las especificaciones para mampostería confinada ni para mampostería reforzada interiormente.

## 3.1.2.2.3.3 MÉTODO SIMPLIFICADO

Será admisible considerar que la fuerza cortante que toma cada muro o segmento es proporcional a su área transversal, ignorar los efectos de torsión y de momento de volteo, y emplear el método simplificado de diseño sísmico, cuando se cumplan los requisitos siguientes:

1) En cada planta, al menos 75 por ciento de las cargas verticales están 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 con respecto a dos ejes ortogonales. Para ello, la excentricidad torsional calculada estáticamente,  $e_s$ , no excederá del diez por ciento de la dimensión en planta del entrepiso medida paralelamente a dicha excentricidad,  $B$ . La excentricidad torsional  $e_s$  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 de cortante del entrepiso, entre el área efectiva total de los muros orientados en la dirección de análisis (fig. 32). El área efectiva es el producto del área bruta de la sección transversal del muro,  $A_T$ , y el factor  $F_{AE}$ , que está dado por

$$F_{AE} = 1, \quad \text{si } \frac{H}{L} \leq 1.33$$

$$F_{AE} = \left(1.33 \frac{L}{H}\right)^2, \quad \text{si } \frac{H}{L} > 1.33 \quad (3.13)$$

donde  $H$  es la altura del muro y  $L$ , es la longitud efectiva del muro.

2) La relación entre longitud y ancho de la planta del edificio no excede de 2 a menos que, para fines de análisis sísmico, se pueda suponer dividida dicha planta en tramos independientes cuya relación longitud a ancho satisfaga esta restricción y las que se fijan en el inciso anterior, y cada tramo se revise en forma independiente en su resistencia a efectos sísmicos.

3) La relación entre la altura y la dimensión mínima de la base del edificio no excede de 1.5 y la altura del edificio no es mayor de 13 m.

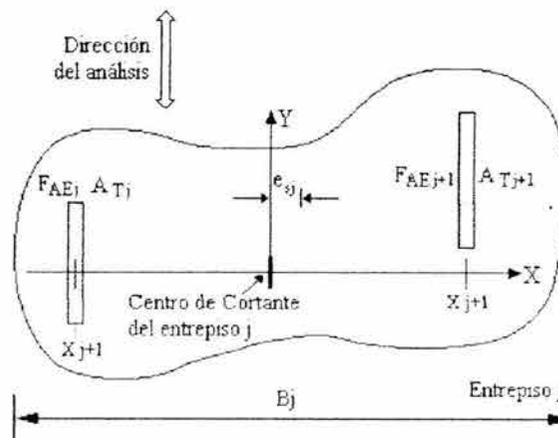


Figura 32. Requisito para considerar distribución simétrica de muros en una dirección

$$e_{sj} = \frac{\left| \sum_{j=1}^n X_j F_{AE_j} A_{T_j} \right|}{\sum_{j=1}^n X_j F_{AE_j} A_{T_j}} \leq 0.1B_j \quad (3.14)$$

### 3.1.2.2.4 ANÁLISIS POR TEMPERATURA

Cuando por el diferencial de temperaturas así se requiera, o cuando la estructura tenga un longitud mayor de 40 m, será necesario considerar los efectos de la temperatura en las deformaciones y elementos mecánicos. Se deberá poner especial cuidado al evaluar lo efectos en función de las características mecánicas de la mampostería.

### 3.1.2.3 Detallado del refuerzo

#### 3.1.2.3.1 GENERAL

Los planos de construcción deberán tener figuras o notas con los detalles de refuerzo. Toda barra de refuerzo deberá estar rodeada en toda su longitud por mortero, concreto o mortero de relleno, con excepción de las barras de refuerzo horizontal que estén ancladas según el subtítulo 3.1.2.3.6.4.

#### 3.1.2.3.2 TAMAÑO DEL ACERO DE REFUERZO

##### 3.1.2.3.2.1 DIÁMETRO DEL ACERO DE REFUERZO LONGITUDINAL

El diámetro de la barra más gruesa no deberá exceder de la mitad de la menor dimensión libre de una celda. En castillos y dalas, el diámetro de la barra más gruesa no deberá exceder de un sexto de la menor dimensión (fig. 33).

##### 3.1.2.3.2.2 DIÁMETRO DEL ACERO DE REFUERZO HORIZONTAL

El diámetro del refuerzo horizontal no será menor que 3.5 mm ni mayor que tres cuartas partes del espesor de la junta (fig. 33).

#### 3.1.2.3.3 COLOCACIÓN Y SEPARACIÓN DEL ACERO DE REFUERZO LONGITUDINAL

##### 3.1.2.3.3.1 DISTANCIA LIBRE ENTRE BARRAS

La distancia libre entre barras paralelas, empalmes de barras, o entre barras y empalmes, no será menor que el diámetro nominal de la barra más gruesa, ni que 25 mm (fig. 33).

##### 3.1.2.3.3.2 PAQUETES DE BARRAS

Se aceptarán paquetes de dos barras como máximo.

##### 3.1.2.3.3.3 ESPESOR DE MORTERO DE RELLENO Y REFUERZO

El espesor del concreto o mortero de relleno, entre las barras o empalmes y la pared de la pieza será al menos de 6 mm (fig. 33).

#### 3.1.2.3.4 PROTECCIÓN DEL ACERO DE REFUERZO

##### 3.1.2.3.4.1 RECUBRIMIENTO EN CASTILLOS EXTERIORES Y DALAS

En muros confinados con castillos exteriores, las barras de refuerzo longitudinal de castillos y dalas deberán tener un recubrimiento mínimo de concreto de 20 mm (fig. 33)

3.1.2.3.4.2 RECUBRIMIENTO EN CASTILLOS INTERIORES Y EN MUROS CON REFUERZO INTERIOR

Si la cara del muro está expuesta a tierra, el recubrimiento será de 35 mm para barras no mayores del No. 5 (15.9 mm de diámetro) o de 50 mm para barras más gruesas (fig. 33)

3.1.2.3.4.3 RECUBRIMIENTO DE REFUERZO HORIZONTAL

La distancia libre mínima entre una barra de refuerzo horizontal o malla de alambre soldado y el exterior del muro será la menor de 10 mm o una vez el diámetro de la barra (fig. 33).

3.1.2.3.5 DOBLECES DEL REFUERZO

El radio interior de un dobléz será el especificado para concreto reforzado.

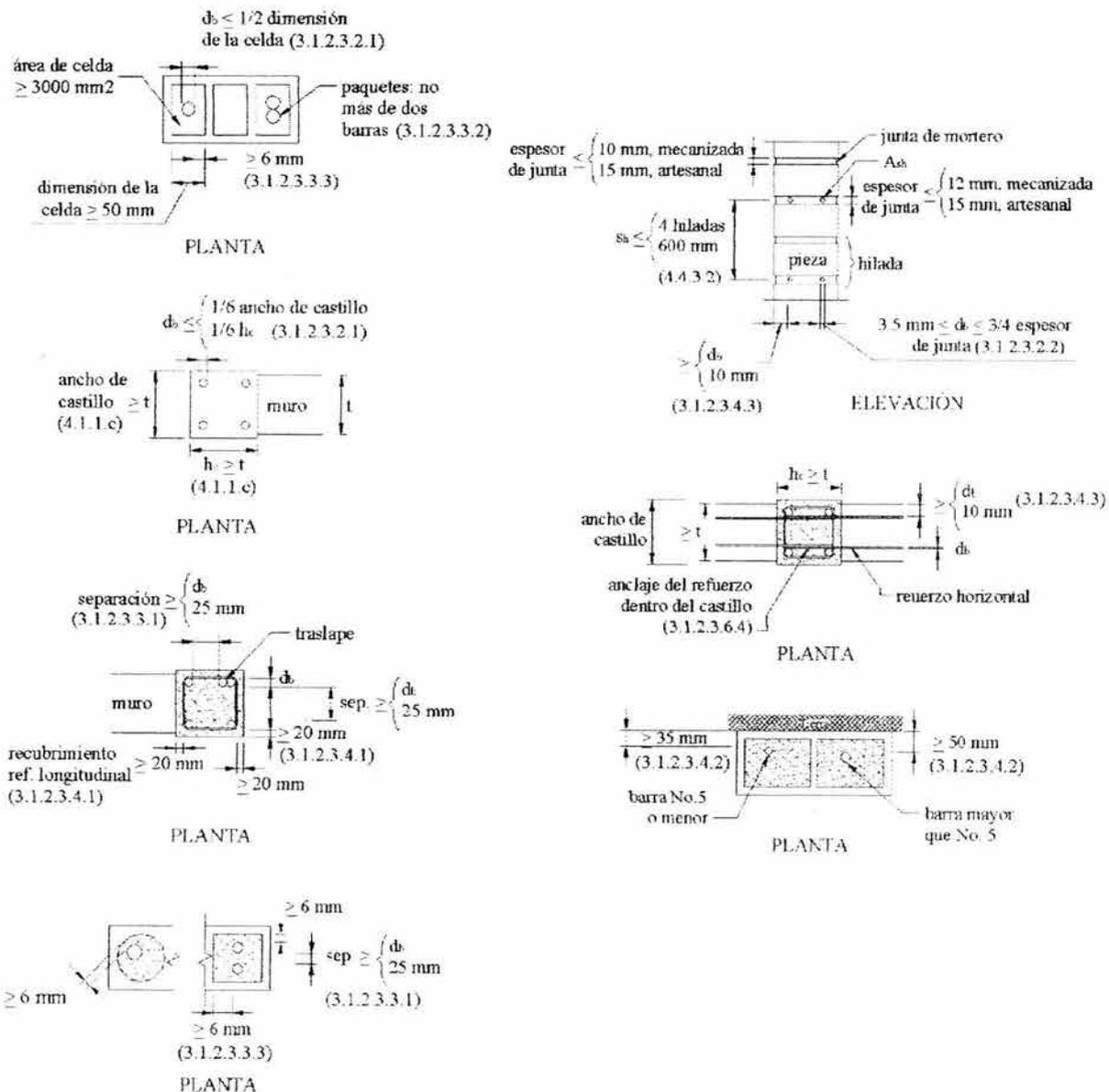


Figura 33. Tamaño, colocación y protección del refuerzo

### 3.1.2.3.5.1 EN BARRAS RECTAS

Las barras a tensión podrá terminar con un dobléz a 90 ó 180 grados. El tramo recto después del dobléz no será menor que  $12 db$  para dobleces a 90 grados, ni menor que  $4 db$  para dobleces a 180 grados, donde  $db$  es el diámetro de la barra (fig. 34).

### 3.1.2.3.5.2 EN ESTRIBOS

Los estribos deberán ser cerrados, de una pieza, y deben rematar en una esquina con dobleces de 135 grados, seguidos de tramos rectos de no menos de  $6 db$  de largo ni de 35 mm (fig. 34).

### 3.1.2.3.5.3 EN GRAPAS

Las grapas deberán rematarse con dobleces a 180 grados, seguidos de tramos rectos de no menos de  $6 db$  de largo ni 35 mm (fig. 34).

### 3.1.2.3.6 ANCLAJE

#### 3.1.2.3.6.1 REQUISITOS GENERALES

La fuerza de tensión o compresión que actúa en el acero de refuerzo en toda sección deben desarrollarse a cada lado de la sección considerada por medio de adherencia en una longitud suficiente de barra.

En lo general, se aplicará lo dispuesto en las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto.

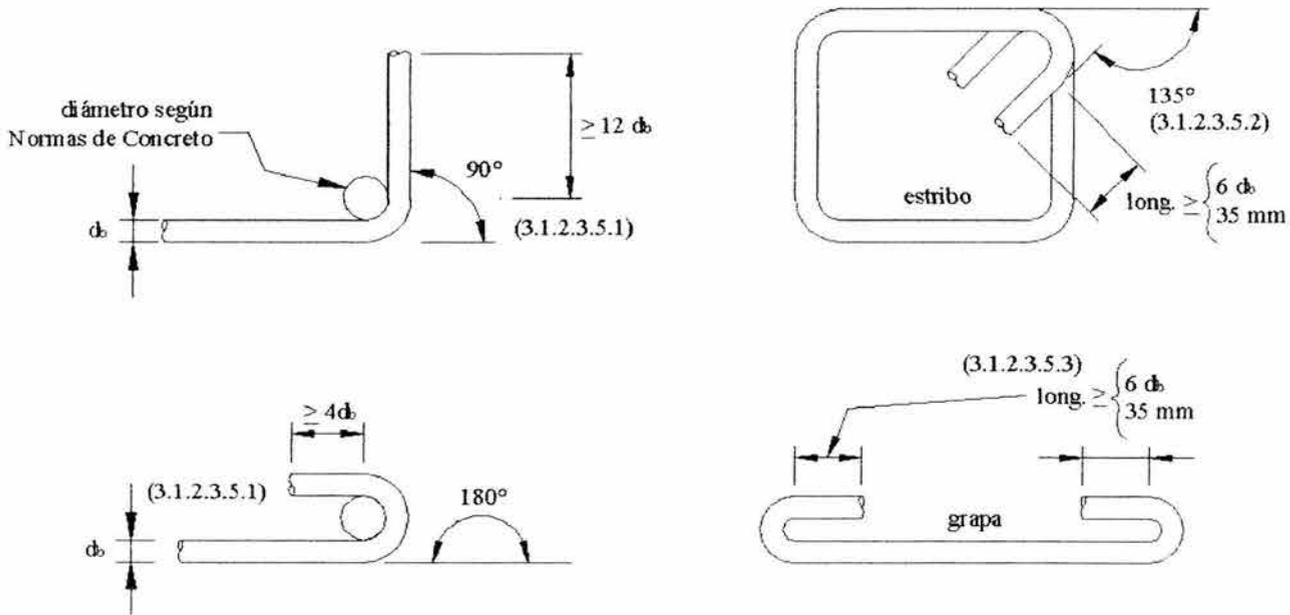


Figura 34. Dobleces del refuerzo

#### 3.1.2.3.6.2 BARRAS RECTAS A TENSIÓN

La longitud de desarrollo,  $L_d$ , en la cual se considera que una barra de tensión se ancla de modo que alcance su esfuerzo especificado de fluencia, será la requerida para concreto reforzado.

### 3.1.2.3.6.3 BARRAS A TENSION CON DOBLECES A 90 Ó 180 GRADOS

La revisión del anclaje de barras a tensión con dobleces a 90 ó 180 grados se hará siguiendo lo indicado para concreto reforzado.

### 3.1.2.3.6.4 REFUERZO HORIZONTAL EN JUNTAS DE MORTERO

El refuerzo horizontal colocado en juntas de mortero deberá ser continuo a lo largo del muro, entre dos castillos si se trata de mampostería confinada, o entre dos celdas rellenas y reforzadas con barras verticales en muros reforzados interiormente. Si se requiere, se podrá anclar dos o más barras o alambres en el mismo castillo o celda que refuercen muros colineales o transversales. No se admitirá el traslape de alambres o barras de refuerzo horizontal en ningún tramo.

El refuerzo horizontal deberá anclarse en los castillos, ya sea exteriores o interiores, o en las celdas rellenas reforzadas (fig. 35). Se deberá anclar mediante dobleces a 90 grados colocados dentro de los castillos o celdas. El doblez del gancho se colocará verticalmente dentro del castillo o celda rellena lo más alejado posible de la cara del castillo o de la pared de la celda rellena en contacto con la mampostería.

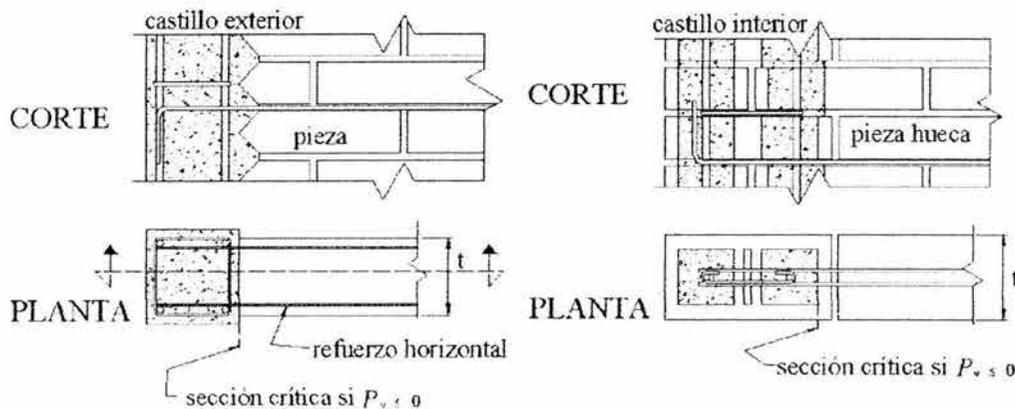


Figura 35. Anclaje del refuerzo horizontal

Si la carga axial de diseño,  $P_u$ , que obra sobre el muro es de tensión o nula, la longitud de anclaje deberá satisfacer lo señalado en las Normas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto. Para fines de revisar la longitud de anclaje, la sección crítica será la cara del castillo o la pared de la celda rellena en contacto con la mampostería (fig. 35).

### 3.1.2.3.6.5 UNIONES DE BARRAS

**Barras sujetas a tensión.** La longitud de traslapes de barras en concreto se determinará según lo especificado para concreto reforzado. No se aceptan uniones soldadas. Si las barras se traslapan en el interior de piezas huecas, la longitud del traslape será al menos igual a  $50 d_b$  en barras con esfuerzo especificado de fluencia de hasta  $4200 \text{ kg/cm}^2$  y al menos igual a  $60 d_b$  en barras o alambres con esfuerzo especificado de fluencia mayor,  $d_b$  es el diámetro de la barra más gruesa del traslape. El traslape se ubicará en el tercio medio de la altura del muro. No se aceptan traslapes de más del 50 por ciento del acero longitudinal del elemento (castillo, dala, muro) en una misma sección.

No se permitirán traslapes en los extremos de los castillos (ya sean éstos exteriores o interiores) de planta baja a lo largo de la longitud  $H_o$ .

### 3.2 DE LAS NORMAS TÉCNICAS COMPLEMENTARIAS PARA DISEÑO POR SISMO

#### 3.2.1 CRITERIOS GENERALES DE DISEÑO

##### 3.2.1.1. Propósito

Los requisitos de las Normas tienen como propósito obtener una seguridad adecuada tal que, bajo el sismo máximo probable, no habrá fallas estructurales mayores ni pérdidas de vidas, aunque pueden presentarse daños que lleguen a afectar el funcionamiento del edificio y requerir reparaciones importantes.

El Director Responsable de Obra, de acuerdo con el propietario, puede decidir que se diseñe el edificio para que satisfaga requisitos más conservadores que los aquí establecidos, con el fin de reducir la posibilidad de pérdidas económicas en la construcción a cambio de una inversión inicial mayor.

##### 3.2.1.2 Condiciones de análisis y diseño

Las estructuras se analizarán bajo la acción de dos componentes horizontales ortogonales no simultáneos del movimiento del terreno. Las deformaciones y fuerzas internas que resulten se combinarán entre sí como lo especifican estas especificaciones, y se combinarán con los efectos de fuerzas gravitacionales y de las otras acciones que correspondan, según los criterios que establecen las Normas Técnicas Complementarias sobre Criterios y Acciones para el Diseño Estructural de las Edificaciones.

Según sean las características de la estructura de que se trate, ésta podrá analizarse por sismo mediante el método simplificado, el método estático o uno de los dinámicos, que se describieron anteriormente, con las limitaciones que se establecen para cada uno de ellos.

En el análisis se tendrá en cuenta la contribución a la rigidez de todo elemento, estructural o no, que sea significativa. Con las salvedades que corresponden al método simplificado de análisis, se calculará las fuerzas sísmicas, deformaciones y desplazamientos laterales de la estructura, incluyendo sus giros por torsión y teniendo en cuenta los efectos de flexión de sus elementos y, cuando sean significativos, los de fuerza cortante, fuerza axial y torsión de los elementos, así como los efectos geométricos de segundo orden, entendidos éstos últimos como los que producen las fuerzas gravitacionales que actúan en la estructura deformada por la acción de dichas fuerzas y de las laterales.

Se verificará que la estructura y su cimentación no rebasen ningún estado límite de falla o de servicio a que se refiere el Reglamento.

Para el diseño de todo muro, columna o contraviento que contribuya en más del 35 por ciento a la resistencia total en fuerza cortante, momento torsionante o momento de volteo de un entrepiso dado, se adoptarán factores de resistencia 20 por ciento inferiores a los que le corresponderían de acuerdo con las Normas correspondientes.

##### 3.2.1.3 Muros divisorios, de fachada y de colindancia

Tratándose de muros de mampostería divisorios, de fachada o de colindancia, se deberá observar lo dispuesto en las secciones siguientes.

###### 3.2.1.3.1 MUROS QUE CONTRIBUYAN A RESISTIR FUERZAS LATERALES

Los muros que contribuyan a resistir fuerzas laterales se ligará adecuadamente a los marcos estructurales o castillos y dadas en todo el perímetro del muro; su rigidez se tomará en cuenta en el análisis sísmico y se verificará que las vigas o losas y columnas resistan la fuerza cortante, el momento flexionante, las fuerzas axiales y, en su caso, las torsiones que induzcan los muros en ellas. Se verificará, asimismo, que las uniones entre elementos estructurales resistan dichas acciones.

### 3.2.1.3.2 MUROS QUE NO CONTRIBUYAN A RESISTIR FUERZAS LATERALES

Cuando los muros no contribuyan a resistir fuerzas laterales, se sujetarán a la estructura de manera que no restrinjan la deformación de ésta en el plano del muro, pero a la vez que se impida el volteo de estos muros en dirección normal a su plano. Preferentemente estos muros serán de materiales flexibles.

### 3.2.1.4 Zonificación

Para los efectos de estas especificaciones se considerarán las zonas fijadas por el Reglamento de Construcción del Distrito Federal.

Zona I: Suelo Duro

Zona II: Transición

Zona III: Suelo Suave

Adicionalmente, la zona III se dividirá en cuatro sub-zonas (IIIa, IIIb, IIIc y IIId). Y se describirán con mayor detalle posteriormente.

### 3.2.1.5 Coeficiente sísmico

El coeficiente sísmico,  $c$ , es el cociente de la fuerza cortante horizontal que debe considerarse que actúa en la base de la edificación por efecto del sismo,  $V_o$ , entre el peso de la edificación sobre dicho nivel,  $W_o$ .

Con este fin se tomará como base o desplante de la estructura el nivel a partir del cual sus desplazamientos con respecto al terreno circundante comienza a ser significativos. Para calcular el peso total se tendrán en cuenta las cargas muertas y vivas que correspondan, según las Normas Técnicas Complementarias sobre Criterio y Acciones para el Diseño Estructural de las Edificaciones.

El coeficiente sísmico para las edificaciones clasificadas como del grupo B en el Artículo 174 del Reglamento se Tomará igual a 0.16 en la zona I, 0.32 en la II, 0.40 en las zonas IIIa y IIIc, 0.45 en la IIIb y 0.30 en la IIId, a menos que se emplee el método simplificado de análisis, en cuyo caso se aplicarán los coeficientes que fija el subtítulo 3.2.7. Para estructuras del grupo A se incrementará el coeficiente sísmico en 50 por ciento.

### 3.2.1.6 Reducción de fuerzas sísmicas

Cuando se aplique el método estático o un método dinámico para análisis sísmico, las fuerzas sísmicas calculadas podrán reducirse con fines de diseño empleando para ello los criterios que fija el subtítulo 3.2.4, en función de las características estructurales y del terreno.

Los coeficientes que se especifican para la aplicación del método simplificado de análisis toman en cuenta todas las reducciones que procedan por los conceptos mencionados; por ello, las fuerzas sísmicas calculadas por este método no deben sufrir reducciones adicionales.

### 3.2.1.7 Combinación de acciones

Se verificará que tanto la estructura como su cimentación resistan las fuerzas cortantes y axiales, momentos torsionante de entrepiso y momentos de volteo inducidos por sismo, combinados con los que correspondan a otras sollicitaciones y afectados del factor de carga correspondiente, según las Normas Técnicas Complementarias sobre Criterios y Acciones para el Diseño Estructural de las Edificaciones.

### 3.2.1.8 Revisión de desplazamientos laterales

Las diferencias entre los desplazamientos laterales de pisos consecutivos producidos por las acciones sísmicas, calculados con alguno de los métodos de análisis estático y dinámico que se describen posteriormente, y teniendo en cuenta lo dispuesto en el subtítulo 3.2.1.6, no excederán 0.006 veces la diferencia de elevaciones correspondientes, salvo que no haya elementos incapaces de soportar deformaciones apreciables, como muros de mampostería, o éstos estén separados de la estructura principal de manera que no sufran daños por sus deformaciones. En tal caso, el límite en cuestión será de 0.012. El desplazamiento será el que resulte del análisis

con las fuerzas sísmicas reducidas según los criterios que se fijan en el subtítulo 3.2.4, multiplicado por el factor de comportamiento sísmico,  $Q$ .

Al calcular los desplazamientos mencionados arriba pueden descontarse los debidos a la flexión de conjunto de la estructura.

En edificios en que la resistencia sísmica sea proporcionada esencialmente por sistemas de losas planas y columnas, no se excederá en ningún caso el límite de 0.006, calculado como se indica anteriormente.

Para edificios estructurados con muros de carga de mampostería se observarán los límites fijados en las Normas correspondientes.

### 3.2.2 ELECCIÓN DEL TIPO DE ANÁLISIS

Según sean las características de la estructura de que se trate, ésta podrá analizarse por sismo mediante el método simplificado, el método estático o uno de los dinámicos que se describen en los subtítulos 3.2.7 a 3.2.9, con las limitaciones que se establecen a continuación.

#### 3.2.2.1 Método simplificado de análisis

El método simplificado a que se refiere el subtítulo 3.2.7 será aplicable al análisis de edificios que cumplan simultáneamente los siguientes requisitos:

- a) En cada planta, al menos el 75 por ciento 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 con respecto a dos ejes ortogonales y deberán satisfacer las condiciones que establecen las Normas correspondientes. Para que la distribución de muros pueda considerarse sensiblemente simétrica, se deberá cumplir en dos direcciones ortogonales, que la excentricidad torsional calculada estáticamente,  $e_s$ , no exceda del diez por ciento de la dimensión en planta del edificio medida paralelamente a dicha excentricidad,  $b$ . La excentricidad torsional  $e_s$  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 de cortante del entrepiso, entre el área total de los muros orientados en la dirección de análisis. El área efectiva es el producto del área bruta de la sección transversal del muro y del factor  $F_{AE}$ , que está dado por:

$$F_{AE} = 1, \quad \text{si } \frac{H}{L} \leq 1.33$$

$$F_{AE} = \left(1.33 \frac{L}{H}\right)^2, \quad \text{si } \frac{H}{L} > 1.33 \quad (3.13)$$

donde  $H$  es la altura del muro y  $L$ , es la longitud efectiva del muro.

Los muros a que se refiere 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 arriostrados con diagonales. Los muros deberán satisfacer las condiciones que establecen las Normas correspondientes.

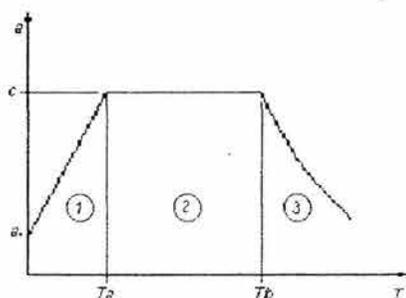
- b) La relación entre longitud y ancho de la planta del edificio no excederá de 2.0, a menos que para fines de análisis sísmico se pueda suponer dividida dicha planta en tramos independientes cuya relación entre longitud y ancho satisfaga esta restricción y las que se fijan en el inciso anterior, y cada tramo resista según el criterio que marca el subtítulo 3.2.7.
- c) La relación entre la 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.

3.2.2.2 Análisis estático y dinámico

Los métodos dinámicos del subtítulo 3.2.9 pueden utilizarse para el análisis de toda estructura, cualesquiera que sean sus características. Puede utilizarse el método estático del subtítulo 3.2.8 para analizar estructuras regulares, según se define en el subtítulo 3.2.6, de altura no mayor de 30 m, y estructuras irregulares de no mas de 20 m. Para edificios ubicados en la zona I, los límites anteriores se amplían a 40 m y 30 m, respectivamente. Con las mismas limitaciones relativas al uso del análisis estático, para estructuras ubicadas en las zonas II o III.

3.2.3 ESPECTROS PARA DISEÑO SÍSMICO

Cuando se aplique el análisis dinámico modal, se adoptará como ordenada del espectro de aceleraciones para diseño sísmico,  $a$ , expresada como fracción de la aceleración de la gravedad, la que se estipula a continuación.



$$a = a_0 + (c - a_0) \frac{T}{T_a}; \quad \text{si } 0 < T < T_a \quad (1)$$

$$a = c; \quad \text{si } T_a \leq T \leq T_b \quad (2) \quad (3.15)$$

$$a = qc \quad \text{si } T > T_b \quad (3)$$

donde

$$q = (T_b / T)^r \quad (3.16)$$

Los parámetros que intervienen en estas expresiones se obtienen de la tabla 3.9.

| Zona | c       |         | a <sub>0</sub> | T <sub>a</sub> <sup>1</sup> | T <sub>b</sub> <sup>1</sup> | r    |
|------|---------|---------|----------------|-----------------------------|-----------------------------|------|
|      | Grupo B | Grupo A |                |                             |                             |      |
| I    | 0.16    | 0.24    | 0.04           | 0.20                        | 1.35                        | 1.00 |
| II   | 0.32    | 0.48    | 0.08           | 0.20                        | 1.35                        | 1.33 |
| IIIa | 0.40    | 0.60    | 0.10           | 0.53                        | 1.80                        | 2.00 |
| IIIb | 0.45    | 0.68    | 0.11           | 0.85                        | 3.00                        | 2.00 |
| IIIc | 0.40    | 0.60    | 0.10           | 1.25                        | 4.20                        | 2.00 |
| IIId | 0.30    | 0.45    | 0.10           | 0.85                        | 4.20                        | 2.00 |

<sup>1</sup> Periodos en segundos

3.2.4 REDUCCIÓN DE FUERZAS SÍSMICAS Y DESPLAZAMIENTOS

3.2.4.1 Factor de reducción

Para el cálculo de las fuerzas sísmicas para análisis estático y de las obtenidas del análisis dinámico modal con los métodos que se fijan para el análisis dinámico, se empleará un factor de reducción  $Q'$  que se calculará como sigue:

$$\begin{aligned}
 Q' &= Q; & \text{si se desconoce } T \text{ o si } T \geq T_a \\
 Q' &= 1 + \frac{T}{T_a} (Q - 1); & \text{si } T < T_a
 \end{aligned}
 \tag{3.17}$$

$T$  se tomará igual al periodo fundamental de vibración de la estructura cuando se utilice el método estático, e igual al periodo natural de vibración del modo que se considere cuando se utilice el análisis dinámico modal;  $T_a$  es un periodo característico del espectro de diseño.  $Q$  es el factor de comportamiento sísmico que se definió anteriormente.

Para el diseño de estructuras que sean irregulares, de acuerdo con las condiciones de regularidad, el valor de  $Q'$  se corregirá conforme a lo establecido anteriormente.

### 3.2.5 FACTOR DE COMPORTAMIENTO SÍSMICO

Para el factor de comportamiento sísmico,  $Q$ , a que se refiere el subtítulo 3.2.4, se adoptarán los valores especificados en alguna de las secciones siguientes, según se cumplan los requisitos en ellas indicados.

#### 3.2.5.1 Requisitos para $Q = 4$

Se usará  $Q = 4$  cuando se cumplan los requisitos siguientes:

- a) La resistencia en todos los entrepisos es suministrada exclusivamente por marcos no contraventeados de acero, concreto reforzado o compuestos de los dos materiales, o bien por marcos contraventeados con muros de concreto reforzado o de placa de acero o compuestos de los dos materiales, en los que en cada entrepiso los marcos son capaces de resistir, sin contar muros ni contravientos, cuando menos 50 por ciento de la fuerza sísmica actuante.
- b) Si hay muros de mampostería ligados a la estructura que contribuya a resistir fuerzas laterales, éstos se deben considerar en el análisis, pero su contribución a la resistencia ante dichas fuerzas sólo se tomará en cuenta si son de piezas macizas, y los marcos, sean o no contraventeados, y los muros de concreto reforzado, de placa de acero o compuestos de los dos materiales, son capaces de resistir al menos 80 por ciento de las fuerzas laterales totales sin la contribución de los muros de mampostería.
- c) El mínimo cociente de la capacidad resistente de un entre piso entre la acción de diseño no difiere en más de 35 por ciento del promedio de dichos cocientes para todos los entrepisos. Para verificar el cumplimiento de este requisito, se calculará la capacidad resistente de cada entrepiso teniendo en cuenta todos los elementos que puedan contribuir a la resistencia, en particular los muros que se hallen en el caso del subtítulo 3.2.1.3.1. El último entrepiso queda excluido de este requisito.
- d) Los marcos y muros de concreto reforzado cumplen con los requisitos que fijan las Normas correspondientes para marcos y muros dúctiles.
- e) Los marcos rígidos de acero satisfacen los requisitos para marcos con ductilidad alta que fijan las Normas correspondientes, o están provistos de contraventeo excéntrico de acuerdo con las mismas Normas.

#### 3.2.5.2 Requisitos para $Q = 3$

Se usará  $Q = 3$  cuando se satisfacen las condiciones del inciso b, d y e de  $Q = 4$  y en cualquier entrepiso dejan de satisfacerse las condiciones a y c de  $Q = 4$ , pero la resistencia en todos los entrepisos es suministrada por columnas de acero o de concreto reforzado con losas planas, por marcos rígidos de acero, por marcos de concreto reforzado, por muros de concreto o de placa de acero o compuestos de los dos materiales, por combinaciones de éstos y marcos o por diafragmas de madera. Las estructuras con losas planas y las de madera deberán además satisfacer los requisitos que sobre el particular marcan las Normas correspondientes. Los marcos rígidos de acero satisfacen los requisitos para ductilidad alta o están provistos de contraventeo concéntrico dúctil, de acuerdo con las Normas correspondiente.

### 3.2.5.3 Requisitos para $Q = 2$

Se usará  $Q = 2$  cuando la resistencia a fuerzas laterales es suministrada por losas planas con columnas de acero o de concreto reforzado, por marcos de acero con ductilidad reducida o provistos de contraventeo con ductilidad normal, o de concreto reforzado, de placa de acero o compuesto de acero y concreto, que no cumplen en algún entrepiso lo especificado para  $Q = 4$  y  $Q = 3$ , o por muros de mampostería de piezas macizas confinados por castillos, dalas, columnas o traveses de concreto reforzado o de acero que satisfacen los requisitos de las Normas correspondientes.

También se usará  $Q = 2$  cuando la resistencia es suministrada por elementos de concreto prefabricado o presforzado, con las excepciones que sobre el particular marcan las Normas correspondientes, o cuando se trate de estructuras de madera con las características que se indican en las Normas respectivas, o de algunas estructuras de acero que se indican en las Normas correspondientes.

### 3.2.5.4 Requisitos para $Q = 1.5$

Se usará  $Q = 1.5$  cuando la resistencia a fuerzas laterales es suministrada en todos los entrepisos por muros de mampostería de piezas huecas, confinados o con refuerzo interior, que satisfacen los requisitos de las Normas correspondientes, o por combinaciones de dichos muros con elementos como los descritos para  $Q = 3$  y  $Q = 2$ , o por marcos y armaduras de madera, o por algunas estructuras de acero que se indican en las Normas correspondientes.

### 3.2.5.5 Requisitos para $Q = 1$

Se usará  $Q = 1$  en estructuras cuya resistencia a fuerzas laterales es suministrada al menos parcialmente por elementos o materiales diferentes de los arriba especificados, a menos que se haga un estudio que demuestre, a satisfacción de la Administración, que se puede emplear un valor más alto que el que aquí se especifica; también en algunas estructuras de acero que se indican en las Normas correspondientes.

En todos los casos se usará para toda la estructura, en la dirección de análisis, el valor mínimo de  $Q$  que corresponde a los diversos entrepisos de la estructura en dicha dirección.

El factor  $Q$  puede diferir en las dos direcciones ortogonales en que se analiza la estructura, según sean las propiedades de ésta en dichas direcciones.

## 3.2.6 CONDICIONES DE REGULARIDAD

### 3.2.6.1 Estructura regular

Para que una estructura pueda considerarse regular debe satisfacer los siguientes requisitos.

- 1) Su planta es sensiblemente simétrica con respecto a dos ejes ortogonales por lo que toca a masas, así como a muros y otros elementos resistentes. Éstos son, además, sensiblemente paralelos a los ejes ortogonales principales del edificio.
- 2) La relación altura a la dimensión menor de su base no pasa de 2.5.
- 3) La relación de largo a ancho de la base no excede de 2.5.
- 4) En planta no tiene entrantes ni salientes cuya dimensión exceda de 20 por ciento de la dimensión de la planta medida paralelamente a la dirección que se considera del entrante o saliente.
- 5) En cada nivel tiene un sistema de techo o piso rígido y resistente.
- 6) No tiene aberturas en sus sistemas de techo o piso cuya dimensión exceda de 20 por ciento de la dimensión en planta medida paralelamente a la abertura; las áreas huecas no ocasionan asimetrías significativas ni difieren en posición de un piso a otro, y el área total de aberturas no excede en ningún nivel de 20 por ciento del área de la planta.

- 7) El peso de cada nivel, incluyendo la carga viva que debe considerarse para diseño sísmico, no es mayor que 110 por ciento del correspondiente al piso inmediato inferior ni, excepción hecha del último nivel de la construcción, es menor que 70 por ciento de dicho peso.
- 8) Ningún piso tiene un área, delimitado por los paños exteriores de sus elementos resistentes verticales, mayor que 110 por ciento de la del piso inmediato inferior ni menor que 70 por ciento de ésta. Se exime de este último requisito únicamente al último piso de la construcción. Además, el área de ningún entrepiso excede en más de 50 por ciento a la menor de los pisos inferiores.
- 9) Todas las columnas están restringidas en todos los pisos en dos direcciones sensiblemente ortogonales por diafragmas horizontales y por trabes o losas planas.
- 10) Ni la rigidez ni la resistencia al corte de ningún entrepiso difieren en más de 50 por ciento de la del entrepiso inmediatamente inferior. El último entrepiso queda excluido de este requisito.
- 11) En ningún entrepiso la excentricidad torsional calculada estáticamente,  $e_s$ , excede del diez por ciento de la dimensión en planta de ese entrepiso medida paralelamente a la excentricidad mencionada.

### 3.2.6.2 Estructura irregular

Toda estructura que no satisfaga uno o más de los requisitos para estructuras regulares será considerada irregular.

### 3.2.6.3 Estructura fuertemente irregular

Una estructura será considerada fuertemente irregular si se cumple alguna de las condiciones siguientes:

La excentricidad torsional calculada estáticamente,  $e_s$ , excede en algún entrepiso de 20 por ciento de la dimensión en planta de ese entrepiso, medida paralelamente a la excentricidad mencionada.

La rigidez o la resistencia al corte de algún entrepiso excede de más de 100 por ciento de la del piso inmediatamente inferior.

### 3.2.6.4 Corrección por irregularidad

El factor de reducción,  $Q'$ , definido en el subtítulo 3.2.4.1, se multiplicará por 0.9 cuando no se cumpla con uno de los requisitos de estructuras regulares, por 0.8 cuando no cumpla con dos o más de dichos requisitos, y por 0.7 cuando la estructura sea fuertemente irregular. En ningún caso el factor  $Q'$  se tomará menor que uno.

### 3.2.7 MÉTODO SIMPLIFICADO DE ANÁLISIS

Para aplicar este método se deben cumplir los requisitos indicados en el subtítulo 3.2.2.1. Se hará caso omiso de los desplazamientos horizontales, torsiones y momentos de volteo. Se verificará únicamente que en cada entrepiso la suma de las resistencias al corte de los muros de carga, proyectados en la dirección en que se considera la aceleración, sea cuando menos igual a la fuerza cortante total que obre en dicho entrepiso, calculada según se especifica en el subtítulo 3.2.8.1, pero empleando los coeficientes sísmicos reducidos que se establecen en la tabla 3.10 para construcciones del grupo B. Tratándose de las clasificadas en el grupo A estos coeficientes habrán de multiplicarse por 1.5.

Tabla 3.10 Coeficientes sísmicos reducidos para el método simplificado, correspondientes a estructuras del grupo B

| Zona     | Muros de concreto o de mampostería de piezas macizas |             |              | Muros de mampostería de piezas huecas |             |              |
|----------|------------------------------------------------------|-------------|--------------|---------------------------------------|-------------|--------------|
|          | Altura de construcción, m                            |             |              | Altura de construcción, m             |             |              |
|          | 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         | 0.10                                  | 0.11        | 0.11         |
| II y III | 0.13                                                 | 0.16        | 0.19         | 0.15                                  | 0.19        | 0.23         |

Para muros de madera, se aplicarán los criterios establecidos en las Normas correspondiente. Para muros de otros materiales y sistemas constructivos, deberán justificarse a satisfacción de la Administración los coeficientes sísmicos que correspondan, sobre su comportamiento ante cargas laterales alternadas.

### 3.2.8 ANÁLISIS ESTÁTICO

#### 3.2.8.1 Fuerzas cortantes

Para aplicar este método se deben cumplir los requisitos establecidos para el análisis estático y dinámico. 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 supongan concentradas las masas. Cada una de estas fuerzas se tomará igual al peso de la masa que corresponde, multiplicado 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  $V_o/W_o$  sea igual a  $c/Q'$  pero no menor a  $a_o$ , donde  $a_o$  es la ordenada espectral que corresponde a  $T = 0$  y  $c$  el coeficiente sísmico, que se consignan en la tabla 3.9.

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

$$F_i = W_i h_i \frac{\frac{c}{Q'}}{\sum_i W_i h_i} \quad (3.18)$$

$W_i$  peso de la  $i$ -ésima masa; y

$h_i$  altura de la  $i$ -ésima masa sobre el desplante

#### 3.2.8.2 Reducción de las fuerzas cortantes

Podrán adoptarse fuerzas cortantes menores que las calculadas según la sección anterior, siempre que se tome en cuenta el valor aproximado del periodo fundamental de la vibración de la estructura, de acuerdo con lo siguiente:

a) El periodo fundamental de vibración,  $T$ , se tomará igual a

$$2\pi \sqrt{\frac{\sum W_i x_i^2}{g \sum F_i x_i}} \quad (3.19)$$

donde  $x_i$  es el desplazamiento del nivel  $i$ , relativo a la base de la estructura, en la dirección de la fuerza,  $g$  la aceleración de la gravedad, y las sumatorias se llevan a todos los niveles.

b) Si  $T$  es menor o igual que  $T_b$ , se procederá como en el subtítulo 3.2.8.1, pero de tal manera que la relación  $V_o/W_o$  sea igual a  $a/Q'$ , calculándose  $a$  y  $Q'$  de acuerdo a lo descrito anteriormente.

c) Si  $T$  es mayor que  $T_b$ , cada una de las fuerzas laterales se tomará igual a

$$F_i = W_i (k_1 h_i + k_2 h_i^2) \frac{a}{Q'} \quad (3.20)$$

donde

$$k_1 = [1 - 0.5r(1 - q)] \frac{\sum W_i}{\sum W_i h_i} \quad (3.21)$$

$$k_2 = 0.75r(1 - q) \frac{\sum W_i}{\sum W_i h_i^2} \quad (3.22)$$

$q$  se calcula con la ec. 3.16. El valor de  $a$  no se tomará menor que  $a_0$ .

### 3.2.8.3 Efectos de torsión

La excentricidad torsional de rigideces calculada en cada entrepiso,  $e_s$ , se tomará como la distancia entre el centro de torsión del nivel correspondiente y el punto de aplicación de la fuerza cortante en dicho nivel. Para fines de diseño, el momento torsionante se tomará por lo menos igual a la fuerza cortante de entrepiso multiplicada por la excentricidad que para cada marco o muro resulte más desfavorable de las siguientes:

$$\begin{aligned} &1.5e_s + 0.1b; \text{ o} \\ &e_s - 0.1b \end{aligned} \quad (3.25)$$

donde  $b$  es la dimensión de la planta que se considera, medida perpendicularmente a la sección sísmica.

Además, la excentricidad de diseño en cada sentido no se tomará menor que la mitad del máximo valor de  $e_s$  calculado para los entrepisos que se hallan abajo del que se considera, ni se tomará el momento torsionante de ese entrepiso menor que la mitad del máximo calculado para los entrepisos que están arriba del considerado.

En estructuras para las que el factor de comportamiento sísmico  $Q$  especificado en el subtítulo 3.2.5 sea mayor o igual a 3, en ningún entrepiso la excentricidad torsional calculada estáticamente deberá exceder de  $0.2b$ .

Ningún elemento estructural tendrá una resistencia menor que la necesaria para resistir la fuerza cortante directa.

### 3.2.8.4 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 por ciento de los efectos del componente que obra en esa dirección y el 30 por ciento de los efectos del que obra perpendicularmente a ella, con los signos que resulten más desfavorables para cada concepto.

## 3.2.9 ANÁLISIS DINAMICO

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

### 3.2.9.1 Análisis modal

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 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 por ciento del peso total de la estructura. Los pesos modales efectivos,  $W_{ei}$ , se determinarán como

$$W_{ei} = \frac{\{\phi_i\}^T [W] \{J\}}{\{\phi_i\}^T [W] \{\phi_i\}} \quad (3.28)$$

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 en 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 fuerza laterales que actúan sobre la estructura, se supondrán las aceleraciones espectrales de diseño especificadas en el subtítulo 3.2.3, reducidas como se establece en el subtítulo 3.2.4.

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

$$S = \sqrt{\sum S_i^2} \quad (3.29)$$

siempre que los periodos de los modos naturales en cuestión difieran al menos diez por ciento 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 subtítulo 3.2.1.8.

### 3.2.9.2 Análisis paso a paso

Si se emplea el método de cálculo paso a paso de respuestas a temblores específicos, podrá acudirse 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 especificaciones, y que se tenga en cuenta el comportamiento no lineal de la estructura y las incertidumbres que haya en cuanto a sus parámetros.

### 3.2.9.3 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

$$0.8 a \frac{W_o}{Q} \quad (3.30)$$

se incrementarán todas las fuerzas de diseño y desplazamientos laterales correspondientes, en una proporción tal que  $V_o$  iguale a este valor;  $a$  y  $Q'$  se calculan para el periodo fundamental de la estructura en la dirección de análisis, como se indica en los subtítulos 3.2.3 y 3.2.4

#### 3.2.9.4 Efectos 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 el subtítulo 3.2.8.7. Igualmente aplicables son las demás disposiciones del subtítulo 3.2.8 en cuanto al cálculo de fuerzas internas y desplazamientos laterales, con las salvedades que señala el subtítulo (3.2.9).

### 3.3 DEL RCDF

El Reglamento de Construcción del Distrito Federal establece en su Título sexto, lo referente a Seguridad estructural de las construcciones.

#### 3.3.1 DISPOSICIONES GENERALES

##### 3.3.1.1 Clasificación de las construcciones

Las construcciones del Distrito Federal se han clasificado, de acuerdo al uso del inmueble, en los siguientes grupos:

- I. Grupo A. Edificaciones cuya falla estructural podría causar la pérdida de un número elevado de vidas o pérdidas económica o culturales excepcionalmente altas, o que constituyan un peligro significativo por contener sustancias tóxicas o explosivas, así como edificaciones cuyo funcionamiento es esencial a raíz de una emergencia urbana, como hospitales y escuelas, terminales de transporte, estaciones de bomberos, centrales eléctricas y de telecomunicaciones, estadios, depósitos de sustancias inflamables o tóxicas; museos y edificios que alojen archivos y registros públicos de particular importancia, a juicio del Departamento; y
- II. Grupo B. Edificaciones comunes destinadas a vivienda, oficinas y locales comerciales, hoteles y construcciones comerciales e industriales no incluidas en el grupo B, las que se subdividen en :
  - a) Subgrupo B1. Edificaciones de más de 30 m de altura o con más de 6000 m<sup>2</sup> de área total construida, ubicado en las zonas I y II a que se aluden en la zonificación del Distrito Federal de acuerdo con el Reglamento, y construcciones de más de 15 m de altura o 3000 m<sup>2</sup> de área total construida, en zona III; en ambos casos las áreas se refieren a un solo cuerpo de edificio que cuente con medios propios de desalojo (acceso y escaleras), incluyen las áreas de anexos, como pueden ser los propios cuerpos de escaleras de área de un cuerpo que no cuente con medios propios de desalojo se adicionará a la de aquél o a través del cual se desaloje. Además templos, salas de espectáculos y edificios que tengan sala de reunión que puedan alojar más de 200 personas, y
  - b) Subgrupo B2. Las demás de este grupo.

Los metros cuadrados, de área construida, se consideran cuando cuente con medios propios de desalojo, si existen juntas constructivas con otro cuerpo similar no se adicionarán las áreas para efectos de esta clasificación, cuando haya anexos o áreas de un cuerpo que no cuente con escaleras o elevadores, estas áreas se adicionarán a aquellas por las que se desaloje a las personas.

##### 3.3.1.2 Zonificación para distrito federal

El Distrito Federal se considera dividido en tres zonas, I, II y III. Adicionalmente, la zona III se dividida en cuatro sub-zonas (IIIa, IIIb, IIIc y IIId). Las cuales tienen las siguientes características generales:

Zona I. Lomas, formadas por rocas o suelos generalmente firmes que fueron depositados fuera del ambiente lacustre, pero en los que pueden existir, superficialmente o intercalados, depósitos arenosos en estado



Cuando sean significativos, deberán tomarse en cuenta los efectos producidos por otras acciones, como los empujes de tierras y líquidos, los cambios de temperatura, las contracciones de los materiales, los hundimientos de los apoyos y las solicitaciones originadas por el funcionamiento de maquinaria y equipo que no estén tomadas en cuenta en las cargas mencionadas anteriormente para diferentes destinos de las Edificaciones. Las intensidades de estas acciones que deben considerarse para el diseño, la forma en que deben integrarse a las distintas combinaciones de acciones y la manera de analizar sus efectos en las estructuras se apegarán a los criterios generales establecidos en el RCDF.

Se considerarán tres categorías de acciones, de acuerdo con la duración en que obran sobre las estructuras con su intensidad máxima:

- a) Las *acciones permanentes* son las que obran en forma continua sobre la estructura y cuya intensidad varía poco con el tiempo. Las principales acciones que pertenecen a esta categoría son: la carga muerta; el empuje estático de tierras y de líquidos y las deformaciones y desplazamientos impuestos a la estructura que varían poco con el tiempo, como los debidos a preesfuerzos o a movimientos diferenciales permanentes de los apoyos;
- b) Las *acciones variables* son las que obran sobre la estructura con una intensidad que varía significativamente con el tiempo. Las principales acciones que entran en esta categoría son: la carga viva; los efectos de temperatura; las deformaciones impuestas y los hundimientos diferenciales que tengan una intensidad variable con el tiempo, y las acciones debidas al funcionamiento de maquinaria y equipo, incluyendo los efectos dinámicos que pueden presentarse debido a vibraciones, impacto o frenaje, y
- c) Las *acciones accidentales* son las que no se deben al funcionamiento normal de la edificación y que pueden alcanzar intensidades significativas sólo durante lapsos breves. Pertenecen a esta categoría: las acciones sísmicas; los efectos de viento; los efectos de explosiones, incendios y otros fenómenos que pueden presentarse en casos extraordinarios. Será necesario tomar precauciones en las estructuras, en su cimentación y en los detalles constructivos, para evitar un comportamiento catastrófico de la estructura para el caso de que ocurran estas acciones.

### 3.3.2.2 Combinación de acciones

La seguridad de una estructura deberá verificarse para el efecto combinado de todas las acciones que tengan probabilidad despreciable de ocurrir simultáneamente, considerándose dos categorías de combinaciones.

I. Para las combinaciones que incluyan acciones permanentes y acciones variables, se considerarán todas las acciones permanentes que actúan sobre la estructura y las distintas acciones variables, de las cuales la más desfavorable se tomará con su intensidad máxima y el resto con su intensidad instantánea, o bien todas ellas con su intensidad media cuando se trate de evaluar efectos a largo plazo.

Para la combinación de carga muerta más carga viva, se empleará la intensidad máxima de la carga viva conforme a reglamento, considerándola uniformemente repartida sobre toda el área. Cuando se tomen en cuenta distribuciones de la carga viva más desfavorables que uniformemente repartida, deberán tomarse los valores de la intensidad instantáneas, y

II. Para combinaciones que incluyen acciones permanentes, variables y accidentales, se considerarán todas las acciones permanentes, las acciones variables con sus valores instantáneos y únicamente una acción accidental en caso de combinación.

### 3.3.2.3 Factor de carga

En ambos tipos de combinación los efectos de todas las acciones deberán multiplicarse por el factor de carga correspondiente.

El factor de carga se determinará de acuerdo con las reglas siguientes:

- 1) Para combinaciones de acciones permanentes y acciones variables se aplicará un factor de carga de 1.4.

Cuando se trate de Edificaciones del Grupo A, el factor de carga para este tipo de combinación se tomará igual a 1.5;

2) Para combinaciones de acciones permanentes, variables y accidentales se considerará un factor de carga de 1.1 aplicado a los efectos de todas las acciones que intervengan en la combinación;

3) Para acciones o fuerzas internas cuyo efecto sea favorable a la resistencia o estabilidad de la estructura, el factor de carga se tomará igual a 0.9, y

4) Para revisión de estados límite de servicio se tomará en todos los casos un factor de carga unitario.

### 3.3.3 CARGAS MUERTAS

#### 3.3.3.1 Criterio

Se considerarán como cargas muertas los pesos de todos los elementos constructivos, de los acabados y de todos los elementos que ocupan una posición permanente y tienen un peso que no cambia sustancialmente con el tiempo.

Para la evaluación de cargas muertas se empleará las dimensiones especificadas de los elementos constructivos y los pesos unitarios de los materiales. Para estos últimos se utilizarán valores mínimos probables cuando sea más desfavorable para la estabilidad de la estructura considerar una carga muerta menor, como en el caso de volteo, flotación, lastre y succión producida por viento. En otros casos se emplearán valores máximos probables.

| Tabla de pesos de algunos materiales |                          |        |
|--------------------------------------|--------------------------|--------|
| Material                             | Peso en t/m <sup>3</sup> |        |
|                                      | Mínimo                   | Máximo |
| I. Piedras Naturales                 |                          |        |
| Chilucas y canteras (secas)          | 1.75                     | 2.45   |
| Chilucas y canteras (saturadas)      | 2.00                     | 2.50   |
| Basaltos (piedra braza)              | 2.35                     | 2.60   |
| Granito                              | 2.40                     | 3.20   |
| Mármol                               | 2.55                     | 2.60   |
| Pizarras                             | 2.30                     | 2.80   |
| Tepetate (seco)                      | 0.75                     | 1.60   |
| Tepetate (saturado)                  | 1.30                     | 1.95   |
| Tezontle (seco)                      | 0.65                     | 1.25   |
| Tezontle (saturado)                  | 1.15                     | 1.55   |
| II. Suelos                           | 1.40                     | 1.75   |
| Arena de mina (seca)                 | 1.85                     | 2.10   |
| Arena de mina (saturada)             | 1.40                     | 1.60   |
| Grava                                | 1.20                     | 1.50   |
| Arcilla típica del Valle de México   | 1.50                     | 1.60   |
| Cemento                              | 1.00                     | 1.00   |
| Mortero                              |                          |        |
| III. Piedras artificiales y concreto | 2.00                     | 2.20   |
| Concreto simple y agregado normal    | 2.20                     | 2.40   |
| Concreto reforzado                   |                          |        |

| Tabla de pesos de algunos materiales (Continuación) |                          |                   |
|-----------------------------------------------------|--------------------------|-------------------|
| Material                                            | Peso en t/m <sup>3</sup> |                   |
|                                                     | Mínimo                   | Máximo            |
| Mortero cal y arena                                 | 1.40                     | 1.50              |
| Mortero cemento y arena                             | 1.90                     | 2.10              |
| Yeso                                                | 1.10                     | 1.50              |
| Tabique de barro macizo recocido                    | 1.30                     | 1.50              |
| Tabique de barro prensado                           | 1.60                     | 2.20              |
| Bloque hueco de concreto (ligero)                   | 0.90                     | 1.30              |
| Bloque hueco de concreto (intermedio)               | 1.30                     | 1.70              |
| Bloque hueco de concreto (pesado)                   | 2.00                     | 2.20              |
| IV. Varios                                          |                          |                   |
| Caoba (seca)                                        | 0.55                     | 0.65              |
| Caoba (saturada)                                    | 0.70                     | 1.00              |
| Cedro (seco)                                        | 0.40                     | 0.55              |
| Cedro (saturado)                                    | 0.50                     | 0.70              |
| Oyamel (seco)                                       | 0.30                     | 0.40              |
| Oyamel (saturado)                                   | 0.55                     | 0.65              |
| Pino (seco)                                         | 0.45                     | 0.65              |
| Pino (saturado)                                     | 0.80                     | 1.00              |
| Encino (seco)                                       | 0.80                     | 0.90              |
| Encino (saturado)                                   | 0.80                     | 1.00              |
| Vidrio Plano                                        | 0.80                     | 3.10              |
|                                                     | kg/m <sup>2</sup>        | kg/m <sup>2</sup> |
| Azulejo                                             | 10                       | 15                |
| Mosaico de pasta                                    | 25                       | 35                |
| Mosaico de terrazo (20 x 20)                        | 35                       | 45                |
| Mosaico de terrazo (30 x 30)                        | 45                       | 55                |
| Granito de terrazo (40 x 40)                        | 55                       | 65                |
| Loseta asfáltica o vinilica                         | 5                        | 10                |
| Falso plafón de aplanado                            | 40                       |                   |
| Mármol de 2.5 cm espesor                            | 52.50                    |                   |
| Cancelería metálica para oficina                    | 35                       |                   |
| Tablaroca de 1.25 cm                                | 8.50                     |                   |

### 3.3.3.2 Losas

El peso muerto calculado de losas de concreto de peso normal coladas en el lugar se incrementará en 20 kg/m<sup>2</sup>. Cuando sobre un losa colada en el lugar o precolada, se coloque una capa de mortero de peso normal, el peso calculado de esta capa se incrementará también en 20 kg/m<sup>2</sup>, de manera que el incremento total será de 40 kg/m<sup>2</sup>. Tratándose de losas y morteros que posean pesos volumétricos diferentes del normal, estos valores se modificarán en proporción a los pesos volumétricos.

Estos aumentos no se aplicarán cuando el efecto de la carga muerta se favorable a la estabilidad de la estructura.

### 3.3.4 CARGAS VIVAS

#### 3.3.4.1 Criterio

Se considerarán cargas vivas las fuerzas que se producen por el uso y ocupación de las Edificaciones y que no tienen carácter permanente. A menos que se justifiquen racionalmente otros valores, estas cargas se tomarán iguales a las especificadas en su aplicación.

Las cargas especificadas no incluyen el peso de muros divisorios de mampostería o de otros materiales, ni el de muebles, equipos u objetos de peso fuera de los común, como cajas fuertes de gran tamaño, archivos importantes, libreros pesados o cortinajes en salas de espectáculos. Cuando se prevean tales cargas deberán cuantificarse y tomarse en cuenta en el diseño en forma independiente de la carga viva especificada. Los valores adoptados deberán justificarse en la memoria de cálculo o indicarse en los planos estructurales.

#### 3.3.4.2 Aplicación de Cargas

Para la aplicación de las cargas vivas unitarias se deberá tomar en consideración las siguientes disposiciones

I. La carga viva máxima  $W_m$  se deberá emplear en diseño estructural por fuerzas gravitacionales y para calcular asentamientos inmediatos en suelos, así como en el diseño estructural de los cimientos ante cargas gravitacionales;

II. La carga instantánea  $W_a$  se deberá usar para diseño sísmico y por viento y cuando se revisen distribuciones de carga más desfavorables que la uniformemente repartida sobre toda el área;

III. La carga media  $W$  se deberá emplear en el cálculo de asentamientos diferidos y para el cálculo de flechas diferidas;

IV. Cuando el efecto de la carga viva sea favorable para la estabilidad de la estructura, como en el caso de problemas de flotación, volteo y de succión por viento, su intensidad se considerará nula sobre toda el área, a menos que pueda justificarse otro valor, y

V. Las cargas uniformes de la tabla de siguiente, se considerarán dadas sobre el área tributaria de cada elemento:

| Tabla de cargas vivas unitarias, en $\text{kg/m}^2$                                                                                                                           |           |           |       |               |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|-----------|-------|---------------|
| Destino de piso o cubierta                                                                                                                                                    | W         | $W_a$     | $W_m$ | Observaciones |
| a) Habitación (casa-habitación, departamentos, viviendas, dormitorios, cuartos de hotel, internados de escuelas, cuarteles, cárceles, correccionales, hospitales y similares) | 70        | 90        | 170   | (1)           |
| b) Oficinas, despachos y laboratorios                                                                                                                                         | 100       | 180       | 250   | (2)           |
| c) Comunicación para peatones (pasillos, escaleras, rampas, vestíbulos y pasajes de acceso libre al público)                                                                  | 40        | 150       | 350   | (3), (4)      |
| d) Estadios y lugares de reunión sin asientos individuales                                                                                                                    | 40        | 350       | 450   | (5)           |
| e) Otros lugares de reunión (templos, cines, teatros, gimnasios, salones de baile, restaurantes, bibliotecas, aulas, salas de juego y similares)                              | 40        | 250       | 350   | (5)           |
| f) Comercios, fábricas y bodegas                                                                                                                                              | $0.8 W_m$ | $0.9 W_m$ | $W_m$ | (6)           |
| g) Cubiertas y azoteas con pendiente no mayor de 5%                                                                                                                           | 15        | 70        | 100   | (4), (7)      |
| h) Cubiertas y azoteas con pendiente mayor de 5%                                                                                                                              | 5         | 20        | 40    | (4), (7), (8) |
| i) Volados en vía pública (marquesinas, balcones y similares)                                                                                                                 | 15        | 70        | 300   |               |
| j) Garajes y estacionamientos (para automóviles exclusivamente)                                                                                                               | 40        | 100       | 250   | (9)           |

Observaciones a la tabla de cargas vivas unitarias:

1. Para elementos con área tributaria mayor de  $36 \text{ m}^2$ ,  $Wm$  podrá reducirse tomándola igual a  $100 + 420^{a^{\wedge}}(-1/2)$  ( $A$  es el área tributaria en  $\text{m}^2$ ). Cuando sea más desfavorable se considerará en lugar de  $Wm$ , una carga de 500 kg aplicada sobre un área de  $50 \times 50 \text{ cm}$  en la posición más crítica.  
Para sistemas de piso ligeros con cubierta rigidizante, se considerará en lugar de  $Wm$ , cuando sea más desfavorable, una carga concentrada de 250 kg para el diseño de los elementos de soporte y de 100 kg para el diseño de la cubierta, en ambos casos ubicadas en la posición más desfavorable.  
Se considerarán sistemas de piso ligero aquellos formados por tres o más miembros aproximadamente paralelos y separados entre si no más de 80 cm y unidos con una cubierta de madera contrachapada, de duelas de madera bien clavadas u otro material que proporcione una rigidez equivalente.
2. Para elementos con área tributaria mayor de  $36 \text{ m}^2$ ,  $Wm$  podrá reducirse, tomándola igual a  $180 + 420^{a^{\wedge}}(-1/2)$  ( $a$  es el área tributaria en  $\text{m}^2$ ). Cuando sea más desfavorable se considerará en lugar de  $Wm$ , cuando sea más desfavorable, una carga de 1000 kg aplicada sobre un área de  $50 \times 50 \text{ cm}$  en la posición más crítica.  
Para sistemas de piso ligero con cubierta rigidizante, definidos como en la nota (1), se considerará en lugar de  $Wm$ , cuando sea más desfavorable, una carga concentrada de 500 kg para el diseño de los elementos de soporte y de 150 kg para el diseño de la cubierta, ubicadas en la posición más desfavorable.
3. En área de comunicación de casas de habitación y edificios de departamentos se considerará la misma carga viva que en el caso a) de la tabla.
4. Para el diseño de los pretilas y barandales en escaleras, rampas, pasillos y balcones, se deberá fijar una carga por metro lineal no menor de 100 kg/ml actuando al nivel de pasamanos y en la dirección más desfavorable.
5. En estos casos deberá presentarse particular atención a la revisión de los estados limite de servicio relativos a vibraciones.
6. Atendiendo al destino del piso, la carga unitaria,  $Wm$ , que no será inferior a  $350 \text{ kg/m}^2$  y deberá especificarse en los planos estructurales y en placas colocadas en lugares fácilmente visibles de la edificación.
7. Las cargas vivas especificadas para cubiertas y azoteas no incluyen las cargas producidas por tinacos y anuncios, ni las que se debe a equipos u objetos pesados que puedan apoyarse en o colgarse del techo. Estas cargas debe preverse por separado y especificarse en los planos estructurales.  
Adicionalmente, los elementos de las cubiertas y azoteas deberán revisarse con un carga concentrada de 100 kg en la posición más crítica.
8. Además, en el fondo de los valles de techos inclinados se considerará una carga, debida al granizo de 30 kg por cada metro cuadrado de proyección horizontal del techo que desagüe hacia el valle. Esta carga se considerará como una acción accidental para fines de revisión de la seguridad y se le aplicarán los factores de carga correspondientes.
9. Más una concentración de 1500 kg, en el lugar más desfavorable del miembro estructural del que se trate.

### 3.3.5 DISEÑO POR SISMO

#### 3.3.5.1 Criterio

Las estructuras se analizarán bajo la acción de dos componentes horizontales ortogonales no simultáneos del movimiento del terreno. Las deformaciones y fuerzas internas que resulten se combinarán entre sí como lo especifiquen las Normas Técnicas Complementarias, y se combinarán con los efectos de fuerzas gravitacionales y de las otras acciones que correspondan según los criterios establecidos con anterioridad.

Según sean las características de la estructura de que se trate, ésta podrá analizarse por sismo mediante el método estático o uno de los dinámicos que describan las Normas Técnicas Complementarias, con las limitaciones que ahí se establezcan.

En el análisis se tendrá en cuenta la rigidez de todo elemento, estructural o no, que sea significativa. Con las salvedades que corresponden al método simplificado de análisis, se calcularán las fuerzas sísmicas, deformaciones y desplazamientos laterales de la estructura, incluyendo sus giros por torsión y teniendo en cuenta los efectos de flexión de sus elementos y, cuando sean significativos, de fuerza cortante, fuerza axial y torsión de

los elementos, así como los efectos de segundo orden, entendidos éstos como los de las fuerzas gravitacionales actuando en la estructura deformada ante la acción tanto de dichas fuerzas como de las laterales.

Se verificará que la estructura y la cimentación no alcancen ningún estado límite de falla o de servicio a que se refiere este Reglamento.

Para diseño de todo elemento que contribuya en más de 35 % a la capacidad total en fuerza cortante, momento torsionante o momento de volteo de un entrepiso dado, se adoptarán factores de resistencia 20 % inferiores a los que le corresponderían de acuerdo con los artículos respectivos de las Normas Técnicas Complementarias.

El método simplificado se podrá usar cuando:

- a) La estructura se apoye en un 75 % en muros de carga ligados entre si y los sistemas de piso sean rígidos al cortante;
- b) La relación entre longitud y anchura no sea mayor de 2, y
- c) La altura del edificio no sea mayor de 13 m y la relación entre la altura y la base menor en planta no sea mayor de 1.5.

Para el diseño de toda estructura se considerarán las zonas del Distrito Federal que fijaron anteriormente.

### 3.3.5.2 Coeficiente Sísmico

El coeficiente sísmico  $c$ , es el cociente de la fuerza cortante horizontal que debe considerarse que actúa en la base de la edificación por efecto del sismo, entre el peso de ésta sobre dicho nivel.

Con este fin se tomará como base de la estructura el nivel a partir del cual sus desplazamientos con respecto al terreno circundante comienzan a ser significativos. Para calcular el peso total se tendrán en cuenta las cargas muertas y vivas que correspondan.

El coeficiente sísmico para las Edificaciones clasificadas como del grupo B, se tomará igual a 0.16 en la zona I, 0.32 en la II, 0.40 en la IIIa, 0.45 en la IIIb, 0.40 en la IIIc y 0.30 en la IIId, a menos que se emplee el método simplificado de análisis, en cuyo caso se aplicarán los coeficientes que fijen las Normas Técnicas Complementarias, y a excepción de las zonas especiales en las que dichas Normas especifique otros valores de  $c$ . Para las estructuras del grupo A, se incrementará el coeficiente sísmico en 50 %.

Cuando se aplique el método estático o un método dinámico para análisis sísmico, podrán reducirse con fines de diseño las fuerzas sísmicas calculadas, empleando para ello los criterios que fijen las Normas Técnicas Complementarias, en función de las características estructurales y del terreno. Los desplazamientos calculados de acuerdo con estos métodos, empleando las fuerzas sísmicas reducidas, deben multiplicarse por el factor de comportamientos sísmico que marquen dichas Normas.

Los coeficientes que especifique las Normas Técnicas Complementarias para la aplicación del método simplificado de análisis tomarán en cuenta todas las reducciones que procedan por los conceptos mencionados. Por ello las fuerzas sísmicas calculadas por este método no deben sufrir reducciones adicionales.

Se verificará que tanto la estructura como su cimentación resistan las fuerzas cortantes, momentos torsionantes de entrepiso y momentos de volteo inducidos por sismo combinados con los que correspondan a otras sollicitaciones, y afectados del correspondiente factor de carga.

## CAPÍTULO 4

### MAMPOSTERÍA CONFINADA

#### 4.1. ALCANCE

La estructura a diseñar y analizar en el presente trabajo, se considera de mampostería confinada, por lo tanto, se describirá únicamente las propiedades con las que debe cumplir este tipo de mampostería.

Este tipo de mampostería está reforzada con castillos y dalas. Para ser considerados como confinados, los muros deben cumplir con los requisitos descritos más adelante.

Para diseño por sismo, se usará un factor de comportamiento sísmico  $Q = 2$  cuando las piezas sean macizas o bien cuando se usen piezas multiperforadas con refuerzo horizontal con al menos la cuantía mínima y los muros estén confinados con castillos exteriores. Se usará  $Q = 1.5$  cuando los muros sean de piezas huecas, independientemente de la cuantía de refuerzo horizontal o tipo de castillo.

#### 4.1.1 CASTILLOS Y DALAS EXTERIORES

Los castillos y dalas deberán cumplir con lo siguiente (fig. 37 y 38):

- a) Existirán castillos por lo menos en los extremos de los muros e intersecciones con otros muros, y en puntos intermedios del muro a una separación no mayor que  $1.5 H$  ni  $4$  m. Los parapetos o pretilas deberán tener castillos con una separación no mayor que  $4$  m.
- b) Existirá una dala en todo extremo horizontal de muro, a menos que este último esté ligado a un elemento de concreto reforzado con un peralte mínimo de  $100$  mm. Aun en este caso, se deberá colocar refuerzo longitudinal y transversal como lo establecen los incisos 4.1.1.e y 4.1.1.g. Además, existirán dalas en el interior del muro a una separación no mayor de  $3$  m y en la parte superior de parapetos o pretilas cuya altura sea superior a  $500$  mm.
- c) Los castillos y dalas tendrán como dimensión mínima el espesor del muro,  $t$ .
- d) Los castillos y dalas tendrán una resistencia a compresión,  $f_c'$ , no menor de  $150$  kg/cm<sup>2</sup>.
- e) El refuerzo longitudinal del castillo y la dala deberá dimensionarse para resistir las componentes vertical y horizontal correspondientes del puntal de compresión que se desarrolla en la mampostería para resistir las cargas laterales y verticales. En cualquier caso, estará formado por lo menos de tres barras, cuya área total sea al menos igual a la obtenida con la ecuación 4.1.

$$A_s = 0.2 \frac{f_c'}{f_y} t^2 \quad (4.1)$$

donde  $A_s$  es el área total de acero de refuerzo longitudinal colocada en el castillo o en la dala.

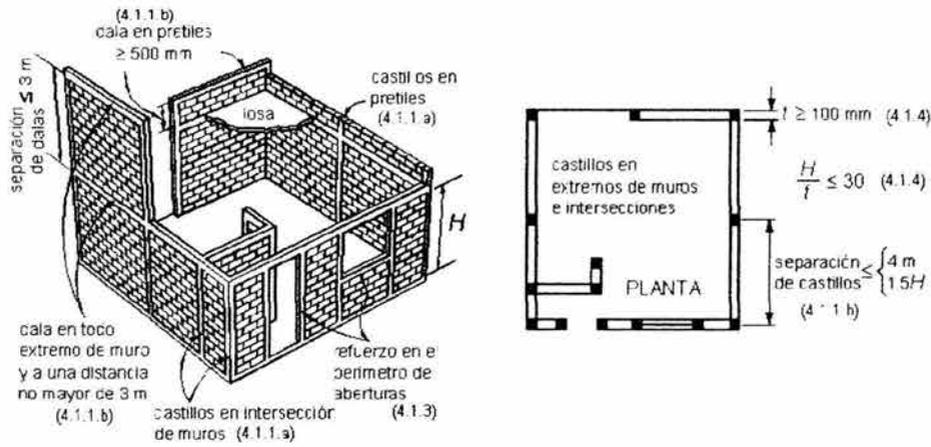


Figura 37. Requisitos para mampostería confinada

- f) El refuerzo longitudinal del castillo y la dala estará anclado en los elementos que limitan al muro de manera que pueda alcanzar su esfuerzo de fluencia.

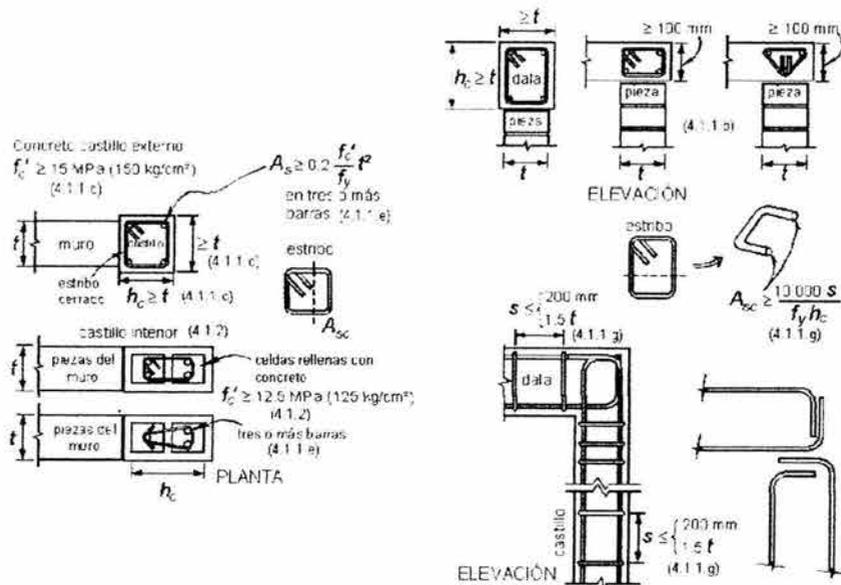


Figura 38. Castillos y dalas

- g) Los castillos y dalas estarán reforzados transversalmente por estribos cerrados y con un área,  $A_{sc}$ , al menos igual a la calculada con la ec. 4.2.

$$A_{sc} = \frac{1000s}{f_y h_c} \quad (4.2)$$

donde  $h_c$  es la dimensión del castillo o dala en el plano del muro. La separación de los estribos,  $s$ , no excederá de  $1.5 t$  ni de 200 mm.

- h) Cuando la resistencia de diseño a compresión diagonal de la mampostería,  $v_m^*$ , sea superior a 6 kg/cm<sup>2</sup>, se suministrará refuerzo transversal, con área igual a la calculada con la ec. 4.2 y con una separación no mayor que una hilada dentro de una longitud  $H_0$  en cada extremo de los castillos.

$H_0$  se tomará como el mayor de  $H/6$ ,  $2h_c$  y 400 mm.

#### 4.1.2 MUROS CON CASTILLOS INTERIORES

Se acepta considerar a los muros como confinados si los castillos interiores y las dalas cumplen con todos los incisos mencionados anteriormente, con excepción de 4.1.1.c. Se deberán colocar estribos o grapas en los extremos de los castillos como se indica en el inciso 4.1.1.h, independientemente del valor de  $v_m^*$ . Para diseño por sismo, el factor de comportamiento sísmico  $Q$ , será igual a 1.5, indistintamente de la cuantía de refuerzo horizontal.

#### 4.1.3 MUROS CON ABERTURAS

Existirán elementos de refuerzo con las mismas características que las dalas y castillos en el perímetro de toda abertura cuya dimensión horizontal exceda de la cuarta parte de la longitud del muro o separación entre castillos, o de 600 mm (fig. 39). También se colocarán elementos verticales y horizontales de refuerzo en aberturas con altura igual a la del muro (fig. 37). En muros con castillos interiores, se aceptará sustituir a la dala de la parte inferior de una abertura por acero de refuerzo horizontal anclado en los castillos que confinan a la abertura. El refuerzo consistirá en barras capaces de alcanzar una tensión a la fluencia de 2980 kg.

#### 4.1.4 ESPESOR Y RELACIÓN ALTURA A ESPESOR DE LOS MUROS

El espesor de los muros,  $t$ , no será menor que 100 mm y la relación altura libre a espesor del muro,  $H/t$ , no excederá de 30.

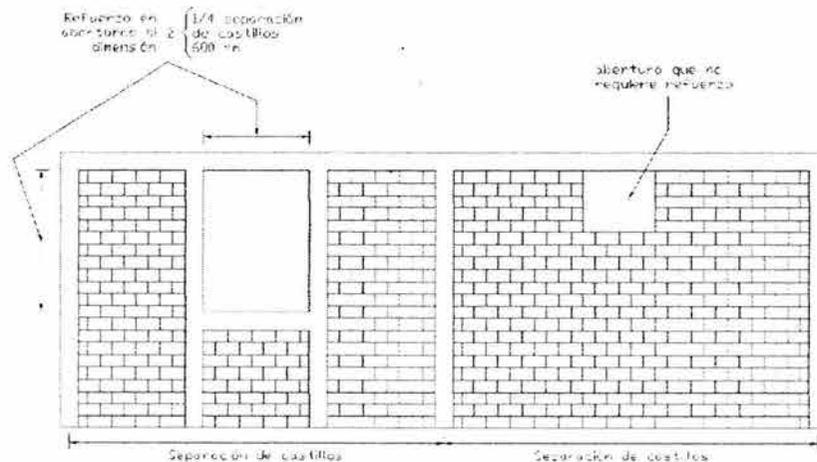


Figura 39. Refuerzo en el perímetro de aberturas

## 4.2. FUERZAS Y MOMENTOS DE DISEÑO

Las fuerzas y momentos de diseño se obtendrán a partir de los análisis indicados en el capítulo anterior, empleando las cargas de diseño que incluyan el factor de carga correspondiente.

La resistencia ante cargas verticales y laterales de un muro de mampostería confinada deberá revisarse para el efecto de carga axial, la fuerza cortante, de momentos flexionantes en su plano y, cuando proceda, también

para momentos flexionantes normales a su plano principal de flexión. En la revisión ante cargas laterales sólo se considerará la participación de muros cuya longitud sea sensiblemente paralela a la dirección de análisis.

La revisión ante cargas verticales se realizará conforme a lo establecido previamente en el capítulo anterior.

Cuando sean aplicables los requisitos del método simplificado de diseño sísmico, la revisión ante cargas laterales podrá limitarse a los efectos de la fuerza cortante. Cuando la estructura tenga más de tres niveles, adicionalmente a la fuerza cortante, se deberán revisar por flexión en el plano los muros que posean una relación altura a longitud,  $H/L$ , mayor que dos.

#### 4.3. RESISTENCIA A COMPRESIÓN Y FLEXOCOMPRESIÓN EN EL PLANO DEL MURO

##### 4.3.1 RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE MUROS CONFINADOS

La carga vertical resistente,  $P_R$ , se calculará como:

$$P_R = F_R F_E (f_m * A_T + \sum A_s F_y) \quad (4.3)$$

donde

$F_E$  factor de reducción por los efectos de excentricidad y esbeltez; y

$F_R$  se tomará igual a 0.6

Alternativamente,  $P_R$  se podrá calcular con

$$P_R = F_R F_E (f_m * +4) A_T, \text{ en kg/cm}^2 \text{ y cm}^2 \quad (4.4)$$

##### 4.3.2 RESISTENCIA A FLEXOCOMPRESIÓN EN EL PLANO DEL MURO

###### 4.3.2.1 Método general de diseño

La resistencia a flexión o flexocompresión en el plano de un muro confinado exterior o interiormente se calculará con base en las hipótesis estipuladas en el subtítulo 3.1.2.1.6. La resistencia de diseño se obtendrá reduciendo la resistencia por el factor de resistencia.

###### 4.3.2.2 Método optativo

Para muros con barras longitudinales colocadas simétricamente en sus castillos extremos, sean éstos exteriores o interiores, los fórmulas simplificadas siguientes (ecs. 4.5 y 4.6) dan valores suficientemente aproximados y conservadores del momento resistente de diseño.

El momento resistente de diseño de la sección,  $M_R$ , se calculará de acuerdo con las ecuaciones (fig. 40)

$$M_R = F_R M_O + 0.3 P_U d; \text{ si } 0 \leq P_U \leq \frac{P_R}{3} \quad (4.5)$$

$$M_R = (1.5 F_R M_O + 0.15 P_R d) \left( 1 - \frac{P_U}{P_R} \right); \text{ si } P_U \geq \frac{P_R}{3} \quad (4.6)$$

donde

$M_O = A_s f_y d'$  resistencia a flexión pura del muro;

$A_s$  área total de acero de refuerzo longitudinal colocada en cada uno de los castillos 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, cuyo valor se tomará con signo positivo en la ecs. 4.5 y 4.6; y

$F_R$  se tomará igual a 0.8, si  $P_U \leq P_R / 3$  e igual a 0.6 en caso contrario.

Para cargas axiales de tensión será válido interpolar entre la carga axial resistente a tensión pura y el momento resistente  $M_O$ , afectando el resultado por  $F_R = 0.8$ .

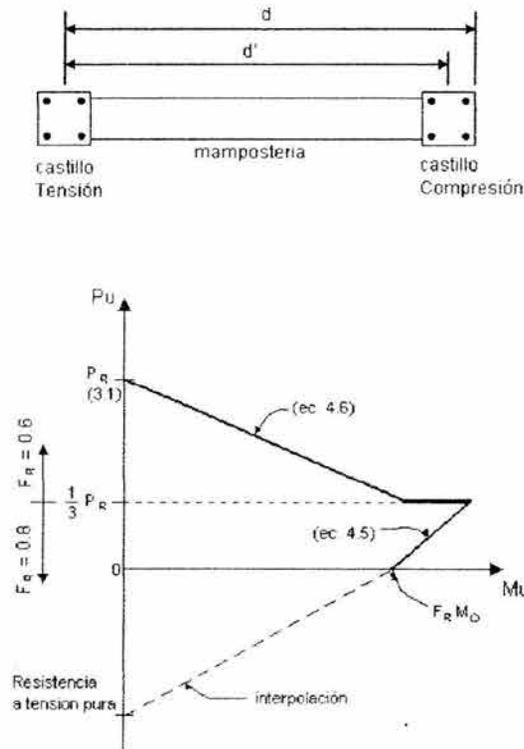


Figura 40. Diagrama de interacción carga axial-momento flexionante resistente de diseño con el método optativo

#### 4.4. RESISTENCIA A CARGAS LATERALES

##### 4.4.1 CONSIDERACIONES GENERALES

No se considerará incremento alguno de la fuerza cortante resistente por efecto de las dalas y castillos de muros confinados de acuerdo con lo establecido anteriormente (4.1).

La resistencia a cargas laterales será proporcionada por la mampostería. Se acepta que parte de la fuerza cortante sea resistida por acero de refuerzo horizontal. Cuando la carga vertical que obre sobre el muro sea de tensión se aceptará que el acero de refuerzo horizontal resistan la totalidad de la carga lateral.

Cuando se use el método simplificado de análisis, la resistencia a fuerza cortante de los muros se afectará por el factor  $F_{AE}$  definido por la ec. 3.13.

El factor de resistencia,  $F_R$ , se tomará igual a 0.7.

#### 4.4.2 FUERZA CORTANTE RESISTIDA POR LA MAMPOSTERÍA

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

$$V_{mR} = F_R(0.5v_m^* A_T + 0.3P) \leq 1.5F_R v_m^* A_T \quad (4.7)$$

donde  $P$  se deberá tomar positiva en compresión. En el área  $A_T$  se debe incluir a los castillos pero sin transformar el área transversal.

La carga vertical  $P$  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  $V_{mR}$ .

La resistencia a compresión diagonal de la mampostería para diseño,  $v_m^*$ , no deberá exceder de  $6 \text{ kg/cm}^2$ , a menos que se demuestre con ensayos que satisfagan el subtítulo 3.1.1.7.2.1, que se pueden alcanzar mayores valores. En adición, se deberá demostrar que se cumplen con todos los requisitos de materiales, análisis, diseño y construcción aplicables.

#### 4.4.3 FUERZA CORTANTE RESISTIDA POR EL ACERO DE REFUERZO HORIZONTAL

##### 4.4.3.1 Tipos de acero de refuerzo

Se permitirá el uso de acero de refuerzo horizontal colocado en las juntas de mortero para resistir fuerza cortante. El refuerzo consistirá de barras corrugadas o alambres corrugados laminados en frío que sean continuos a lo largo del muro.

No se permite el uso de escalerillas para resistir fuerza cortante inducida por sismo.

El esfuerzo de fluencia para diseño,  $f_{yh}$ , no deberá ser mayor que  $6000 \text{ kg/cm}^2$ .

El refuerzo horizontal se detallará como se indicó en el capítulo anterior.

##### 4.4.3.2 Separación del acero de refuerzo horizontal

La separación máxima del refuerzo horizontal,  $s_h$ , no excederá de cuatro hiladas ni de 600 mm.

##### 4.4.3.3 Cuantías mínima y máxima del acero de refuerzo horizontal

Si se coloca acero de refuerzo horizontal para resistir fuerza cortante, la cuantía de acero de refuerzo horizontal,  $P_h$ , no será inferior a  $3 / f_{yh}$ , si se usan  $\text{kg/cm}^2$  ni al valor que resulte de la expresión siguiente

$$P_h = \frac{V_{mR}}{F_R f_{yh} A_T} \quad (4.8)$$

En ningún caso  $P_h$  será mayor que  $0.3 \frac{f_m^*}{f_{yh}}$  ni menor que  $\frac{12}{f_{yh}}$  para piezas macizas, ni que  $\frac{9}{f_{yh}}$  para piezas huecas si se usan  $\text{kg/cm}^2$ .

#### 4.4.3.4 Diseño del refuerzo horizontal

La fuerza cortante que toma el refuerzo horizontal,  $V_{sR}$ , se calculará con

$$V_{sR} = F_R \eta P_h f_{yh} A_T \quad (4.9)$$

El factor de eficiencia del refuerzo horizontal,  $\eta$ , se determinará con el criterio siguiente.

$$\eta = \begin{cases} 0.6; & \text{si } P_h f_{yh} \leq 6 \text{ kg/cm}^2 \\ 0.2; & \text{si } P_h f_{yh} \geq 9 \text{ kg/cm}^2 \end{cases}$$

Para valores de  $P_h f_{yh}$  comprendidos entre 6 y 9  $\text{kg/cm}^2$ ,  $\eta$  se hará variar linealmente.

## CAPÍTULO 5

### ANÁLISIS Y DISEÑO DE ESTRUCTURA PROPUESTA

#### 5.1 ALCANCE

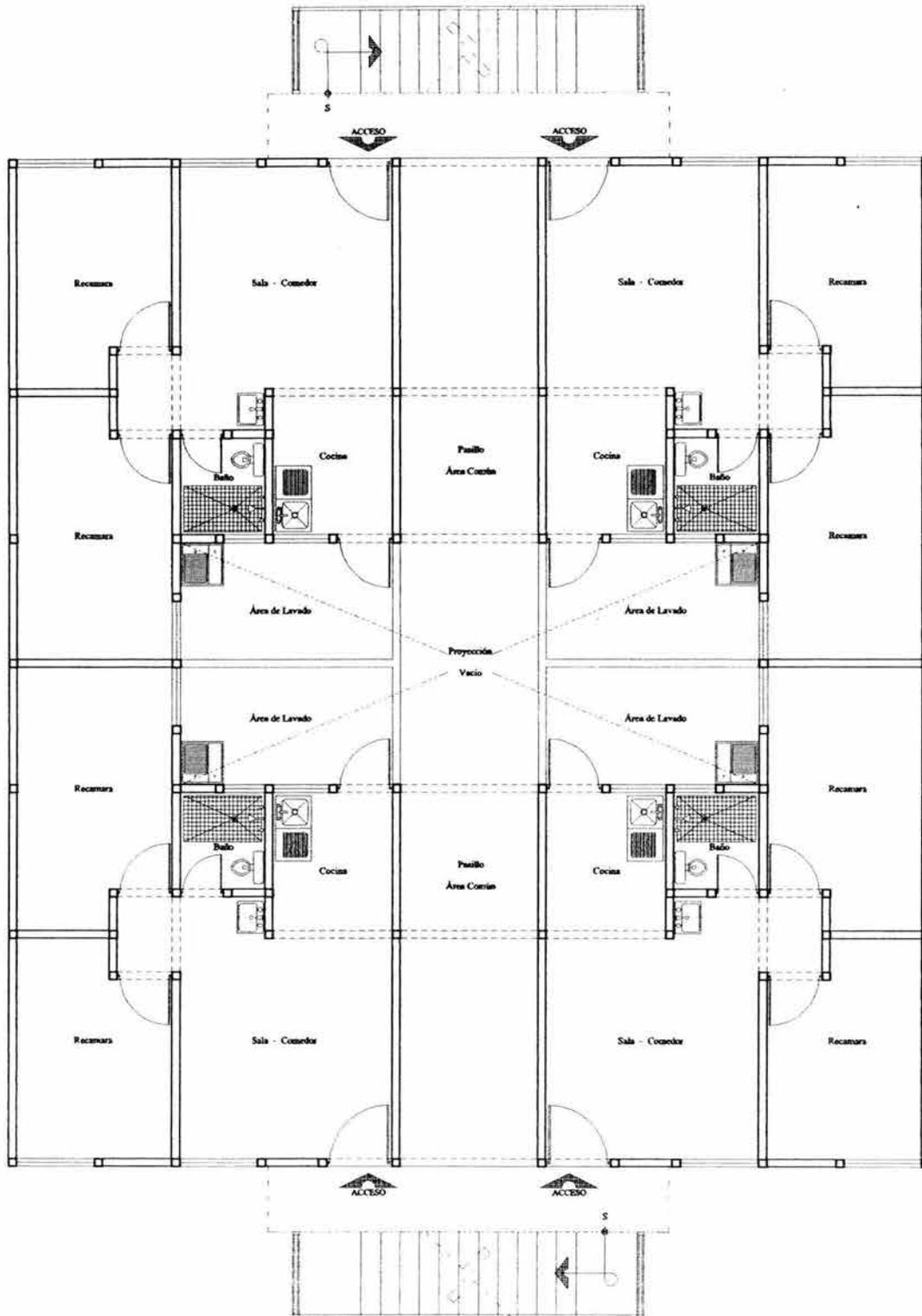
La estructura a analizar y diseñar consiste en un edificio para vivienda de 5 niveles, con una superficie de desplante de  $218.89 \text{ m}^2$  y en la que se resuelve 20 departamentos, con alturas de entrepiso de 2.50 metros. El edificio se localiza en la zona III de acuerdo con el RCDF y sus Normas Técnicas Complementarias.

El edificio esta estructurado a base de muros de mampostería confinada de tabique rojo recocido con  $f^*p = 60 \text{ kg/cm}^2$  y de 12 cm de espesor. Los tabiques se pegaron utilizando mortero tipo I y cuentan con aplanados de yeso de 1 cm por lado. La estructura cuenta con castillos de  $12 \times 12 \text{ cm}$  y dalas de  $12 \times 20 \text{ cm}$ , hechos de concreto de  $f^*c = 150 \text{ kg/cm}^2$  y acero de refuerzo con  $f^*y = 4200 \text{ kg/cm}^2$ . El sistema de piso consiste en una losa maciza de concreto de 10 cm de espesor.

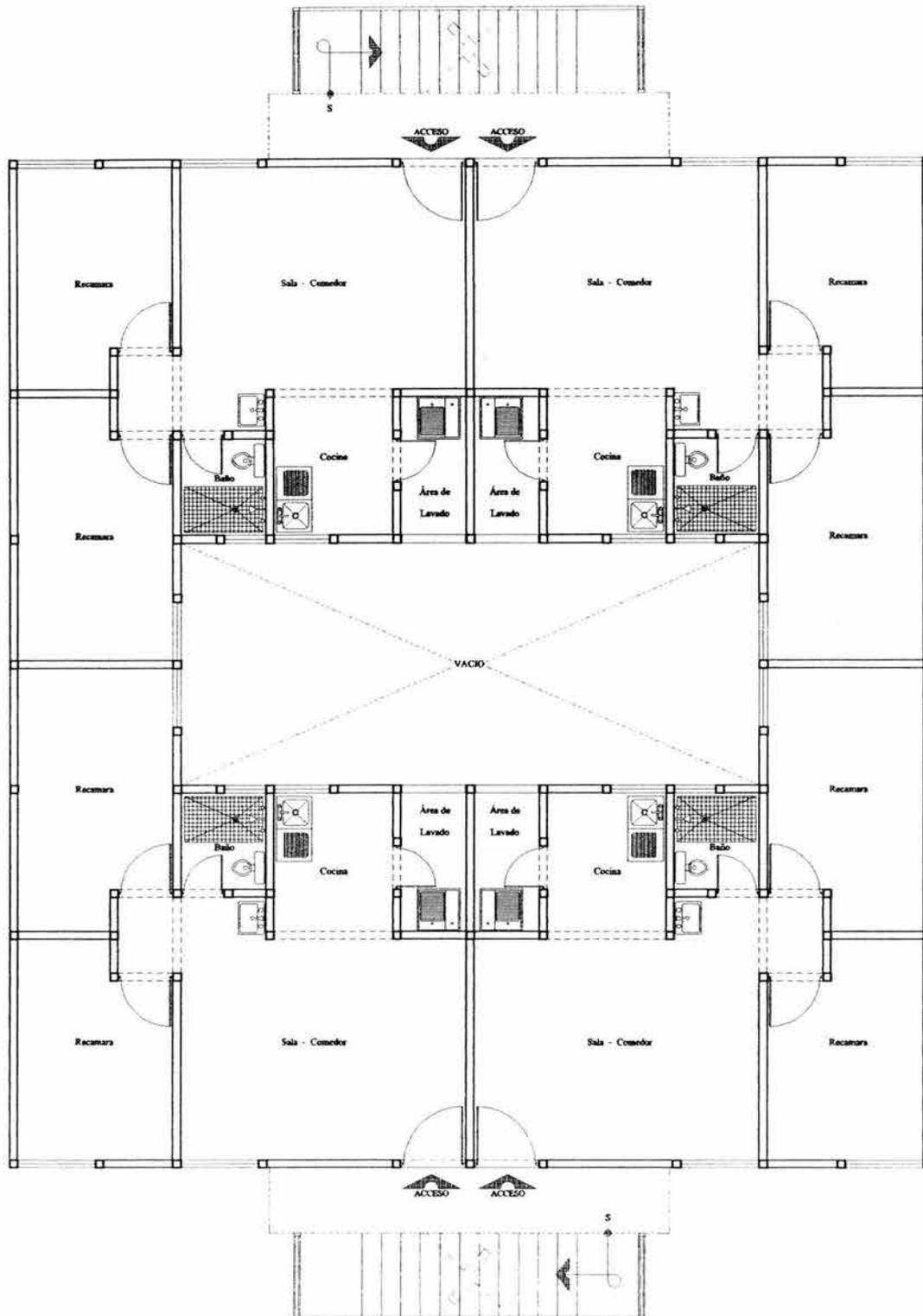
El primer nivel cuenta con cuatro departamentos, con una superficie de  $46.52 \text{ m}^2$  cada uno y un pasillo que comunica a ambos extremos del edificio. Cada departamento se compone de sala-comedor de  $12.21 \text{ m}^2$ , cocina de  $4.11 \text{ m}^2$ , baño de  $2.93 \text{ m}^2$ , área de lavado de  $5.87 \text{ m}^2$  y dos recamaras de  $9.04 \text{ m}^2$  y  $7.51 \text{ m}^2$ , respectivamente.

Los niveles restantes cuentan igualmente, con cuatro departamentos por nivel, con una superficie de  $46.52 \text{ m}^2$  cada uno. Cada departamento se compone de sala-comedor de  $16.02 \text{ m}^2$ , cocina de  $4.11 \text{ m}^2$ , baño de  $2.93 \text{ m}^2$ , área de lavado de  $2.12 \text{ m}^2$ , y dos recamaras de  $9.04 \text{ m}^2$  y  $7.51 \text{ m}^2$ , respectivamente.

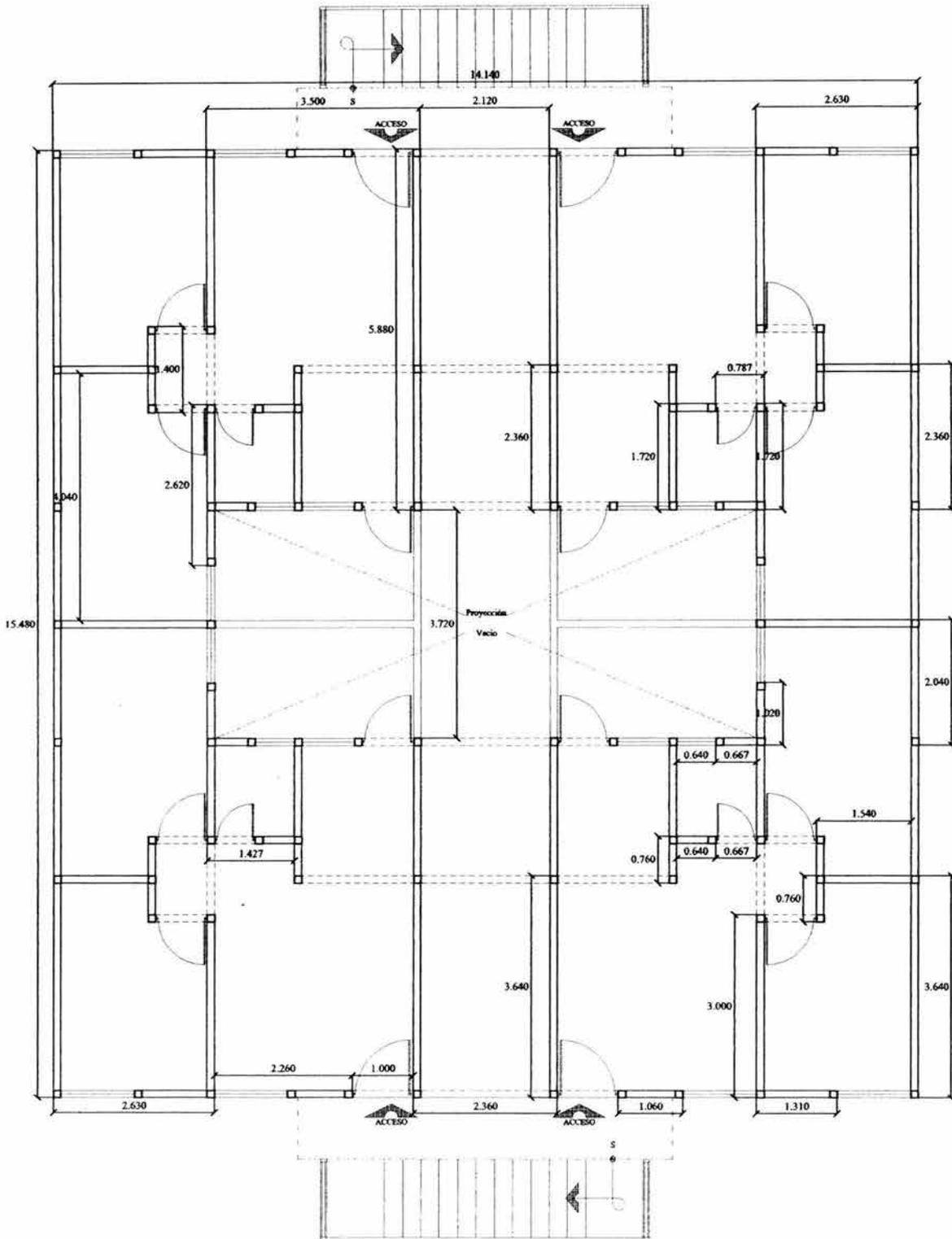
Para tener una mayor comprensión de las características antes mencionadas, se hace una descripción gráfica más adelante.



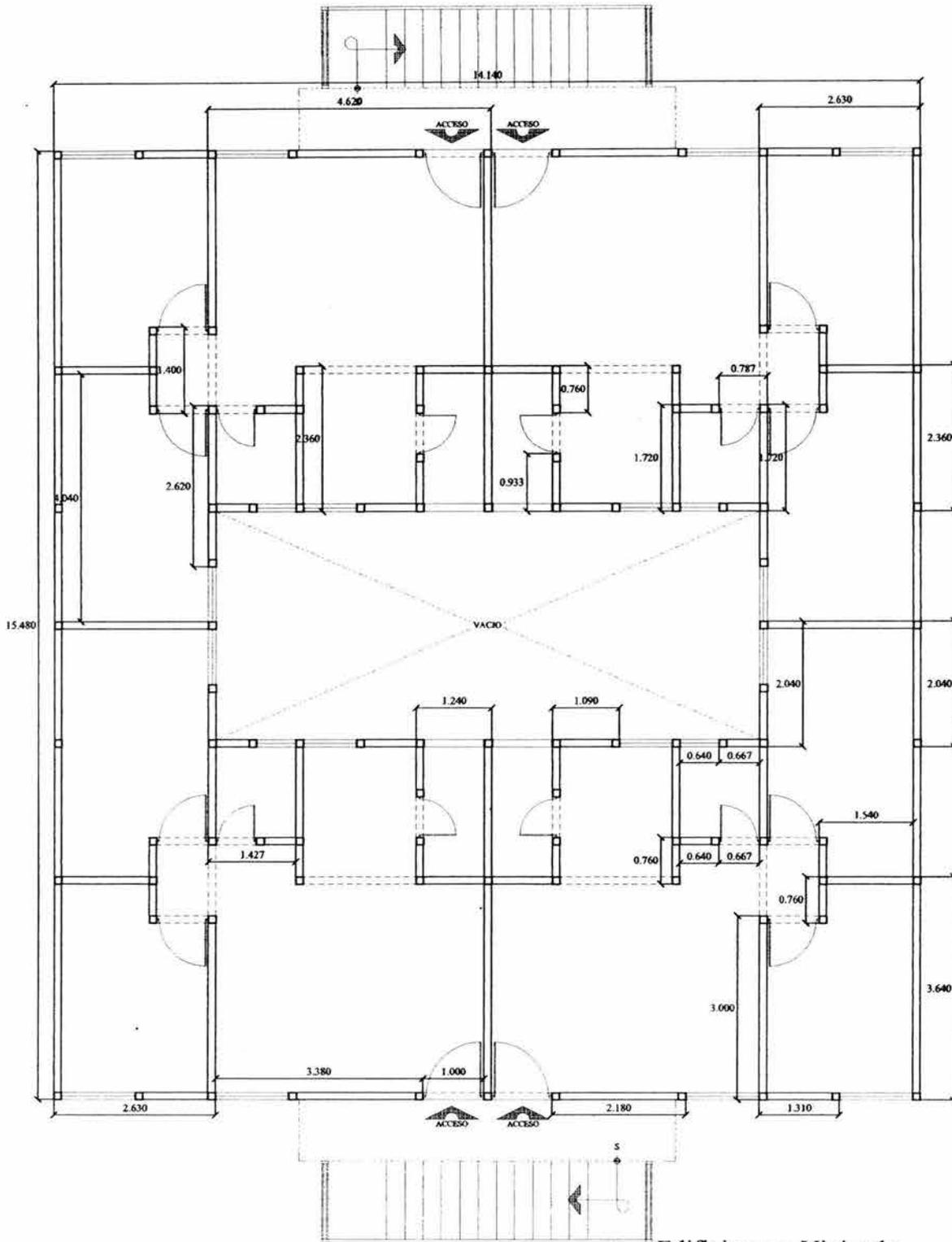
Edificio para Vivienda  
 Nivel: Planta Baja  
 Escala: 1:100



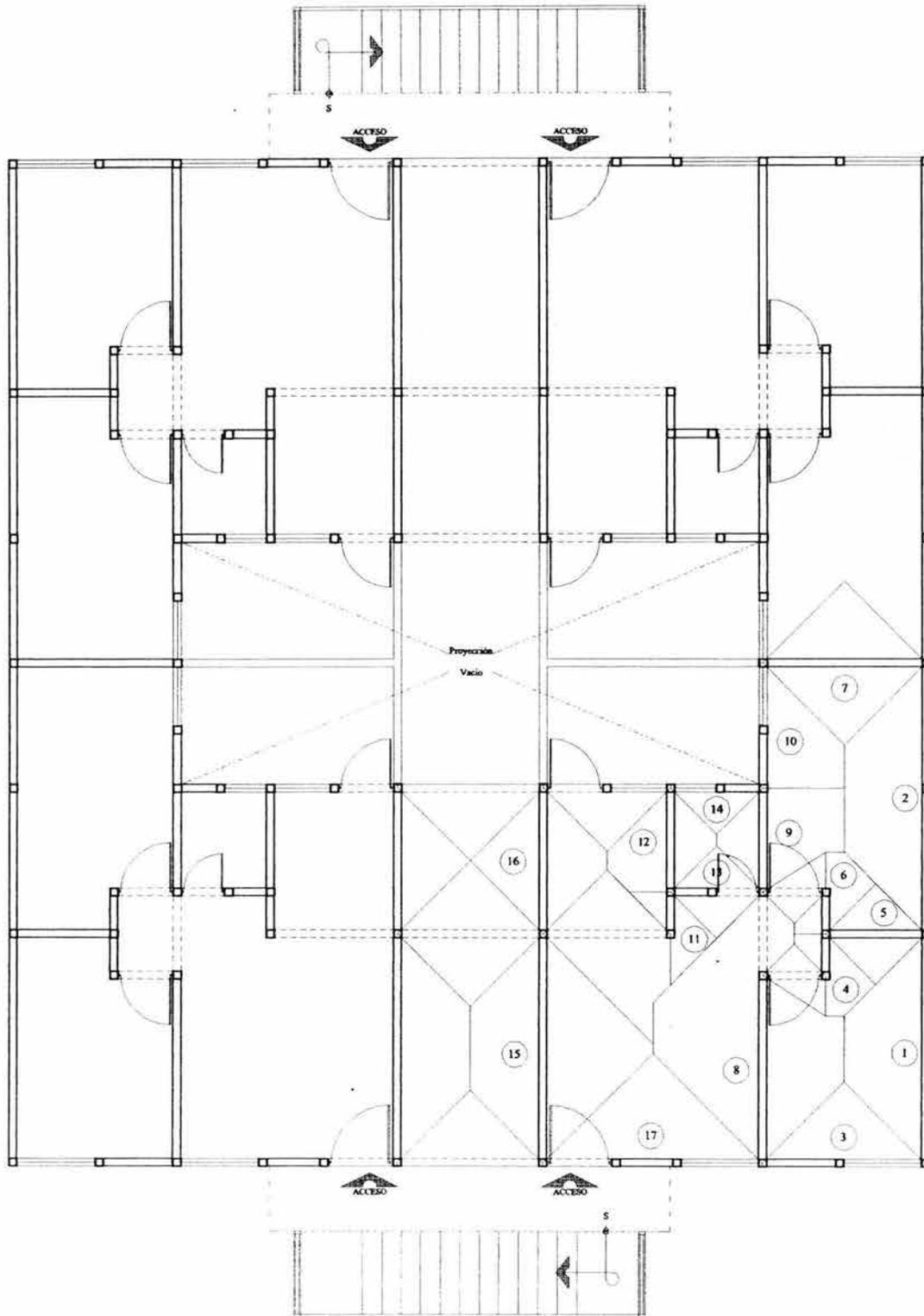
Edificio para Vivienda  
 Nivel: Planta Tipo  
 (1er, 2o, 3er, y 4o Piso)  
 Escala: 1:100



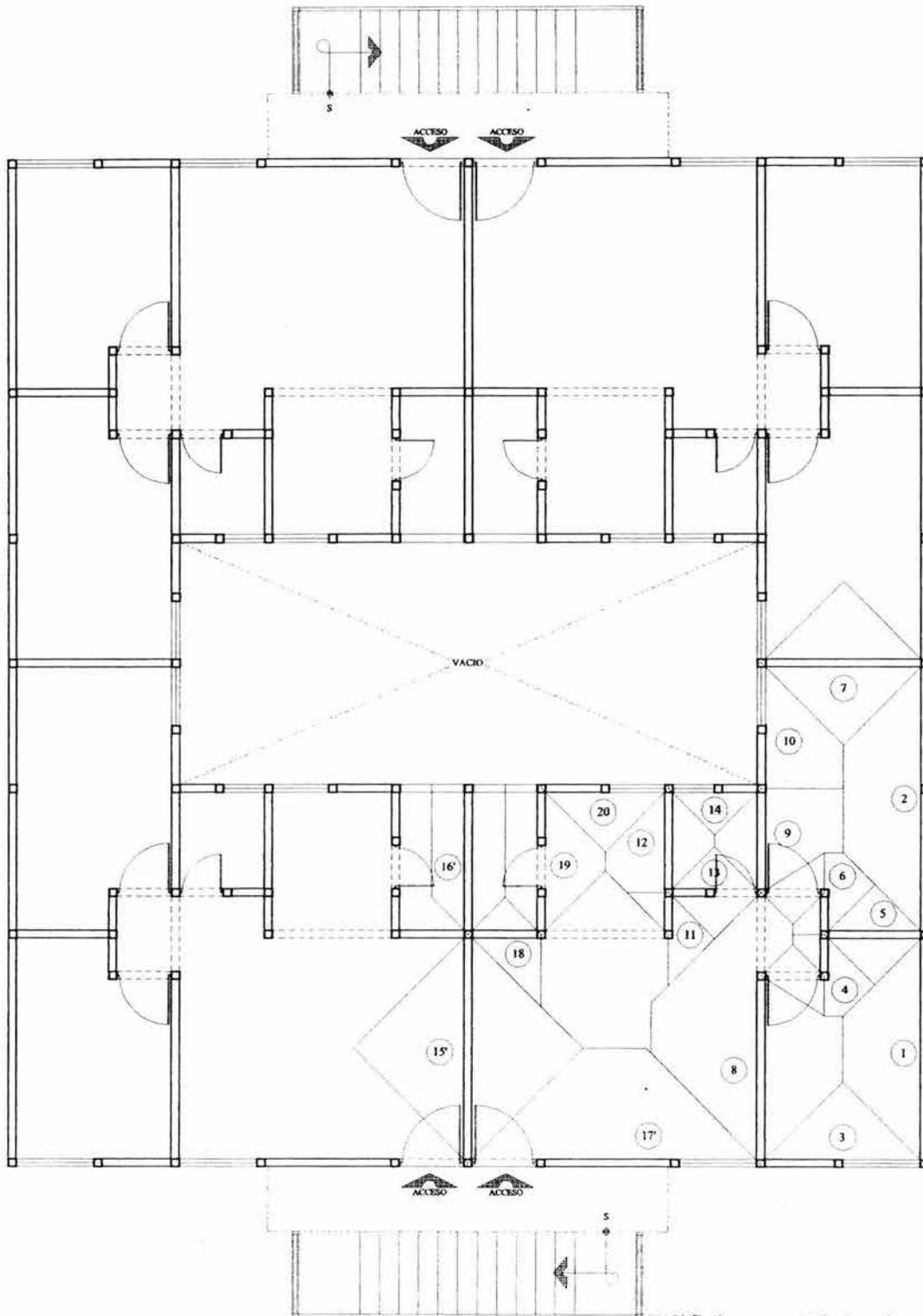
Edificio para Vivienda  
 Dimensiones de la Estructura  
 Nivel: Planta Baja  
 Escala: 1:100 Cotas: mts



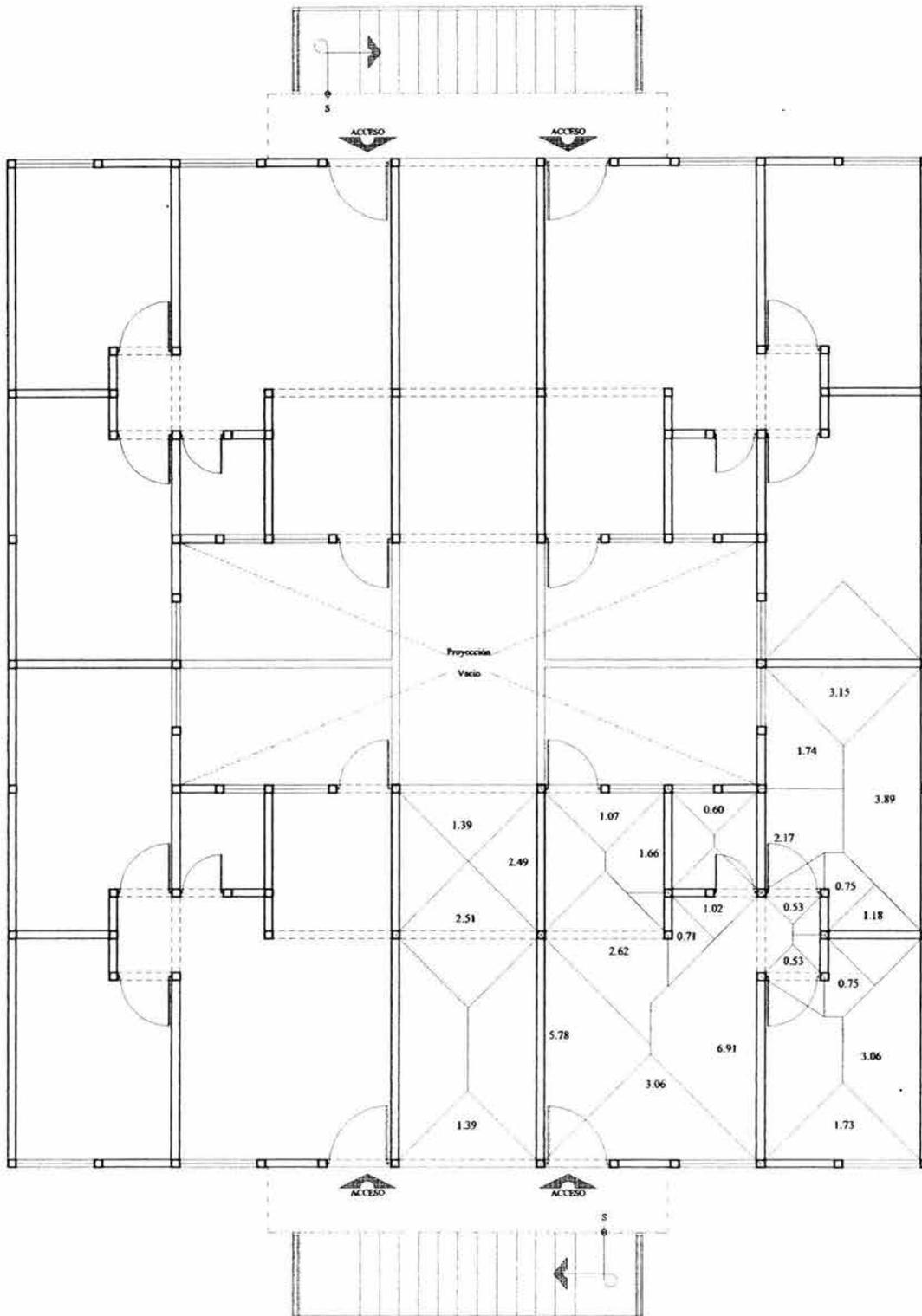
Edificio para Vivienda  
 Dimensiones de la Estructura  
 Nivel: Planta Tipo  
 (1er, 2o, 3er, y 4o Piso)  
 Escala: 1:100 Cotas: mts



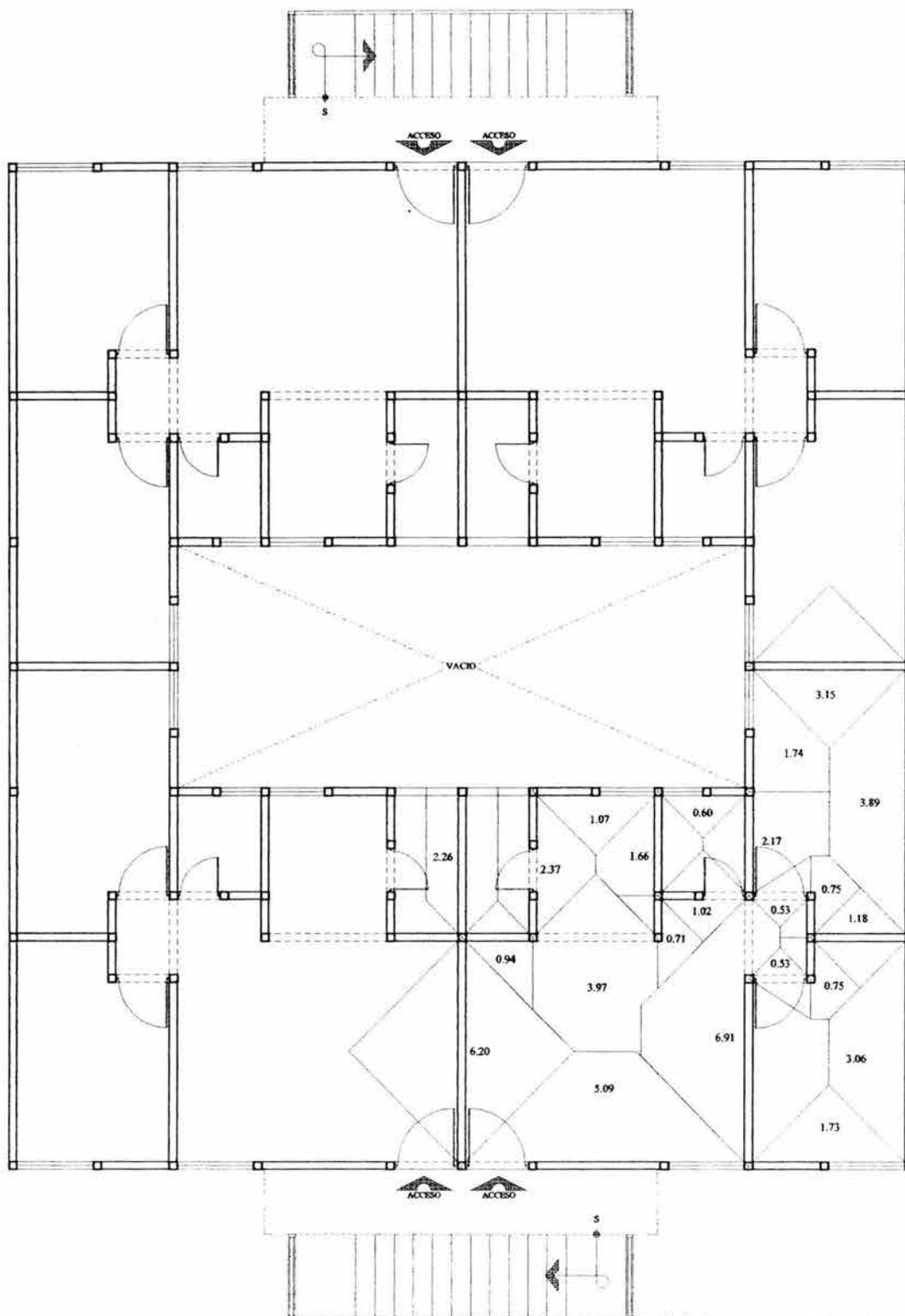
Edificio para Vivienda  
 Distribución de Áreas Tributarias  
 Nivel: Planta Baja  
 Escala: 1:100



Edificio para Vivienda  
 Distribución de Áreas Tributarias  
 Nivel: Planta Tipo  
 (1er, 2o, 3er, y 4o Piso)  
 Escala: 1:100



Edificio para Vivienda  
 Valor de Áreas Tributarias (m<sup>2</sup>)  
 Nivel: Planta Baja  
 Escala: 1:100



Edificio para Vivienda  
 Valor de Áreas Tributarias (m<sup>2</sup>)  
 Nivel: Planta Tipo  
 (1er, 2o, 3er, y 4o Piso)  
 Escala: 1:100

## 5.2 CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES DE LA ESTRUCTURA

| CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES |              |                    |
|-------------------------------|--------------|--------------------|
| CONCEPTO                      | VALOR        | UNIDADES           |
| Niveles                       | 5            | -                  |
| Entrepiso                     | 2.5          | metros             |
| Área                          | 185.85       | m <sup>2</sup>     |
| Zona                          | III          | -                  |
| <b>Mamposteria</b>            |              |                    |
| Tipo                          | Tabique rojo |                    |
| Espesor muro                  | 12           | cm                 |
| Confinada                     | Si           | -                  |
| No confinada                  | -            | -                  |
| $f \cdot p$                   | 60           | kg/cm <sup>2</sup> |
| Aplando                       | yeso         |                    |
| Espesor aplanado              | 1            | cm                 |
| <b>Mortero</b>                |              |                    |
| Tipo                          | I            | -                  |
| Espesor                       | 1            | cm                 |
| <b>Castillos</b>              |              |                    |
| Dimension                     | 12 x 12      | cm                 |
| $f \cdot c$                   | 150          | kg/cm <sup>2</sup> |
| $f \cdot y$                   | 4200         | kg/cm <sup>2</sup> |
| <b>Dalas</b>                  |              |                    |
| Dimension                     | 12 x 20      | cm                 |
| $f \cdot c$                   | 150          | kg/cm <sup>2</sup> |
| $f \cdot y$                   | 4200         | kg/cm <sup>2</sup> |
| <b>Losa</b>                   |              |                    |
| Espesor Losa                  | 10           | cm                 |

## 5.3 DETERMINACIÓN DE CARGAS

| Azotea       |                                            |                        |                       |
|--------------|--------------------------------------------|------------------------|-----------------------|
| Carga Muerta | Peso propio de la losa                     | 2400 kg/m <sup>3</sup> | 240 kg/m <sup>2</sup> |
|              | Relleno, impermeabilización y enladrillado |                        | 150 kg/m <sup>2</sup> |
|              | Carga muerta adicional, Art. 197 RCDF      |                        | 40 kg/m <sup>2</sup>  |
|              |                                            |                        | 430 kg/m <sup>2</sup> |
| Carga Viva   | Cargas gravitacionales                     |                        | 100 kg/m <sup>2</sup> |
|              | Cargas debidas al sismo                    |                        | 70 kg/m <sup>2</sup>  |
|              |                                            |                        | 170 kg/m <sup>2</sup> |

| Entrepisos   |                                       |                        |                       |
|--------------|---------------------------------------|------------------------|-----------------------|
| Carga Muerta | Peso propio de la losa                | 2400 kg/m <sup>3</sup> | 240 kg/m <sup>2</sup> |
|              | Firme y recubrimiento                 |                        | 120 kg/m <sup>2</sup> |
|              | Carga muerta adicional, Art. 197 RCDF |                        | 40 kg/m <sup>2</sup>  |
|              |                                       |                        | 400 kg/m <sup>2</sup> |
| Carga Viva   | Cargas gravitacionales                |                        | 170 kg/m <sup>2</sup> |
|              | Cargas debidas al sismo               |                        | 90 kg/m <sup>2</sup>  |
|              |                                       |                        | 260 kg/m <sup>2</sup> |

| Muros                               |                        |                         |
|-------------------------------------|------------------------|-------------------------|
| Peso vol. del tabique rojo recocido | 1700 kg/m <sup>3</sup> | 204 kg/m <sup>2</sup>   |
| Peso vol. del yeso                  | 1500 kg/m <sup>3</sup> | 30 kg/m <sup>2</sup>    |
| Peso del muro por m <sup>2</sup>    |                        | 234 kg/m <sup>2</sup>   |
| Peso del muro por metro lineal      |                        | 561.6 kg/m <sup>2</sup> |

| Longitud total de muros en Planta Baja |   |          |        | Peso total muros |
|----------------------------------------|---|----------|--------|------------------|
| Muro tipo                              | n | Longitud | Total  |                  |
| 1                                      | 4 | 3.64     | 152.18 | 85464.288 kg     |
| 2                                      | 4 | 4.28     |        |                  |
| 3                                      | 4 | 2.63     |        |                  |
| 4                                      | 4 | 0.76     |        |                  |
| 5                                      | 4 | 1.66     |        |                  |
| 6                                      | 4 | 0.76     |        |                  |
| 7                                      | 2 | 2.63     |        |                  |
| 8                                      | 4 | 4.16     |        |                  |
| 9                                      | 4 | 1.72     |        |                  |
| 10                                     | 4 | 2.04     |        |                  |
| 11                                     | 4 | 0.76     |        |                  |
| 12                                     | 4 | 1.72     |        |                  |
| 13                                     | 4 | 1.55     |        |                  |
| 14                                     | 4 | 1.55     |        |                  |
| 15                                     | 4 | 3.64     |        |                  |
| 16                                     | 4 | 2.36     |        |                  |
| 17                                     | 4 | 3.50     |        |                  |

| Longitud total de muros en 1er. Piso |   |          |        | Peso total muros |
|--------------------------------------|---|----------|--------|------------------|
| Muro tipo                            | n | Longitud | Total  |                  |
| 1                                    | 4 | 3.64     | 167.34 | 93978.144 kg     |
| 2                                    | 4 | 4.28     |        |                  |
| 3                                    | 4 | 2.63     |        |                  |
| 4                                    | 4 | 0.76     |        |                  |
| 5                                    | 4 | 1.66     |        |                  |
| 6                                    | 4 | 0.76     |        |                  |
| 7                                    | 2 | 2.63     |        |                  |
| 8                                    | 4 | 4.16     |        |                  |
| 9                                    | 4 | 1.72     |        |                  |
| 10                                   | 4 | 2.04     |        |                  |
| 11                                   | 4 | 0.76     |        |                  |
| 12                                   | 4 | 1.72     |        |                  |
| 13                                   | 4 | 1.55     |        |                  |
| 14                                   | 4 | 1.55     |        |                  |
| 15'                                  | 2 | 3.64     |        |                  |
| 16'                                  | 2 | 2.36     |        |                  |
| 17'                                  | 4 | 4.62     |        |                  |
| 18                                   | 4 | 1.24     |        |                  |
| 19                                   | 4 | 2.36     |        |                  |
| 20                                   | 4 | 2.07     |        |                  |

#### 5.4 BAJADA DE CARGAS EN MUROS DE PLANTA BAJA Y PLANTA TIPO

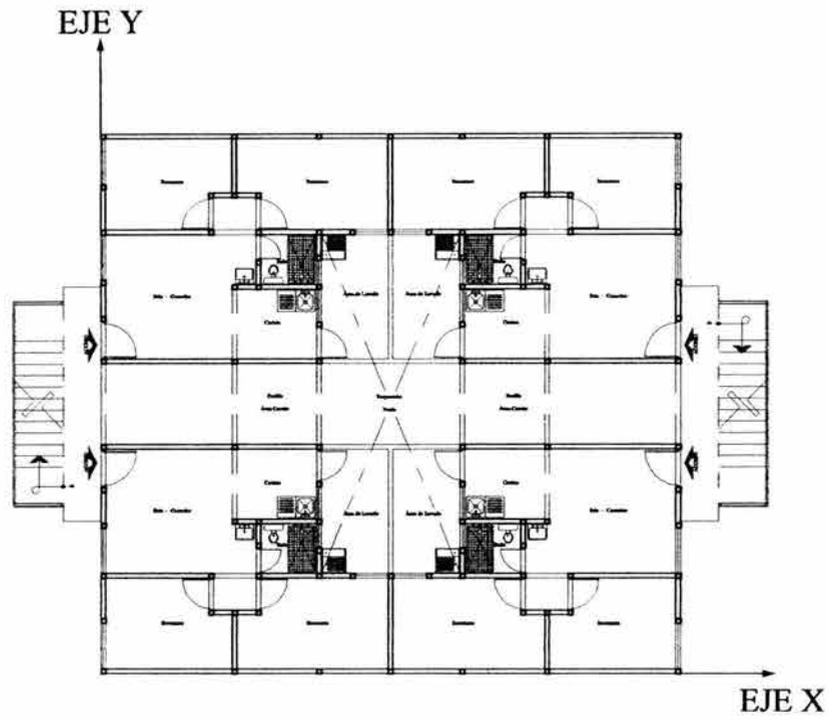
Para combinaciones que incluyan acciones permanentes y acciones variables, el factor de carga será de 1.4.

Las cargas uniformemente distribuidas por unidad de área incluyen a la carga muerta más la carga viva para cargas gravitacionales, es decir  $w = w_{c_m} + w_{c_v}$  y está en unidades de  $\text{ton/m}^2$ . La carga de cada muro tipo tanto en PB como en 1er. Piso debida al área tributaria que carga se denominó  $P_{trib}$  y está en toneladas, y en este caso  $w_{muro}$  es el peso del muro por metro lineal ( $\text{ton/m}$ ), como se calculó con anterioridad. La carga  $P_{PB}$  y  $P_{1er. P.}$  es la suma en PB de  $P_{trib}$  y  $P_{muros}$ , y la suma en 1er. Piso de  $P_{trib}$  y  $P_{muros}$ , respectivamente. Por tratarse de una estructura del grupo B, de acuerdo al RCDF, ante cargas verticales, en este caso  $P_{u PB} = 1.4 P_{u Pb}$ , para PB; y  $P_{u 1er. P.} = 1.4 P_{u 1er. P.}$ , para 1er. Piso.

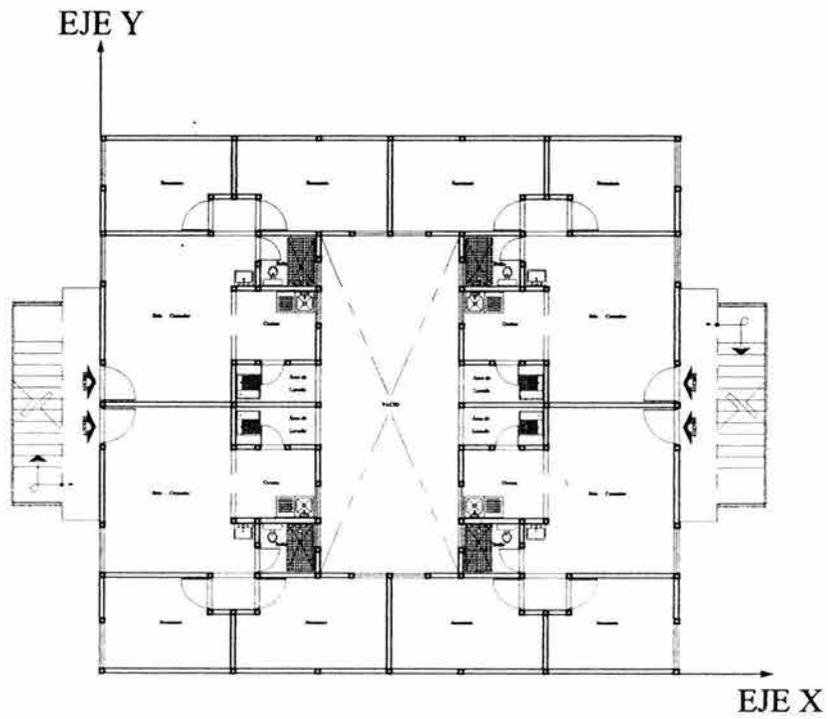
| Bajada de cargas en muros de PB considerando áreas tributarias y peso propio |              |                                 |          |        |        |             |         |                       |                        |               |                           |
|------------------------------------------------------------------------------|--------------|---------------------------------|----------|--------|--------|-------------|---------|-----------------------|------------------------|---------------|---------------------------|
| Muro Tipo                                                                    | Longitud (m) | Carga debida al área tributaria |          |        |        | Peso propio |         | P <sub>ps</sub> (Ton) | P <sub>ape</sub> (Ton) | W total (Ton) | W total x factor de carga |
|                                                                              |              | A (m <sup>2</sup> )             | W azotea | W piso | P trib | W muro      | P muros |                       |                        |               |                           |
| 1                                                                            | 3.64         | 3.06                            | 0.530    | 0.570  | 8.599  | 0.562       | 10.221  | 18.820                | 26.348                 | 75.279        | 105.390                   |
| 2                                                                            | 4.28         | 3.89                            | 0.530    | 0.570  | 10.931 | 0.562       | 12.018  | 22.949                | 32.129                 | 91.797        | 128.515                   |
| 3                                                                            | 2.63         | 1.73                            | 0.530    | 0.570  | 4.861  | 0.562       | 7.385   | 12.246                | 17.145                 | 48.985        | 68.580                    |
| 4                                                                            | 0.76         | 0.75                            | 0.530    | 0.570  | 2.108  | 0.562       | 2.134   | 4.242                 | 5.938                  | 16.966        | 23.753                    |
| 5                                                                            | 1.66         | 1.18                            | 0.530    | 0.570  | 3.316  | 0.562       | 4.661   | 7.977                 | 11.168                 | 31.908        | 44.672                    |
| 6                                                                            | 0.76         | 0.75                            | 0.530    | 0.570  | 2.108  | 0.562       | 2.134   | 4.242                 | 5.938                  | 16.966        | 23.753                    |
| 7                                                                            | 2.63         | 3.15                            | 0.530    | 0.570  | 8.852  | 0.562       | 7.385   | 16.237                | 22.731                 | 32.473        | 45.462                    |
| 8                                                                            | 4.16         | 6.91                            | 0.530    | 0.570  | 19.417 | 0.562       | 11.681  | 31.098                | 43.538                 | 124.394       | 174.151                   |
| 9                                                                            | 1.72         | 2.17                            | 0.530    | 0.570  | 6.098  | 0.562       | 4.830   | 10.927                | 15.298                 | 43.710        | 61.194                    |
| 10                                                                           | 2.04         | 1.74                            | 0.530    | 0.570  | 4.889  | 0.562       | 5.728   | 10.618                | 14.865                 | 42.471        | 59.459                    |
| 11                                                                           | 0.76         | 0.71                            | 0.530    | 0.570  | 1.995  | 0.562       | 2.134   | 4.129                 | 5.781                  | 16.517        | 23.123                    |
| 12                                                                           | 1.72         | 1.66                            | 0.530    | 0.570  | 4.665  | 0.562       | 4.830   | 9.494                 | 13.292                 | 37.977        | 53.168                    |
| 13                                                                           | 1.55         | 1.02                            | 0.530    | 0.570  | 2.866  | 0.562       | 4.352   | 7.219                 | 10.106                 | 28.874        | 40.424                    |
| 14                                                                           | 1.55         | 0.60                            | 0.530    | 0.570  | 1.686  | 0.562       | 4.352   | 6.038                 | 8.454                  | 24.154        | 33.815                    |
| 15                                                                           | 3.64         | 5.78                            | 0.530    | 0.570  | 16.242 | 0.562       | 6.133   | 22.374                | 31.324                 | 89.498        | 125.297                   |
| 16                                                                           | 2.36         | 2.49                            | 0.530    | 0.570  | 6.997  | 0.562       | 3.976   | 10.973                | 15.362                 | 43.892        | 61.449                    |
| 17                                                                           | 3.50         | 3.06                            | 0.530    | 0.570  | 8.599  | 0.562       | 12.344  | 20.943                | 29.320                 | 83.770        | 117.278                   |
| Vigas                                                                        |              | 7.41                            | 0.530    | 0.570  | 20.822 |             | 12.74   | 33.559                | 46.983                 | 134.237       | 187.931                   |
|                                                                              |              |                                 |          |        |        |             |         |                       |                        | 983.868       | 1189.484                  |

| Bajada de cargas en muros de 1er. Piso considerando áreas tributarias y peso propio |              |                                 |          |        |        |             |         |                       |                        |               |                           |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------|---------------------------------|----------|--------|--------|-------------|---------|-----------------------|------------------------|---------------|---------------------------|
| Muro Tipo                                                                           | Longitud (m) | Carga debida al área tributaria |          |        |        | Peso propio |         | P <sub>ps</sub> (Ton) | P <sub>ape</sub> (Ton) | W total (Ton) | W total x factor de carga |
|                                                                                     |              | A (m <sup>2</sup> )             | W azotea | W piso | P trib | W muro      | P muros |                       |                        |               |                           |
| 1                                                                                   | 3.64         | 3.06                            | 0.530    | 0.570  | 6.854  | 0.562       | 8.177   | 15.031                | 21.044                 | 60.125        | 84.175                    |
| 2                                                                                   | 4.28         | 3.89                            | 0.530    | 0.570  | 8.714  | 0.562       | 9.615   | 18.328                | 25.659                 | 73.313        | 102.638                   |
| 3                                                                                   | 2.63         | 1.73                            | 0.530    | 0.570  | 3.875  | 0.562       | 5.908   | 9.783                 | 13.697                 | 39.133        | 54.786                    |
| 4                                                                                   | 0.76         | 0.75                            | 0.530    | 0.570  | 1.680  | 0.562       | 1.707   | 3.387                 | 4.742                  | 13.549        | 18.969                    |
| 5                                                                                   | 1.66         | 1.18                            | 0.530    | 0.570  | 2.643  | 0.562       | 3.729   | 6.372                 | 8.921                  | 25.489        | 35.684                    |
| 6                                                                                   | 0.76         | 0.75                            | 0.530    | 0.570  | 1.680  | 0.562       | 1.707   | 3.387                 | 4.742                  | 13.549        | 18.969                    |
| 7                                                                                   | 2.63         | 3.15                            | 0.530    | 0.570  | 7.056  | 0.562       | 5.908   | 12.964                | 18.150                 | 25.928        | 36.299                    |
| 8                                                                                   | 4.16         | 6.91                            | 0.530    | 0.570  | 15.478 | 0.562       | 9.345   | 24.823                | 34.753                 | 99.294        | 139.011                   |
| 9                                                                                   | 1.72         | 2.17                            | 0.530    | 0.570  | 4.861  | 0.562       | 3.864   | 8.725                 | 12.214                 | 34.898        | 48.858                    |
| 10                                                                                  | 2.04         | 1.74                            | 0.530    | 0.570  | 3.898  | 0.562       | 4.583   | 8.480                 | 11.872                 | 33.921        | 47.489                    |
| 11                                                                                  | 0.76         | 0.71                            | 0.530    | 0.570  | 1.590  | 0.562       | 1.707   | 3.298                 | 4.617                  | 13.191        | 18.467                    |
| 12                                                                                  | 1.72         | 1.66                            | 0.530    | 0.570  | 3.718  | 0.562       | 3.864   | 7.582                 | 10.615                 | 30.329        | 42.460                    |
| 13                                                                                  | 1.55         | 1.02                            | 0.530    | 0.570  | 2.285  | 0.562       | 3.482   | 5.767                 | 8.073                  | 23.067        | 32.294                    |
| 14                                                                                  | 1.55         | 0.60                            | 0.530    | 0.570  | 1.344  | 0.562       | 3.482   | 4.826                 | 6.756                  | 19.304        | 27.025                    |
| 15'                                                                                 | 3.64         | 6.20                            | 0.530    | 0.570  | 13.888 | 0.562       | 8.177   | 22.065                | 30.891                 | 44.130        | 61.782                    |
| 16'                                                                                 | 2.36         | 2.26                            | 0.530    | 0.570  | 5.062  | 0.562       | 5.302   | 10.364                | 14.509                 | 20.728        | 29.019                    |
| 17'                                                                                 | 4.62         | 5.09                            | 0.530    | 0.570  | 11.402 | 0.562       | 10.378  | 21.780                | 30.492                 | 87.120        | 121.968                   |
| 18                                                                                  | 1.24         | 0.94                            | 0.530    | 0.570  | 2.106  | 0.562       | 2.786   | 4.891                 | 6.848                  | 19.565        | 27.390                    |
| 19                                                                                  | 2.36         | 2.37                            | 0.530    | 0.570  | 5.309  | 0.562       | 5.302   | 10.610                | 14.854                 | 42.441        | 59.418                    |
| 20                                                                                  | 2.07         | 1.07                            | 0.530    | 0.570  | 2.397  | 0.562       | 4.650   | 7.047                 | 9.866                  | 28.187        | 39.462                    |
| Vigas                                                                               |              | 5.03                            | 0.530    | 0.570  | 11.267 |             |         | 11.267                | 15.774                 | 45.069        | 63.096                    |
|                                                                                     |              |                                 |          |        |        |             |         |                       |                        | 792.329       | 804.564                   |

5.5 PROPOSICIÓN DE EJES



Edificio para Vivienda  
Proposición de Ejes  
Nivel: Planta Baja  
Escala: 1:200



Edificio para Vivienda  
Proposición de Ejes  
Nivel: Planta Tipo  
(1er, 2o, 3er, y 4o Piso)  
Escala: 1:200

## 5.6 OBTENCIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS MUROS DE LA ESTRUCTURA

| Características correspondientes a los muros tipo en Planta Baja |      |     |              |              |                    |                       |                                   |          |     |
|------------------------------------------------------------------|------|-----|--------------|--------------|--------------------|-----------------------|-----------------------------------|----------|-----|
| Muro Tipo                                                        | Dir. | No. | Espesor (cm) | Longitud (m) | Longitud Confinada | Peso por Metro (kg/m) | Area Tributaria (m <sup>2</sup> ) | Posición | K   |
| 1                                                                | X    | 4   | 12.00        | 3.64         | 3.40               | 562                   | 3.06                              | exterior | 1.0 |
| 2                                                                | X    | 4   | 12.00        | 4.28         | 4.04               | 562                   | 3.89                              | exterior | 1.0 |
| 3                                                                | Y    | 4   | 12.00        | 2.63         | 2.39               | 562                   | 1.73                              | exterior | 1.0 |
| 4                                                                | X    | 4   | 12.00        | 0.76         | 0.52               | 562                   | 0.75                              | interior | 0.8 |
| 5                                                                | Y    | 4   | 12.00        | 1.66         | 1.42               | 562                   | 1.18                              | interior | 0.8 |
| 6                                                                | X    | 4   | 12.00        | 0.76         | 0.52               | 562                   | 0.75                              | interior | 0.8 |
| 7                                                                | Y    | 2   | 12.00        | 2.63         | 2.39               | 562                   | 3.15                              | interior | 0.8 |
| 8                                                                | X    | 4   | 12.00        | 4.16         | 3.92               | 562                   | 6.91                              | interior | 0.8 |
| 9                                                                | X    | 4   | 12.00        | 1.72         | 1.48               | 562                   | 2.17                              | interior | 0.8 |
| 10                                                               | X    | 4   | 12.00        | 2.04         | 1.80               | 562                   | 1.74                              | exterior | 1.0 |
| 11                                                               | X    | 4   | 12.00        | 0.76         | 0.52               | 562                   | 0.71                              | interior | 0.8 |
| 12                                                               | X    | 4   | 12.00        | 1.72         | 1.48               | 562                   | 1.66                              | interior | 0.8 |
| 13                                                               | Y    | 4   | 12.00        | 1.55         | 1.31               | 562                   | 1.02                              | interior | 0.8 |
| 14                                                               | Y    | 4   | 12.00        | 1.55         | 1.31               | 562                   | 0.60                              | exterior | 1.0 |
| 15                                                               | X    | 4   | 12.00        | 3.64         | 3.40               | 562                   | 5.78                              | interior | 0.8 |
| 16                                                               | X    | 4   | 12.00        | 2.36         | 2.12               | 562                   | 2.49                              | interior | 0.8 |
| 17                                                               | Y    | 4   | 12.00        | 3.50         | 3.26               | 562                   | 3.06                              | exterior | 1.0 |

| Características correspondientes a los muros tipo en 1er. Piso |      |     |              |              |                    |                       |                                   |          |     |
|----------------------------------------------------------------|------|-----|--------------|--------------|--------------------|-----------------------|-----------------------------------|----------|-----|
| Muro Tipo                                                      | Dir. | No. | Espesor (cm) | Longitud (m) | Longitud Confinada | Peso por Metro (kg/m) | Area Tributaria (m <sup>2</sup> ) | Posición | K   |
| 1                                                              | X    | 4   | 12.00        | 3.64         | 3.40               | 562                   | 3.06                              | exterior | 1.0 |
| 2                                                              | X    | 4   | 12.00        | 4.28         | 4.04               | 562                   | 3.89                              | exterior | 1.0 |
| 3                                                              | Y    | 4   | 12.00        | 2.63         | 2.39               | 562                   | 1.73                              | exterior | 1.0 |
| 4                                                              | X    | 4   | 12.00        | 0.76         | 0.52               | 562                   | 0.75                              | interior | 0.8 |
| 5                                                              | Y    | 4   | 12.00        | 1.66         | 1.42               | 562                   | 1.18                              | interior | 0.8 |
| 6                                                              | X    | 4   | 12.00        | 0.76         | 0.52               | 562                   | 0.75                              | interior | 0.8 |
| 7                                                              | Y    | 2   | 12.00        | 2.63         | 2.39               | 562                   | 3.15                              | interior | 0.8 |
| 8                                                              | X    | 4   | 12.00        | 4.16         | 3.92               | 562                   | 6.91                              | interior | 0.8 |
| 9                                                              | X    | 4   | 12.00        | 1.72         | 1.48               | 562                   | 2.17                              | interior | 0.8 |
| 10                                                             | X    | 4   | 12.00        | 2.04         | 1.80               | 562                   | 1.74                              | exterior | 1.0 |
| 11                                                             | X    | 4   | 12.00        | 0.76         | 0.52               | 562                   | 0.71                              | interior | 0.8 |
| 12                                                             | X    | 4   | 12.00        | 1.72         | 1.48               | 562                   | 1.66                              | interior | 0.8 |
| 13                                                             | Y    | 4   | 12.00        | 1.55         | 1.31               | 562                   | 1.02                              | interior | 0.8 |
| 14                                                             | Y    | 4   | 12.00        | 1.55         | 1.31               | 562                   | 0.60                              | exterior | 1.0 |
| 15                                                             | X    | 2   | 12.00        | 3.64         | 3.40               | 562                   | 6.20                              | interior | 0.8 |
| 16                                                             | X    | 2   | 12.00        | 2.36         | 2.12               | 562                   | 2.26                              | interior | 0.8 |
| 17                                                             | Y    | 4   | 12.00        | 4.62         | 4.38               | 562                   | 5.09                              | exterior | 1.0 |
| 18                                                             | Y    | 4   | 12.00        | 1.24         | 1.00               | 562                   | 0.94                              | interior | 0.8 |
| 19                                                             | X    | 4   | 12.00        | 2.36         | 2.12               | 562                   | 2.37                              | interior | 0.8 |
| 20                                                             | Y    | 4   | 12.00        | 2.07         | 1.83               | 562                   | 1.07                              | exterior | 1.0 |

### 5.7 ANÁLISIS POR CARGAS VERTICALES

Revisando los requisitos del Análisis por cargas verticales. Podemos ver que en general se cumplen todos los requisitos del mismo, y conforme a este análisis, se pueden determinar únicamente las cargas verticales que actúan sobre cada muro mediante una bajada de cargas por áreas tributarias. No existen condiciones excepcionales que permitan considerar momentos en los muros por las razones estipuladas para este tipo de análisis.

Por lo tanto, no hay ningún inconveniente a determinar la cargas verticales por una bajada por áreas tributarias. Las cuales ya se calcularon y se muestran en el subtítulo 5.3 de manera tabular.

Tomando en cuenta directamente la contribución del refuerzo de los castillos en la resistencia, tenemos:

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

donde  $F_R=0.6$ ,  $f_m^*=15 \text{ kg/cm}^2$  de acuerdo con las características de nuestra mampostería. Y considerando que nuestros castillos cuentan con el refuerzo mínimo conforme a la NTCM-2000. El acero de refuerzo será de un  $f_y=4200 \text{ kg/cm}^2$ , y diseñando los castillos exclusivamente por concepto del refuerzo vertical, se tiene que el área total de refuerzo de cada castillo debe ser, por lo menos:

$$A_s = 0.2 \frac{f'_c}{f_y} t^2 = 0.2 \frac{150}{4,200} (12)^2 = 1.03 \text{ cm}^2$$

Eligiendo usar castillos con refuerzo vertical a base de cuatro barras corrugadas del # 3,  $a_s = 0.710 \text{ cm}^2$  y estribos del # 2 a cada 15 cm, se tendría que el área del refuerzo vertical provista sería:

$$A_s = 4 a_s = 2.84 \text{ cm}^2$$

Su dimensión mínima (12 cm) es igual que  $t$ .

Conforme el subíndice 4.1.1g, los castillos estarán reforzados por estribos cerrados y con un área  $A_{sc}$ , al menos igual a la obtenida con la siguiente ecuación.

$$A_{sc} = \frac{1000s}{f_y h_c}$$

y la separación de los estribos  $s$ , no excederá 1.5  $t$  ni de 200 mm.  $A_{sc}$  debe ser igual o mayor a  $0.17 \text{ cm}^2$ , y el  $A_{sc}$  de nuestro estribo es igual a  $0.32 \text{ cm}^2$ , y esta a cada 15 cm.

Por lo que, el diseño de los castillos cumple con todos los requisitos.

y calculando  $F_E$  a continuación, para proseguir con los resultados de la revisión por cargas verticales.

### 5.7.1 CÁLCULO DEL FACTOR DE REDUCCIÓN POR EFECTOS DE EXCENRICIDAD Y ESBELTEZ

Los factores de reducción por los efectos de excentricidad y esbeltez se determinan conforme subtítulo 3.1.2.2.2.3. Como no se cumple la condición  $H/t \neq 20$ , como se ve a continuación:

→ La relación altura de entrepiso ( $h$ ) y espesor del muro ( $t$ ) es mayor que 20, ( $h/t=250/12=20.33$ ).

Por lo tanto, no se pueden utilizar los factores de excentricidad y esbeltez del inciso 3.1.2.2.2.3 a. Las opciones son utilizar los factores conforme al inciso 3.1.2.2.2.3b, o tomando en cuenta que los muros contienen castillos que restringen su deformación lateral, se puede calcular  $F_E$  conforme al subtítulo 3.1.2.2.2.4 como:

$$F_E = \left(1 - \frac{2e'}{t}\right) \left[1 - \left(\frac{kH}{30t}\right)^2\right] \left(1 - \frac{H}{L'}\right) + \frac{H}{L'} \leq 0.9$$

donde

$$e' = e_c + \frac{t}{24}$$

Cuando  $b$  es igual a  $t$

$$e_c = \frac{t}{2} - \frac{b}{3} = \frac{t}{2} - \frac{t}{3} = \frac{t}{6}$$

$$\rightarrow e' = \frac{5}{24}t = 0.208t$$

| Cálculo del factor de reducción por efectos de excentricidad o esbeltez en PB |       |       |      |       |        |                |
|-------------------------------------------------------------------------------|-------|-------|------|-------|--------|----------------|
| Muro tipo                                                                     | t (m) | e'/t  | k    | H (m) | L' (m) | F <sub>E</sub> |
| 1                                                                             | 0.12  | 0.208 | 1.00 | 2.5   | 3.52   | 0.80           |
| 2                                                                             | 0.12  | 0.208 | 1.00 | 2.5   | 4.16   | 0.72           |
| 3                                                                             | 0.12  | 0.208 | 1.00 | 2.5   | 2.51   | 1.00           |
| 4                                                                             | 0.12  | 0.208 | 0.80 | 2.5   | 0.64   | 2.73           |
| 5                                                                             | 0.12  | 0.208 | 0.80 | 2.5   | 1.54   | 1.37           |
| 6                                                                             | 0.12  | 0.208 | 0.80 | 2.5   | 0.64   | 2.73           |
| 7                                                                             | 0.12  | 0.208 | 0.80 | 2.5   | 2.51   | 1.00           |
| 8                                                                             | 0.12  | 0.208 | 0.80 | 2.5   | 4.04   | 0.77           |
| 9                                                                             | 0.12  | 0.208 | 0.80 | 2.5   | 1.60   | 1.34           |
| 10                                                                            | 0.12  | 0.208 | 1.00 | 2.5   | 1.92   | 1.21           |
| 11                                                                            | 0.12  | 0.208 | 0.80 | 2.5   | 0.64   | 2.73           |
| 12                                                                            | 0.12  | 0.208 | 0.80 | 2.5   | 1.60   | 1.34           |
| 13                                                                            | 0.12  | 0.208 | 0.80 | 2.5   | 1.43   | 1.45           |
| 14                                                                            | 0.12  | 0.208 | 1.00 | 2.5   | 1.43   | 1.52           |
| 15                                                                            | 0.12  | 0.208 | 0.80 | 2.5   | 3.52   | 0.83           |
| 16                                                                            | 0.12  | 0.208 | 0.80 | 2.5   | 2.24   | 1.07           |
| 17                                                                            | 0.12  | 0.208 | 1.00 | 2.5   | 3.38   | 0.82           |

| Cálculo del factor de reducción por efectos de excentricidad o esbeltez en PB |       |       |      |       |        |                |
|-------------------------------------------------------------------------------|-------|-------|------|-------|--------|----------------|
| Muro tipo                                                                     | t (m) | e'/t  | k    | H (m) | L' (m) | F <sub>E</sub> |
| 1                                                                             | 0.12  | 0.208 | 1.00 | 2.5   | 3.52   | 0.80           |
| 2                                                                             | 0.12  | 0.208 | 1.00 | 2.5   | 4.16   | 0.72           |
| 3                                                                             | 0.12  | 0.208 | 1.00 | 2.5   | 2.51   | 0.90           |
| 4                                                                             | 0.12  | 0.208 | 0.80 | 2.5   | 0.64   | 0.90           |
| 5                                                                             | 0.12  | 0.208 | 0.80 | 2.5   | 1.54   | 0.90           |
| 6                                                                             | 0.12  | 0.208 | 0.80 | 2.5   | 0.64   | 0.90           |
| 7                                                                             | 0.12  | 0.208 | 0.80 | 2.5   | 2.51   | 0.90           |
| 8                                                                             | 0.12  | 0.208 | 0.80 | 2.5   | 4.04   | 0.77           |
| 9                                                                             | 0.12  | 0.208 | 0.80 | 2.5   | 1.60   | 0.90           |
| 10                                                                            | 0.12  | 0.208 | 1.00 | 2.5   | 1.92   | 0.90           |
| 11                                                                            | 0.12  | 0.208 | 0.80 | 2.5   | 0.64   | 0.90           |
| 12                                                                            | 0.12  | 0.208 | 0.80 | 2.5   | 1.60   | 0.90           |
| 13                                                                            | 0.12  | 0.208 | 0.80 | 2.5   | 1.43   | 0.90           |
| 14                                                                            | 0.12  | 0.208 | 1.00 | 2.5   | 1.43   | 0.90           |
| 15                                                                            | 0.12  | 0.208 | 0.80 | 2.5   | 3.52   | 0.83           |
| 16                                                                            | 0.12  | 0.208 | 0.80 | 2.5   | 2.24   | 0.90           |
| 17                                                                            | 0.12  | 0.208 | 1.00 | 2.5   | 3.38   | 0.82           |

| Cálculo del factor de reducción por efectos de excentricidad o esbeltez en 1er. Piso |       |       |      |       |        |                |
|--------------------------------------------------------------------------------------|-------|-------|------|-------|--------|----------------|
| Muro tipo                                                                            | t (m) | e'/t  | k    | H (m) | L' (m) | F <sub>E</sub> |
| 1                                                                                    | 0.12  | 0.208 | 1.00 | 2.5   | 3.52   | 0.80           |
| 2                                                                                    | 0.12  | 0.208 | 1.00 | 2.5   | 4.16   | 0.72           |
| 3                                                                                    | 0.12  | 0.208 | 1.00 | 2.5   | 2.51   | 1.00           |
| 4                                                                                    | 0.12  | 0.208 | 0.80 | 2.5   | 0.64   | 2.73           |
| 5                                                                                    | 0.12  | 0.208 | 0.80 | 2.5   | 1.54   | 1.37           |
| 6                                                                                    | 0.12  | 0.208 | 0.80 | 2.5   | 0.64   | 2.73           |
| 7                                                                                    | 0.12  | 0.208 | 0.80 | 2.5   | 2.51   | 1.00           |
| 8                                                                                    | 0.12  | 0.208 | 0.80 | 2.5   | 4.04   | 0.77           |
| 9                                                                                    | 0.12  | 0.208 | 0.80 | 2.5   | 1.60   | 1.34           |
| 10                                                                                   | 0.12  | 0.208 | 1.00 | 2.5   | 1.92   | 1.21           |
| 11                                                                                   | 0.12  | 0.208 | 0.80 | 2.5   | 0.64   | 2.73           |
| 12                                                                                   | 0.12  | 0.208 | 0.80 | 2.5   | 1.60   | 1.34           |
| 13                                                                                   | 0.12  | 0.208 | 0.80 | 2.5   | 1.43   | 1.45           |
| 14                                                                                   | 0.12  | 0.208 | 1.00 | 2.5   | 1.43   | 1.52           |
| 15'                                                                                  | 0.12  | 0.208 | 0.80 | 2.5   | 3.52   | 0.83           |
| 16'                                                                                  | 0.12  | 0.208 | 0.80 | 2.5   | 2.24   | 1.07           |
| 17'                                                                                  | 0.12  | 0.208 | 1.00 | 2.5   | 4.50   | 0.69           |
| 18                                                                                   | 0.12  | 0.208 | 0.80 | 2.5   | 1.12   | 1.73           |
| 19                                                                                   | 0.12  | 0.208 | 0.80 | 2.5   | 2.24   | 1.07           |
| 20                                                                                   | 0.12  | 0.208 | 1.00 | 2.5   | 1.95   | 1.20           |

| Cálculo del factor de reducción por efectos de excentricidad o esbeltez en 1er. Piso |       |       |      |       |        |                |
|--------------------------------------------------------------------------------------|-------|-------|------|-------|--------|----------------|
| Muro tipo                                                                            | t (m) | e'/t  | k    | H (m) | L' (m) | F <sub>E</sub> |
| 1                                                                                    | 0.12  | 0.208 | 1.00 | 2.5   | 3.52   | 0.80           |
| 2                                                                                    | 0.12  | 0.208 | 1.00 | 2.5   | 4.16   | 0.72           |
| 3                                                                                    | 0.12  | 0.208 | 1.00 | 2.5   | 2.51   | 0.90           |
| 4                                                                                    | 0.12  | 0.208 | 0.80 | 2.5   | 0.64   | 0.90           |
| 5                                                                                    | 0.12  | 0.208 | 0.80 | 2.5   | 1.54   | 0.90           |
| 6                                                                                    | 0.12  | 0.208 | 0.80 | 2.5   | 0.64   | 0.90           |
| 7                                                                                    | 0.12  | 0.208 | 0.80 | 2.5   | 2.51   | 0.90           |
| 8                                                                                    | 0.12  | 0.208 | 0.80 | 2.5   | 4.04   | 0.77           |
| 9                                                                                    | 0.12  | 0.208 | 0.80 | 2.5   | 1.60   | 0.90           |
| 10                                                                                   | 0.12  | 0.208 | 1.00 | 2.5   | 1.92   | 0.90           |
| 11                                                                                   | 0.12  | 0.208 | 0.80 | 2.5   | 0.64   | 0.90           |
| 12                                                                                   | 0.12  | 0.208 | 0.80 | 2.5   | 1.60   | 0.90           |
| 13                                                                                   | 0.12  | 0.208 | 0.80 | 2.5   | 1.43   | 0.90           |
| 14                                                                                   | 0.12  | 0.208 | 1.00 | 2.5   | 1.43   | 0.90           |
| 15'                                                                                  | 0.12  | 0.208 | 0.80 | 2.5   | 3.52   | 0.83           |
| 16'                                                                                  | 0.12  | 0.208 | 0.80 | 2.5   | 2.24   | 0.90           |
| 17'                                                                                  | 0.12  | 0.208 | 1.00 | 2.5   | 4.50   | 0.69           |
| 18                                                                                   | 0.12  | 0.208 | 0.80 | 2.5   | 1.12   | 0.90           |
| 19                                                                                   | 0.12  | 0.208 | 0.80 | 2.5   | 2.24   | 0.90           |
| 20                                                                                   | 0.12  | 0.208 | 1.00 | 2.5   | 1.95   | 0.90           |

Como se observa, tanto en PB como en 1er. Piso, se encuentran elementos confinantes muy próximos, por lo que se obtiene el máximo  $F_E$  posible, ya que los valores calculados sobrepasan el límite establecido de 0.9, por lo que debe tomarse este valor.

## 5.7.2 RESULTADOS DE REVISIÓN POR CARGAS VERTICALES

Por lo tanto, la revisión por cargas verticales nos daría los siguiente resultados, tomando en cuenta el número de castillos ( $n$ ) por muro:

| Revisión por cargas verticales, $f_m^* = 15 \text{ kg/cm}^2$ , en PB |     |                             |                           |                            |                     |                         |                                     |
|----------------------------------------------------------------------|-----|-----------------------------|---------------------------|----------------------------|---------------------|-------------------------|-------------------------------------|
| Muro Tipo                                                            | "n" | $A_T \text{ (cm}^2\text{)}$ | $f_m^* A_T \text{ (Ton)}$ | $\% A_s F_y \text{ (Ton)}$ | $P_R \text{ (Ton)}$ | $P_{UPB} \text{ (Ton)}$ | Nota                                |
| 1                                                                    | 2   | 4368                        | 65.5                      | 23.86                      | 42.78               | 26.35                   | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 2                                                                    | 3   | 5136                        | 77.0                      | 35.78                      | 48.85               | 32.13                   | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 3                                                                    | 3   | 3156                        | 47.3                      | 35.78                      | 44.89               | 17.14                   | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 4                                                                    | 2   | 912                         | 13.7                      | 23.86                      | 20.27               | 5.94                    | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 5                                                                    | 2   | 1992                        | 29.9                      | 23.86                      | 29.02               | 11.17                   | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 6                                                                    | 2   | 912                         | 13.7                      | 23.86                      | 20.27               | 5.94                    | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 7                                                                    | 2   | 3156                        | 47.3                      | 23.86                      | 38.45               | 22.73                   | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 8                                                                    | 3   | 4992                        | 74.9                      | 35.78                      | 51.31               | 43.54                   | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 9                                                                    | 2   | 2064                        | 31.0                      | 23.86                      | 29.60               | 15.30                   | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 10                                                                   | 2   | 2448                        | 36.7                      | 23.86                      | 32.71               | 14.86                   | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 11                                                                   | 2   | 912                         | 13.7                      | 23.86                      | 20.27               | 5.78                    | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 12                                                                   | 2   | 2064                        | 31.0                      | 23.86                      | 29.60               | 13.29                   | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 13                                                                   | 3   | 1860                        | 27.9                      | 35.78                      | 34.39               | 10.11                   | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 14                                                                   | 3   | 1860                        | 27.9                      | 35.78                      | 34.39               | 8.45                    | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 15                                                                   | 2   | 4368                        | 65.5                      | 23.86                      | 44.36               | 31.32                   | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 16                                                                   | 2   | 2832                        | 42.5                      | 23.86                      | 35.82               | 15.36                   | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 17                                                                   | 4   | 4200                        | 63.0                      | 47.71                      | 54.36               | 29.32                   | <input checked="" type="checkbox"/> |

| Revisión por cargas verticales, $f_m^* = 15 \text{ kg/cm}^2$ , en 1er. Piso |     |                             |                           |                            |                     |                         |                                     |
|-----------------------------------------------------------------------------|-----|-----------------------------|---------------------------|----------------------------|---------------------|-------------------------|-------------------------------------|
| Muro Tipo                                                                   | "n" | $A_T \text{ (cm}^2\text{)}$ | $f_m^* A_T \text{ (Ton)}$ | $\% A_s F_y \text{ (Ton)}$ | $P_R \text{ (Ton)}$ | $P_{UPB} \text{ (Ton)}$ | Nota                                |
| 1                                                                           | 2   | 4368                        | 65.5                      | 23.86                      | 42.78               | 21.04                   | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 2                                                                           | 3   | 5136                        | 77.0                      | 35.78                      | 48.85               | 25.66                   | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 3                                                                           | 3   | 3156                        | 47.3                      | 35.78                      | 44.89               | 13.70                   | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 4                                                                           | 2   | 912                         | 13.7                      | 23.86                      | 20.27               | 4.74                    | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 5                                                                           | 2   | 1992                        | 29.9                      | 23.86                      | 29.02               | 8.92                    | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 6                                                                           | 2   | 912                         | 13.7                      | 23.86                      | 20.27               | 4.74                    | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 7                                                                           | 2   | 3156                        | 47.3                      | 23.86                      | 38.45               | 18.15                   | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 8                                                                           | 3   | 4992                        | 74.9                      | 35.78                      | 51.31               | 34.75                   | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 9                                                                           | 2   | 2064                        | 31.0                      | 23.86                      | 29.60               | 12.21                   | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 10                                                                          | 2   | 2448                        | 36.7                      | 23.86                      | 32.71               | 11.87                   | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 11                                                                          | 2   | 912                         | 13.7                      | 23.86                      | 20.27               | 4.62                    | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 12                                                                          | 2   | 2064                        | 31.0                      | 23.86                      | 29.60               | 10.62                   | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 13                                                                          | 3   | 1860                        | 27.9                      | 35.78                      | 34.39               | 8.07                    | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 14                                                                          | 3   | 1860                        | 27.9                      | 35.78                      | 34.39               | 6.76                    | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 15'                                                                         | 2   | 4368                        | 65.5                      | 23.86                      | 44.36               | 30.89                   | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 16'                                                                         | 2   | 2832                        | 42.5                      | 23.86                      | 35.82               | 14.51                   | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 17'                                                                         | 4   | 5544                        | 83.2                      | 47.71                      | 54.18               | 30.49                   | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 18                                                                          | 2   | 1488                        | 22.3                      | 23.86                      | 24.94               | 6.85                    | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 19                                                                          | 4   | 2832                        | 42.5                      | 47.71                      | 48.70               | 14.85                   | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 20                                                                          | 3   | 2484                        | 37.3                      | 35.78                      | 39.44               | 9.87                    | <input checked="" type="checkbox"/> |

Como se observa, todos los muros cumplen con el criterio de resistencia a cargas verticales. Ahora toca hacer la revisión por cargas laterales.

### 5.8 ANÁLISIS POR CARGAS LATERALES

Revisión de los requisitos del subtítulo 3.1.2.2.3.3 para utilizar el método simplificado de análisis sísmico.

\* La carga gravitacional baja a través de los muros de carga en más del 75%.

\* En este caso, la distribución de los muros es claramente simétrica con respecto a dos ejes ortogonales principales. Sin embargo, se revisará conforme al procedimiento simplificado que proponen la NTCM-2000, el cual toma indirectamente las deformaciones por corte. De acuerdo con el procedimiento. Se tiene:

$$e_{ij} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i F_{AEi} A_{Ti}}{\sum_{i=1}^n F_{AEi} A_{Ti}} \leq 0.1B_j$$

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

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

Entonces, tenemos para cada dirección:

Dirección X:

Trabajan los muros tipo 1, 2, 4, 6, 8, 9, 10, 11, 12, 15 y 16, y  $B = 14.14$  m. La coordenada del centro de cortante del entrepiso de PB suponiendo que las masas están uniformemente distribuidas coincide con el centro geométrico, por lo que  $Y_c = 7.07$  m. Tomando ese punto como referencia, tenemos que:

| Cálculo de $e_x$ en dirección x en PB |           |                            |      |          |                 |                     |
|---------------------------------------|-----------|----------------------------|------|----------|-----------------|---------------------|
| Muro tipo                             | $y_i$ (m) | $A_{Ti}$ (m <sup>2</sup> ) | H/L  | $F_{AE}$ | $F_{AE} A_{Ti}$ | $y_i F_{AE} A_{Ti}$ |
| 1                                     | -7.01     | 0.4368                     | 0.69 | 1.00     | 0.4368          | -3.06               |
| 1                                     | -7.01     | 0.4368                     | 0.69 | 1.00     | 0.4368          | -3.06               |
| 1                                     | 7.01      | 0.4368                     | 0.69 | 1.00     | 0.4368          | 3.06                |
| 1                                     | 7.01      | 0.4368                     | 0.69 | 1.00     | 0.4368          | 3.06                |
| 2                                     | -7.01     | 0.5136                     | 0.58 | 1.00     | 0.5136          | -3.60               |
| 2                                     | -7.01     | 0.5136                     | 0.58 | 1.00     | 0.5136          | -3.60               |
| 2                                     | 7.01      | 0.5136                     | 0.58 | 1.00     | 0.5136          | 3.60                |
| 2                                     | 7.01      | 0.5136                     | 0.58 | 1.00     | 0.5136          | 3.60                |
| 4                                     | -5.47     | 0.0912                     | 3.29 | 0.16     | 0.0149          | -0.08               |
| 4                                     | -5.47     | 0.0912                     | 3.29 | 0.16     | 0.0149          | -0.08               |
| 4                                     | 5.47      | 0.0912                     | 3.29 | 0.16     | 0.0149          | 0.08                |
| 4                                     | 5.47      | 0.0912                     | 3.29 | 0.16     | 0.0149          | 0.08                |
| 6                                     | -5.47     | 0.0912                     | 3.29 | 0.16     | 0.0149          | -0.08               |
| 6                                     | -5.47     | 0.0912                     | 3.29 | 0.16     | 0.0149          | -0.08               |
| 6                                     | 5.47      | 0.0912                     | 3.29 | 0.16     | 0.0149          | 0.08                |
| 6                                     | 5.47      | 0.0912                     | 3.29 | 0.16     | 0.0149          | 0.08                |
| 8                                     | -4.50     | 0.4992                     | 0.60 | 1.00     | 0.4992          | -2.25               |
| 8                                     | -4.50     | 0.4992                     | 0.60 | 1.00     | 0.4992          | -2.25               |
| 8                                     | 4.50      | 0.4992                     | 0.60 | 1.00     | 0.4992          | 2.25                |
| 8                                     | 4.50      | 0.4992                     | 0.60 | 1.00     | 0.4992          | 2.25                |
| 9                                     | -4.50     | 0.2064                     | 1.45 | 0.84     | 0.1728          | -0.78               |
| 9                                     | -4.50     | 0.2064                     | 1.45 | 0.84     | 0.1728          | -0.78               |
| 9                                     | 4.50      | 0.2064                     | 1.45 | 0.84     | 0.1728          | 0.78                |
| 9                                     | 4.50      | 0.2064                     | 1.45 | 0.84     | 0.1728          | 0.78                |
| 10                                    | -4.50     | 0.2448                     | 1.23 | 1.00     | 0.2448          | -1.10               |
| 10                                    | -4.50     | 0.2448                     | 1.23 | 1.00     | 0.2448          | -1.10               |
| 10                                    | 4.50      | 0.2448                     | 1.23 | 1.00     | 0.2448          | 1.10                |
| 10                                    | 4.50      | 0.2448                     | 1.23 | 1.00     | 0.2448          | 1.10                |
| 11                                    | -2.95     | 0.0912                     | 3.29 | 0.16     | 0.0149          | -0.04               |
| 11                                    | -2.95     | 0.0912                     | 3.29 | 0.16     | 0.0149          | -0.04               |
| 11                                    | 2.95      | 0.0912                     | 3.29 | 0.16     | 0.0149          | 0.04                |
| 11                                    | 2.95      | 0.0912                     | 3.29 | 0.16     | 0.0149          | 0.04                |
| 12                                    | -2.95     | 0.2064                     | 1.45 | 0.84     | 0.1728          | -0.51               |
| 12                                    | -2.95     | 0.2064                     | 1.45 | 0.84     | 0.1728          | -0.51               |
| 12                                    | 2.95      | 0.2064                     | 1.45 | 0.84     | 0.1728          | 0.51                |
| 12                                    | 2.95      | 0.2064                     | 1.45 | 0.84     | 0.1728          | 0.51                |
| 15                                    | -1.12     | 0.4368                     | 0.69 | 1.00     | 0.4368          | -0.49               |
| 15                                    | -1.12     | 0.4368                     | 0.69 | 1.00     | 0.4368          | -0.49               |
| 15                                    | 1.12      | 0.4368                     | 0.69 | 1.00     | 0.4368          | 0.49                |
| 15                                    | 1.12      | 0.4368                     | 0.69 | 1.00     | 0.4368          | 0.49                |
| 16                                    | -1.12     | 0.2832                     | 1.06 | 1.00     | 0.2832          | -0.32               |
| 16                                    | -1.12     | 0.2832                     | 1.06 | 1.00     | 0.2832          | -0.32               |
| 16                                    | 1.12      | 0.2832                     | 1.06 | 1.00     | 0.2832          | 0.32                |
| 16                                    | 1.12      | 0.2832                     | 1.06 | 1.00     | 0.2832          | 0.32                |

$$e_{sj} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i F_{AEi} A_{Ti}}{\sum_{i=1}^n F_{AEi} A_{Ti}} = \frac{0.00}{11.22} = 0.00, \quad 0.00 \leq 0.1B_j \rightarrow O.K.$$

Trabajan los muros tipo 1, 2, 4, 6, 8, 9, 10, 11, 12, 15', 16' y 19, y  $B = 14.14$  m. La coordenada del centro de cortante del entrepiso de 1er. Piso suponiendo que las masas están uniformemente distribuidas coincide con el centro geométrico, por lo que  $Y_c = 7.07$  m. Tomando ese punto como referencia, tenemos que:

| Cálculo de $e_s$ en dirección x en 1er. Piso |           |                            |      |           |                  |                      |
|----------------------------------------------|-----------|----------------------------|------|-----------|------------------|----------------------|
| Muro tipo                                    | $y_i$ (m) | $A_{Ti}$ (m <sup>2</sup> ) | H/L  | $F_{AEi}$ | $F_{AEi} A_{Ti}$ | $y_i F_{AEi} A_{Ti}$ |
| 1                                            | -7.01     | 0.4368                     | 0.69 | 1.00      | 0.4368           | -3.06                |
| 1                                            | -7.01     | 0.4368                     | 0.69 | 1.00      | 0.4368           | -3.06                |
| 1                                            | 7.01      | 0.4368                     | 0.69 | 1.00      | 0.4368           | 3.06                 |
| 1                                            | 7.01      | 0.4368                     | 0.69 | 1.00      | 0.4368           | 3.06                 |
| 2                                            | -7.01     | 0.5136                     | 0.58 | 1.00      | 0.5136           | -3.60                |
| 2                                            | -7.01     | 0.5136                     | 0.58 | 1.00      | 0.5136           | -3.60                |
| 2                                            | 7.01      | 0.5136                     | 0.58 | 1.00      | 0.5136           | 3.60                 |
| 2                                            | 7.01      | 0.5136                     | 0.58 | 1.00      | 0.5136           | 3.60                 |
| 4                                            | -5.47     | 0.0912                     | 3.29 | 0.16      | 0.0149           | -0.08                |
| 4                                            | -5.47     | 0.0912                     | 3.29 | 0.16      | 0.0149           | -0.08                |
| 4                                            | 5.47      | 0.0912                     | 3.29 | 0.16      | 0.0149           | 0.08                 |
| 4                                            | 5.47      | 0.0912                     | 3.29 | 0.16      | 0.0149           | 0.08                 |
| 6                                            | -5.47     | 0.0912                     | 3.29 | 0.16      | 0.0149           | -0.08                |
| 6                                            | -5.47     | 0.0912                     | 3.29 | 0.16      | 0.0149           | -0.08                |
| 6                                            | 5.47      | 0.0912                     | 3.29 | 0.16      | 0.0149           | 0.08                 |
| 6                                            | 5.47      | 0.0912                     | 3.29 | 0.16      | 0.0149           | 0.08                 |
| 8                                            | -4.50     | 0.4992                     | 0.60 | 1.00      | 0.4992           | -2.25                |
| 8                                            | -4.50     | 0.4992                     | 0.60 | 1.00      | 0.4992           | -2.25                |
| 8                                            | 4.50      | 0.4992                     | 0.60 | 1.00      | 0.4992           | 2.25                 |
| 8                                            | 4.50      | 0.4992                     | 0.60 | 1.00      | 0.4992           | 2.25                 |
| 9                                            | -4.50     | 0.2064                     | 1.45 | 0.84      | 0.1728           | -0.78                |
| 9                                            | -4.50     | 0.2064                     | 1.45 | 0.84      | 0.1728           | -0.78                |
| 9                                            | 4.50      | 0.2064                     | 1.45 | 0.84      | 0.1728           | 0.78                 |
| 9                                            | 4.50      | 0.2064                     | 1.45 | 0.84      | 0.1728           | 0.78                 |
| 10                                           | -4.50     | 0.2448                     | 1.23 | 1.00      | 0.2448           | -1.10                |
| 10                                           | -4.50     | 0.2448                     | 1.23 | 1.00      | 0.2448           | -1.10                |
| 10                                           | 4.50      | 0.2448                     | 1.23 | 1.00      | 0.2448           | 1.10                 |
| 10                                           | 4.50      | 0.2448                     | 1.23 | 1.00      | 0.2448           | 1.10                 |
| 11                                           | -2.95     | 0.0912                     | 3.29 | 0.16      | 0.0149           | -0.04                |
| 11                                           | -2.95     | 0.0912                     | 3.29 | 0.16      | 0.0149           | -0.04                |
| 11                                           | 2.95      | 0.0912                     | 3.29 | 0.16      | 0.0149           | 0.04                 |
| 11                                           | 2.95      | 0.0912                     | 3.29 | 0.16      | 0.0149           | 0.04                 |
| 12                                           | -2.95     | 0.2064                     | 1.45 | 0.84      | 0.1728           | -0.51                |
| 12                                           | -2.95     | 0.2064                     | 1.45 | 0.84      | 0.1728           | -0.51                |
| 12                                           | 2.95      | 0.2064                     | 1.45 | 0.84      | 0.1728           | 0.51                 |
| 12                                           | 2.95      | 0.2064                     | 1.45 | 0.84      | 0.1728           | 0.51                 |
| 15'                                          | 0.00      | 0.4368                     | 0.69 | 1.00      | 0.4368           | 0.00                 |
| 15'                                          | 0.00      | 0.4368                     | 0.69 | 1.00      | 0.4368           | 0.00                 |
| 16'                                          | 0.00      | 0.2832                     | 1.06 | 1.00      | 0.2832           | 0.00                 |
| 16'                                          | 0.00      | 0.2832                     | 1.06 | 1.00      | 0.2832           | 0.00                 |
| 19                                           | -1.12     | 0.2832                     | 1.06 | 1.00      | 0.2832           | -0.32                |
| 19                                           | -1.12     | 0.2832                     | 1.06 | 1.00      | 0.2832           | -0.32                |
| 19                                           | 1.12      | 0.2832                     | 1.06 | 1.00      | 0.2832           | 0.32                 |
| 19                                           | 1.12      | 0.2832                     | 1.06 | 1.00      | 0.2832           | 0.32                 |

$$e_{sj} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i F_{AEi} A_{Ti}}{\sum_{i=1}^n F_{AEi} A_{Ti}} = \frac{0.00}{10.91} = 0.00, \quad 0.00 \leq 0.1B_j \rightarrow O.K.$$

Dirección Y:

Trabajan los muros tipo 3, 5, 7, 13, 14, y 17, y  $B = 15.48$  m. La coordenada del centro de cortante del entrepiso de PB suponiendo que las masas están uniformemente distribuida coincide con el centro geométrico, por lo que  $X_c = 7.74$  m. Tomando ese punto como referencia, tenemos que:

| Cálculo de $e_s$ en dirección y en PB |           |                    |      |           |                  |                      |
|---------------------------------------|-----------|--------------------|------|-----------|------------------|----------------------|
| Muro tipo                             | $x_i$ (m) | $A_{Ti}$ ( $m^2$ ) | H/L  | $F_{AEi}$ | $F_{AEi} A_{Ti}$ | $x_i F_{AEi} A_{Ti}$ |
| 3                                     | -7.68     | 0.3156             | 0.95 | 1.00      | 0.3156           | -2.42                |
| 3                                     | -7.68     | 0.3156             | 0.95 | 1.00      | 0.3156           | -2.42                |
| 3                                     | 7.68      | 0.3156             | 0.95 | 1.00      | 0.3156           | 2.42                 |
| 3                                     | 7.68      | 0.3156             | 0.95 | 1.00      | 0.3156           | 2.42                 |
| 5                                     | -4.16     | 0.1992             | 1.51 | 0.78      | 0.1554           | -0.65                |
| 5                                     | -4.16     | 0.1992             | 1.51 | 0.78      | 0.1554           | -0.65                |
| 5                                     | 4.16      | 0.1992             | 1.51 | 0.78      | 0.1554           | 0.65                 |
| 5                                     | 4.16      | 0.1992             | 1.51 | 0.78      | 0.1554           | 0.65                 |
| 7                                     | 0         | 0.3156             | 0.95 | 1.00      | 0.3156           | 0.00                 |
| 7                                     | 0         | 0.3156             | 0.95 | 1.00      | 0.3156           | 0.00                 |
| 13                                    | -3.52     | 0.1860             | 1.61 | 0.68      | 0.1265           | -0.45                |
| 13                                    | -3.52     | 0.1860             | 1.61 | 0.68      | 0.1265           | -0.45                |
| 13                                    | 3.52      | 0.1860             | 1.61 | 0.68      | 0.1265           | 0.45                 |
| 13                                    | 3.52      | 0.1860             | 1.61 | 0.68      | 0.1265           | 0.45                 |
| 14                                    | -1.92     | 0.1860             | 1.61 | 0.68      | 0.1265           | -0.24                |
| 14                                    | -1.92     | 0.1860             | 1.61 | 0.68      | 0.1265           | -0.24                |
| 14                                    | 1.92      | 0.1860             | 1.61 | 0.68      | 0.1265           | 0.24                 |
| 14                                    | 1.92      | 0.1860             | 1.61 | 0.68      | 0.1265           | 0.24                 |
| 17                                    | -7.68     | 0.4200             | 0.71 | 1.00      | 0.4200           | -3.23                |
| 17                                    | -7.68     | 0.4200             | 0.71 | 1.00      | 0.4200           | -3.23                |
| 17                                    | 7.68      | 0.4200             | 0.71 | 1.00      | 0.4200           | 3.23                 |
| 17                                    | 7.68      | 0.4200             | 0.71 | 1.00      | 0.4200           | 3.23                 |

$$e_{sj} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i F_{AEi} A_{Ti}}{\sum_{i=1}^n F_{AEi} A_{Ti}} = \frac{0.00}{5.21} = 0.00, \quad 0.00 \leq 0.1B_j \rightarrow O.K.$$

Trabajan los muros tipo 3, 5, 7, 13, 14, 17', 18 y 20, y  $B = 15.48$  m. La coordenada del centro de cortante del entrespado de PB suponiendo que las masas están uniformemente distribuida coincide con el centro geométrico, por lo que  $X_c = 7.74$  m. Tomando ese punto como referencia, tenemos que:

| Cálculo de $e_s$ en dirección y en 1er. Piso |           |                            |      |           |                  |                      |
|----------------------------------------------|-----------|----------------------------|------|-----------|------------------|----------------------|
| Muro tipo                                    | $x_i$ (m) | $A_{Ti}$ (m <sup>2</sup> ) | H/L  | $F_{AEi}$ | $F_{AEi} A_{Ti}$ | $x_i F_{AEi} A_{Ti}$ |
| 3                                            | -7.68     | 0.3156                     | 0.95 | 1.00      | 0.3156           | -2.42                |
| 3                                            | -7.68     | 0.3156                     | 0.95 | 1.00      | 0.3156           | -2.42                |
| 3                                            | 7.68      | 0.3156                     | 0.95 | 1.00      | 0.3156           | 2.42                 |
| 3                                            | 7.68      | 0.3156                     | 0.95 | 1.00      | 0.3156           | 2.42                 |
| 5                                            | -4.16     | 0.1992                     | 1.51 | 0.78      | 0.1554           | -0.65                |
| 5                                            | -4.16     | 0.1992                     | 1.51 | 0.78      | 0.1554           | -0.65                |
| 5                                            | 4.16      | 0.1992                     | 1.51 | 0.78      | 0.1554           | 0.65                 |
| 5                                            | 4.16      | 0.1992                     | 1.51 | 0.78      | 0.1554           | 0.65                 |
| 7                                            | 0         | 0.3156                     | 0.95 | 1.00      | 0.3156           | 0.00                 |
| 7                                            | 0         | 0.3156                     | 0.95 | 1.00      | 0.3156           | 0.00                 |
| 13                                           | -3.52     | 0.1860                     | 1.61 | 0.68      | 0.1265           | -0.45                |
| 13                                           | -3.52     | 0.1860                     | 1.61 | 0.68      | 0.1265           | -0.45                |
| 13                                           | 3.52      | 0.1860                     | 1.61 | 0.68      | 0.1265           | 0.45                 |
| 13                                           | 3.52      | 0.1860                     | 1.61 | 0.68      | 0.1265           | 0.45                 |
| 14                                           | -1.92     | 0.1860                     | 1.61 | 0.68      | 0.1265           | -0.24                |
| 14                                           | -1.92     | 0.1860                     | 1.61 | 0.68      | 0.1265           | -0.24                |
| 14                                           | 1.92      | 0.1860                     | 1.61 | 0.68      | 0.1265           | 0.24                 |
| 14                                           | 1.92      | 0.1860                     | 1.61 | 0.68      | 0.1265           | 0.24                 |
| 17'                                          | -7.68     | 0.5544                     | 0.54 | 1.00      | 0.5544           | -4.26                |
| 17'                                          | -7.68     | 0.5544                     | 0.54 | 1.00      | 0.5544           | -4.26                |
| 17'                                          | 7.68      | 0.5544                     | 0.54 | 1.00      | 0.5544           | 4.26                 |
| 17'                                          | 7.68      | 0.5544                     | 0.54 | 1.00      | 0.5544           | 4.26                 |
| 18                                           | -4.16     | 0.1488                     | 2.02 | 0.44      | 0.0648           | -0.27                |
| 18                                           | -4.16     | 0.1488                     | 2.02 | 0.44      | 0.0648           | -0.27                |
| 18                                           | 4.16      | 0.1488                     | 2.02 | 0.44      | 0.0648           | 0.27                 |
| 18                                           | 4.16      | 0.1488                     | 2.02 | 0.44      | 0.0648           | 0.27                 |
| 20                                           | -1.92     | 0.2484                     | 1.21 | 1.00      | 0.2484           | -0.48                |
| 20                                           | -1.92     | 0.2484                     | 1.21 | 1.00      | 0.2484           | -0.48                |
| 20                                           | 1.92      | 0.2484                     | 1.21 | 1.00      | 0.2484           | 0.48                 |
| 20                                           | 1.92      | 0.2484                     | 1.21 | 1.00      | 0.2484           | 0.48                 |

$$e_{sj} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i F_{AEi} A_{Ti}}{\sum_{i=1}^n F_{AEi} A_{Ti}} = \frac{0.00}{7.00} = 0.00, \quad 0.00 \leq 0.1B_j \rightarrow O.K.$$

Continuando con la revisión de requisitos, tenemos:

\* La relación del lado mayor y lado menor es menor que dos:

$$\frac{L_1}{L_2} = \frac{15.48}{14.14} = 1.09 < 2 \rightarrow O.K.$$

\* La relación de altura del edificio y el lado menor es menor que 1.5:

$$\frac{H}{L_2} = \frac{5(2.5)}{14.14} = \frac{12.5}{14.14} = 0.88 < 1.5 \rightarrow \text{O.K.}$$

\* La altura del edificio  $H = 12.5$  m es menor que 13 m.

Por lo tanto, se cumplen con los requisitos para poder revisar al edificio ante cargas laterales utilizando el método simplificado.

### 5.8.1 COEFICIENTE SÍSMICO REDUCIDO

Será  $c=0.19$ , de la tabla 3.10 del subtítulo 3.2.7 para muros de piezas macizas, zona III, y la altura del edificio está entre los 7 m y 13 m.

### 5.8.2 FACTOR DE CARGA

De acuerdo al art. 194, fracción II del R.C.D.F. Por lo tanto, por ser combinaciones de cargas laterales y accidentales, F.C. = 1.1

### 5.8.3 FUERZA CORTANTE ULTIMA

Ésta se presenta a continuación de manera tabular.

| Fuerza Cortante Última en PB |        |        |            |           |          |          |           |
|------------------------------|--------|--------|------------|-----------|----------|----------|-----------|
| Wo (ton)                     |        | C/Q    | Vi (ton)   | F. C.     | Vo (ton) |          |           |
| 942.74172                    |        | 0.19   | 179.120927 | 1.1       | 197.03   |          |           |
| Fuerza Cortante Última       |        |        |            |           |          |          |           |
| Nivel                        | hi (m) | Hi (m) | wi (ton)   | hi wi     | Fi (ton) | Vi (ton) | Vi Última |
| Azotea                       | 2.5    | 12.50  | 92.93      | 1161.56   | 33.2404  | 33.2404  | 36.56     |
| 4to. Piso                    | 2.5    | 10.00  | 201.77     | 2017.71   | 57.7408  | 90.9812  | 100.08    |
| 3er. Piso                    | 2.5    | 7.50   | 201.77     | 1513.28   | 43.3056  | 134.2868 | 147.72    |
| 2do. Piso                    | 2.5    | 5.00   | 201.77     | 1008.86   | 28.8704  | 163.1572 | 179.47    |
| 1er. Piso                    | 2.5    | 2.50   | 201.77     | 504.43    | 14.4352  | 177.5923 | 195.35    |
| BP                           | 1.25   | 1.25   | 42.73      | 53.42     | 1.5286   | 179.1209 | 197.03    |
|                              |        |        | %=942.74   | %=6259.25 |          |          |           |

| Fuerza Cortante Última en 1er. Piso |        |        |            |           |          |          |           |
|-------------------------------------|--------|--------|------------|-----------|----------|----------|-----------|
| Wo (ton)                            |        | C/Q    | Vi (ton)   | F. C.     | Vo (ton) |          |           |
| 893.049576                          |        | 0.19   | 169.679419 | 1.1       | 186.65   |          |           |
| Fuerza Cortante Última              |        |        |            |           |          |          |           |
| Nivel                               | hi (m) | Hi (m) | wi (ton)   | hi wi     | Fi (ton) | Vi (ton) | Vi Última |
| Azotea                              | 2.5    | 12.50  | 92.93      | 1161.56   | 31.8486  | 31.8486  | 35.03     |
| 4to. Piso                           | 2.5    | 10.00  | 201.77     | 2017.71   | 55.3232  | 87.1718  | 95.89     |
| 3er. Piso                           | 2.5    | 7.50   | 201.77     | 1513.28   | 41.4924  | 128.6641 | 141.53    |
| 2do. Piso                           | 2.5    | 5.00   | 201.77     | 1008.86   | 27.6616  | 156.3257 | 171.96    |
| 1er. Piso                           | 2.5    | 2.50   | 194.81     | 487.03    | 13.3537  | 169.6794 | 186.65    |
|                                     |        |        | %=893.04   | %=6188.44 |          |          |           |

Donde  $W_o$  representa la totalidad de cargas gravitacionales actuantes sobre la estructura,  $C/Q$  es el coeficiente sísmico para estructuras del grupo B con una altura entre 7 y 13 metros, ubicadas en la zona III,  $F_i$  es la fuerza sísmica actuante en cada nivel y es igual a:

$$F_i = \frac{C}{Q} W_o \frac{w_i h_i}{\sum w_i h_i}$$

$V_i$  es la fuerza sísmica acumulada,  $V_i$  última es la fuerza sísmica acumulada afectada por el factor de carga y  $V_o$ , la fuerza sísmica total sobre la estructura, afectada por el factor de carga.

#### 5.8.4 CAPACIDAD RESISTENTE DE DISEÑO

Esta revisión se llevará a cabo en dos categorías, la gruesa, donde se observa si la capacidad resistente en conjunto de todos los muros es suficiente, y la detallada, donde se evalúa individualmente la capacidad de cada muro. En ambos casos, y de acuerdo con el subtítulo 4.4.2, la capacidad individual de cada muro se calcula como:

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

donde  $F_R = 0.7$ , de acuerdo con el subtítulo 3.1.2.1.4.3;  $v_m^* = 3.5 \text{ kg/cm}^2 = 35 \text{ Ton/m}^2$ , conforme a la tabla 3.8; y  $F_{AE}$  tomará el valor anteriormente calculado en el subtítulo 5.6, que afectará a la resistencia  $V_{mR}$ , acorde al subtítulo 4.4.1.

Por lo tanto, la resistencia efectiva de diseño es:

$$V_{mRD} = F_{AE} V_{mR}$$

##### 5.8.4.1 Revisión gruesa en dirección "X"

Calculando primero la capacidad resistente de cada muro tipo, y llamando en la tabla:

$$V_{mRn} = F_R (0.5 v_m^* A_T + 0.3 P)$$

$$V_{mRL} = 1.5 F_R v_m^* A_T$$

se tiene:

| Capacidad Resistente, muros tipo de PB dirección X en PB |                         |         |                 |                 |                |          |                 |   |               |
|----------------------------------------------------------|-------------------------|---------|-----------------|-----------------|----------------|----------|-----------------|---|---------------|
| Muro tipo                                                | $A_T$ (m <sup>2</sup> ) | P (Ton) | $V_{mRn}$ (Ton) | $V_{mRL}$ (Ton) | $V_{mR}$ (Ton) | $F_{AE}$ | $V_{mRD}$ (Ton) | n | $V_{mRD}$ (n) |
| 1                                                        | 0.4368                  | 19.799  | 9.509           | 16.052          | 9.509          | 1.00     | 9.509           | 4 | 38.034        |
| 2                                                        | 0.5136                  | 24.194  | 11.372          | 18.875          | 11.372         | 1.00     | 11.372          | 4 | 45.489        |
| 4                                                        | 0.0912                  | 4.482   | 2.058           | 3.352           | 2.058          | 0.16     | 0.336           | 4 | 1.346         |
| 6                                                        | 0.0912                  | 4.482   | 2.058           | 3.352           | 2.058          | 0.16     | 0.336           | 4 | 1.346         |
| 8                                                        | 0.4992                  | 33.310  | 13.110          | 18.346          | 13.110         | 1.00     | 13.110          | 4 | 52.441        |
| 9                                                        | 0.2064                  | 11.622  | 4.969           | 7.585           | 4.969          | 0.84     | 4.161           | 4 | 16.642        |
| 10                                                       | 0.2448                  | 11.175  | 5.345           | 8.996           | 5.345          | 1.00     | 5.345           | 4 | 21.382        |
| 11                                                       | 0.0912                  | 4.356   | 2.032           | 3.352           | 2.032          | 0.16     | 0.332           | 4 | 1.329         |
| 12                                                       | 0.2064                  | 10.026  | 4.634           | 7.585           | 4.634          | 0.84     | 3.880           | 4 | 15.519        |
| 15                                                       | 0.4368                  | 24.224  | 10.438          | 16.052          | 10.438         | 1.00     | 10.438          | 4 | 41.751        |
| 16                                                       | 0.2832                  | 11.770  | 5.941           | 10.408          | 5.941          | 1.00     | 5.941           | 4 | 23.763        |

$$V_{mRX} = 259.04 > V_{UX} = 197.03 \quad \text{Resultado Satisfactorio}$$

| Capacidad Resistente, muros tipo de 1er. Piso dirección X en 1er. Piso |                         |         |                 |                 |                |          |                 |   |               |
|------------------------------------------------------------------------|-------------------------|---------|-----------------|-----------------|----------------|----------|-----------------|---|---------------|
| Muro tipo                                                              | $A_T$ (m <sup>2</sup> ) | P (Ton) | $V_{mRn}$ (Ton) | $V_{mRL}$ (Ton) | $V_{mR}$ (Ton) | $F_{AE}$ | $V_{mRD}$ (Ton) | n | $V_{mRD}$ (n) |
| 1                                                                      | 0.4368                  | 15.766  | 8.662           | 16.052          | 8.662          | 1.00     | 8.662           | 4 | 34.646        |
| 2                                                                      | 0.5136                  | 19.262  | 10.337          | 18.875          | 10.337         | 1.00     | 10.337          | 4 | 41.346        |
| 4                                                                      | 0.0912                  | 3.567   | 1.866           | 3.352           | 1.866          | 0.16     | 0.305           | 4 | 1.220         |
| 6                                                                      | 0.0912                  | 3.567   | 1.866           | 3.352           | 1.866          | 0.16     | 0.305           | 4 | 1.220         |
| 8                                                                      | 0.4992                  | 26.482  | 11.676          | 18.346          | 11.676         | 1.00     | 11.676          | 4 | 46.706        |
| 9                                                                      | 0.2064                  | 9.245   | 4.470           | 7.585           | 4.470          | 0.84     | 3.743           | 4 | 14.971        |
| 10                                                                     | 0.2448                  | 8.898   | 4.867           | 8.996           | 4.867          | 1.00     | 4.867           | 4 | 19.469        |
| 11                                                                     | 0.0912                  | 3.468   | 1.845           | 3.352           | 1.845          | 0.16     | 0.302           | 4 | 1.207         |
| 12                                                                     | 0.2064                  | 7.981   | 4.204           | 7.585           | 4.204          | 0.84     | 3.520           | 4 | 14.081        |
| 15'                                                                    | 0.4368                  | 23.553  | 10.297          | 16.052          | 10.297         | 1.00     | 10.297          | 2 | 20.594        |
| 16'                                                                    | 0.2832                  | 10.906  | 5.760           | 10.408          | 5.760          | 1.00     | 5.760           | 2 | 11.519        |
| 19                                                                     | 0.2832                  | 11.179  | 5.817           | 10.408          | 5.817          | 1.00     | 5.817           | 4 | 23.267        |

$$V_{mRX} = 230.25 > V_{UX} = 186.65 \quad \text{Resultado Satisfactorio}$$

por lo tanto, la estructura resulta eficiente en dirección "X" de manera gruesa.

#### 5.8.4.2 Revisión detallada en dirección "X"

Para ello, primero debemos calcular el porcentaje de  $V_{UX}$  que toma cada muro tipo con base en su área tributaria, y después comparar la capacidad resistente contra la demanda. El cortante que resiste cada muro se calcula como:

$$V_{uxi} = V_{ux} \frac{A_{Ti}}{\sum A_{Ti}} = V_{ux} \frac{A_{Ti}}{A_X}$$

donde  $A_T$  es el área tributaria de cada muro tipo y  $A_X$  es el área total de muros en dirección "X".

Por lo tanto, presentando los resultados de manera tabular, se tiene:

| Revisión detallada de los muros tipo en PB en dirección X |        |            |            |                                     |
|-----------------------------------------------------------|--------|------------|------------|-------------------------------------|
| Muro tipo                                                 | ATi/Ax | Vuxi (Ton) | VmRD (Ton) | Nota                                |
| 1                                                         | 0.0352 | 6.94       | 9.51       | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 2                                                         | 0.0414 | 8.16       | 11.37      | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 4                                                         | 0.0074 | 1.45       | 0.34       | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 6                                                         | 0.0074 | 1.45       | 0.34       | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 8                                                         | 0.0402 | 7.93       | 13.11      | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 9                                                         | 0.0166 | 3.28       | 4.16       | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 10                                                        | 0.0197 | 3.89       | 5.35       | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 11                                                        | 0.0074 | 1.45       | 0.33       | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 12                                                        | 0.0166 | 3.28       | 3.88       | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 15                                                        | 0.0352 | 6.94       | 10.44      | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 16                                                        | 0.0228 | 4.50       | 5.94       | <input checked="" type="checkbox"/> |

| Revisión detallada de los muros tipo en 1er. Piso en dirección X |        |            |            |                                     |
|------------------------------------------------------------------|--------|------------|------------|-------------------------------------|
| Muro tipo                                                        | ATi/Ax | Vuxi (Ton) | VmRD (Ton) | Nota                                |
| 1                                                                | 0.0361 | 6.74       | 8.66       | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 2                                                                | 0.0425 | 7.93       | 10.34      | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 4                                                                | 0.0075 | 1.41       | 0.31       | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 6                                                                | 0.0075 | 1.41       | 0.31       | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 8                                                                | 0.0413 | 7.70       | 11.68      | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 9                                                                | 0.0171 | 3.18       | 3.74       | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 10                                                               | 0.0202 | 3.78       | 4.87       | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 11                                                               | 0.0075 | 1.41       | 0.30       | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 12                                                               | 0.0171 | 3.18       | 3.52       | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 15'                                                              | 0.0361 | 6.74       | 10.30      | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 16'                                                              | 0.0234 | 4.37       | 5.76       | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 19                                                               | 0.0234 | 4.37       | 5.82       | <input checked="" type="checkbox"/> |

Como se puede observar, la estructura resulta insuficiente de manera detallada, ya que no todos los muros son capaces de resistir la fuerza cortante ultima.

## 5.8.4.3 Revisión gruesa en dirección "Y"

Calculando primero la capacidad resistente de cada muro tipo:

| Capacidad Resistente, muros tipo de PB dirección Y en PB |                         |         |                 |                 |                |          |                 |   |               |
|----------------------------------------------------------|-------------------------|---------|-----------------|-----------------|----------------|----------|-----------------|---|---------------|
| Muro tipo                                                | $A_T$ (m <sup>2</sup> ) | P (Ton) | $V_{mRn}$ (Ton) | $V_{mRL}$ (Ton) | $V_{mR}$ (Ton) | $F_{AE}$ | $V_{mRD}$ (Ton) | n | $V_{mRD}$ (n) |
| 3                                                        | 0.3156                  | 12.246  | 6.438           | 11.598          | 6.438          | 1.00     | 6.438           | 4 | 25.751        |
| 5                                                        | 0.1992                  | 7.977   | 4.115           | 7.321           | 4.115          | 0.78     | 3.210           | 4 | 12.838        |
| 7                                                        | 0.3156                  | 16.237  | 7.276           | 11.598          | 7.276          | 1.00     | 7.276           | 2 | 14.552        |
| 13                                                       | 0.186                   | 7.219   | 3.794           | 6.836           | 3.794          | 0.68     | 2.580           | 4 | 10.320        |
| 14                                                       | 0.186                   | 6.038   | 3.547           | 6.836           | 3.547          | 0.68     | 2.412           | 4 | 9.646         |
| 17                                                       | 0.42                    | 20.943  | 9.543           | 15.435          | 9.543          | 1.00     | 9.543           | 4 | 38.172        |

$$V_{mRX} = 111.28 < V_{UY} = 183.05 \quad \text{Resultado Insatisfactorio}$$

| Capacidad Resistente, muros tipo de 1er. Piso dirección Y en 1er. Piso |                         |         |                 |                 |                |          |                 |   |               |
|------------------------------------------------------------------------|-------------------------|---------|-----------------|-----------------|----------------|----------|-----------------|---|---------------|
| Muro tipo                                                              | $A_T$ (m <sup>2</sup> ) | P (Ton) | $V_{mRn}$ (Ton) | $V_{mRL}$ (Ton) | $V_{mR}$ (Ton) | $F_{AE}$ | $V_{mRD}$ (Ton) | n | $V_{mRD}$ (n) |
| 3                                                                      | 0.3156                  | 9.783   | 5.921           | 11.598          | 5.921          | 1.00     | 5.921           | 4 | 23.682        |
| 5                                                                      | 0.1992                  | 6.372   | 3.778           | 7.321           | 3.778          | 0.16     | 0.618           | 4 | 2.471         |
| 7                                                                      | 0.3156                  | 12.964  | 6.589           | 11.598          | 6.589          | 0.16     | 1.077           | 2 | 2.154         |
| 13                                                                     | 0.186                   | 5.767   | 3.490           | 6.836           | 3.490          | 0.84     | 2.922           | 4 | 11.687        |
| 14                                                                     | 0.186                   | 4.826   | 3.292           | 6.836           | 3.292          | 0.84     | 2.756           | 4 | 11.025        |
| 17                                                                     | 0.5544                  | 21.780  | 11.365          | 20.374          | 11.365         | 1.00     | 11.365          | 4 | 45.461        |
| 18                                                                     | 0.1488                  | 4.891   | 2.850           | 5.468           | 2.850          | 0.84     | 2.386           | 4 | 9.545         |
| 20                                                                     | 0.2484                  | 7.047   | 4.523           | 9.129           | 4.523          | 1.00     | 4.523           | 4 | 18.091        |

$$V_{mRX} = 106.03 < V_{UX} = 172.89 \quad \text{Resultado Insatisfactorio}$$

por lo tanto, la estructura resulta ineficiente en dirección "Y" de manera gruesa.

## 5.8.4.4 Revisión detallada en dirección "Y"

Para ello, primero debemos calcular el porcentaje de  $V_{UX}$  que toma cada muro tipo con base en su área tributaria, y después comparar la capacidad resistente contra la demanda. El cortante que resiste cada muro se calcula como:

$$V_{uxi} = V_{ux} \frac{A_{Ti}}{\sum A_{Ti}} = V_{ux} \frac{A_{Ti}}{A_Y}$$

donde  $A_T$  es el área tributaria de cada muro tipo y  $A_Y$  es el área total de muros en dirección "Y".

Por lo tanto, presentando los resultados de manera tabular, se tiene:

| Revisión detallada de los muros tipo en PB en dirección Y |        |            |            |      |
|-----------------------------------------------------------|--------|------------|------------|------|
| Muro tipo                                                 | ATi/Ax | Vuxi (Ton) | VmRD (Ton) | Nota |
| 3                                                         | 0.0539 | 9.86       | 6.44       | ☒    |
| 5                                                         | 0.0340 | 6.22       | 3.21       | ☒    |
| 7                                                         | 0.0539 | 9.86       | 7.28       | ☒    |
| 13                                                        | 0.0317 | 5.81       | 2.58       | ☒    |
| 14                                                        | 0.0317 | 5.81       | 2.41       | ☒    |
| 17                                                        | 0.0717 | 13.12      | 9.54       | ☒    |

| Revisión detallada de los muros tipo en 1er. Piso en dirección Y |        |            |            |      |
|------------------------------------------------------------------|--------|------------|------------|------|
| Muro tipo                                                        | ATi/Ax | Vuxi (Ton) | VmRD (Ton) | Nota |
| 3                                                                | 0.0395 | 6.83       | 5.92       | ☒    |
| 5                                                                | 0.0249 | 4.31       | 0.62       | ☒    |
| 7                                                                | 0.0395 | 6.83       | 1.08       | ☒    |
| 13                                                               | 0.0233 | 4.03       | 2.92       | ☒    |
| 14                                                               | 0.0233 | 4.03       | 2.76       | ☒    |
| 17                                                               | 0.0694 | 12.00      | 11.37      | ☒    |
| 18                                                               | 0.0186 | 3.22       | 2.39       | ☒    |
| 20                                                               | 0.0311 | 5.38       | 4.52       | ☒    |

Como se puede observar, la estructura resulta insuficiente de manera detallada, ya que todos los muros no son capaces de resistir la fuerza cortante última.

Para ello, proporcionaremos de refuerzo horizontal a los muros para que sean capaces de resistir la acciones por sismo.

#### 5.8.4.5 Determinación del refuerzo horizontal requerido

La fuerza cortante última que debe resistir los muros de mampostería en cada dirección, se tomará como:

$$V_U = V_{mRD} + V_{sR} \rightarrow V_{sR} = V_U - V_{mRD}$$

donde la fuerza cortante que toma el refuerzo horizontal,  $V_{sR}$ , se calculará con:

$$V_{sR} = F_R \eta p_h f_{yh} A_T \rightarrow p_h = \frac{V_{sR}}{F_R \eta f_{yh} A_T}$$

La cuantía de acero de refuerzo horizontal,  $p_h$ , deberá cumplir con los siguientes requisitos mínimos:

$$p_h \geq \begin{cases} \frac{3}{f_{yh}} \\ \frac{V_{mR}}{F_R f_{yh} A_T} \end{cases}$$

En ningún caso  $p_h$  sobrepasará los siguientes máximos:

$$p_h \leq \begin{cases} 0.3 \frac{f_m^*}{f_{yh}} \\ \frac{12}{f_{yh}} \end{cases} \quad \text{muros con piezas macizas}$$

$$p_h \leq \begin{cases} 0.3 \frac{f_m^*}{f_{yh}} \\ \frac{9}{f_{yh}} \end{cases} \quad \text{muros con piezas huecas}$$

La separación máxima del refuerzo horizontal,  $s_h$ , no excederá de cuatro hiladas ni de 600 mm.

Por lo tanto, como  $F_R=0.7$ ,  $f_m^*=15 \text{ kg/cm}^2$ ,  $\eta=0.6$  y si se utiliza acero de refuerzo de  $f_{yh} = 6000 \text{ kg/cm}^2$ , el diseño del refuerzo horizontal puede resumirse como sigue:

| Determinación del porcentaje de refuerzo horizontal, muros tipo de PB en dirección X |             |                 |                |             |             |             |                |
|--------------------------------------------------------------------------------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|-------------|-------------|----------------|
| Muro tipo                                                                            | $V_u$ (Ton) | $V_{mRD}$ (Ton) | $V_{sR}$ (Ton) | $p_{h req}$ | $p_{h min}$ | $p_{h max}$ | $p_{h diseño}$ |
| 1                                                                                    | 6.45        | 9.30            | 0.00           | 0.0000      | 0.0005      | 0.0008      | 0.0005         |
| 2                                                                                    | 7.58        | 11.11           | 0.00           | 0.0000      | 0.0005      | 0.0008      | 0.0005         |
| 4                                                                                    | 1.35        | 0.33            | 1.02           | 0.0004      | 0.0005      | 0.0008      | 0.0005         |
| 6                                                                                    | 1.35        | 0.33            | 1.02           | 0.0004      | 0.0005      | 0.0008      | 0.0005         |
| 8                                                                                    | 7.37        | 12.65           | 0.00           | 0.0000      | 0.0006      | 0.0008      | 0.0005         |
| 9                                                                                    | 3.05        | 4.04            | 0.00           | 0.0000      | 0.0005      | 0.0008      | 0.0005         |
| 10                                                                                   | 3.61        | 5.23            | 0.00           | 0.0000      | 0.0005      | 0.0008      | 0.0005         |
| 11                                                                                   | 1.35        | 0.32            | 1.02           | 0.0004      | 0.0005      | 0.0008      | 0.0005         |
| 12                                                                                   | 3.05        | 3.79            | 0.00           | 0.0000      | 0.0005      | 0.0008      | 0.0005         |
| 15                                                                                   | 6.45        | 10.05           | 0.00           | 0.0000      | 0.0005      | 0.0008      | 0.0005         |
| 16                                                                                   | 4.18        | 5.77            | 0.00           | 0.0000      | 0.0005      | 0.0008      | 0.0005         |

| Determinación del porcentaje de refuerzo horizontal, muros tipo de 1er. Piso en dirección X |             |                 |                |                |                |                |                   |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-------------------|
| Muro tipo                                                                                   | $V_u$ (Ton) | $V_{mRD}$ (Ton) | $V_{sR}$ (Ton) | $\rho_{h req}$ | $\rho_{h min}$ | $\rho_{h max}$ | $\rho_{h diseño}$ |
| 1                                                                                           | 6.24        | 8.51            | 0.00           | 0.0000         | 0.0005         | 0.0008         | 0.0005            |
| 2                                                                                           | 7.34        | 10.14           | 0.00           | 0.0000         | 0.0005         | 0.0008         | 0.0005            |
| 4                                                                                           | 1.30        | 0.30            | 1.00           | 0.0004         | 0.0005         | 0.0008         | 0.0005            |
| 6                                                                                           | 1.30        | 0.30            | 1.00           | 0.0004         | 0.0005         | 0.0008         | 0.0005            |
| 8                                                                                           | 7.14        | 11.33           | 0.00           | 0.0000         | 0.0005         | 0.0008         | 0.0005            |
| 9                                                                                           | 2.95        | 3.65            | 0.00           | 0.0000         | 0.0005         | 0.0008         | 0.0005            |
| 10                                                                                          | 3.50        | 4.78            | 0.00           | 0.0000         | 0.0005         | 0.0008         | 0.0005            |
| 11                                                                                          | 1.30        | 0.30            | 1.01           | 0.0004         | 0.0005         | 0.0008         | 0.0005            |
| 12                                                                                          | 2.95        | 3.45            | 0.00           | 0.0000         | 0.0005         | 0.0008         | 0.0005            |
| 15'                                                                                         | 6.24        | 9.98            | 0.00           | 0.0000         | 0.0005         | 0.0008         | 0.0005            |
| 16'                                                                                         | 4.05        | 5.65            | 0.00           | 0.0000         | 0.0005         | 0.0008         | 0.0005            |
| 19                                                                                          | 4.05        | 5.70            | 0.00           | 0.0000         | 0.0005         | 0.0008         | 0.0005            |

Como podemos observar, en general rige el criterio mínimo dado por  $\rho_h \geq 3/f_{yh}$ ; salvo en el muro 8 de PB, donde regiría el otro criterio mínimo. Sin embargo, podemos utilizar el porcentaje mínimo generalizado, ya que, de hecho este muro no requiere de refuerzo horizontal. Y solo para los muros que los requieren, ya que son minoría en esta dirección ("X")

El área de refuerzo requerida para la dirección "X", esta dada por:

$$A_{sh} = \rho_h s_h t$$

donde  $s_h$  es la separación por el refuerzo horizontal en dirección vertical. La máxima separación es de 60 cm o cuatro hiladas, que en el caso del tabique de barro recocido sería la que rigel Si las piezas tienen una altura de 6 cm y que la junta del mortero es de 1 cm, se tiene que  $s_h = 4(6+1) \rightarrow s_h = 28$  cm. Por lo tanto:

$$A_{sh} = 0.0005(28)(12) \rightarrow A_{sh} = 0.168 \text{ cm}^2$$

Usando alambres laminados corrugados en frío, el mínimo calibre comercial es de 5/32" (3.97 mm), cuya área nominal por alambre sería  $0.124 \text{ cm}^2$ . Utilizando dos alambres como refuerzo de hilada, con el fin de que se anclen adecuadamente en el refuerzo de los castillos. El área es  $a_s = 0.248 \text{ cm}^2$ , por lo que el porcentaje de refuerzo será:

$$\rho_h = \frac{A_{sh}}{s_h t} = \frac{0.248}{360} = 0.0007$$

Por tanto, el refuerzo para los muros en dirección "X" se encuentra dentro de los límites establecidos. Y este consistirá en dos alambres corrugados en frío de 5/32" de diámetro y  $f_{yh} = 6000 \text{ kg/cm}^2$  a cada cuatro hiladas.

| Determinación del porcentaje de refuerzo horizontal, muros tipo de PB en dirección Y |             |                 |                |                |                |                |                   |
|--------------------------------------------------------------------------------------|-------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-------------------|
| Muro tipo                                                                            | $V_u$ (Ton) | $V_{mRD}$ (Ton) | $V_{sR}$ (Ton) | $\rho_{h req}$ | $\rho_{h min}$ | $\rho_{h max}$ | $\rho_{h diseño}$ |
| 3                                                                                    | 9.86        | 6.44            | 3.42           | 0.0004         | 0.0005         | 0.0008         | 0.0005            |
| 5                                                                                    | 6.22        | 3.21            | 3.01           | 0.0006         | 0.0005         | 0.0008         | 0.0006            |
| 7                                                                                    | 9.86        | 7.28            | 2.59           | 0.0003         | 0.0005         | 0.0008         | 0.0005            |
| 13                                                                                   | 5.81        | 2.58            | 3.23           | 0.0007         | 0.0005         | 0.0008         | 0.0007            |
| 14                                                                                   | 5.81        | 2.41            | 3.40           | 0.0007         | 0.0005         | 0.0008         | 0.0007            |
| 17                                                                                   | 13.12       | 9.54            | 3.58           | 0.0003         | 0.0005         | 0.0008         | 0.0005            |

| Determinación del porcentaje de refuerzo horizontal, muros tipo de 1er. Piso en dirección Y |             |                 |                |                |                |                |                   |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-------------------|
| Muro tipo                                                                                   | $V_u$ (Ton) | $V_{mRD}$ (Ton) | $V_{sR}$ (Ton) | $\rho_{h req}$ | $\rho_{h min}$ | $\rho_{h max}$ | $\rho_{h diseño}$ |
| 3                                                                                           | 6.83        | 5.92            | 0.91           | 0.0001         | 0.0005         | 0.0008         | 0.0005            |
| 5                                                                                           | 4.31        | 0.62            | 3.70           | 0.0007         | 0.0005         | 0.0008         | 0.0007            |
| 7                                                                                           | 6.83        | 1.08            | 5.76           | 0.0007         | 0.0005         | 0.0008         | 0.0007            |
| 13                                                                                          | 4.03        | 2.92            | 1.11           | 0.0002         | 0.0005         | 0.0008         | 0.0005            |
| 14                                                                                          | 4.03        | 2.76            | 1.27           | 0.0003         | 0.0005         | 0.0008         | 0.0005            |
| 17                                                                                          | 12.00       | 11.37           | 0.64           | 0.0000         | 0.0005         | 0.0008         | 0.0005            |
| 18                                                                                          | 3.22        | 2.39            | 0.84           | 0.0002         | 0.0005         | 0.0008         | 0.0005            |
| 20                                                                                          | 5.38        | 4.52            | 0.86           | 0.0001         | 0.0005         | 0.0008         | 0.0005            |

En el caso de la dirección “Y”, podemos ver que es muy variado el criterio del refuerzo, sin embargo, de acuerdo con las Normas unificaremos este valor a 0.0007.

El área de refuerzo requerida para la dirección “Y”, esta dada por:

$$A_{sh} = \rho_h s_h t$$

donde  $s_h$  es la separación por el refuerzo horizontal en dirección vertical. La máxima separación es de 60 cm o cuatro hiladas, que en el caso del tabique de barro recocido sería la que rigel Si las piezas tienen una altura de 6 cm y que la junta del mortero es de 1 cm, se tiene que  $s_h = 4(6+1) \rightarrow s_h = 28$  cm. Por lo tanto:

$$A_{sh} = 0.0007(28)(12) \rightarrow A_{sh} = 0.235 \text{ cm}^2$$

Usando alambres laminados corrugados en frío, el mínimo calibre comercial es de 5/32” (3.97 mm), cuya área nominal por alambre sería  $0.124 \text{ cm}^2$ . Utilizando dos alambres como refuerzo de hilada, con el fin de que se anclen adecuadamente en el refuerzo de los castillos. El área es  $a_s = 0.248 \text{ cm}^2$ , por lo que el porcentaje de refuerzo será:

$$P_h = \frac{A_{sh}}{s_h t} = \frac{0.248}{360} = 0.0007$$

Por tanto, el refuerzo para los muros en dirección “Y” se encuentra dentro de los límites establecidos. Y este consistirá en dos alambres corrugados en frío de 5/32” de diámetro y  $f_{yh} = 6000 \text{ kg/cm}^2$  a cada cuatro hiladas.

### 5.9 DISEÑO DE DALAS

Estas deberán cumplir con los requisitos señalados en el subtítulo 4.1.1. Las dalas están hechas con concreto de  $f'_c = 150 \text{ kg/cm}^2$ ; y cuentan con refuerzo longitudinal, que consta de 4 varillas del # 3 y estribos del # 2 @ 15 cm, como refuerzo transversal. El acero de refuerzo tendrá un  $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$ .

Las dalas tendrán una dimensión de 12 x 20 cm.

De acuerdo con el subíndice 4.1.1e, las barras del refuerzo longitudinal deben tener un área  $A_s$ , menos igual a la obtenida con la siguiente ecuación.

$$A_s = 0.2 \frac{f'_c}{f_y} t^2$$

$A_s$  debe ser igual o mayor a  $1.03 \text{ cm}^2$ , y el  $A_s$  de nuestro refuerzo longitudinal es igual a  $2.84 \text{ cm}^2$ . Y su dimensión mínima (12 cm) es igual que  $t$ , y  $h_c$ , su dimensión vertical (20 cm), es también mayor que  $t$ .

Conforme el subíndice 4.1.1g, las dalas estarán reforzadas por estribos cerrados y con un área  $A_{sc}$ , al menos igual a la obtenida con la siguiente ecuación.

$$A_{sc} = \frac{1000s}{f_y h_c}$$

y la separación de los estribos  $s$ , no excederá 1.5  $t$  ni de 200 mm.  $A_{sc}$  debe ser igual o mayor a  $0.17 \text{ cm}^2$ , y el  $A_{sc}$  de nuestro estribo es igual a  $0.32 \text{ cm}^2$ , y esta a cada 15 cm.

Por lo que, el diseño de las dalas cumple con todos los requisitos

---

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los resultados se basan en el criterio de diseño y análisis adoptado por el RCDF y sus NTCM que requiere que las resistencias de diseño calculadas por los procedimientos indicados y afectadas por el factor de reducción de resistencia, se comparen con las fuerzas externas actuantes afectadas por los factores de carga que aseguren un nivel de seguridad adecuado contra la falla.

Para la revisión de estructuras de mampostería es muy importante que se seleccione adecuadamente el método de análisis cumpliendo con la hipótesis de cada uno y teniendo en cuenta sus limitaciones. Adicionalmente es muy importante hacer una calibración con otras soluciones ya establecidas. Los nuevos sistemas de análisis ligados a programas de dibujo dan la oportunidad de hacer modelos más refinados, los que tendrán que ir acompañados de procesos de revisiones globales, tales como los que proporciona el método simplificado de diseño.

Hay variables que influyen significativamente en los resultados obtenidos. Es necesario asignar el factor de comportamiento sísmico  $Q$  adecuado, definido en las NTCM. Por otra parte, los módulos de elasticidad y cortante,  $E_m$  y  $G_m$ , respectivamente, así como el esfuerzo cortante de diseño  $v_m^*$  son tres de las variables más importante. Para su determinación, además de considerar los valores reglamentarios, es necesario tener presente los resultados de las pruebas experimentales que recientemente se han elaborado.

Por lo que respecta a los sistemas de mampostería hoy se tienen las bases para poder diseñar y construir estructuras de muy buena calidad que tengan un excelente desempeño, principalmente ante sollicitaciones sísmicas; esto se logra por medio de elementos de confinamiento, dadas y castillos, y del refuerzo horizontal. Se ha demostrado que el refuerzo horizontal es el elemento fundamental en cuanto a la resistencia, capacidad de deformación, patrones de agrietamiento, etc. lo que en conjunto con el confinamiento y piezas de buena calidad conducen a sistemas de mampostería de buena eficacia. Paralelamente hay que mencionar que la diferencia en el costo de la estructura entre la mampostería confinada con refuerzo horizontal y la mampostería simple es marginal, entre 3 a 6 %, pero con una diferencia sustancial en su desempeño estructural, así como en la presencia de agrietamiento bajo condiciones de servicio. Por otra parte la calidad de las piezas y el refuerzo horizontal son factores muy importantes para lograr resistencias adecuadas con excelentes capacidades de deformación.

De acuerdo con visitas realizadas a diferentes unidades habitacionales en la zona metropolitana, la mayoría de los sistemas de mampostería observadas son no reforzadas con deficiencias substanciales en su concepción o bien con errores constructivos de importancia. El paso entre lo eficiente y lo bueno es pequeño, simplemente se requiere orientar el diseño y construcción de estructuras de mampostería hacia sistemas confinados y con refuerzo horizontal, empleando piezas de buena calidad.

No hay que olvidar que la etapa de diseño toma en cuenta no solo la calidad de los materiales sino también el proceso constructivo con indicación de dimensiones de los elementos, forma y localización del refuerzo, separación entre varillas y hasta allí es usual que llegue el interés por la nueva estructura, incluso se considera que las etapas previas ya descritas son las que se van a determinar el futuro comportamiento y calidad de la estructura. Pero esto podría ser una falacia, ya que por más depurados procesos analíticos que se hayan utilizado, o normas que se hayan cumplido: las estructuras se comportan tal como se construyen más no como se diseñan, es decir que todo resultan inútil si en el momento de la construcción no se respeta el análisis, el diseño y las especificaciones.

Ningún beneficio se obtiene para el comportamiento estructural cuando a pesar de los sofisticados procesos de análisis y diseño, las condiciones de comportamiento supuesta no son realizadas en obra ya sea por imposibilidad técnica o por incapacidad profesional

En cuanto a los elementos de confinamiento y los de concreto en general, el diseño del concreto estructural parte de la consideración cierta de la baja capacidad para soportar esfuerzos de tensión, por lo que se considera totalmente fisurada la zona bajo esa clase de esfuerzos. Sin embargo, a pesar de ser consubstancial con el diseño de tal suposición, el diseñador, constructor o interventor de una estructura de concreto no deben dejar pasar desapercibida la presencia de cualquier tipo de fisura.

---

---

La diversidad de patologías de las fisuras obliga a conocer con detenimiento la causa de la aparición de cada una de ellas para acertar en su diagnóstico.

El concreto puede presentar fisuras en cualquiera de las siguientes tres fases:

1. En su fase plástica cuando todavía no se ha endurecido (solo se ha colocado)
  - 1.a Fisuras de contracción plástica
  - 1.b Fisuras de asentamiento plástico
  - 1.c Asentamiento diferencial por movimiento de la cimbra
2. En su fase de endurecimiento mientras aún está nuevo (entre tres y cuatro semanas)
  - 2.a Restricción a movimientos térmicos prematuros
  - 2.b Restricción a contracción por secado prematuros
  - 2.c Asentamientos diferenciales de los soportes
3. En su fase de endurecimiento y puesta en servicio (después de sus primeros 28 días)
  - 3.a Sobrecarga
  - 3.b Diseño precario
  - 3.c Construcción inadecuada
  - 3.d Asentamiento diferencial de la cimentación
  - 3.f Ataque de sulfatos en el cemento del concreto
  - 3.g Oxidación del refuerzo debido a:
    - Ataque de cloruros al refuerzo
    - Efecto de carbonatación en el concreto
    - Oxidación simple del refuerzo por exposición a la humedad
  - 3.h Intemperie
  - 3.j Contracción de largo plazo

Para cada uno de las causas que generan un patrón de fisuras es posible la formulación de metodologías tanto de evaluación y diagnóstico como del efecto que pueda existir sobre el desempeño estructural.

El diseño estructural requiere integrar en su análisis el diseño por durabilidad para garantizar el adecuado desempeño de las estructuras a través del tiempo. por lo tanto, se puede tener clara conciencia de que el diseño por durabilidad es un parámetro independiente de diseño de cualquier elemento de concreto.

Las condiciones de exposición y servicio son necesarias de considerar en el diseño de una estructura de concreto, de tal manera que cada una de ellas sea contemplada o incluida en el análisis, esto es, no se puede seguir pensando que un concreto expuesto a un ambiente con sales agresivas sea diseñado igual que un concreto cuyas condiciones de operación son inofensivas.

El deterioro acelerado incluso hasta la inhabilitación de muchas estructuras de concreto, es un síntoma claro de que la durabilidad no es una propiedad intrínseca del material sino, por el contrario, una propiedad que se puede y debe diseñar para cada caso particular.

El diseño actual de las estructuras de concreto no puede hacerse sólo con base en consideraciones estructurales; en todos los caso es obligatorio considerar las condiciones de exposición y servicio de cada elemento y tomas las medidas preventivas al respecto.

Los análisis de costos de cada proyecto no debe realizarse tomando como base el costo inicial, sino el costo del proyecto para el tiempo de vida útil que se desea garantizar.

Será recomendable que, en un futuro, en los códigos de diseño estructural el apartado dedicado a la durabilidad y las especificaciones que se derivan de él, sean consideradas a nivel de cumplimiento obligatorio.

La durabilidad de las estructuras de concreto sólo se puede satisfacer si en su diseño y ejecución se consideran como partes integrales: el adecuado diseño y el detalle estructural; el tipo, características y calidad de

---

---

los componentes; y por último la aplicación de buenas prácticas constructivas durante la colocación y curado del elemento.

Por último podemos decir a nuestro lectores interesados en el análisis y diseño, que el RCDF y sus NTCM, puede considerarse excelentes pero hace falta su correcta ejecución en todas y cada una de las obras que se llevan a cabo en el Distrito Federal. Aunado a ello, de contar con reglamentos y normas para todo el país, de acuerdo con las diferente características de cada región y no solo para el Distrito Federal.

Antonio G. Montaña

---

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Aguilar G., Cano G. y Alcocer S. M. (1994), "Efecto del refuerzo horizontal en el comportamiento de muros de mampostería ante cargas laterales", Memorias del IX Congreso Nacional de Ingeniería Estructural, Vol. I, Zacatecas, Zac., México, octubre, pp. 66-74.
  2. Alarcón-Chaires P. y Alcocer S. M. (1997), "Repercusión de las características mecánicas de la mampostería en el diseño sísmico", Memorias del XI Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, Vol. I, Veracruz, Ver., México, noviembre, pp. 625-634.
  3. Alarcón P., y Alcocer S. M. (1999), "Ensayes experimentales sobre rehabilitación de estructuras de adobe", Memorias del XII Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, Vol. I, Morelia, Mich., México, noviembre, pp. 209-217.
  4. Alcocer S. M. (1997), "Comportamiento sísmico de estructuras de mampostería: una revisión", Memorias del XI Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, Vol. I,
  5. Alcocer S. M., Ruiz J., Pineda J. A. y Zepeda J. A. (1996), "Retrofitting of confined masonry walls with welded wire mesh", Memorias de la 11ª Conferencia Mundial de Ingeniería Sísmica, Acapulco, Gro., México, junio, artículo No. 1471, en disco compacto.
  6. Alcocer S. M. y Tena-Colunga A. (1997), "Estructuras de mampostería y adobe", El Macrosismo de Manzanillo del 9 de Octubre de 1995, Tena-Colunga A. (Compilador), Universidad Autónoma de Colima y Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica, Colima, Col., México, septiembre, pp. 233-267.
  7. Álvarez J. J. y Alcocer S. M. (1994), "Influencia del refuerzo horizontal y de la relación de aspecto en muros de mampostería confinada", Memorias del IX Congreso Nacional de Ingeniería Estructural, Vol. II, Zacatecas, Zac., México, octubre, pp. 815-825.
  8. Araujo C. y Ayala G. (2000), "Modelo para el análisis no lineal de marcos de concreto reforzado con muros de relleno de mampostería", Memorias del XII Congreso Nacional de Ingeniería Estructural, León, Gto., México, noviembre, artículo No. 9, en disco compacto.
  9. Chudley, Roy (1995), "Manual de Construcción de Edificios", Ediciones G. Gili, S.A. de C.V., México, pp. 240-246.
  10. Crespo Pérez, Wifredo (2000), "Acciones y Cargas (Diseño Estructural)", Documentos de Trabajo No. 1, División de Ciencias Físico-Matemáticas y de las Ingenierías de la ENEP Aragón – UNAM, México, pp. 35 – 59.
  11. De la Torre O., López R. y Salazar A. (2000), "Rehabilitación estructural de monumentos históricos dañados en el estado de Puebla por el sismo del 15 de junio de 1999", Memorias del XII Congreso Nacional de Ingeniería Estructural, León, Gto., México, noviembre, artículo No. 113, en disco compacto.
  12. Flores L. E., Marcelino J., Lazalde G. y Alcocer S. M. (1999), "Estudio de la rehabilitación de centrales telefónicas empleando malla y aplanado de concreto", Memorias del XII Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, Vol. I, Morelia, Mich., México, noviembre, pp. 237-246.
  13. Gobierno del Distrito Federal, 2 de agosto (1993), "Reglamento de Construcción para el Distrito Federal", Diario Oficial de la Federación.
  14. Gobierno del Distrito Federal (GDF, 2000), "Normas técnicas complementarias para diseño y construcción de cimentaciones", Comité de Normas, México, D. F.
  15. Gobierno del Distrito Federal (GDF, 2000), "Normas técnicas complementarias para el diseño y construcción de estructuras de mampostería", Comité de Normas, México, D. F.
  16. Gobierno del Distrito Federal (GDF, 2000), "Normas técnicas complementarias para diseño por sismo", Comité de Normas, México, D. F.
-

- 
17. Hernández O. y Araiza M. (2000), "Estudio paramétrico de la influencia de la densidad de muro en el comportamiento sísmico de estructuras de mampostería", Memorias del XII Congreso Nacional de Ingeniería Estructural, León, Gto., México, noviembre, artículo No. 12, en disco compacto.
  18. Hernández O. y Basilio I. (2000), "Comportamiento ante cargas laterales alternadas de muros construidos con tabique multiperforado", Memorias del XII Congreso Nacional de Ingeniería Estructural, León, Gto., México, noviembre, artículo No. 11, en disco compacto.
  19. Hernández O., Camargo I., Leal E. y Ruiz L. (1996), "Resistencia nominal de diseño de mamposterías de barro en la zona metropolitana de la ciudad de Puebla. Propuesta de estandarización de ensayos", Memorias del X Congreso Nacional de Ingeniería Estructural, Vol. II, Mérida, Yuc., México, noviembre, pp. 979-987.
  20. Jean R. y Cesin J. (2000), "Recomendaciones para el diseño y construcción de estructuras de mampostería", Memorias del XIII Congreso Nacional de Ingeniería Estructural, León, Gto., México, noviembre, artículo No. 37, en disco compacto.
  21. Juárez H., Gómez A. y Sordo E. (2000), "Recomendaciones para reducir la vulnerabilidad sísmica de estructuras de mampostería", Memorias del XII Congreso Nacional de Ingeniería Estructural, León, Gto., México, noviembre, artículo No. 86, en disco compacto.
  22. Juárez H., Guerrero J., Gama A., Whitney R.A., Vera R. y Hurtado F. (1996), "El sismo del 9 de octubre de 1995 en Manzanillo, Colima", Memorias del X Congreso Nacional de Ingeniería Estructural, Vol. I, Mérida, Yuc., México, noviembre, pp. 316-326.
  23. NMX-C-006 (1976), "Ladrillos, bloques cerámicos de barro, arcilla y/o similares", Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, México.
  24. NMX-C-010 (1986), "Industria de la construcción. Concreto. Bloques, ladrillos o tabiques y tabicones", Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, México.
  25. NMX-C-036 (1983), "Ladrillos, bloques y adoquines de concreto. Resistencia a la compresión. Método de prueba", Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, México.
  26. NMX-C-037 (1986), "Bloques, ladrillos o tabiques y tabicones de concreto. Determinación de la absorción de agua", Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, México.
  27. NMX-C-038 (1974), "Determinación de las dimensiones de ladrillos y bloques para la construcción", Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, México.
  28. NMX-C-061 (1976), "Determinación de la resistencia a la compresión de cementantes hidráulicos", Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, México.
  29. Pérez A. y Jean R. (2000), "Mampostería rellena", Memorias del XII Congreso Nacional de Ingeniería Estructural, León, Gto., México, noviembre, artículo No. 2, en disco compacto.
  30. Ramírez M. y Guerrero J. J. (2000), "Cambio en los periodos naturales de vibración de una estructura de mampostería reforzada de 5 niveles", Memorias del XII Congreso Nacional de Ingeniería Estructural, León, Gto., México, noviembre, artículo No. 18, en disco compacto.
  31. Rodríguez M., Alarcón P. y Machicao R. (1997), "Evaluación del comportamiento sísmico de estructuras a base de muros de mampostería durante el sismo de Caleta de Campos, del 11 de enero de 1997", Memorias del XI Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, Vol. II, Veracruz, Ver., México, pp. 1361-1370.
  32. Ruiz J., Sánchez T. y Alcocer S. M. (1998), "Rehabilitación de muros de mampostería confinada mediante malla de alambre y recubrimiento de mortero", Memorias del XI Congreso Nacional de Ingeniería Estructural, Vol. II, Monterrey, N. L., México, noviembre, pp. 880-889.
  33. Ruiz J., Zepeda J.A., Alcocer S. M. y Meli R. (1994), "Reparación y refuerzo de una estructura tridimensional de mampostería confinada de dos niveles a escala natural", Memorias del IX Congreso Nacional de Ingeniería Estructural, Vol. II, Zacatecas, Zac., México, octubre, pp. 596-605.
-

- 
34. Sánchez T. A., Alcocer S. M. y Flores L. (1996) "Estudio experimental sobre una estructura de mampostería confinada tridimensional, construida a escala natural y sujeta a cargas laterales", Memorias del X Congreso Nacional de Ingeniería Estructural, Vol. II, Mérida, Yuc., México, noviembre, pp. 909-918.
  35. Sordo E., Gómez-Bernal A., Juárez H., Gama A., Guinto E., Whitney R., Vera R., Mendoza E. y Alonso G. (1996), "El sismo de Ometepec del 14 de septiembre de 1995", Memorias del X Congreso Nacional de Ingeniería Estructural, Vol. I, Mérida, Yuc., México, noviembre, pp. 424-432.
  36. Velázquez J. I., Castorena J. H. y Reyes A. (2000), "Modelación mediante la teoría de placas laminadas de muros de mampostería reforzados con compuestos y sujetos a flexión", Memorias del XII Congreso Nacional de Ingeniería Estructural, León, Gto., México, noviembre, artículo No. 71, en disco compacto.
  37. Zepeda J. A., Ojeda M. y Alcocer S. M. (1997) "Comportamiento ante cargas laterales de muros de tabique perforado y multiperforado de arcilla", Memorias del XI Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, Vol. I, Veracruz, Ver., México, noviembre, pp.587-596.
  38. Zepeda J. A., Pineda J. A. y Alcocer S. M. (1996), "Comportamiento ante cargas laterales de muros de mampostería confinada reforzados con malla electrosoldada", Memorias del X Congreso Nacional de Ingeniería Estructural, Vol. II, Mérida, Yuc., México, noviembre, pp. 919-925.
-