



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Civil

**ANÁLISIS DE ABERTURAS MÁXIMAS EN UN MURO DE MAMPOSTERÍA,  
PARA CONSIDERARLO CONTINUO**

**Henry Francisco San Velásquez**  
Asesorado por el Ing. Mario Rodolfo Corzo Ávila

Guatemala, noviembre de 2012

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ANÁLISIS DE ABERTURAS MÁXIMAS EN UN MURO DE MAMPOSTERÍA,  
PARA CONSIDERARLO CONTINUO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

**HENRY FRANCISCO SAN VELÁSQUEZ**

ASESORADO POR EL ING. MARIO RODOLFO CORZO ÁVILA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO CIVIL**

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2012

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Juan Carlos Molina Jiménez
VOCAL V	Br. Mario Maldonado Muralles
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Herbert René Miranda Montenegro
EXAMINADOR	Ing. Fernando Amílcar Boiton Velásquez
EXAMINADOR	Ing. Luis Manuel Sandoval Mendoza
EXAMINADOR	Ing. Juan Carlos Hernández Canales
SECRETARIA	Inga. Gilda Marina Castellanos de Illezcas

## HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

### ANÁLISIS DE ABERTURAS MÁXIMAS EN UN MURO DE MAMPOSTERÍA, PARA CONSIDERARLO CONTINUO

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 31 de octubre de 2011.

  
Henry Francisco San Velásquez



Guatemala, septiembre de 2012

Ingeniero

Guillermo Francisco Melini Salguero  
Coordinador del Área de Materiales y  
Construcciones Civiles

Ingeniero Melini:

Por medio de la presente, le informo que he asesorado y revisado el trabajo de graduación, con título: ANÁLISIS DE ABERTURAS MÁXIMAS EN UN MURO DE MAMPOSTERÍA, PARA CONSIDERARLO CONTINUO, desarrollado por el estudiante Henry Francisco San Velásquez, con carne: 2006-11454. El cual satisface los objetivos del mismo.

Al agradecer su amable atención y colaboración, me suscribo atentamente.

  
Ing. Mario Rodolfo Cerzo Avila  
No. De colegiado: 2089  
Jefe de la sección de estructuras

*Mario Rodolfo Cerzo A.*  
INGENIERO CIVIL  
Colegiado N.º 2089



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
www.ingenieria-usac.edu.gt



Guatemala,  
17 de octubre de 2012

Ingeniero  
Hugo Leonel Montenegro Franco  
Director Escuela Ingeniería Civil  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos

Estimado Ingeniero Montenegro.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación **ANÁLISIS DE ABERTURAS MÁXIMAS EN UN MURO DE MAMPOSTERÍA PARA CONSIDERARLO CONTINUO** desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Henry Francisco San Velásquez, quien contó con la asesoría del Ing. Mario Rodolfo Corzo Ávila.

Considero este trabajo bien desarrollado y representa un aporte para la comunidad del área y habiendo cumplido con los objetivos del referido trabajo doy mi aprobación al mismo solicitando darle el trámite respectivo.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS

  
Ing. Civil Guillermo Francisco Melini Salazar  
Coordinador del Área de Materiales  
Construcciones Civiles

  
FACULTAD DE INGENIERIA  
AREA DE MATERIALES Y  
CONSTRUCCIONES CIVILES  
USAC

/bbdeb.

Más de 130<sup>Años</sup> de Trabajo Académico y Mejora Continua





El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Mario Rodolfo Corzo Ávila y del Coordinador del Área de Materiales y Construcciones Civiles, Ing. Guillermo Francisco Melini Salguero, al trabajo de graduación del estudiante Henry Francisco San Velásquez, titulado **ANÁLISIS DE ABERTURAS MÁXIMAS EN UN MURO DE MAMPOSTERÍA, PARA CONSIDERARLO CONTINUO**, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.

  
Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, noviembre de 2012.

/bbdeb.



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al trabajo de graduación titulado: **ANÁLISIS DE ABERTURAS MÁXIMAS EN UN MURO DE MAMPOSTERÍA PARA CONSIDERARLO CONTINUO**, presentado por el estudiante universitario **Henry Francisco San Velásquez**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno  
Decano en funciones



Guatemala, 20 de noviembre de 2012

/cc

## **ACTO QUE DEDICO A:**

### **Mis padres**

Mariano San Ixcuna y Eugenia Velásquez Ordoñez, por su ejemplo de lucha constante y apoyo en todo lo que esta a su alcance, agradecido por siempre.

### **Mis hermanos**

Denis, Rudy, Rolando, Enrique, Mariela, Ana Teresa, Zoila y Berta, por su apoyo y ejemplo de unión indestructible.

### **Mis sobrinos**

Hugo Daniel Reyes, Gerver Reyes, Byron Leja, Jenner Barillas y Glendy, por su apoyo como sobrinos, compañeros y amigos.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

- Dios** Creador y dador de vida, a quien le pertenecen todas cosas, por lo cual nada sucede sin su permiso, a Él sean las gracias por siempre.
- Ing. Mario Corzo Ávila** Por regalar parte de su tiempo en asesorar este trabajo y compartir su conocimiento sin excepción alguna.
- Universidad de San Carlos de Guatemala** Por ser el mejor centro de estudios para la mayoría e influenciar en el desarrollo de todo un país.
- Facultad de Ingeniería** Por luchar día con día en la formación de mejores profesionales y mejores personas, y hacernos sentir que es nuestro segundo hogar.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	V
LISTA DE SÍMBOLOS .....	VII
GLOSARIO .....	IX
RESUMEN .....	XIII
OBJETIVOS .....	XV
INTRODUCCIÓN .....	XVII
1. CARACTERÍSTICAS DE LOS MUROS DE MAMPOSTERÍA .....	1
1.1. Generalidades.....	1
1.1.1. Materiales utilizados en los muros de mampostería .....	2
1.1.2. Clasificación de los muros con base en su resistencia .....	4
1.1.2.1. Muros portantes .....	4
1.1.2.2. Muros no portantes .....	6
1.1.3. Ubicaciones comunes de los muros .....	6
1.1.4. Alturas de construcción en muros .....	9
1.1.5. Densidad mínima de los muros .....	9
1.1.6. Cantidad mínima de muros en cada dirección .....	11
1.2. Aspectos constructivos.....	12
1.2.1. Calidad de juntas de pega en morteros.....	12
1.2.2. Calidad de juntas en los materiales .....	15
1.2.3. Anclaje horizontal y vertical de muros .....	16
1.3. Acciones sobre muros de mampostería .....	18
1.3.1. Acciones permanentes .....	19

1.3.2.	Acciones variables .....	20
1.3.3.	Fuerzas axiales.....	22
1.3.4.	Fuerzas cortantes máximas en la base .....	22
1.3.5.	Efectos de torsión.....	26
1.3.6.	Rigidez en muros .....	27
2.	CARACTERÍSTICAS PARA DETERMINAR ABERTURAS MÁXIMAS.....	29
2.1.	Estimación de respuesta máxima en el muro .....	29
2.2.	Capacidad de disipar energía .....	29
2.3.	Muro reforzado .....	30
2.4.	Muro confinado .....	32
2.5.	Vigas soleras.....	34
2.6.	Áreas críticas del muro .....	35
2.7.	Áreas normales del muro .....	38
2.8.	Juntas de muro .....	38
2.9.	Refuerzo en aberturas .....	41
3.	ANÁLISIS TEÓRICO DE ABERTURAS MÁXIMAS EN UN MURO DE MAMPOSTERÍA.....	43
3.1.	Modelo de un muro típico de mampostería a ser analizado .....	43
3.1.1.	Muro continuo .....	43
3.1.2.	Muro con abertura de ventana .....	44
3.1.3.	Muro con abertura de puerta .....	44
3.1.4.	Muro con abertura puerta y ventana .....	45
3.2.	Propuesta del tipo de elemento de mampostería a utilizar .....	45
3.3.	Propuesta de las fuerzas a la que estará sometido el muro .....	46
3.4.	Propuesta de abertura para iniciar el análisis .....	46
3.5.	Propuesta de la ubicación de la abertura y las dimensiones .....	47

3.6.	Esquema del muro y las características propuestas .....	55
3.7.	Determinación de la rigidez de diseño .....	56
3.8.	Determinación de la deriva de diseño .....	61
3.9.	Determinación de esfuerzos axiales y corte de diseño .....	62
3.10.	Los pasos del inciso 3.4 al 3.9 se repetirán hasta determinar la máxima abertura en el análisis teórico .....	65
3.11.	Conclusiones del análisis teórico.....	97
4.	ANÁLISIS DE ENSAYOS EN MUROS DE MAMPOSTERÍA CON ABERTURAS.....	99
4.1.	Observación directa e indirecta .....	99
4.2.	Características de las aberturas .....	100
4.3.	Evaluación de las aberturas .....	101
4.4.	Determinación de la ubicación y magnitud de la abertura.....	101
4.5.	Análisis según los datos obtenidos en ensayos .....	101
4.6.	Determinación de la rigidez de diseño .....	102
4.7.	Determinación de la deriva de diseño.....	103
4.8.	Determinación de esfuerzos axiales y corte de diseño .....	103
4.9.	Conclusiones del análisis de ensayos .....	108
	CONCLUSIONES.....	109
	RECOMENDACIONES.....	111
	BIBLIOGRAFÍA.....	113
	APÉNDICE .....	115



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Simetría en muros portantes de mampostería.....	8
2.	Asimetría en muros portantes de mampostería.....	8
3.	Colocación del mortero en diferentes unidades de mampostería .....	13
4.	Juntas con refuerzo incluido .....	16
5.	Armaduras de anclaje en encuentros de muros .....	17
6.	Armaduras de anclaje en encuentros de muros a cada 60 cm .....	18
7.	Agrietamiento en muros confinados .....	24
8.	Envolvente de respuesta .....	25
9.	Tipos de muros reforzados internamente .....	31
10.	Muro confinado con vigas y columnas de hormigón armado .....	33
11.	Desplazamiento en edificaciones de mampostería.....	36
12.	Justa especial para muros largos .....	41
13.	Medidas principales.....	45
14.	Desplazamiento lateral de un muro compuesto de muretes no conectados rígidamente .....	49
15.	Desplazamiento lateral igual de tres muros conectados por un elemento rígido.....	49
16.	Discretización de muros con aberturas como una columna ancha de sección variable.....	51
17.	Elevación y sección de un muro con aberturas .....	52
18.	Esquema de muro continuo .....	56
19.	Detalles de un muro en voladizo .....	57
20.	Esquema de muro con primera propuesta de abertura .....	65

21.	Esquema de muro con segunda propuesta de abertura .....	68
22.	Esquema de muro con tercera propuesta de abertura .....	71
23.	Esquema de muro con cuarta propuesta de abertura .....	74
24.	Esquema de muro con quinta propuesta de abertura .....	77
25.	Esquema de muro con sexta propuesta de abertura .....	80
26.	Cortante de diseño, cortante máximo vrs aberturas .....	84
27.	Abertura vrs deriva.. .....	85
28.	Rigidez vrs abertura .....	86
29.	Esquema de muro con abertura máxima .....	87
30.	Esquema de muro con abertura máxima en un extremo .....	90
31.	Esquema de muro con abertura máxima y excentricidad .....	93
32.	Esquema de muro ensayado .....	100
33.	Esquema del muro ensayado con abertura propuesta .....	105

## TABLAS

I.	Densidad para muros de mampostería .....	10
II.	Acero de refuerzo mínimo para solera .....	34
III.	Resumen de cálculos en muros con aberturas en centro .....	83

## LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
<b>A</b>	Área
<b>Aeq</b>	Área equivalente
<b>H</b>	Altura
<b>P</b>	Carga horizontal Carga vertical
<b>cm</b>	Centímetro
	Desplazamiento o deriva total
<b>d</b>	Distancia al eje neutro
<b>VR</b>	Esfuerzo cortante total Esfuerzo admisible Esfuerzo máximo admisible
<b>t</b>	Espesor de muro Factor de acoplamiento Inercia equivalente
<b>kg</b>	Kilogramo
<b>L</b>	Longitud Módulo de cortante Módulo de elasticidad
<b>m</b>	Metro
<b>m<sup>2</sup></b>	Metro cuadrado
<b>m<sup>3</sup></b>	Metro cúbico
<b>m<sup>4</sup></b>	Metros a la cuarta

<b>%</b>	Porcentaje
<b>RT</b>	Rigidez Lateral
<b>Vm*</b>	Resistencia de diseño a corte o compresión diagonal
	Resistencia a compresión de mampostería

## GLOSARIO

<b>Acoplamiento</b>	Es la unión de dos piezas o cuerpos, en mampostería une los muretes laterales que se forman por las aberturas, y puede ser una solera, losa o la unión de estos dos.
<b>Abertura máxima</b>	Es el tamaño máximo de abertura (puerta, ventana o algún otro aspecto arquitectónico) que puede tener un muro de mampostería.
<b>ACI</b>	American Concrete Institute.
<b>Análisis</b>	Estudio minucioso, haciendo distinción y separación de partes con límites característicos y posibles soluciones.
<b>Capacidad resistente</b>	Es la resistencia última, de un edificio o de algún sistema resistente, calculado tomando en cuenta todos los elementos, estructurales o no estructurales, que contribuyen a la misma.
<b>Carga última</b>	Es la resultante de una combinación extrema de cargas que el edificio deberá ser capaz de resistir con sus elementos estructurales esforzados al límite de su capacidad.

<b>CENAPRED</b>	Centro Nacional de Prevención de Desastres.
<b>Ductilidad</b>	Es el cociente entre el desplazamiento último y el valor correspondiente al límite elástico.
<b>Envolvente de respuesta</b>	Es la gráfica que muestra el comportamiento, capacidad y la disminución de la rigidez de una estructura cuando está sometida a aceleraciones registradas.
<b>Esfuerzo</b>	Es el resultado de la aplicación de una fuerza sobre un área.
<b>Excentricidad</b>	Es la distancia horizontal entre el centro de rigidez y centro de masa de un nivel
<b>Fuerza</b>	Energía que se aplica a un elemento.
<b>Mampostería</b>	Sistema constructivo formado por materiales simplemente acomodados o aglutinados.
<b>Muro</b>	Es un componente, usualmente en un plano vertical utilizado para separar espacios o estructuralmente para resistir cargas gravitacionales y dinámicas.
<b>Muro de carga</b>	Es el muro que soporta cargas verticales adicionales a su peso propio.

<b>Muro estructural</b>	Es un muro, de carga o no cargado, diseñado y construido para resistir fuerzas horizontales.
<b>Muro confinado</b>	Es un muro compuesto, formado por piezas de mampostería con soleras y columnas de concreto reforzado colocados en la periferia, que actúan de manera integral con la mampostería, y la confinan en el plano del muro.
<b>Muro reforzado</b>	Es un muro formado por piezas huecas de mampostería con acero de refuerzo vertical y horizontal y relleno de concreto en todas las celdas o en aquellas que contienen el refuerzo vertical.
<b>Rigidez inicial</b>	La rigidez inicial es la rigidez que se puede predecir teóricamente sin necesidad de usar algunos parámetros que se obtiene a partir de datos experimentales.
<b>Solera</b>	Elemento que se coloca horizontalmente en construcciones y su funcionamiento es equivalente al de una viga.
<b>UBC</b>	Uniform Building Code.



## RESUMEN

Este trabajo es un estudio de un muro de mampostería, con medidas y condiciones comunes en la construcción de viviendas en Guatemala. Evalúa su resistencia con base en la rigidez inicial y determina en qué momento deja de comportarse como un muro continuo.

Se buscó entre muchos métodos, el más conveniente para la determinación de la abertura máxima con base en su rigidez, al igual que el método para determinar la inercia.

La metodología se basó en la clasificación y evaluación de muchos criterios, fórmulas, investigaciones y normas relacionados con este tema.

Para cada análisis se presentan los esquemas y características del muro en estudio y al final se explican los criterios y conclusiones para alcanzar el objetivo de éste.



# OBJETIVOS

## General

El objetivo es presentar una guía para evaluar muros de mampostería en relación a aberturas y facilitar la toma de decisiones, tener con claridad qué procedimiento se debe seguir para darle continuidad al funcionamiento de dichas estructuras.

## Específicos

1. Garantizar el funcionamiento continuo de un muro de mampostería con aberturas, sometidos a cargas externas.
2. Obtener más información del comportamiento de un muro de mampostería, que contenga aberturas que se utilizan para diversas necesidades.
3. Analizar los diversos tipos de aberturas que existen y sus formas
4. Dar la mejor opción por medio de la evaluación de las aberturas máximas
5. Dar una metodología a seguir para la aplicación técnica de este análisis en muros de mampostería.
6. Analizar si las aberturas máximas dependen también del tipo de mampostería con el cual se está trabajando.



## INTRODUCCIÓN

El análisis de aberturas máximas en muros de mampostería, basado en ensayos realizados en un período de tiempo, dará como resultado una guía útil para evaluarlos. La importancia de estos se da porque una estructura debe comportarse de manera correcta a la hora de estar sometida a diversas fuerzas externas, el análisis de estas aberturas pueden garantizar el bienestar de la estructura y de los habitantes. Con esto se pretende identificar si el muro puede seguir trabajando como uno solo o hay necesidad de analizarlo en dos partes. Básicamente se pretende crear un patrón para aberturas.

Existe una gran cantidad de construcciones con muros de mampostería y en muchos casos combinaciones de las mismas, entre las más importantes se tienen las viviendas, las cuales merecen un gran interés porque resguardan a seres humanos, por medio de una revisión de las normas existentes, utilizando un método analítico, se obtendrá una mejor comprensión y generará un nuevo conocimiento, con el fin de proteger la vida de los ocupantes, inversiones que se realicen en materia de construcción y asegurar el funcionamiento de este tipo de edificaciones con mampostería.

Los ensayos realizados en muros de mampostería, en el Área de Estructuras del Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, son la base para realizar la investigación y análisis para determinar las aberturas máximas; los fundamentos y procedimientos para el análisis de muros de mampostería se encuentran en reglamentos los cuales se deben cumplir para toda construcción.

Por requerimiento de tipo arquitectónico y para su adecuado funcionamiento las viviendas hechas a base de mampostería tienen aberturas en los muros. Las aberturas más comunes se deben a la presencia de puertas y ventanas. Obviamente, el comportamiento de una vivienda de mampostería que en sus muros tienen aberturas es diferente a las viviendas que en sus muros no tiene aberturas, por lo que es necesario cuantificar el efecto de las aberturas en el comportamiento de los muros y de una vivienda.

Por ejemplo un efecto de la presencia de aberturas en los muros de mampostería es la de disminuir la rigidez lateral. Esto quiere decir que para la misma carga lateral, una vivienda con aberturas en sus muros tendrá mayores desplazamientos laterales que una vivienda donde sus muros no tienen aberturas.

Las aberturas en los muros de mampostería implican una reducción del área transversal disponible para resistir fuerzas horizontales, se produce entonces un incremento de esfuerzos cortantes en los muros, por lo que es importante determinar la fuerza actuante en cada muro, para determinar si tienen o no resistencia suficiente con la sección propuesta.

Las aberturas disminuyen la capacidad del muro ante el esfuerzo cortante actuante en las zonas adyacentes a las aberturas, y esto hace no tener un esfuerzo uniforme. La presencia de aberturas cuadradas o rectangulares provoca importantes concentraciones de esfuerzos de tensión en las esquinas de las aberturas, de ahí la enorme importancia de proveer de soleras y columnas en la periferia de puertas y ventanas.

# **1. CARACTERÍSTICAS DE LOS MUROS DE MAMPOSTERÍA**

A continuación se presenta un resumen general de las características y los componentes que integran los muros de mampostería.

## **1.1. Generalidades**

Los muros de mampostería reforzada han demostrado tener la resistencia y flexibilidad aptas para soportar movimientos sísmicos. Estas construcciones pueden tener diversos fines, como por ejemplo: viviendas, tanques de agua, muros de contención etc. Sin embargo, debe indicarse que la investigación está dirigida a resolver el problema en las viviendas.

Como en otras construcciones, los aspectos más importantes involucrados en la construcción de viviendas de mampostería son: a) el diseño b) los detalles y procedimientos constructivos y c) los materiales de construcción.

El diseño de viviendas de mampostería en Guatemala no tiene una reglamentación unificada y carece de supervisión en los procedimientos, esto da lugar a vulnerabilidad que se atribuye principalmente a los detalles constructivos y deficiente calidad de los materiales utilizados, los detalles de construcción causan muchos defectos debido a una escasa formación de la mano de obra y supervisión inexistente. Estos dos aspectos hacen que la calidad de los materiales se encuentre en último plano y que a veces ni se toma en cuenta.

En viviendas construidas con mampostería, existe un detalle muy importante, el cual está relacionado con los ambientes de la vivienda y los aspectos arquitectónicos, esto conduce muchas veces a un máximo de aberturas en un solo muro, sin tomar consideraciones del efecto que causan estas en la integridad estructural de la edificación.

Las viviendas pueden verse afectadas por diferentes causas, pero una de las más importantes son las aberturas en el muro, vienen a ser la debilidad para toda estructura cuando se tienen fuerzas producidas por sismos frecuentes, no existen estructuras integrales sismo resistentes en el diseño.

#### **1.1.1. Materiales utilizados en los muros de mampostería**

En general los materiales que conforman los muros de mampostería, se relacionan con el tipo de unidad que se utiliza para el levantado, de entre los cuales los más comunes en viviendas cuando usamos refuerzo son: ladrillos de barro cocido y bloques de concreto, estos nos llevan a los demás materiales que integran el muro por completo, los cuales son:

- Unidad de mampostería: las unidades de mampostería más utilizadas en los muros que conforman una vivienda, son unidades prefabricadas que están normadas por (COGUANOR NTG 41066) Y lo especificado en (AGIES 2010), en el capítulo 10, los cuales son, ladrillos de barro cocido y bloques de concreto, estos deben de cumplir con muchas cualidades que están especificadas en la guía de mampostería, que lleva por nombre Notas Mampóstericas de una Sabandija, en el capítulo 1.
- Mortero: es una mezcla plástica de materiales cementantes y arena bien graduada. Dicha mezcla se utiliza para unir las unidades prefabricadas de

mampostería para conformar un sistema estructural. La dosificación debe de proveer las condiciones de trabajabilidad, capacidad para retener agua, durabilidad y resistencia a compresión, corte, y adherencia, del elemento estructural, además todos los morteros deben cumplir con la Norma COGUANOR NTG 41066 (ASTM C270) la cual especifica las formas de trabajar mejor un mortero.

La resistencia a compresión de la mampostería ( $f_m$ ), no debe ser mayor en un 25% la resistencia del mortero según lo especifica la Norma COGUANOR NTG 41066.

- Refuerzo: el refuerzo utilizado en la construcción de mampostería reforzada es el mismo que en la construcción de concreto reforzado, con excepción del refuerzo de junta. Las barras de refuerzo deben ser corrugadas que cumplan con la Norma ASTM A703 o ASTM A615.

El refuerzo en las juntas horizontales de mortero es colocado en construcciones de mampostería para ofrecer resistencia al corte y a veces para controlar la expansión-contracción de muros de mampostería. El refuerzo de juntas necesita ajustarse a la Norma (ASTM A 951). Debido a que el espesor típico es 3/8 pulgada, el refuerzo en conjunto es mucho menor en diámetro que lo normal en barras corrugadas.

Es importante entender la interacción de estos cuatro materiales en el diseño y construcción de un muro de mampostería. Porque cada material tiene propiedades ingenieriles diferentes y variables, en la construcción se deben tomar en cuenta los factores climáticos y la forma de colocación de cada uno de estos materiales.

## **1.1.2. Clasificación de los muros con base en su resistencia**

La clasificación depende de la función estructural que se le va a dar al muro, no todos los muro transmiten cargas verticales aunque todos los muros deben de estar preparados para soportar cargas horizontales, cuando se habla de una clasificación que depende de su resistencia se está hablando de la demanda que depende del uso que se le da al muro.

### **1.1.2.1. Muros portantes**

Son los que se emplean como elementos estructurales en una edificación, estos muros están sujetos a todo tipo de solicitación, tanto contenida en su plano como perpendicular a su plano, tanto vertical como horizontal y tanto permanente como variable.

Los muros portantes se pueden clasificar de tres maneras, a) muros no reforzados o simples, b) muros reforzados armados y c) muros reforzados confinados.

a) Muros no reforzados: estos muros carecen de refuerzo, o teniéndolo no cumplen con las especificaciones mínimas reglamentarias que debe tener todo muro reforzado.

En algunos países su uso está limitado a construcciones de un piso. Pero existen construcciones de más de un piso que se han comportado de manera adecuada ante fuerzas provocadas por sismos, esto se puede apreciar en países que han tenido la experiencia con terremotos, en los cuales estas estructuras han permanecido en muy buen estado, para Guatemala está el caso de Antigua Guatemala y sus edificaciones de

adobe los cuales han mostrado un comportamiento muy bueno ante sismos y terremotos. Estos muros deben cumplir con (UBC 97) sección 2106.2 y 2107.3.

- b) Muros reforzados armados (mampostería reforzada): se caracterizan por llevar el refuerzo en el interior de la unidad de mampostería. Este refuerzo se distribuye generalmente a lo largo y alto del muro.

Estos muros de requieren de la fabricación de unidades especiales, con celdas donde se pueda colocar el refuerzo vertical según (UBC 97) sección 2107.2.

- c) Muros reforzados confinados: el uso de este sistema es tradicional en casi toda Latinoamérica, con algunas diferencias en el procedimiento de construcción y la fabricación de las unidades de mampostería.

Los muros confinados se caracterizan por estar constituida por un muro de unidades de mampostería simple enmarcado por una cadena de concreto armado, vaciada con posterioridad a la construcción del muro. La conexión que se emplea entre las unidades de mampostería y las columnas es al ras en Guatemala, la cual ha mostrado un buen comportamiento estructural, pero no siempre tiene que ser así en otros países utilizan una conexión dentada, las especificaciones de este sistema se pueden encontrar en (AGIES 2010) capítulo 10 sección 4 y (UBC 97) sección 2106 y 2108.1.

### **1.1.2.2. Muros no portantes**

Estos muros se caracterizan por no recibir carga vertical, pero deben diseñarse básicamente fuera del plano de carga, donde se encuentran cargas de viento, sismo u otro tipo de cargas de empuje.

Estos muros se utilizan en los linderos de edificios o terrenos, y muchos sirven con fines divisorios de espacios, estos soportan su propio peso y tienen una capacidad muy limitada ante fuerzas laterales, así como para absorber deformaciones significativas. En estos muros la falla ocurre por agrietamiento y desplazamiento lateral a lo largo de las grietas. Estos muros deben cumplir con lo especificado en (AGIES 2010), capítulo 10 sección 4,6, y (UBC 97) sección 2106, 2,8.

### **1.1.3. Ubicaciones comunes de los muros**

La ubicación común de los muros de mampostería, depende de las condiciones mínimas de estabilidad frente a la acción de cargas gravitatorias y cargas laterales (viento, sismo). Para esto se utilizan métodos de diseño basados en el efecto estático equivalente. Esto significa que se utilizan fuerzas horizontales aplicadas al edificio de manera que produzcan efectos similares a los que sufriría en el momento del sismo. En definitiva se quiere predecir el comportamiento de la estructura.

Los sismos han demostrado repetidamente que las estructuras más simples tienen mayor oportunidad de sobrevivir.

Para que el método estático mencionado anteriormente sea representativo, es necesario contar con simetría estructural (regularidad en

planta y en altura). Para esto se hace necesario plantear algunos principios básicos en la selección del sistema estructural y la ubicación de los muros de mampostería.

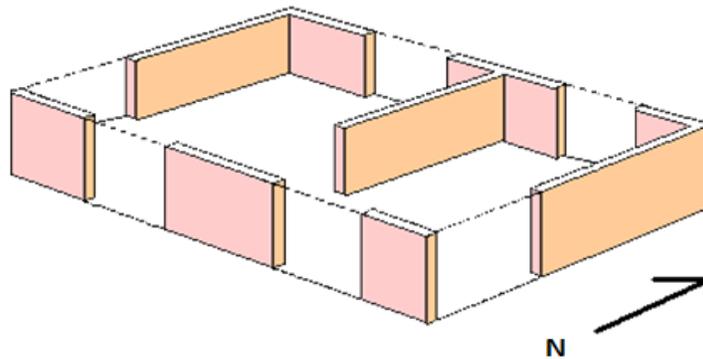
La estructura debe ser preferentemente:

- Simple
- Simétrica
- No alargada en planta o elevación
- Uniforme en distribución de los planos en los muros
- Proyectada de modo tal que los elementos estructurales se relacionen para permitir un buen detallado en las uniones.

Estas condiciones son una restricción a la libertad arquitectónica, pero por otra parte obligan al proyectista a incorporar conceptos básicos y organización u ordenamiento estructural desde la primera etapa del proceso de diseño.

En la mayoría de los sistemas estructurales, los elementos verticales más comunes son los muros de mampostería. A continuación se presentan dos figuras para ilustrar la ubicación correcta e incorrecta de los muros de mampostería.

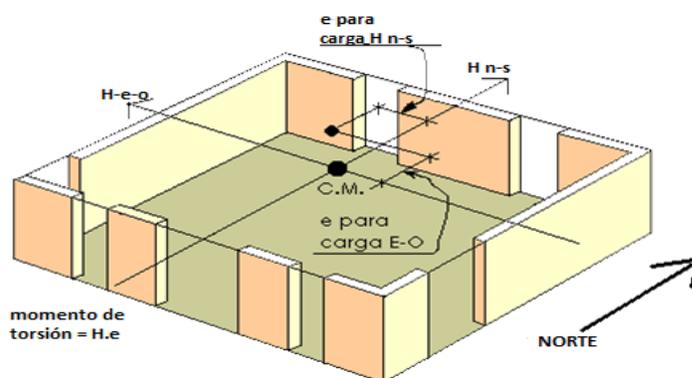
Figura 1. **Simetría en muros portantes de mampostería**



Fuente: GOMES, José Luis. Estructuras en Arquitectura. <http://www.lorenzoservidor.com.ar/facu01/modulo2/modulo2.htm>. Consulta: 7 de mayo de 2011.

En la figura se ilustran los planos resistentes a fuerzas laterales, estos planos están distribuidos simétricamente haciendo que la resultante de las reacciones de los muros, coincida con el centro de masas de la planta donde estaría aplicada la acción.

Figura 2. **Asimetría en muros portantes de mampostería**



Fuente: GOMES, José Luis. Estructuras en Arquitectura. <http://www.lorenzoservidor.com.ar/facu01/modulo2/modulo2.htm>. Consulta: 7 de mayo de 2011.

En esta figura se muestra una estructura donde la asimetría de los planos verticales resistentes hacen que no coincida el centro de rigidez o (centro de resistencia) con el centro de masa (en este caso coincide con el centro de gravedad de la planta como suele ocurrir frecuentemente). Esta no coincidencia entre centro de gravedad y centro de masa produce un efecto de torsión que habrá que tratar de minimizar con excentricidades en un rango permitido.

La distribución de muros tanto en planta como en elevación y separación inadecuada, asimismo la ausencia de una cantidad de muros en la planta baja, lo cual conduce a la formación de un mecanismo de piso suave.

#### **1.1.4. Alturas de construcción en muros**

La altura en muros de mampostería depende del uso, ya que se le ha dado muchos usos como por ejemplo: muros de contención, tanques de agua potable, colindancias de tierras y lo más común en viviendas.

Cuando se habla de alturas efectivas en los muros, debe tomarse como altura libre de los miembros soportados lateralmente soportados en su parte superior e inferior en una dirección normal a la del eje del miembro en consideración. La altura efectiva es el doble de la altura del miembro sobre el apoyo. Puede utilizarse una altura efectiva menor que la altura libre cuando se justifica el uso. (UBC 97) sección 2106.2.4.

#### **1.1.5. Densidad mínima de los muros**

Cuando se habla de la densidad de muros, se está hablando de la cantidad de muros en cada dirección. En realidad es necesario que se realice

un proyecto de ingeniería estructural que calcule los muros necesarios, refuerzo, confinamiento, etc.

El cálculo preliminar a nivel de anteproyecto o dimensionamiento de la vivienda, es denominado, verificación de la densidad de muros. Este procedimiento es sumamente simple y consiste en hallar la densidad de muros en cada piso, la cual se define como la relación del área de los muros al área de la planta del piso en estudio. La relación debe verificarse rigurosamente en ambas direcciones. No se consideran aquellos muros cuya longitud es menor a 30 centímetros el valor debe ser comparado con los valores propuestos por el comité de la norma de diseño de albañilería que detalla la siguiente tabla:

Tabla I. **Densidad para muros de mampostería**

Suelo Tipo	Zona-3	Zona-2	Zona-1
S1	4%	3%	1%
S2	4%	3%	2%
S3	5%	4%	2%

Fuente: CISMID/FIC/UNI, construyendo albañilería con tecnologías apropiadas. p. 22.

Aquí se muestra la densidad mínima para muros requeridas en viviendas, expresada porcentualmente como una función de la zona sísmica y del tipo de suelo de cimentación detallado en la norma de diseño sismo resistente UBC 97, Vol. 2.

Para proveer un reparto uniforme de la responsabilidad de resistir las fuerzas sísmicas en el rango inelástico, los muros confinados que se dispongan en cada una de las direcciones principales deben tener longitudes similares.

Las longitudes de aquellos muros confinados que estén en un mismo plano vertical, no deben sumar más de la mitad de la longitud total de los muros confinados en esa dirección.

Otra forma de verificación de la densidad mínima de muros confinados, con el objetivo de evitar el colapso de la edificación por deficiencia en la resistencia a carga lateral es la siguiente: en la etapa de predimensionamiento se debe proporcionar en cada dirección principal de la edificación, una densidad mínima de muros confinados, tal que se cumpla la expresión mostrada. Los muros restantes pueden carecer de confinamientos, e incluso ser portantes de carga vertical ya que al estar conectados todos los muros al diafragma (losa de techo), su desplazamiento lateral será controlado por el conjunto de muros estructurales confinados.

— —

En la expresión anterior, Z, U y S son los factores empleados en el cálculo del cortante basal “V” y se encuentran especificados en la Norma (UBC 97), “N” es el número de pisos del edificio; “L” es la longitud horizontal total del muro; “t” es su espesor descontado el tarrajeo, salvo que éste se aplique sobre una malla conectada al muro; y, “Ap.” Es el área en planta del piso típico.

#### **1.1.6. Cantidad mínima de muros en cada dirección**

Para proveer la cantidad de muros con un reparto uniforme de responsabilidad de resistir las fuerzas en el rango inelástico, los muros confinados que se dispongan en cada una de las direcciones principales deben tener longitudes similares. Las longitudes principales de aquellos que estén en

un mismo plano vertical, no deben sumar más de la longitud total de los muros confinados en esa dirección.

Para efectos de contabilizar la longitud de los muros confinados en cada dirección principal, solo deben tenerse en cuenta aquellos muros que están confinados, que son continuos desde la cimentación hasta la cubierta, y que no tienen ninguna abertura entre columnas de confinamiento.

## **1.2. Aspectos constructivos**

Son los detalles que parecieran no tener mucha importancia debido a que no son muy apreciables ante los ojos, y que también no juegan un papel importante arquitectónicamente, pero son importantes porque de ello depende la continuidad entre unidades de mampostería y de los muros.

### **1.2.1. Calidad de juntas de pega en morteros**

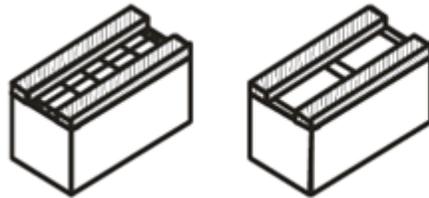
El mortero de pega es el elemento que une las unidades de mampostería a través de juntas verticales y horizontales, en virtud de su capacidad de adherencia, debe tener buena plasticidad y consistencia para poder colocarlo adecuadamente y suficiente capacidad de retención de agua para que las unidades de mampostería no le roben la humedad y se pueda desarrollar la resistencia de interface mortero-unidad, mediando la correcta hidratación del mortero de pega.

Por lo general está constituido por cemento, cal, arena, agua y aditivos; todo esto depende de de las condiciones de trabajo. Se puede emplear cemento portland corriente, o cemento para mampostería el cual proporciona mayor plasticidad y retención de agua.

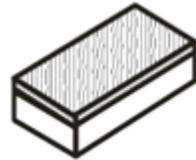
Por la importancia de los morteros de pega utilizados en muros de mampostería debe cumplir con la Norma (ASTM C270 y UBC 97 sección 2 103), los morteros premezclados para pega de unidades de mampostería debe cumplir con la Norma (ASTM 1 142) con el objetivo de alcanzar una buena plasticidad, consistencia y ser capaces de retener el agua mínima para la hidratación del cemento además garantizar la adherencia con la unidades de mampostería para desarrollar su acción cementante.

Figura 3. **Colocación del mortero en diferentes unidades de mampostería**

Unidades de mampostería con huecos



unidades de mampostería sin huecos



Fuente: CIRSOC 501 E. Reglamento argentino de estructuras de mampostería. P C12.

La tabla 21-A del código UBC 97 indica la dosificación del mortero en cuanto a volúmenes y los clasifica por tipo en cuanto a los componentes de mezclado.

Para tener un mortero de calidad se debe iniciar con una dosificación que cumpla con los requisitos en los códigos antes mencionados, la dosificación se debe hacer por peso, pues la dosificación por volumen conlleva el problema del hinchamiento de la arena con la humedad, que origina un aumento de volumen por la presión del agua sobre las partículas.

Aunque la expansión por sí sola no tiene ningún efecto nocivo en el mortero, cuando se colocan volúmenes fijos de arena y ésta está hinchada, se presenta insuficiencia de dicho material, que origina morteros más costosos por el aumento de cemento por volumen real de mortero producido.

Si los componentes de la mezcla se miden por peso, el efecto de hinchamiento no tiene tanta importancia. Simplemente se tiene en cuenta la humedad de la arena para hacer correcciones sobre la cantidad que aportará a la mezcla y reducir la del agua adicionar.

Unas características en los morteros de cemento Portland y cal, son que el cemento contribuye a la durabilidad, la resistencia temprana, una tasa de endurecimiento uniforme y una alta resistencia a la compresión; la cal añade impermeabilidad, adherencia y baja contracción. Los morteros hechos solamente de cemento arena más agua, no retiene bien el agua y su adherencia es muy pobre.

Para lograr una adherencia adecuada es necesario que la superficie de las unidades de mampostería sea de textura lisa y abierta. Para permitir la unión mecánica del mortero y la unidad, ésta debe tener una absorción adecuada, compatible con el mortero. Las unidades muy absorbentes sustraen el agua del mortero y no permiten la hidratación del cemento en la superficie que los une. Por el contrario, las unidades las unidades totalmente impermeables impiden la creación de una superficie de contacto.

Es importante también que el mortero tenga la suficiente plasticidad y la retención de agua necesaria para que no se debilite la unión con la unidad, que debe ser tan íntima como sea posible.

### **1.2.2. Calidad de juntas en los materiales**

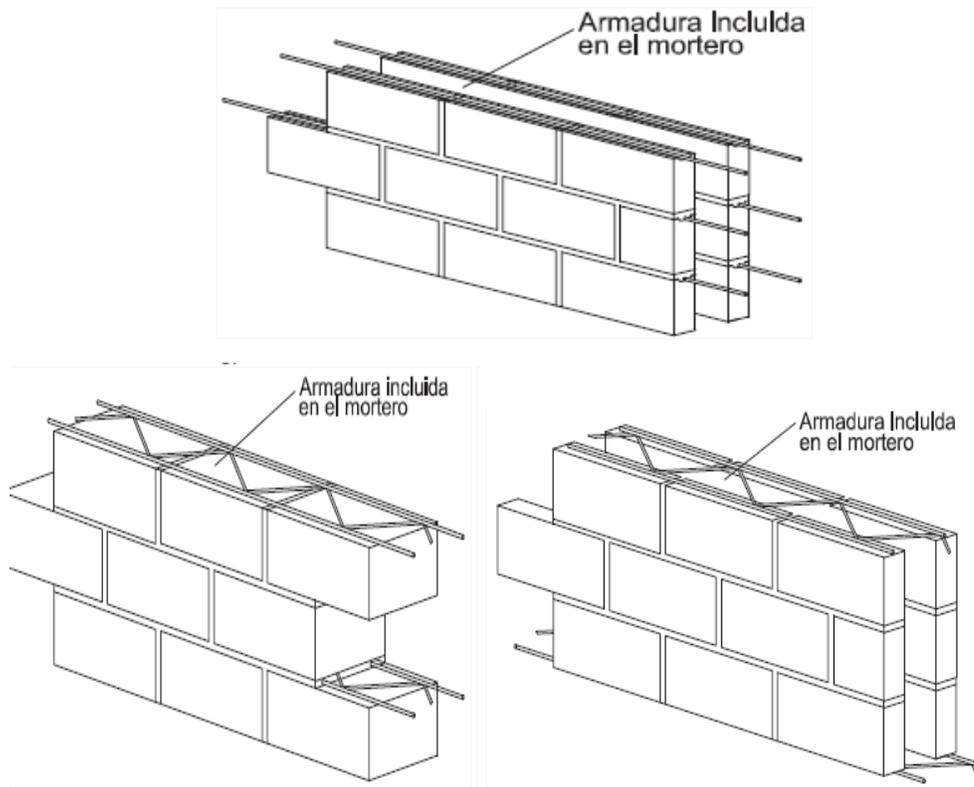
En esta parte el enfoque es directamente a las juntas que además de llevar mortero llevan algún tipo de refuerzo, los casos más comunes son las soleras en mampostería confinada y el refuerzo horizontal que se utiliza en mampostería reforzada armada el cual va introducido en el espesor de las cisas.

Existen distintos tipos de refuerzo que deben estar embebidas en el mortero para que estos puedan transmitir los esfuerzos entre las unidades de mampostería, el cual tiene como función estructural la de absorber los esfuerzos de tracción compresión y cortante entre otros.

El refuerzo más corriente en la mampostería estructural es el de barras de acero las que deben cumplir con las Normas (ASTM A884 o A934). Este refuerzo horizontal se debe colocar en el muro a medida que este se va construyendo y siguiendo las indicaciones del diseñador estructural por medio de los planos, este refuerzo también contribuye al control de las fisuras por contracción del muro (unidades + mortero de pega).

Los tipos más comunes de refuerzo horizontal son las soleras, costillas, la malla y el alambón; los recomendados para ser empleados en la mampostería estructural son aquellos que no taponan las celdas que llevan refuerzo y mortero de inyección tales como alambón, la escalerilla y la retícula de malla electro soldada. Los dos últimos se deben modular de manera que coincidan con los tabiques de los bloques.

Figura 4. **Juntas con refuerzo incluido**



Fuente: CIRSOC 501 E. Reglamento argentino de estructuras de mampostería. P C16.

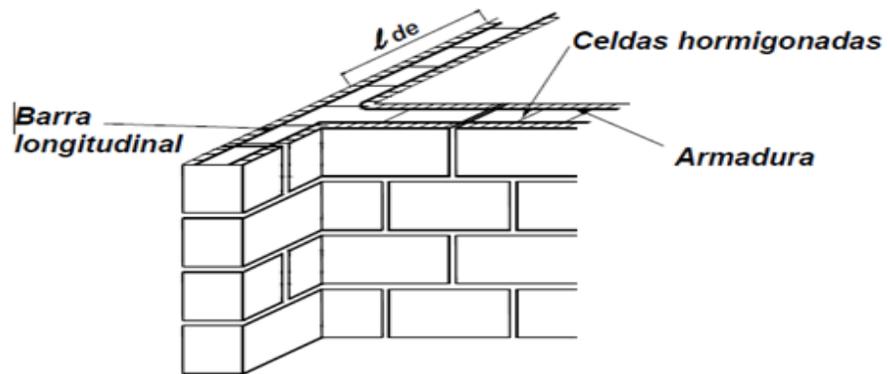
### 1.2.3. **Anclaje horizontal y vertical de muros**

El tema de los anclajes en esta parte, está dirigida a la forma en que los muros se estabilizan o se sostienen ante fuerzas horizontales, también podemos referirnos a anclaje como una forma de conectar algo. La efectividad de los anclajes para transmitir fuerzas entre elementos debe ser determinada por un análisis o de ensayos.

Es común hablar de anclajes cuando se utilizan métodos constructivos prefabricados los cuales están especificados en capítulo 18 del (ACI 318, 2008); en el caso de la mampostería es más conocido como conexiones ya que se realizan fundiciones monolíticas en las cuales se debe tener el cuidado de adherencia de los materiales utilizados y que en algunos casos se utilizan anclajes mecánicos.

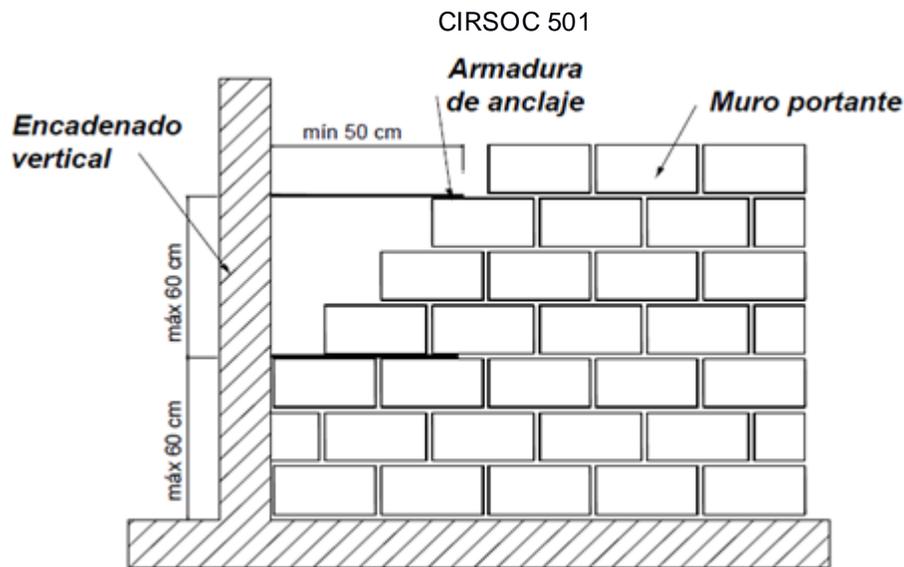
Los muros transversales deben de levantarse simultáneamente con los perimetrales. Si la construcción simultanea de estos muros resulta muy difícil de efectuar, se podrán dejar huecos en los muros (endentado) para que sirvan de unión a las unidades de mampostería de la otra pared o usar conectores metálicos.

Figura 5. **Armaduras de anclaje en encuentros de muros**



Fuente: CIRSOC 501 E. Reglamento argentino de estructuras de mampostería. p. 36.

Figura 6. **Armaduras de anclaje en encuentros de muros a cada 60 cm**



Fuente: CIRSOC 501 E. Reglamento argentino de estructuras de mampostería. p. 42.

El anclaje de las barras de refuerzo (solera de empalme) en las fundaciones, son el refuerzo y debe coincidir con los centros de las perforaciones de los bloques, a menos que se especifique lo contrario en los planos estructurales. Se debe utilizar algún separador que fije la posición de cada barra y en ningún caso se permitirán que las barras se recuesten contra la pared del bloque.

### 1.3. **Acciones sobre muros de mampostería**

Uno de los requisitos más importantes en la construcción de un muro de mampostería, es que este soporte cualquier tipo de acciones, en especial se puede mencionar la acción de los sismos moderados y frecuentes. El principal objetivo es lograr que este se comporte elásticamente, sin que se agriete y sin disminuir su resistencia.

### **1.3.1. Acciones permanentes**

Las acciones permanentes son las que obran en forma continua sobre la estructura y la intensidad varia poco con el tiempo, las principales acciones que pertenecen a esta categoría son: la carga muerta; el empuje estático de suelos y líquidos y las deformaciones y desplazamientos a la estructura que varían poco con el tiempo, como los debidos a presfuerzo o a movimientos diferenciales permanentes de los apoyos.

Para acciones permanentes se debe tomar en cuenta la variabilidad de las dimensiones de los elementos, de los pesos volumétricos y de las otras propiedades relevantes de los materiales, para determinar un valor máximo probable de la intensidad. Cuando el efecto de la acción permanente sea favorable de la estabilidad de la estructura, se determinara un valor mínimo probable de la intensidad.

Es importante definir las acciones que pueden obrar sobre las construcciones, se consideran tres categorías de acciones, y la acción permanente es una de ella, de acuerdo con la duración en que obran sobre las estructuras con su intensidad máxima.

Se deben establecer condiciones de seguridad y de servicio que contrarresten cualquier acción que pueda generarse sobre las construcciones. La importancia de estas acciones se debe a que con ellas se verifica la resistencia de las estructuras.

### **1.3.2. Acciones variables**

Esta es la segunda acción a considerar y se debe tomar en cuenta la tercera acción, que es la acción accidental.

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 la temperatura; las deformaciones impuestas y los hundimientos diferenciales que tengan una intensidad variable con el tiempo, y las acciones debidas al funcionamiento de la maquinaria y equipo, incluyendo los efectos dinámicos que pueden presentarse debido vibraciones, impacto o frenado.

Para acciones variables se determinan las intensidades siguientes que correspondan a combinaciones de acciones para las que deba revisarse la estructura:

- La intensidad máxima se determina como el valor máximo probable durante la vida esperada de la construcción, se emplea para combinación con los efectos de acciones permanentes.
- La intensidad instantánea se determina como el valor máximo probable en el lapso en que pueda presentarse una acción accidental, como el sismo, y se emplea para combinaciones que incluyan acciones accidentales o más de una acción variable.
- La intensidad media se estimara como el valor medio que puede tomar la acción en lapso de varios años y se emplea para estimar efectos a largo plazo.

- La intensidad mínima se emplea cuando el efecto de la acción es favorable a la estabilidad de la estructura y se tomara, en general, igual a cero.

Las acciones accidentales son las que no se deben al funcionamiento normal de la edificación y que pueden alcanzar intensidades significativas solo durante lapsos breves. Pertenecen a esta categoría: las acciones sísmicas; los efectos del viento; las cargas de granizo; los efectos de explosiones, incendios u otros fenómenos que puedan presentarse en casos extraordinarios. Es necesario tomar precauciones, en la estructura, la cimentación y detalles constructivos, para evitar un comportamiento catastrófico de la edificación para el caso de que ocurran estas acciones.

La seguridad de una estructura debe verificarse para el efecto combinado de todas las acciones que tengan una probabilidad no despreciable de ocurrir simultáneamente, considerándose dos categorías de combinaciones.

- Para las combinaciones que incluyan acciones permanentes y variables, se consideran todas las acciones permanentes que actúen sobre la estructura y las distintas acciones variables, de las cuales las más desfavorables 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 a largo plazo.

Para la combinación de carga muerta mas carga viva, se emplea la intensidad máxima que se establecen en los códigos de diseño, como el ACI 318, considerando uniforme y repartida sobre todo el área, cuando se tomen en cuenta distribuciones de carga viva más desfavorables que la

uniformemente repartida, deberán tomarse los valores de la intensidad especificada en los códigos de construcción.

- Para las combinaciones que incluyan acciones permanentes, variables y accidentales, se consideran todas las acciones permanentes, las acciones variables con sus valores instantáneos y únicamente una acción accidental en cada combinación.

En ambos tipos de combinación los efectos de todas las acciones deben multiplicarse por factores de carga apropiados según los reglamentos.

Las intensidades causadas por cualquier acción no especificada deben justificarse en la memoria de cálculo y considerarse en los planos.

### **1.3.3. Fuerzas axiales**

Las fuerzas axiales son generadas globalmente, por cargas permanentes que afectan a los miembros estructurales en su eje neutro. Aunque en este caso se le da más importancia a las fuerzas axiales generadas por cargas gravitacionales permanentes y variables.

El muro, debe verificarse para las cargas axiales de compresión, la carga axial de cada muro se puede determinar aproximadamente calculando todas las cargas que llegan hacia él y añadiendo el peso propio del muro.

### **1.3.4. Fuerzas cortantes máximas en la base**

Para poder predecir la resistencia de las estructuras, así como sus deformaciones es fundamental conocer las propiedades de los materiales de

que están compuestas, en el caso de la mampostería confinada se tienen como elementos constructivos; el concreto, el refuerzo, las unidades de mampostería o tabiques y el mortero para unir estas piezas.

Para garantizar la calidad de cada uno de los materiales que se utilizan en un muro de mampostería se deben realizar ensayos que están normalizados, para cada componente o material que se utiliza en los muros de mampostería.

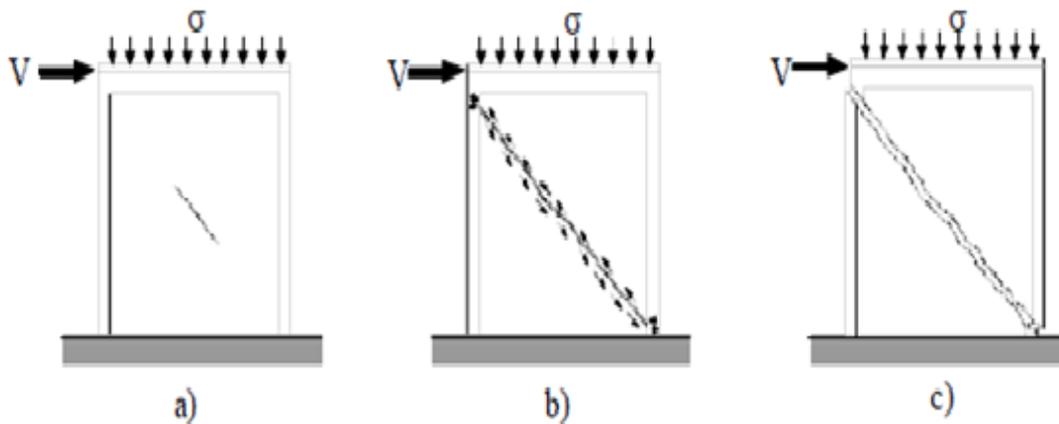
Mientras más complejo y detallado sea el modelo para analizar la estructura, y más representativos sean las propiedades de los materiales usados, se tendrá una mayor aproximación al fenómeno real, Sin embargo debido a muchas incertidumbres de los parámetros que se toman en los análisis, el proceso constructivo, el uso real al que sea sometida la estructura en su vida útil y en especial los materiales constructivos, pueda no justificarse un análisis muy refinado.

Cuando se hace habla de fuerzas cortantes máximas en la base, se debe de considerar que los muros de mampostería no siempre se construyen de la misma forma, como lo es el caso de mampostería confinada. El cual se puede construir sin refuerzo horizontal en el centro del muro o con refuerzo; el refuerzo es el principal elemento cuando se quiere contrarrestar el cortante en un muro de mampostería.

Cuando un muro de mampostería estándar en espesor y altura de una vivienda, es sometido a fuerzas horizontales y se produce el primer agrietamiento, se presenta un comportamiento aproximadamente elástico lineal, de esta manera el agrietamiento inclinado atraviesa el muro y llega a la base.

La resistencia máxima se obtiene cuando las grietas penetran en los extremos de las columnas que confinan las unidades de mampostería desintegrándose el concreto como se muestra esquemáticamente en la figura.

Figura 7. **Agrietamiento en muros confinados**



Fuente: FLORES, Leonardo; ALCOECER, Sergio. Estudio analítico de estructuras de mampostería confinada. p. 29.

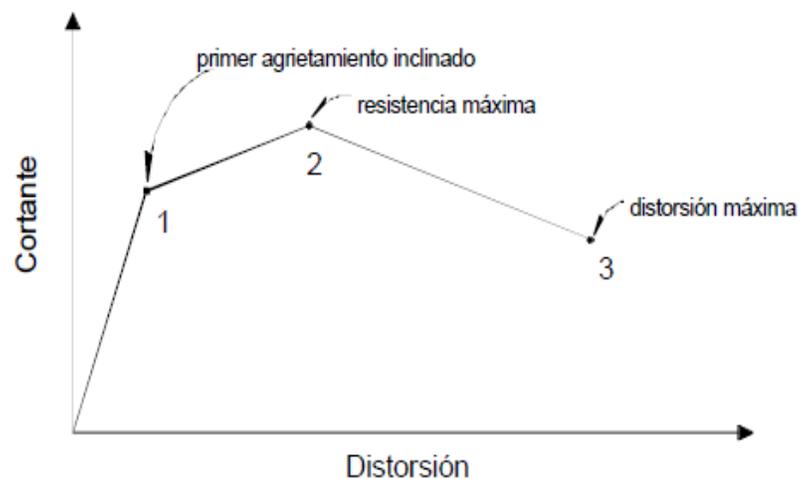
En los muros de mampostería con refuerzo horizontal se tiene el mismo comportamiento inicial que en los muros no reforzados hasta que se produce el agrietamiento inclinado (figura 7b) es entonces cuando empieza a trabajar el refuerzo horizontal formándose un mecanismo de armadura similar al que se forma en las vigas al trabajar los estribos ante fuerzas cortantes. Esto no es por mucho tiempo ya que llegara el momento en que se presente la fractura del refuerzo del refuerzo horizontal en una reacción en cadena, terminando por penetrar el agrietamiento en las columnas que confinan la mampostería según la figura 7c.

El intervalo entre la aparición del primer agrietamiento inclinado y la resistencia máxima del elemento se caracteriza por el aumento del agrietamiento y paulatinamente la formación de grietas diagonales principales acompañado de una reducción de la rigidez lateral. No obstante, durante esta etapa se alcanzan resistencias mayores a la del primer agrietamiento inclinado.

Posterior a la resistencia máxima, la respuesta de la estructura se caracteriza por grandes desplazamientos asociados a degradaciones de la rigidez y de la resistencia. Eventualmente se alcanza una condición tal que es difícil de mantener la carga vertical que está siendo aplicada, lo cual denota que la estructura se vuelve inestable.

La forma típica de la envolvente de la respuesta de un muro de mampostería sometido a cargas verticales y horizontales.

Figura 8. **Envolvente de respuesta**



Fuente: FLORES, Leonardo; ALCOCER, Sergio. Estudio analítico de estructuras de mampostería confinada. p 30.

Entre el inicio y el punto 1 de la (figura 8) se considera que la estructura se mantiene dentro del intervalo elástico- lineal, aquí se presenta la rigidez inicial que depende de la geometría del elemento y de la rigidez de los materiales y se limita por la carga de agrietamiento que depende de la resistencia a cortante de la mampostería. Entre los puntos 1 y 2 aparece, crece y se generaliza el agrietamiento inclinado de la mampostería. En este tramo se aprecia una reserva de capacidad y una disminución de rigidez debido a la distribución y crecimiento del agrietamiento. En esta etapa es donde trabaja el refuerzo horizontal impidiendo que se abran las grietas y distribuyendo el daño. Por último, del punto 2 al 3 ocurre la penetración y desintegración en los elementos de concreto que confinan la mampostería.

#### **1.3.5. Efectos de torsión**

Los efectos torsionales originados por la acción sísmica se analizan según la dirección, aplicando en esa dirección un sistema de fuerzas horizontales y obteniendo un momento torsor acumulado.

Los efectos torsionales se establecen considerando la no coincidencia del centro de rigidez y el centro de masa, encontrando una excentricidad entre ambos. Ya que en torno a la rigidez la estructura tiende a rotar cuando existen fuerzas de torsión. Cuando ocurre un sismo la fuerza generada actúa en el centro de masa de la estructura y el momento torsor es el producto de la fuerza sísmica por la excentricidad del centro de masa con respecto al centro de rigidez.

### 1.3.6. Rigidez en muros

Cuando se hace un análisis de estructuras es necesario conocer la rigidez de los elementos de que están compuestas, el caso estudiado aquí trata de un muro de mampostería que está relacionado con el resto de muros que conforman la construcción de una vivienda.

Existen métodos para estimación de las acciones sísmicas, el método simplificado es útil para obtener resultados aproximados en estructuras bajas, pero no toma en cuenta las rigideces reales de la estructura, la importancia de estas es porque de ellas dependen los periodos de vibración y, en general, la respuesta ante un sismo.

En la rigidez de un muro largo dominan las deformaciones por cortante, pero también influyen las deformaciones por flexión las cuales son importantes en muros cortos. En las deformaciones por flexión se involucra las restricciones que poseen los muros en los extremos como el caso del sistema de piso con o sin solera corona bajo la losa o el caso de las aberturas por ventanas y puertas.

Existe mucha complejidad en el análisis de un muro de mampostería, por lo cual los métodos utilizan criterios simplistas cuando se cumplen requisitos de regularidad, limitación de altura y otros, por ejemplo: por ejemplo la primera simplificación es analizar la estructura como elástica para después corregir la respuesta en base a la ductilidad. Otra simplificación consiste en reducir los grados de libertad en desplazamientos laterales a nivel de losas y hacer el análisis en una sola dirección. Por tanto, el cálculo de las rigideces laterales se puede hacer ya sea por una condensación estática, que es un método matricial, o bien empleando fórmulas aproximadas de rigidez de entrepiso.



## **2. CARACTERÍSTICAS PARA DETERMINAR ABERTURAS MÁXIMAS**

Existen muchas características que se deben tomar en cuenta para analizar aberturas en muros, pero estas dependen de que parte del comportamiento del mismo se desee enfatizar.

### **2.1. Estimación de respuesta máxima en el muro**

Cuando se habla de respuesta máxima, se habla del comportamiento real o analítico que presenta una estructura ante sollicitaciones del cualquier tipo. Se debe tener claro que en edificaciones de varios niveles, el comportamiento de los niveles superiores es diferente al de planta baja, esto se debe a que tienen menor carga vertical y no influyen en forma tan importante en la respuesta del edificio. Este hecho ha sido constatado en evaluaciones de daños después de sismos. En estos eventos los daños se concentran en los muros de planta baja, mientras que los pisos superiores no exhiben ningún daño de modo que su comportamiento se mantiene en el intervalo elástico.

### **2.2. Capacidad de disipar energía**

Conocer la capacidad última de disipación de energía de una estructura es útil para: evaluar de forma cuantitativa su vulnerabilidad y relacionarla con los niveles de peligrosidad sísmica de la zona donde se ubica, dimensionar, reacondicionar para reducción de riesgo sísmico empleando sistemas de control (disipadores de energía).

La capacidad de disipación de energía de una estructura es una manera muy adecuada de caracterizar su sismorresistencia, la capacidad sismorresistente de la estructura se caracteriza mediante una magnitud escalar que expresa la cantidad máxima de energía que es capaz de disipar hasta su colapso cuando se somete a movimientos cíclicos impuestos de tipo sismo.

La estimación de la capacidad última de una estructura para disipar energía se vuelve muy compleja, porque el análisis se debe realizar por métodos no lineales los cuales podemos encontrar en tesis doctorales de análisis estructural para hormigón armado.

Uno de los métodos más aceptables está basado en la teoría de la energía de Housner Akiyama, el cual se basa en la ecuación diferencial que gobierna el movimiento, esta ecuación toma en cuenta la fuerza de inercia, fuerza de amortiguamiento y la fuerza de restauración del sistema.

### **2.3. Muro reforzado**

Los muros reforzados se caracterizan por llevar el refuerzo con acero en el interior de la mampostería y su distribución es vertical y horizontal.

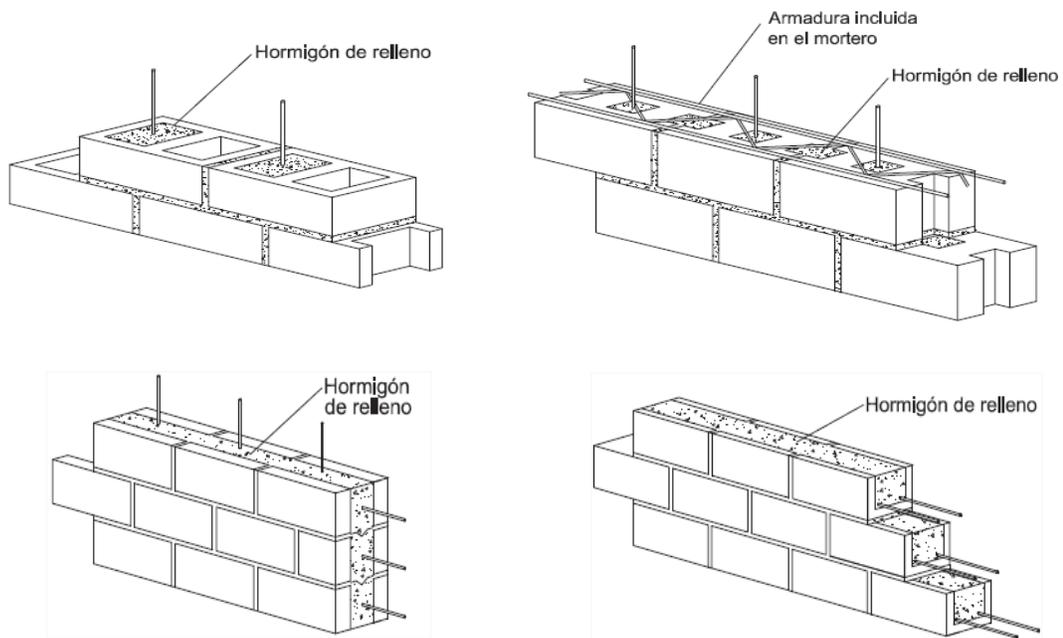
Debido a la forma de construir con este método se necesita mano de obra calificada y unidades de mampostería especiales para poder colocar el refuerzo, además se debe utilizar un concreto fluido más conocido como *grout*, con un revenimiento comprendido entre 8 y 11 pulgadas.

El concreto fluido debe de vaciarse en los alveolos y verificar que se llenen todos los vacíos, en caso donde todas las cavidades se llenan se garantiza un sistema con capacidad especial de disipación de energía, dentro del rango

inelástico, pero si solo se llenan las cavidades donde va colocado el refuerzo, actúa como un sistema con capacidad moderada de disipación de energía dentro del rango inelástico.

Aunque la respuesta estructural de las edificaciones de mampostería varía de acuerdo a región del país en el cual se encuentre, estos elementos son susceptibles a sufrir daños severos durante eventos sísmicos, cual conlleva a determinar los comportamientos típicos de las mismas a esfuerzos de compresión, cortante, tracción, flexo-compresión y cortante, y bajo cargas cíclicas y dinámicas en el plano.

Figura 9. **Tipos de muros reforzados internamente**



Fuente: CTE. Código técnico de la edificación. p. 112.

## **2.4. Muro confinado**

Se denominan muros confinados a los muros de mampostería que tienen el refuerzo vertical y horizontal concentrado en elementos de concreto, conocidas como mochetas y soleras respectivamente. Los muros confinados son un sistema muy utilizado para construcciones de viviendas y otras construcciones importantes, la importancia de estos muros se debe al comportamiento satisfactorio que ha presentado ante sismos moderados.

La importancia de este sistema radica en el confinamiento que proporciona a los muros de mampostería ya que funcionan como un zuncho (abrazadera, anillo de refuerzo), evitando que los muros, al agrietarse, queden totalmente sueltos. Adicionalmente, las columnas y soleras contribuyen a mantener la capacidad ante cargas laterales y más aún, a incrementarla después del agrietamiento inicial. Asimismo, con una adecuada cantidad y distribución del refuerzo permiten un aumento en la capacidad de deformación lateral de los muros y la disminución del deterioro de rigidez y de resistencia.

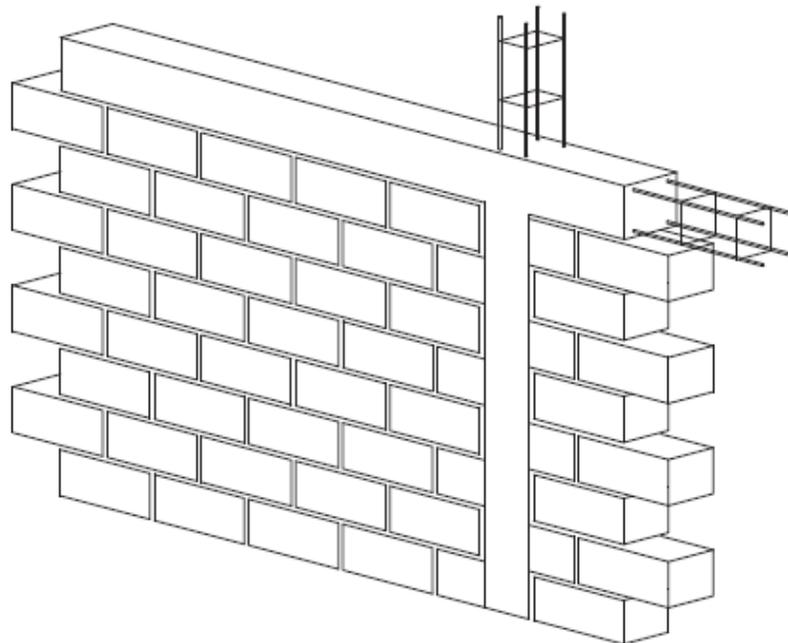
El comportamiento de un muro confinado depende de: la calidad de unidades de mampostería, las dimensiones, la cuantía de refuerzo y el confinamiento horizontal y vertical, el objetivo principal es lograr que este trabaje en conjunto como un solo elemento para resistir momentos flexionantes.

Es importante señalar que el comportamiento sísmico de un tabique en el interior de un pórtico principal de concreto armado, es totalmente diferente al comportamiento de los muros confinados. La razón fundamental de esa diferencia se debe al procedimiento de construcción, al margen del tipo de unidad o mortero que se emplea en cada caso.

Los muros deben de tener un espesor nominal mínimo de 140 milímetros. La relación entre distancias sin apoyos, ya sea horizontal o vertical, y el espesor del muro, deberá ser tal que atienda adecuadamente el pandeo tanto horizontal como vertical. Los muros no estructurales que soportan tan solo su propio peso podrán tener un espesor mínimo de 100 milímetros y una relación de la distancia sin apoyos al espesor, máximo igual a 30.

La zona de interconexión concreto mampostería es débil, lo que hace que ante la acción de sismos leves se separen dichos elementos, trabajando la mampostería como un puntal en compresión y la mampostería se deforma básicamente por corte.

Figura 10. **Muro confinado con vigas y columnas de hormigón armado**



Fuente: CTE. Código Técnico de la Edificación. p. 134.

## 2.5. Vigas soleras

Las vigas soleras son elementos horizontales que sirven para confinar las unidades de mampostería y son los principales elementos que contrarrestan los esfuerzos cortantes.

El ancho mínimo de las soleras de los muros estructurales deberá ser el espesor del muro y el área de su sección no deberá ser menor que , y si se habla de muros confinados el área de acero mínimo para refuerzo horizontal es de 0,0015 veces el área de la sección transversal.

Para edificaciones de un nivel (AGIES) indica que existen tres tipos de soleras: solera hidrófuga, solera intermedia y solera superior o de techo. Cuando se trate de edificaciones de dos niveles se deberá agregar una solera de entrepiso. Si la altura libre del muro es mayor a 2,80 metros, se deberá colocar más de una solera intermedia.

Tabla II. **Acero de refuerzo mínimo para solera**

<b>Tipo de solera</b>	<b>Refuerzo mínimo</b>
Hidrófuga	4 No. 3; Estribos No. 2 a 200 mm
Intermedia	2 No. 3; Estribos No. 2 a 200 mm
Entrepiso	4 No. 3; Estribos No. 2 a 200 mm
Superior <sup>(a)</sup>	4 No. 3; Estribos No. 2 a 200 mm

Fuente: AGIES 2010. Asociación guatemalteca de ingenieros estructurales, mampostería reforzada. p. 45.

La solera superior con índice (a) es aplicado en construcciones para un nivel cuya área de construcción no excede 70 metros cuadrados, el concreto que se utilice en soleras, sillares y dinteles de muros estructurales deberá tener una resistencia a los 28 días de 176 kilogramos/centímetros cuadrados.

## **2.6. Áreas críticas del muro**

Es importante la verificación de áreas críticas de un muro de mampostería y se puede realizar en el estado límite último del agotamiento resistente.

Directamente las áreas críticas están relacionadas con la concentración de cargas de servicio o de características arquitectónicas, cuando se presentan cargas puntuales se espera que estas se dispersen en el muro. Y podemos analizar fajas representativas de sus acciones con un ancho conveniente de 6t.

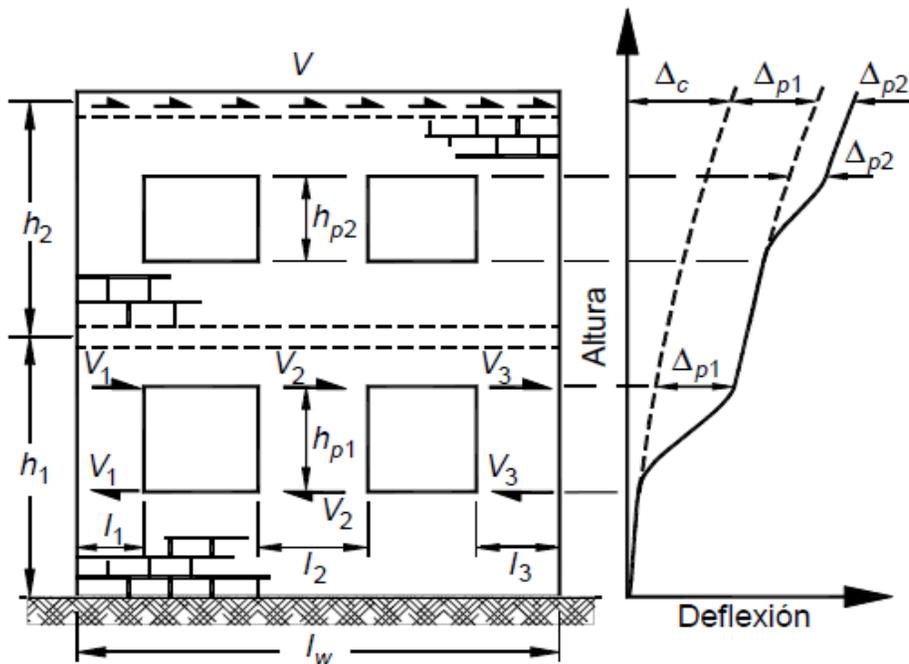
En todo caso para cargas puntuales se tiene una doble consideración, la primera; una consideración dispersa y la segunda una verificación local de no aplastamiento de la mampostería en la superficie de apoyo de la carga.

El elemento constructivo que produce la descarga puntual en el muro genera, en su apoyo, tensiones que pueden superar la capacidad resistente de la mampostería y producir la rotura local del muro.

Los requerimientos arquitectónicos para el adecuado funcionamiento de una vivienda necesitan aberturas en los muros las cuales generan áreas críticas. Las aberturas más comunes se deben a la presencia de ventanas y puertas, obviamente, el funcionamiento de este muro de mampostería no es el mismo que un muro continuo sin aberturas, por lo cual se debe saber cuantificar el efecto de las aberturas en el comportamiento de los muros de una vivienda.

El primer efecto de las aberturas en un muro es disminuir su rigidez lateral. Esto quiere decir que para la misma carga lateral, una vivienda con aberturas tendrá mayores desplazamientos laterales que una vivienda que en sus muros no tenga aberturas.

Figura 11. **Desplazamiento en edificaciones de mampostería**



Fuente: RUIZ, J.; SÁNCHEZ, T.; MIRANDA, E. observaciones sobre el comportamiento y diseño de edificaciones de mampostería en zonas sísmicas. p 43.

El desplazamiento lateral de esta estructura se muestra en forma esquemática en la figura anterior, En la cual la línea sólida muestra el desplazamiento total. El desplazamiento total puede aproximarse conformado por un desplazamiento  $\Delta_c$  del muro sin aberturas más las deflexiones adicionales producidas en los muretes (mampostería entre aberturas),  $\Delta_{p1}$  y  $\Delta_{p2}$  de los niveles 1 y 2, respectivamente.

Las demás variables se pueden apreciar en la (figura 11). El primer término de la ecuación representa la contribución de las deformaciones a flexión, mientras que el segundo término representa la contribución de las deformaciones por corte del muro.

La rigidez puede utilizarse tanto para estimar el período de la estructura como para distribuir fuerzas laterales entre diferentes muros.

Dado que la presencia de aberturas en los muros de mampostería implica una reducción del área transversal disponible para resistir fuerzas horizontales, se produce entonces un incremento de fuerzas cortantes en los muretes, por lo que es importante determinar fuerza actuante en cada muro para determinar si tienen o no resistencia suficiente con la sección propuesta.

En la práctica es común suponer que el cortante que debe resistir cada murete es proporcional a su área transversal, pero es importante notar que la distribución de fuerzas desprecia las deformaciones por flexión. Dado que en muchas edificaciones el ancho del murete es igual o inclusive menor que su altura, las deformaciones por flexión en los muretes no es despreciable y esto hace que la distribución de las deformaciones de flexión pueda provocar variaciones en la rigidez lateral de los muretes y por lo tanto en la distribución de fuerzas laterales que debe resistir cada murete.

Las aberturas no solo provocan un incremento en el esfuerzo cortante actuante en las zonas adyacentes a las aberturas, sino que este esfuerzo no es uniforme. La presencia de las aberturas cuadradas o rectangulares provoca importantes concentraciones de esfuerzos de tensión en las esquinas de las aberturas, de ahí la importancia de proveer refuerzo en las aberturas.

## **2.7. Áreas normales del muro**

Las áreas normales del muro, son las áreas donde los muros no presentan falla alguna a la hora de ser sometidos a esfuerzos críticos. Es posible observar estas áreas cuando se analiza físicamente un muro ensayado.

El porcentaje de estas áreas es variable dependiendo de la forma de falla del muro, se hace referencia de esta parte porque no todas las de la estructura se encuentran en estado crítico cuando se le aplican cargas, y se ha detectado que en los sismos reales las estructuras fallan por fuerza cortante.

## **2.8. Juntas de muro**

Es de vital importancia el análisis con anterioridad para proveer juntas entre muros de mampostería, muchas veces tienen funciones estructurales y no estructurales.

Juntas de control: las juntas de control son separaciones verticales. Continúas en toda la altura y profundidad, elaboradas en aquellos lugares donde los esfuerzos horizontales tenderían a ser más altos si ellas no existieran. Estas juntas permiten el movimiento de los muros y previenen su figuración, que es desagradable y perjudicial. Este debe permitir movimiento pero al mismo tiempo ser resistente.

La cantidad y el tipo de estas juntas dependen del tamaño y configuración de la estructura, de las propiedades de la mampostería de concreto, del tipo del muro y del grado de confinamiento lateral; y su determinación es labor del ingeniero estructural.

La separación de las juntas de control es mayor cuando la mampostería es estructural, porque las cargas de los entrepisos proporcionan un cierto grado de confinamiento lateral, y el acero de refuerzo horizontal distribuye los esfuerzos. Cuando se usa mampostería no estructural en combinación con estructuras de acero o pórticos de concreto, las juntas se vuelven más críticas, por el potencial de los esfuerzos concentrados, de movimientos diferenciales y de fisuras resultantes de esto.

Existen tipos de juntas, entre estas están: juntas rígidas y juntas flexibles.

**Juntas rígidas.** Las juntas rígidas (juntas de contracción o de control), se usan no para prevenir la figuración sino para controlar la localización y la forma de las fisuras debidas al encogimiento de la mampostería.

Su construcción se hace llenando con mortero el espacio vacío entre las salientes de los extremos cóncavos de los dos bloques que conforman la junta, previa la colocación de una franja de papel o un material similar en uno de los extremos, que prevenga la adherencia del mortero en uno de los bloques.

El mortero se encoje un poco, separándose del papel a medida que se seca, con lo que se genera el espacio para la expansión térmica de la mampostería de concreto. El concreto endurecido colocado entre las salientes debe resistir las cargas laterales a modo de llave.

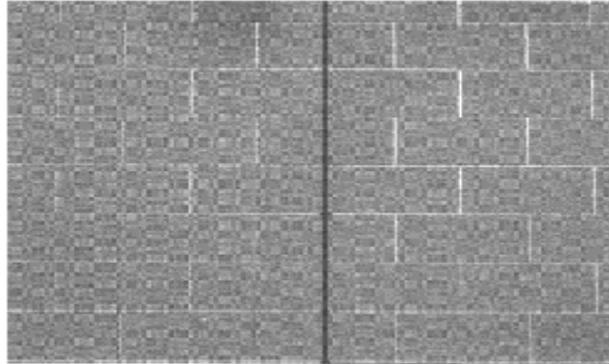
**Juntas flexibles.** Las juntas flexibles (de expansión, de aislamiento o juntas blandas), se usan para permitir la expansión de la mampostería y el movimiento diferencial entre diversos materiales o elementos constructivos.

Las juntas flexibles son interrupciones completas en la sección del muro, por lo cual es necesario cerrar la comunicación entre ambos lados del muro y hacerlas impermeables cuando están cuando están en fachadas. Para esto se debe colocar un material blando compresible que sirva de lleno y de soporte para colocar, posteriormente, una masilla elastoplástica o un elemento sellante preformado, de unos 20 milímetros de profundidad en todo el ancho de la junta.

El espaciamiento entre juntas de control depende no solo de las propiedades de la mampostería sino del grado y tipo de restricciones de movimiento. Cuando se presentan restricciones laterales u otras, no uniformes a lo largo del muro, ya que se pueden presentar concentraciones de esfuerzos que generan figuración.

La distancia de las juntas de control en los muros de mampostería está limitada por situaciones comunes y necesarias en los siguientes casos: cambios de altura, cambios de rigidez, cargas concentradas aisladas (columnas, presencias de vanos (puertas, ventanas). Posibilidad de asentamientos diferenciales y para restricción de movimientos en fundaciones sobre arcilla expansiva y en muros de longitud considerable).

Figura 12. **Justa especial para muros largos**



Fuente: HERRERA V., Angélica María; MADRID, Germán Guillermo. Manual de construcción de mampostería de concreto. p. 73.

## **2.9. Refuerzo en aberturas**

Las edificaciones a base de mampostería confinada, sometidas a sismos moderados, han exhibido grietas inclinadas en los muros de mampostería. Ante sismos severos, las grietas inclinadas han penetrado en las zonas extremas de los castillos (área reforzada en aberturas), ocasionando el plegamiento de las varillas longitudinales. A partir de la evidencia experimental, se ha observado el deterioro de la capacidad ante cargas laterales dependiendo de la evolución en el daño en el área reforzada de las aberturas y la falla de los muros coincide con el cillamiento formado por el área de concreto reforzado.

La importancia del área de concreto reforzado en las aberturas radica en el confinamiento que proporcionan a los muros de mampostería ya que funcionan como un zuncho, evitando que los muros, al agrietarse, queden totalmente sueltos. Además el refuerzo en las aberturas contribuye a mantener

la capacidad ante cargas laterales y aun incrementarla después del agrietamiento inicial y con poco refuerzo disminuir el deterioro de la rigidez.

El refuerzo en las en las ventanas, desafortunadamente es una práctica poco utilizada en Guatemala, y de ahí que se observan con frecuencia agrietamientos por tensión diagonal que se inician en las esquinas de las aberturas. Esta deficiencia se observa con frecuencia a un en grandes proyectos habitacionales de interés social.

Con relación a las aberturas necesarias para puertas y ventanas se puede decir lo siguiente:

- Debe evitarse la concentración de aberturas en una dirección ya que se reduce el área efectiva de la sección transversal total de muros que resisten las fuerzas laterales en esta dirección.
- Evitar aberturas muy próximas entre sí ya que se definen entre ellas porciones de muros esbeltos, esto es, muros con relaciones de aspecto H/L elevadas ( $>1,33$ ). Este hecho propiciará una disminución de sus resistencias a la flexión y al cortante, siendo característico el que la flexión controle sus deflexiones y resistencias, por lo que se hace indispensable en estos casos contar con el acero de refuerzo interior adecuado, o bien contar con elementos de confinamiento.
- Colocar soleras y costillas en la periferia de todas las aberturas, ya que Proporcionarán cierta ductilidad a los muros y aunque no modifican significativamente la carga de agrietamiento diagonal, también participan en la resistencia a flexo compresión en el plano del muro.

### **3. ANÁLISIS TEÓRICO DE ABERTURAS MÁXIMAS EN UN MURO DE MAMPOSTERÍA**

El siguiente análisis está basado en condiciones particulares, para cumplimiento de los códigos que rigen los muros de mampostería. Considerando pesos y cargas que podrían afectar a una edificación de 3 o 4 niveles para determinar las solicitaciones

#### **3.1. Modelo de un muro típico de mampostería a ser analizado**

El muro típico, es el que cuenta con las cualidades más comunes de un muro de mampostería en Guatemala, entre las cualidades más importantes se tienen; dimensiones de longitud y altura, el tipo de mampostería más utilizado que es el block de pómez y de concreto, el método de construcción que es, muros confinados; también se puede agregar que la resistencia del concreto y la mampostería son bastante común.

##### **3.1.1. Muro continuo**

La continuidad en un muro, se debe a que en el no existen aberturas; como ventanas, puertas y otras aberturas que se encuentran en los muros por causas arquitectónicas o porque proporcionan algún beneficio a los ambientes de la edificación. Esta verificación de la continuidad es visual, sin saber si el comportamiento es continuo del todo.

En la verificación de la continuidad de un muro de mampostería, se deben tomar muchos factores que intervienen en su comportamiento cuando se

encuentra sometido a cargas de servicio y otras cargas accidentales que ponen en riesgo no solo al muro individualmente sino a toda la edificación.

Entre los factores que podrían afectar la continuidad de un muro de mampostería están: la relación de la resistencia del mortero - mampostería, la concentración de cargas de servicio al que está sometido y métodos de curado mal aplicados en el mortero y la mampostería.

### **3.1.2. Muro con abertura de ventana**

Para la funcionalidad de las viviendas y otras estructuras que hospedan a personas, animales y productos que requieren ambientes a cierta temperatura para la conservación, se necesitan muros que tengan aberturas de ventanas. Arquitectónicamente estas ventanas adquieren diferentes formas y tamaños para dar cierta estética a la estructura, pero estas formas, dimensiones, ubicaciones, hacen que un muro se comporte de manera inestable a diferencia de un muro continuo, cuando este es analizado cuantitativamente.

### **3.1.3. Muro con abertura de puerta**

Este tipo de abertura en un muro es obligatoria, es un acceso que siempre debe existir y por lo tanto tiene una gran importancia en una edificación. Es variable en sus dimensiones dependiendo del servicio que preste, al igual que una ventana juega un papel importante en el aspecto arquitectónico, pero muchas veces se excede en tamaño lo cual lo hace una de las principales debilidades de la estructura.

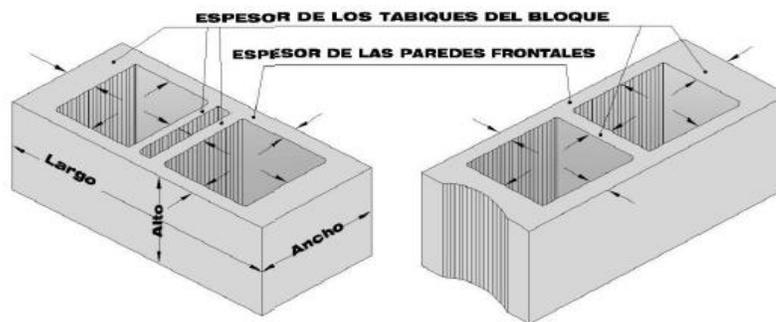
### 3.1.4. Muro con abertura puerta y ventana

La combinación de una puerta y ventana en un mismo muro es de lo más común en las viviendas, Son parte de la fachada principal y son causa de principal de debilidad en el muro, el problema más grave se da en las construcciones de viviendas que son construidas de forma empírica por albañiles que siguen instrucciones de los aspectos arquitectónicos y ambientes que el propietario desea, no tomando en cuenta el comportamiento real o analítico de la edificación como un todo.

### 3.2. Propuesta del tipo de elemento de mampostería a utilizar

La propuesta del tipo de elemento de mampostería se basa en el elemento de mampostería más utilizado para construir viviendas en Guatemala. Y el más usado es el block de pómez de peso liviano, el cual debe cumplir con lo especificado por COGUANOR NTG 41066.

Figura 13. Medidas principales



Fuente: COGUANOR NTG 41066. Norma técnica guatemalteca. p 6.

La dimensión del block a utilizar es: 0,14 m x 0,19 m x 0,39 m.

### **3.3. Propuesta de las fuerzas a la que estará sometido el muro**

Se utilizara una carga horizontal  $P = 7$  toneladas. Tomando como referencia los cálculos del corte basal encontrados para un muro de la planta baja de un edificio de 4 niveles, en el libro Construcciones de Albañilería, capítulo 4, construido de mampostería confinada y basados en el código (UBC 97).

El trabajo de investigación realizado por otros investigadores será base para tomar valores de referencia, y poder alcanzar los propósitos de este trabajo.

### **3.4. Propuesta de abertura para iniciar el análisis**

En esta parte se proponen todos los muros a analizar con sus diferentes cualidades en cuanto a abertura y ubicación. Todos los muros tendrán una longitud (L) de 3 metros y una altura (H) de 2,5 metros.

En seguida se describen los muros que se analizan:

- El primer análisis se realiza con un muro continuo.
- El segundo análisis se realiza con un muro que lleva una abertura en su centro geométrico, esta abertura se hace crecer en tamaño hasta determinar la abertura máxima, la cual hace que el muro deje de trabajar como continuo.
- El tercer análisis se realiza con un muro que utilice la abertura máxima, moviendo la misma hacia los extremos y en proporciones de excentricidades más pequeñas.

### **3.5. Propuesta de la ubicación de la abertura y las dimensiones**

La ubicación y dimensión de las aberturas, se proponen en base al método a utilizar para determinar la rigidez de cada muro, ya que el método se tiene que acoplar al objetivo para determinar la abertura máxima.

Por la importancia de aberturas en muros, muchos métodos han sido propuestos, entre los más importantes por su simplicidad se tienen los propuestos por Coull y Choudhury (1967a; 1967b) y Schwaighofer y Microy (1969), calibrados en ese entonces únicamente con los resultados de algunos cuantos muros de poca elevación con patrones de aberturas simétricos con respecto a un eje vertical, con el objetivo de obtener una aproximación razonable de la rigidez lateral de muros con aberturas y así obtener distribuciones relativas de fuerzas y esfuerzos con métodos simples que permitan concretar diseños estructurales adecuados.

En los años ochenta Schneider y Dickey (1987) presentaron una serie de métodos que se aplicaban desde hace tiempo para analizar muros con aberturas de un solo nivel, los cuales en teoría son simples y prácticos. Sin embargo, se han demostrado las grandes imprecisiones de tales métodos cuando se comparan con resultados obtenidos con elementos finitos (Tena-Colunga, 1992a; Vergara, 2005; Neunhofer, 2006; Tena-Colunga, 2007), pues normalmente sobrestiman notablemente y de manera inconsistente su rigidez lateral, además que son muy imprácticos cuando la geometría y distribución de aberturas no es simple (Schneider y Dickey, 1987).

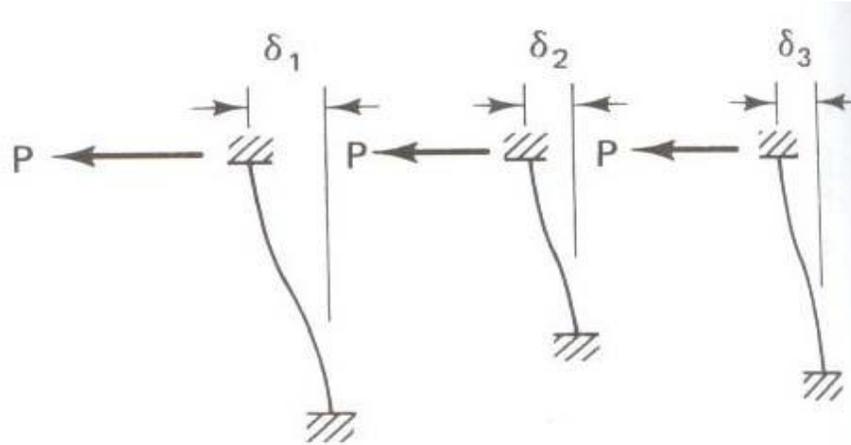
En Schneider y Dickey (1987) se presentan tres métodos supuestamente simples basados en que los desplazamientos laterales de muros paralelos conectados por medio de diafragmas rígidos son iguales.

A continuación se describen dos métodos de tres, esto debido a que el método III es sumamente complicado. El método a utilizar depende de la exactitud en aproximación que se quiera obtener, además se deben de tomar en cuenta muchos criterios que se conocen por ensayos realizados en muros de mampostería.

Método I. Este método requiere de los siguientes pasos:

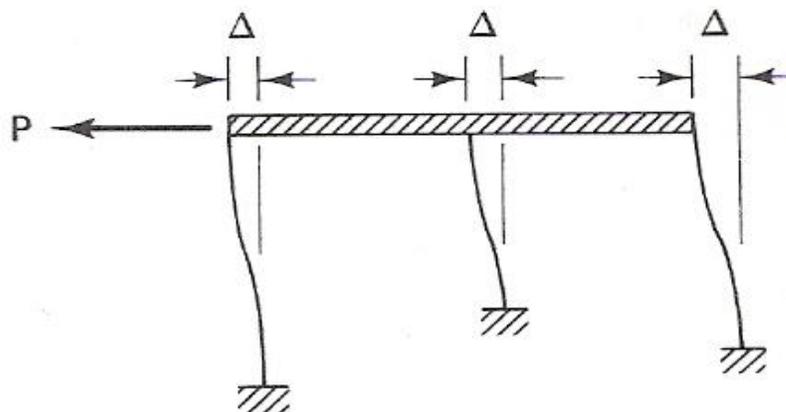
- A. Obtener el desplazamiento lateral del muro como si fuera un muro sólido en voladizo.
- B. Restarle al desplazamiento anterior el desplazamiento lateral de una franja equivalente en voladizo debido a la presencia de las aberturas, donde la altura de esta franja equivalente en voladizo es igual en dimensión a la altura de la mayor abertura existente en el muro.
- C. Calcular el desplazamiento lateral de todas las secciones compuestas con muro y aberturas consideradas en la sección de la franja equivalente en voladizo.
- D. Sumar los desplazamientos laterales de los muretes individuales con el desplazamiento lateral modificado obtenido en inciso dos, para obtener el desplazamiento lateral final.
- E. Calcular el inverso del desplazamiento lateral final para obtener la rigidez lateral de entrepiso del muro.

Figura 14. **Desplazamiento lateral de un muro compuesto de muretes no conectados rígidamente**



Fuente: TENA COLUNGA, Arturo; RIVERA HERNÁNDEZ, Germán; VERGARA SÁNCHEZ, Jonathan. Estimación de la rigidez lateral elástica de muros con aberturas. p. 137.

Figura 15. **Desplazamiento lateral igual de tres muros conectados por un elemento rígido**



Fuente: TENA COLUNGA, Arturo; RIVERA HERNÁNDEZ, Germán; VERGARA SÁNCHEZ, Jonathan. Estimación de la rigidez lateral elástica de muros con aberturas. p. 137.

Las figuras 14 y 15 esquematizan el comportamiento de los muros según la forma en que estos estén conectados.

Método II. Este método se basa en la hipótesis de que en muros con aberturas, los segmentos sólidos que se encuentran entre las aberturas o bordes libres son los que determinan la flexibilidad lateral del muro y, además, no se encuentran conectados rígidamente entre ellos figura 15, pero se deforman en doble curvatura (muros continuos). Por ello, en este método se estima la rigidez lateral del muro con aberturas sólo considerando la suma de las rigideces de los muretes individualmente dentro de las aberturas y considerando la altura mínima del murete entre aberturas, si es que existen aberturas contiguas de distinta altura (por ejemplo, una puerta cercana a una ventana o dos ventanas de distinta altura) y se desprecia la rigidez de las franjas sólidas de los muros. Bajo estas hipótesis, la rigidez de cada murete ( ) en condición de continuidad se calcula como:

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{K_1} + \frac{1}{K_2} + \dots + \frac{1}{K_n}$$

Donde  $E$  y  $I$  son respectivamente el módulo de elasticidad, el área gruesa ( $A = b \cdot t_i$ ), la altura mínima entre aberturas y el ancho del murete en cuestión. La rigidez total del muro con aberturas se estima como la suma de las rigideces individuales. Por lo tanto, el desplazamiento lateral promedio ante una carga lateral  $P$  cualquiera se estima

$$\Delta = \frac{P}{K}$$

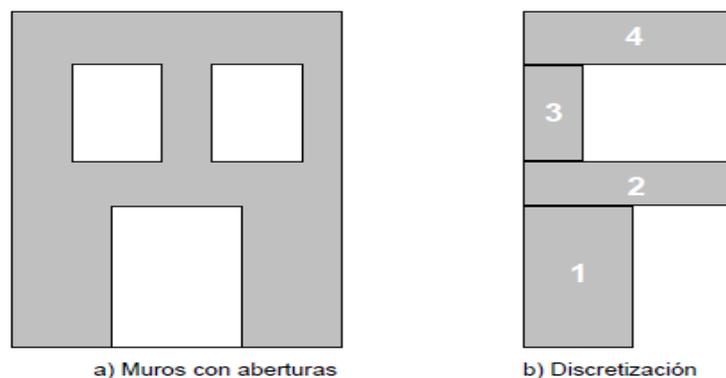
Este es el método más rápido de los propuestos en Schneider y Dickey (1987), y de acuerdo con ellos, es el de menor precisión.

Además de estos métodos existen muchos más. El siguiente método fue propuesto por los autores del libro (Estimación de la Rigidez Lateral Elástica de Muros con Aberturas) y es descrito a continuación.

Método de la Columna Ancha de Sección Variable. Este método propone discretizar a los muros con aberturas como columnas anchas de sección variable figura 17, considerando que, en elevación, lo que ocasiona cada franja de aberturas es una disminución de sus propiedades de rigidez (inercia y área) y, por lo tanto, si se consideran éstas en el análisis, se puede tener una mejor estimación de su rigidez lateral.

Considérese el muro con aberturas de la figura 16-a); éste se puede discretizar en elevación en cuatro tramos figura 16-b), donde se consideren los cambios que existen en su rigidez.

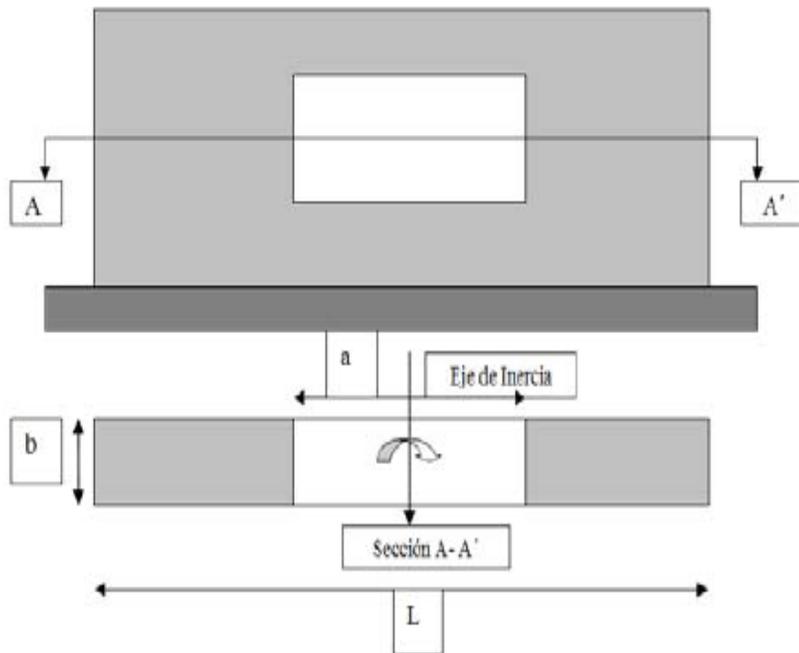
Figura 16. **Discretización de muros con aberturas como una columna ancha de sección variable**



Fuente: TENA COLUNGA, Arturo; RIVERA HERNÁNDEZ, Germán; VERGARA SÁNCHEZ, Jonathan. Estimación de la rigidez lateral elástica de muros con aberturas. p. 141.

Toda vez definidas las propiedades equivalentes de cada tramo (inercias, áreas), la rigidez de estos elementos se determinan con procedimientos tradicionales, ya sea numéricamente utilizando el teorema área-momento (Rivera, 2006) o el método de las flexibilidades aplicando las integrales respectivas (Tena-Colunga, 1996; Tena 2007). Dado que las aberturas se discretizan en tramos prismáticos definidos (figura 17-b), también se puede utilizar sin mayor problema cualquier software comercial (ETABS, SAP2000, STAAD-PRO o similares).

Figura 17. **Elevación y sección de un muro con aberturas**



Fuente: TENA COLUNGA, Arturo; RIVERA HERNÁNDEZ, Germán; VERGARA SÁNCHEZ, Jonathan. Estimación de la rigidez lateral elástica de muros con aberturas. p. 141.

Las propiedades de inercia, área de sección transversal y área de cortante de todos los segmentos del muro a lo largo de su eje longitudinal, donde no existen aberturas se calculan conforme se hace para cualquier elemento prismático y continuo bien definido.

Una de las partes más importantes para encontrar la rigidez de un muro con aberturas, es la inercia, este factor influye grandemente en la rigidez, Para la obtención de las inercias equivalentes en los segmentos con aberturas, se describen tres variantes las cuales serán evaluadas para tomar la más conveniente y son enunciadas a continuación.

Método CE1. En este método, denominado como el de la inercia completa de la sección transversal en la zona de la abertura, se considera la inercia efectiva de las secciones transversales con aberturas (o huecas, figura 18), como si ésta fuera continua en toda su elevación, lo que dependería de que los segmentos adyacentes de muros proporcionen la suficiente rigidez y continuidad para que este comportamiento se produzca.

Por lo tanto, si la sección transversal del muro en la zona de la abertura es la que se ilustra en la figura 18, las propiedades equivalentes en esa zona se calcularían como:

—

—

Método CE2. En esta variante, nombrada como el método de la inercia conjunta reducida de la sección transversal en la zona de la abertura, se calcula una sección efectiva equivalente, donde la inercia se reduce en función de considerar que la presencia de la abertura flexibiliza tanto al muro que, en la zona de la abertura, la inercia sería equivalente a la de una sección rectangular cuya longitud es igual a la longitud efectiva de los tramos sólidos del muro. Por lo tanto, si el muro fuera el de la figura 6, la inercia equivalente reducida sería:

—

Las áreas axial y de cortante equivalentes se calcularían con las ecuaciones del método CE1. Pues esta hipótesis no afecta su definición.

Método CE3. Esta variante se denomina como el método de las inercias individuales de los segmentos de muretes en la zona de la abertura, y en él se considera que la abertura provoca un desacoplamiento completo de los segmentos de muro aledaños a la misma, por lo que cada segmento de muro o murete aporta individualmente a la rigidez lateral del muro en función de las propiedades de su sección transversal, es decir, se considera que la inercia de una sección con aberturas es la suma de las inercias de las distintas secciones sólidas. Para el muro de la figura 6, se tendría entonces que la inercia efectiva del muro en la zona de la abertura sería igual a la suma de las rigideces de los segmentos de muros (dos en este caso), por lo tanto, ésta se calcularía como:

— —

Las áreas se calculan igual que en los dos métodos anteriores.

Método CE4. Este método es básicamente el método CE1 o de la inercia completa, pero para tomar en cuenta la excentricidad del hueco, la inercia calculada con la ecuación (17) se multiplica por  $(1 - e^2)$ , donde  $e$  es una excentricidad normalizada (fracción), como se detalla secciones más adelante.

Método CE5. Se denomina como método de la inercia completa reducida con rigidez variable, y es casi igual al anterior (CE4), con la salvedad de que el desplazamiento obtenido con el método anterior es amplificado por el factor  $1/(1-1/N)$ , donde  $N$  es el número de niveles del muro.

La ecuación para encontrar el % de área que ocupa la abertura en todo el muro se puede expresar de la siguiente manera:

---

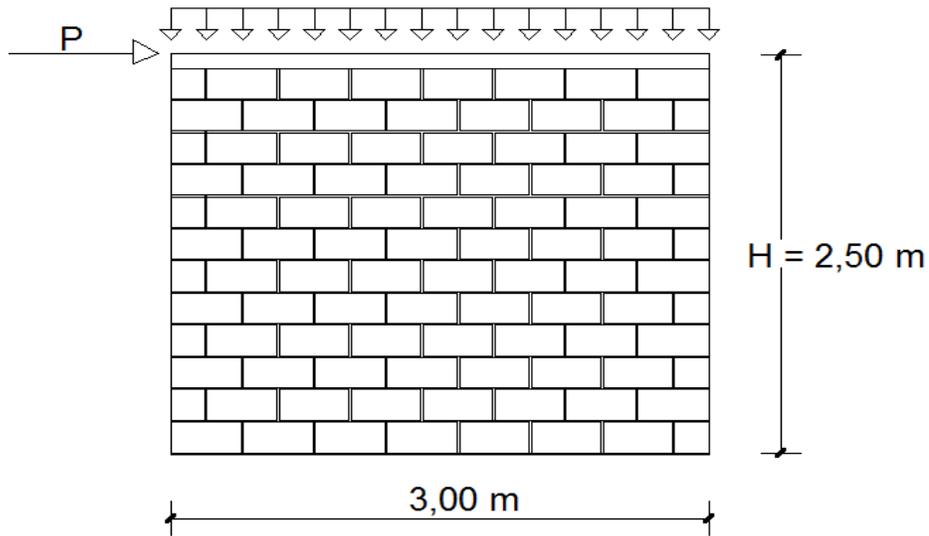
Donde  $a$  y  $b$  son las dimensiones de la abertura y  $H$  y  $L$  son las dimensiones de todo el muro.

### **3.6. Esquema del muro y las características propuestas**

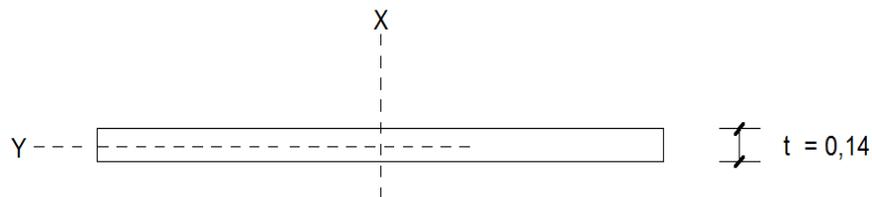
A continuación siguiendo el orden de las propuestas de las aberturas, se esquematiza un muro continuo, el cual será base para la comparación de resultados.

Las características del muro se esquematizan para la aclaración de las dimensiones y otros valores para el cálculo de la rigidez, ya que por medio de esta se debe encontrar la resistencia del muro de mampostería.

Figura 18. Esquema de muro continuo



Sección del muro continuo.



Fuente: elaboración propia.

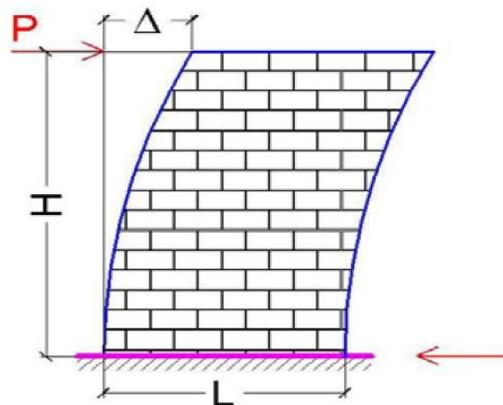
### 3.7. Determinación de la rigidez de diseño

El análisis se inicia por medio de la determinación de la rigidez de un muro continuo, el cual se esquematiza en la (figura 18). Y a continuación se describe la combinación de criterios y formulas que han sido tomadas de estudios e investigaciones realizadas por otros autores e instituciones.

Antes de determinar la rigidez se presentan los argumentos y justificaciones para realizar los cálculos.

Paso 1. Se inicia el análisis considerando que el muro está empotrado en la base con restricción al giro en el extremo superior, pero con libertad de desplazamiento lateral en dicho borde como se muestra en la figura 19, según (Instituto de Desastres Naturales, Accidentes e Infraestructura Civil. Vol. 6); por lo que se utilizara para muros en voladizo según el libro (Estudio Analítico de Estructuras de Mampostería Confinada), coordinado por CENAPRED.

Figura 19. **Detalles de un muro en voladizo**



Fuente: HOYOS TORO, Fabio; AREIZA PALMA, Gilberto. Ayudas gráficas para la determinación de derivas en edificios de muros portantes de mampostería estructural. p. 76.

Paso 2. El cálculo de la rigidez se realiza tomando en cuenta criterios del (método de la columna ancha de sección variable) presentado en el libro Estimación de la Rigidez Lateral Elástica de Muros con Aberturas; pero, utilizando la ecuación presentada en (Instituto de Desastres Naturales, Accidentes e Infraestructura Civil. Vol. 6) el cual se describe a continuación.

La rigidez de cada muro se obtiene por medio de la siguiente formulación:

$$\frac{1}{K} = \frac{\Delta_T}{P}$$

Donde  $\Delta_T$  es la deformación total del muro sumando la deformación por flexión  $\Delta_F$  y por corte  $\Delta_V$ :

$$\Delta_T = \Delta_F + \Delta_V \quad (2)$$

$$\frac{1}{K} = \frac{\Delta_F}{P} + \frac{\Delta_V}{P}$$

El módulo de corte de la mampostería,  $G$ , está dado por:

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

La inercia de un muro con aberturas referenciado a un eje de coordenadas esta dado por:

Entonces la deformación total del muro con aberturas por considerarlos en voladizo es:

$$\frac{1}{K} = \frac{\Delta_F}{P} + \frac{\Delta_V}{P}$$

Sustituyendo en la ecuación (6) en la (1). La rigidez queda de esta manera:

---

La ecuación (6) y (7) tendrán modificaciones cuando se evalúen muros con aberturas; además irá cambiando según el acoplamiento.

Uno de los factores más importantes a tomar en cuenta, es la inercia; ya que esta genera cambios en la rigidez. Debido a la comparación y variantes de los muchos métodos que existen para determinar la rigidez y el criterio que se obtiene de la comparación de ellos en el libro (Instituto de Desastres Naturales, Accidentes e Infraestructura Civil. Volumen 11), indiscutiblemente las mejores aproximaciones se obtienen utilizando el método (CE3) es decir el método donde se consideran las inercias individuales de los segmentos de muretes en la zona de la abertura.

El método (CE3) es el de mejor aproximación con respecto a soluciones obtenidas con elementos finitos de una gran cantidad de muros estudiados en la bibliografía antes mencionada, en los cuales se obtuvieron resultados que fueron comparados con otros obtenidos utilizando el programa SAP 2000. Por medio del cual se pudieron observar subestimaciones y sobrestimaciones de desplazamiento lateral.

Para simplificar el análisis se toman en cuenta las conclusiones de ensayos realizados en el libro Estudio analítico de mampostería confinada, cuyo autor Alcocer y Díaz, 1995; dice que “La cantidad y tipo de refuerzo horizontal no afectan la rigidez inicial de los modelos. La tendencia en la degradación de rigidez fue similar para todos los modelos ensayados”.

Nota. No se tomará en cuenta el refuerzo horizontal porque el estudio se basa solo en la rigidez inicial, aclarando que el refuerzo horizontal da lugar a un daño uniforme, y aumenta la capacidad de deformación y la resistencia ante cargas laterales, esto si se quisiera un análisis más profundo.

#### Determinación de la rigidez de un muro continuo

El muro continuo y sus características se esquematizan en la figura (18). Para la realización de los cálculos se toman los siguientes datos:

Longitud total del muro	=	$L = 3,00 \text{ m}$
Altura del muro	=	$H = 2,50 \text{ m}$
Espesor efectivo	=	$t = 0,14 \text{ m}$
Resistencia de la mampostería	=	$= 35 \text{ kg/cm}^2$
Modulo de elasticidad de la mampostería	=	$= 750 \text{ f'm}$
Modulo de elasticidad del concreto	=	$= 120\,000 \text{ kg/cm}^2$

En primer lugar se tiene la inercia de la sección para un muro continuo.

—

—————

El módulo de elasticidad esta dado por

La siguiente fórmula para determinar la rigidez toma en cuenta la deformación por flexión y por corte, además se considera como un muro en voladizo.

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{K_f} + \frac{1}{K_c}$$

$$K_f = \frac{12EI}{h^3}$$

### 3.8. Determinación de la deriva de diseño

Utilizando la formulación planteada en el inciso anterior y aplicándola a un muro continuo, se encuentra la deriva que permite la rigidez del muro, utilizando una carga lateral de 7 000 kilogramos especificado en el inciso 3.3 de este trabajo.

$$\Delta = \frac{1}{K} \cdot P$$

$$K = \frac{1}{\frac{1}{K_f} + \frac{1}{K_c}}$$

$$K_f = \frac{12EI}{h^3}$$

### 3.9. Determinación de esfuerzos axiales y corte de diseño

Para determinar los esfuerzos axiales es necesario aclarar que inicio con el muro continuo de la (figura 18), utilizando el libro (Construcciones de Albañilería) el cual está basado en una norma peruana para mampostería (E-070). Donde necesitamos considerar las siguientes características.

Longitud del muro sin columnas	=	L = 3,00 m
Altura del muro	=	H = 2,50 m
Espesor efectivo	=	t = 0,14 m
Resistencia de la mampostería	=	= 35 kg/cm <sup>2</sup>
Modulo de elasticidad de la mampostería	=	= 750 f'm
Carga axial total	=	W = 15 000 kg

Esfuerzos de Compresión Axial. Para diseño de muros armados y confinados, el esfuerzo admisible ( ) está dado por la siguiente expresión (donde la cantidad entre paréntesis expresa la reducción de resistencia por esbeltez del muro):

Para este caso:

En tanto que el esfuerzo axial máximo ( $f_a$ ), calculado con la sollicitación de servicio referenciado en el libro ya mencionado con un valor solo para ejemplificar; ya que la intención es demostrar el cambio que existe cuando aparecen las aberturas, en este caso resulta menor al esfuerzo admisible:

—

Por otro lado (sólo para muros confinados), de imponerse como topes máximos una esbeltez ( $H / t$ ) igual a 20, y un esfuerzo axial actuante de 0,15 , puede afirmarse que no existirá falla por compresión, ya que de acuerdo a la Norma:

Si bien este resultado es menor que 0,15 , para la mampostería Confinada puede adoptarse  $F_a = 0,15$

Cortante de Diseño Ante Cortante Máximo Admisible. Se utiliza las características ya especificadas en el listado anterior y el libro (Estudio Analítico de Muros de Mampostería).

Se utiliza una resistencia de diseño a corte o compresión diagonal de la mampostería,  $V_m^* = 1,50$  Kilogramos/centímetro<sup>2</sup>, tomando como referencia la norma mexicana (RDF), para bloques de concreto, mejor especificado en el documento (Notas Mamposterías de una Sabandija, capítulo 3).

Para el cálculo de la resistencia lateral de los muros se emplea la ecuación del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal (DDF, 1989).

Donde:

Es la fuerza cortante resistente de diseño;

- $F_R$  Es el factor de reducción de resistencia, igual a 0,7 para muros confinados dado en el IBC-2003 1605.3.1.1;
- $V_m^*$  Es el esfuerzo cortante medio de diseño. Según el RDF, Es la carga vertical sin factorizar que actúa sobre el muro; se deberá Tomar aquella que fue calculada con la carga viva instantánea; y
- $A_T$  Es el área total del muro. Para muros cortos se deberá reducir, tal que

Donde:

- $L$  es la longitud del muro;
- $t$  es el espesor del muro; y
- $H$  es la altura del muro.

Para muros con aberturas el cálculo se hace muro por muro y al final se suman los cortantes resistentes.

Calculando cortante de diseño utilizando solo el área de mampostería.

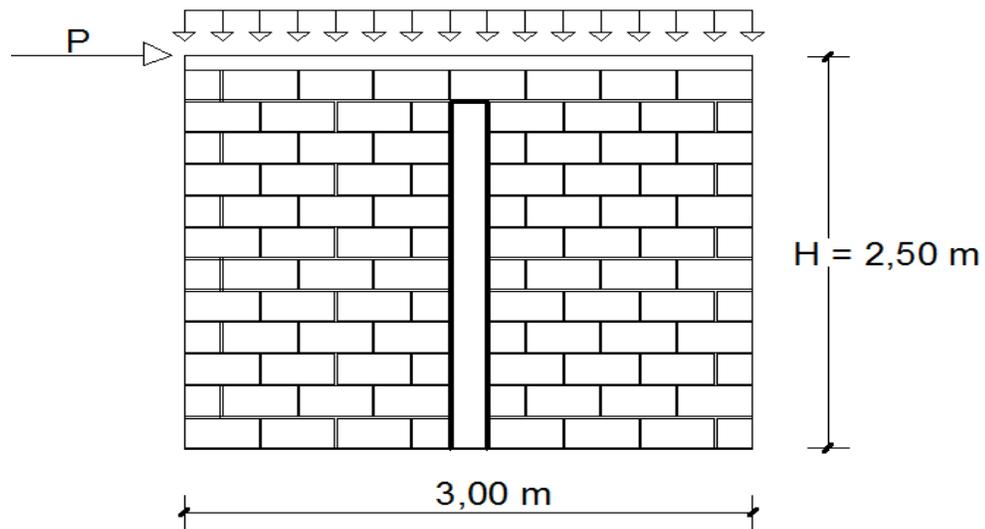
Comparación de cortante de diseño que genera la mampostería, con la fuerza lateral (P) obtenida de cortante basal. La mampostería no cumple pero aquí falta el confinamiento.

**3.10. Los pasos del inciso 3.4 al 3.9 se repetirán hasta determinar la máxima abertura en el análisis teórico**

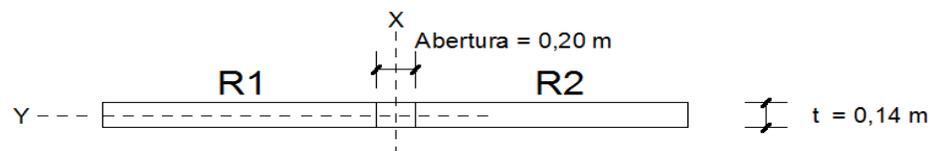
Se propone una abertura que no es común en viviendas, pero se necesita observar el comportamiento del muro para este caso.

La ubicación de la abertura será al centro de muro, con dimensiones de 0,20 metros de ancho por 2,20 metros de alto.

Figura 20. **Esquema de muro con primera propuesta de abertura**



Sección del muro con abertura en el centro.



Fuente: elaboración propia.

El muro con abertura y sus características se esquematizan en la figura (20). Para la realización de los cálculos se toman los siguientes datos:

Longitud total del muro	=	$L = 3,00 \text{ m}$
Altura del muro	=	$H = 2,50 \text{ m}$
Espesor efectivo	=	$t = 0,14 \text{ m}$
Resistencia de la mampostería	=	$= 35 \text{ Kg/cm}^2$
Modulo de elasticidad de la mampostería	=	$= 750 \text{ f'm}$
Carga axial total	=	$\omega = 15 \text{ 000 kg}$
Distancia desde el eje "X" al centro del murete	=	$d$

Determinación de inercia para cada segmento de murete en la zona de la abertura según el método (CE3).

\_\_\_\_\_

El módulo de elasticidad esta dado por

\_\_\_\_\_

Determinación de la rigidez lateral para un murete.

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

---

$R_T = R_1 + R_2$  pero por simetría de los muretes laterales a la abertura la rigidez total es

Encontrando la deriva total que permiten las rigideces de los muretes, utilizando una carga lateral de 7000 kilogramos Y el método II de las rigideces.

---

Esfuerzo axial máximo (fa) vrs. Esfuerzo admisible ( ).

---

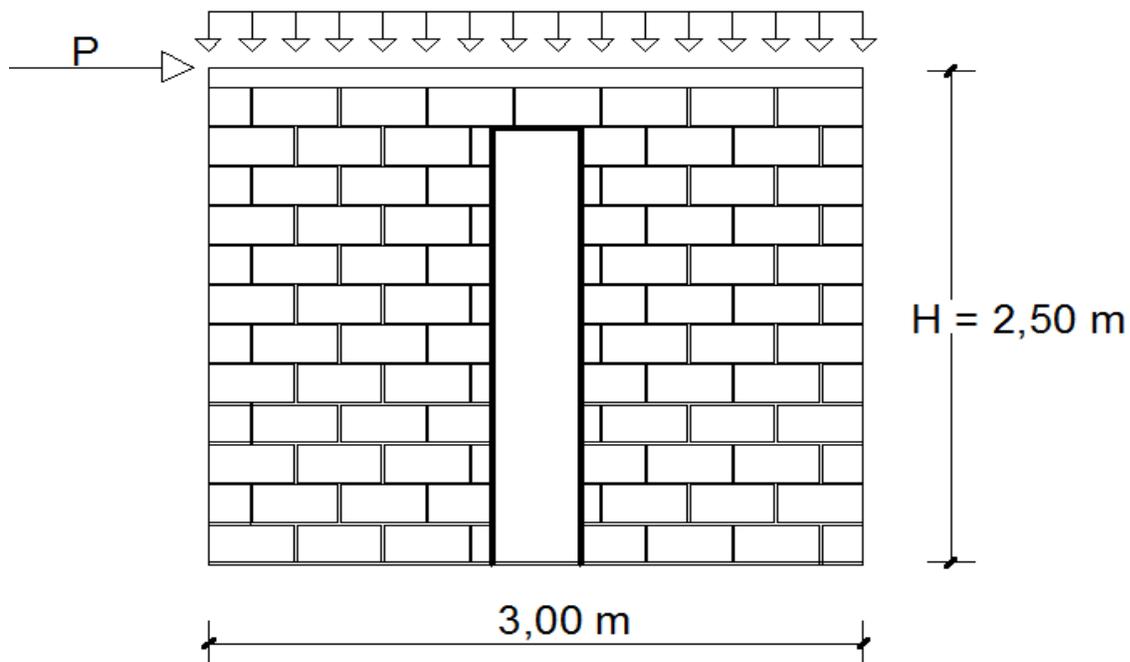
Cortante de diseño ante cortante máximo admisible: utilizando las características ya especificadas en el listado anterior.

Calculo de cortante utilizando solo mampostería y descontando la abertura.

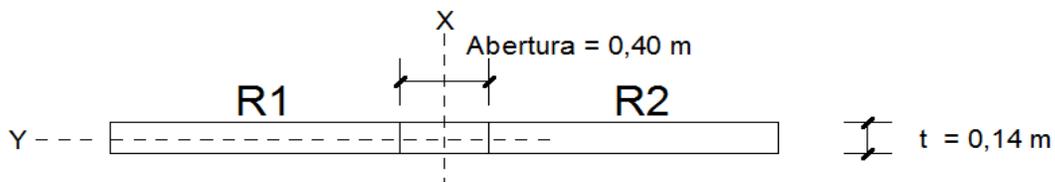
Se duplica la abertura anterior para seguir observando el comportamiento del muro.

La ubicación de la abertura será al centro de muro, con dimensiones de 0,40 metros de ancho por 2,20 metros de alto.

Figura 21. **Esquema de muro con segunda propuesta de abertura**



Sección del muro con abertura en el centro.



Fuente: elaboración propia.

El muro y sus características se esquematizan en la figura 21. Para la realización de los cálculos se toman los siguientes datos:

Longitud total del muro	=	$L = 3,00 \text{ m}$
Altura del muro	=	$H = 2,50 \text{ m}$
Espesor efectivo	=	$t = 0,14 \text{ m}$
Resistencia de la mampostería	=	$= 35 \text{ Kg/cm}^2$
Modulo de elasticidad de la mampostería	=	$= 750 \text{ f'm}$
Distancia desde el eje "X" al centro del murete	=	$d$
Carga axial total	=	$\omega = 15\ 000 \text{ kg}$

Determinación de inercia para cada segmento de murete en la zona de la abertura según el método (CE3).

\_\_\_\_\_

El módulo de elasticidad esta dado por

\_\_\_\_\_

Determinación de la rigidez lateral para un murete.

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

---

$R_T = R_1 + R_2$  pero por simetría de los muretes laterales a la abertura la rigidez total es

Encontrando la deriva total que permiten las rigideces de los muretes, utilizando una carga lateral de 7000 kilogramos Y el método II de las rigideces.

---

Esfuerzo axial máximo (fa) vs. Esfuerzo admisible ( ).

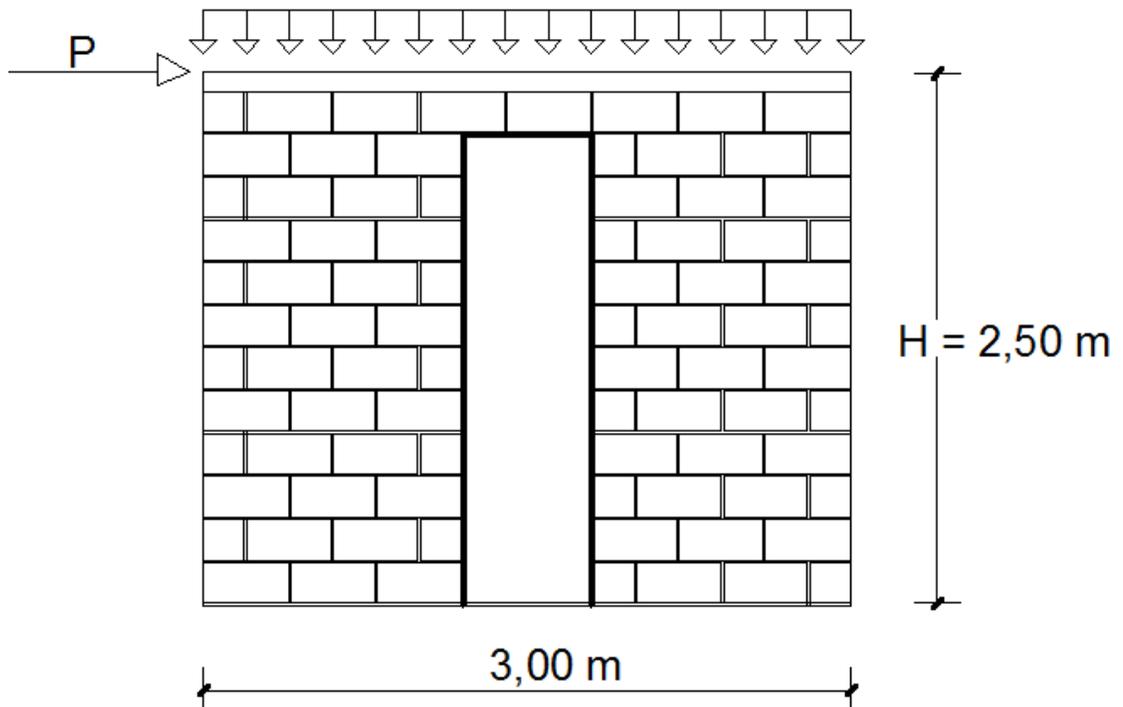
---

Cortante de diseño ante cortante máximo admisible: utilizando las características ya especificadas en el listado anterior.

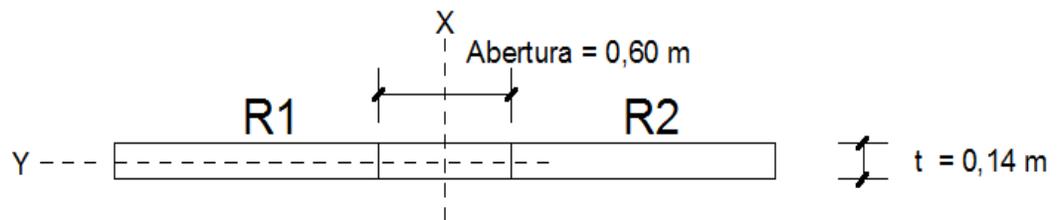
Cálculo de cortante utilizando solo mampostería y descontando la abertura.

La ubicación de la abertura será al centro del muro, con dimensiones de 0,60 metros de ancho por 2,20 metros de alto.

Figura 22. **Esquema de muro con tercera propuesta de abertura**



Sección del muro con abertura en el centro.



Fuente: elaboración propia.

El muro y sus características se esquematizan en la figura (22). Para la realización de los cálculos se toman los siguientes datos:

Longitud total del muro	=	$L = 3,00 \text{ m}$
Altura del muro	=	$H = 2,50 \text{ m}$
Espesor efectivo	=	$t = 0,14 \text{ m}$
Resistencia de la mampostería	=	$= 35 \text{ Kg/cm}^2$
Modulo de elasticidad de la mampostería	=	$= 750 \text{ f'm}$
Distancia desde el eje "X" al centro del murete	=	$d$
Carga axial total	=	$\omega = 15 \text{ 000 kg}$

Determinación de inercia para cada segmento de murete en la zona de la abertura según el método (CE3).

\_\_\_\_\_

El módulo de elasticidad esta dado por

\_\_\_\_\_

Determinación de la rigidez lateral para un murete.

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

---

$R_T = R_1 + R_2$  pero por simetría de los muretes laterales a la abertura la rigidez total es

Encontrando la deriva total que permiten las rigideces de los muretes, utilizando una carga lateral de 7000 kilogramos Y el método II de las rigideces.

---

Esfuerzo axial máximo (fa) vrs. Esfuerzo admisible ( ).

---

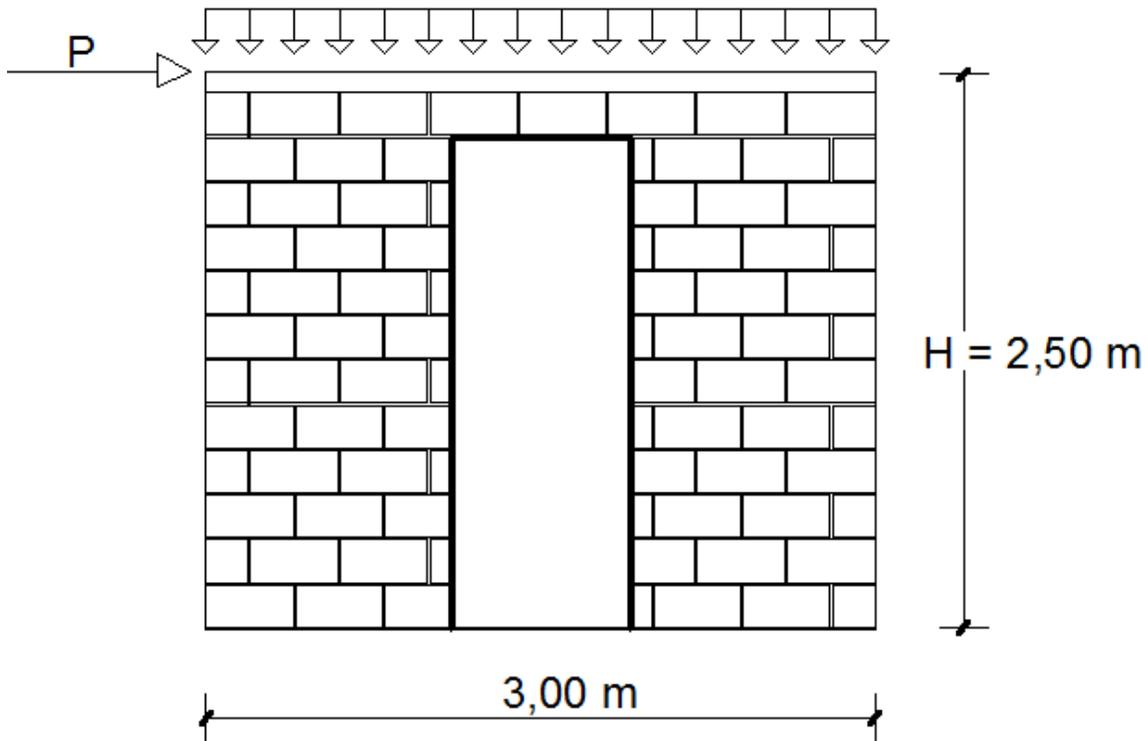
Cortante de diseño ante cortante máximo admisible: utilizando las características ya especificadas en el listado anterior.

Cálculo de cortante utilizando solo mampostería y descontando la abertura.

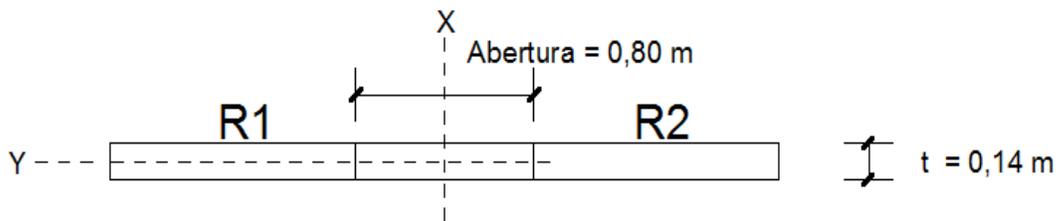
---

La ubicación de la abertura será al centro del muro, con dimensiones de 0,80 metros de ancho por 2,20 metros de alto.

Figura 23. **Esquema de muro con cuarta propuesta de abertura**



Sección del muro con abertura en el centro.



Fuente: elaboración propia.

El muro y sus características se esquematizan en la figura 23. Para la realización de los cálculos se toman los siguientes datos:

Longitud total del muro	=	$L = 3,00 \text{ m}$
Altura del muro	=	$H = 2,50 \text{ m}$
Espesor efectivo	=	$t = 0,14 \text{ m}$
Resistencia de la mampostería	=	$= 35 \text{ Kg/cm}^2$
Modulo de elasticidad de la mampostería	=	$= 750 \text{ f'm}$
Distancia desde el eje "X" al centro del murete	=	$d$
Carga axial total	=	$\text{III} = 15\ 000 \text{ kg}$

Determinación de inercia para cada segmento de murete en la zona de la abertura según el método (CE3).

\_\_\_\_\_

El modulo de elasticidad esta dado por

\_\_\_\_\_

Determinación de la rigidez lateral para un murete.

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

---

$R_T = R_1 + R_2$  pero por simetría de los muretes laterales a la abertura la rigidez total es

Encontrando la deriva total que permiten las rigideces de los muretes, utilizando una carga lateral de 7000 kilogramos Y el método II de las rigideces.

---

Esfuerzo axial máximo (fa) vs. Esfuerzo admisible ( ).

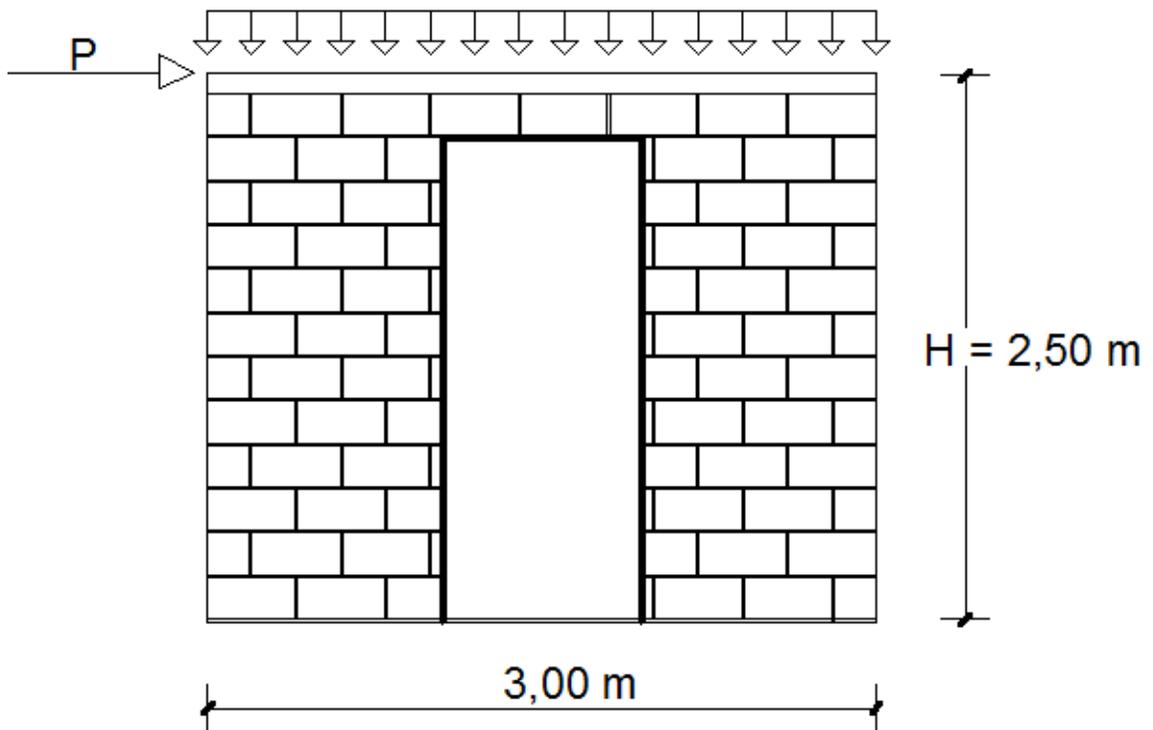
---

Cortante de diseño ante cortante máximo admisible. Utilizando las características ya especificadas en el listado anterior.

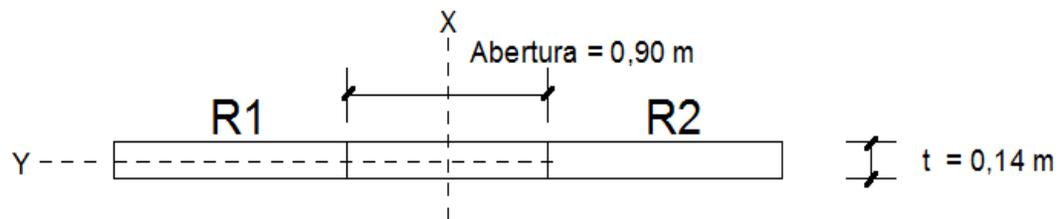
Cálculo de cortante utilizando solo mampostería y descontando la abertura.

La ubicación de la abertura será al centro del muro, con dimensiones de 0,90 metros de ancho por 2,20 metros de alto.

Figura 24. **Esquema de muro con quinta propuesta de abertura**



Sección del muro con abertura en el centro.



Fuente: elaboración propia.

El muro continuo y sus características se esquematizan en la figura (24).  
 Para la realización de los cálculos se toman los siguientes datos:

Longitud total del muro	=	$L = 3,00 \text{ m}$
Altura del muro	=	$H = 2,50 \text{ m}$
Espesor efectivo	=	$t = 0,14 \text{ m}$
Resistencia de la mampostería	=	$= 35 \text{ kg/cm}^2$
Modulo de elasticidad de la mampostería	=	$= 750 \text{ f'm}$
Distancia desde el eje "X" al centro del murete	=	$d$
Carga axial total	=	$\text{III} = 15 \text{ 000 kg}$

Determinación de inercia para cada segmento de murete en la zona de la abertura según el método (CE3).

\_\_\_\_\_

El módulo de elasticidad esta dado por

\_\_\_\_\_

Determinación de la rigidez lateral para un murete.

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

---

$R_T = R_1 + R_2$  pero por simetría de los muretes laterales a la abertura la rigidez total es

Encontrando la deriva total que permiten las rigideces de los muretes, utilizando una carga lateral de 7000 kilogramos Y el método II de las rigideces.

---

Esfuerzo axial máximo (fa) vrs. Esfuerzo admisible ( ).

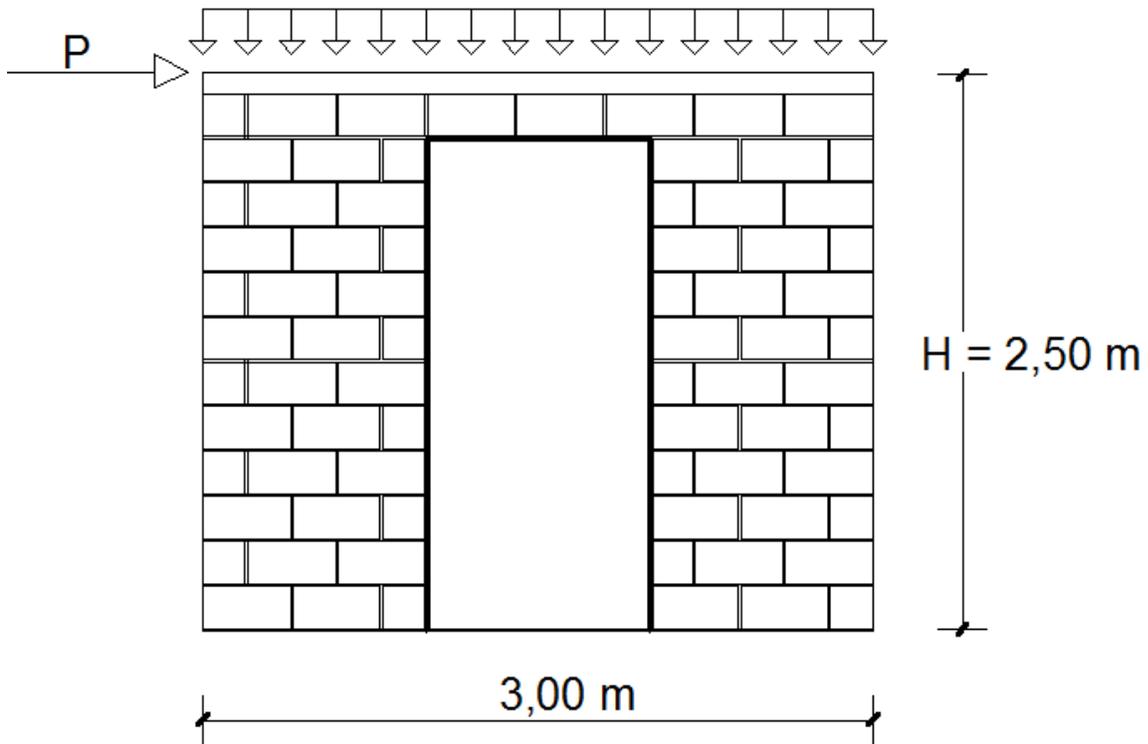
---

Cortante de diseño ante cortante máximo admisible: utilizando las características ya especificadas en el listado anterior.

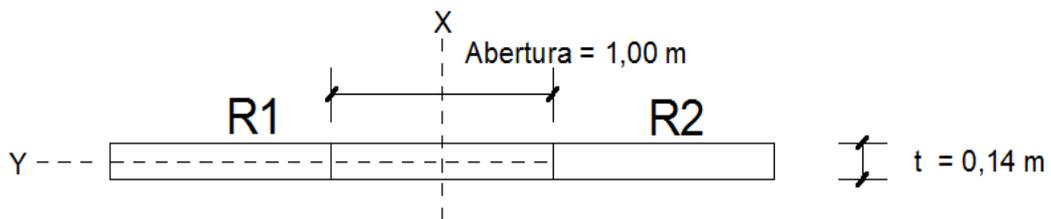
Cálculo de cortante utilizando solo mampostería y descontando la abertura.

La ubicación de la abertura será al centro del muro, con dimensiones de 1,00 metros de ancho por 2,20 metros de alto.

Figura 25. **Esquema de muro con sexta propuesta de abertura**



Sección del muro con abertura en el centro.



Fuente: elaboración propia.

El muro continuo y sus características se esquematizan en la figura 25.  
 Para la realización de los cálculos se toman los siguientes datos:

Longitud total del muro	=	$L = 3,00 \text{ m}$
Altura del muro	=	$H = 2,50 \text{ m}$
Espesor efectivo	=	$t = 0,14 \text{ m}$
Resistencia de la mampostería	=	$= 35 \text{ Kg/cm}^2$
Modulo de elasticidad de la mampostería	=	$= 750 \text{ f'm}$
Distancia desde el eje "X" al centro del murete	=	$d$
Carga axial total	=	$\text{III} = 15\ 000 \text{ kg}$

Determinación de inercia para cada segmento de murete en la zona de la  
 abertura según el método (CE3).

\_\_\_\_\_

El módulo de elasticidad esta dado por

\_\_\_\_\_

Determinación de la rigidez lateral para un murete.

\_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

---

$R_T = R_1 + R_2$  pero por simetría de los muretes laterales a la abertura la rigidez total es

Encontrando la deriva total que permiten las rigideces de los muretes, utilizando una carga lateral de 7000 kilogramos Y el método II de las rigideces.

---

Esfuerzo axial máximo (fa) vs Esfuerzo admisible ( ).

---

Cortante de diseño ante cortante máximo admisible. Utilizando las características ya especificadas en el listado anterior.

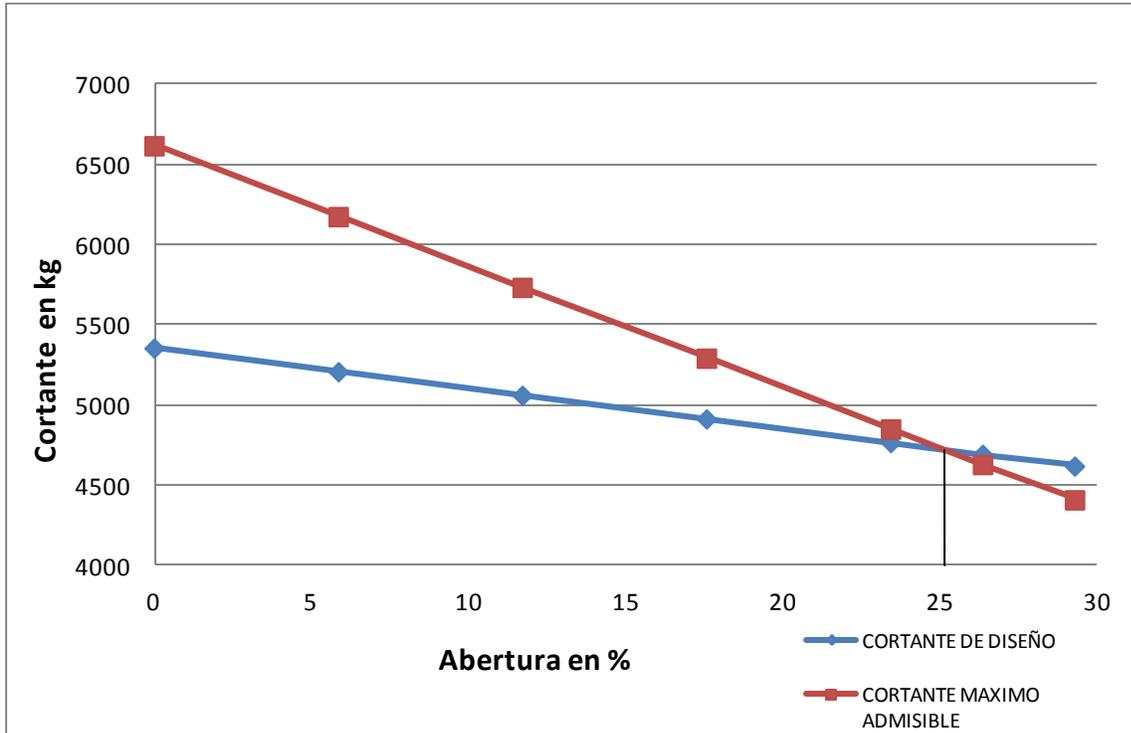
Calculo de cortante utilizando solo mampostería y descontando la abertura.

Tabla III. Resumen de cálculos en muros con aberturas en centro

Muro	Dimensión de abertura en (m)	Inercia (cm <sup>4</sup> ) X10 <sup>3</sup>	Rigidez (kg/cm)	Deriva en (cm)	Esfuerzo axial (kg/cm <sup>2</sup> ) 5,18 Max	Cortante diseño	Cortante Max	% área abertura
1	0	31 500	76 326	0,092	3,57	5 355	6 615	0
2	0,20 x 2,20	31 490	73 586	0,095	3,82	5 208	6 174	5,87
3	0,40 x 2,20	31 425	70 600	0,099	4,12	5 061	5 733	11,73
4	0,60 x 2,20	31 248	67 326	0,104	4,46	4 914	5 292	17,6
5	0,80 x 2,20	30 900	63 704	0,109	4,87	4 767	4 851	23,47
6	0,90 x 2,20	30 640	61 752	0,113	5,10	<b><u>4 693</u></b>	<b><u>4 630</u></b>	<b><u>26,4</u></b>
7	1,00 x 2,20	30 200	59 614	0,127	<b><u>5,35</u></b>	4 620	4 410	29,33

Fuente: elaboración propia.

Figura 26. Cortante de diseño, cortante máximo vrs aberturas

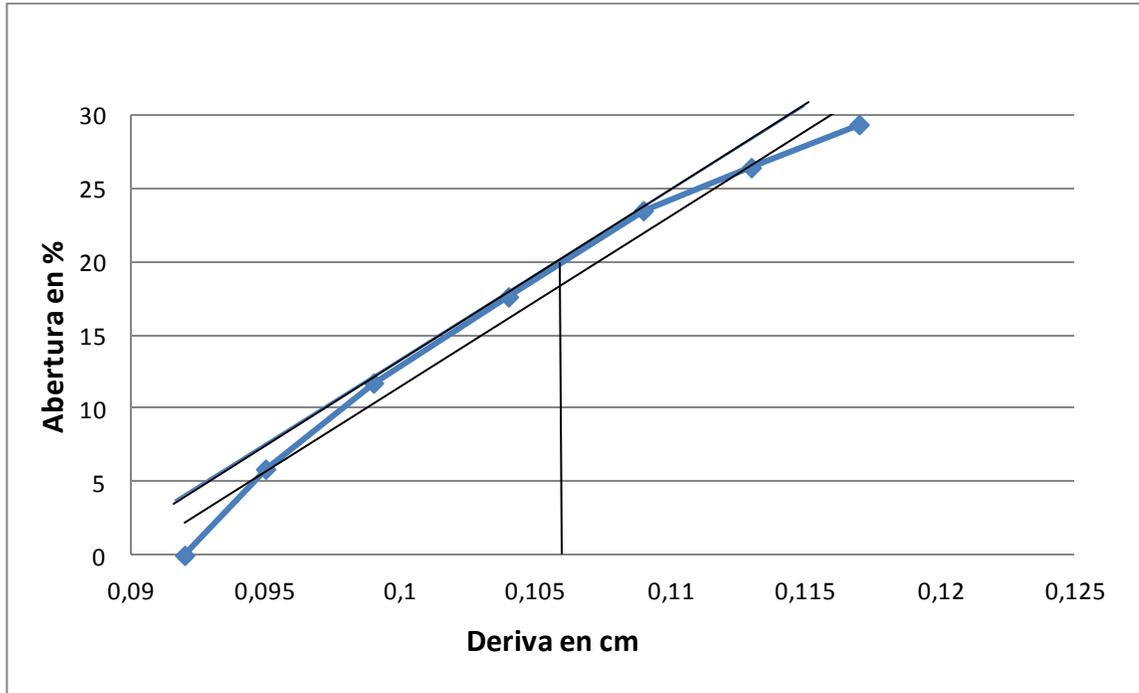


Fuente: elaboración propia.

Según los datos de la tabla III, con el 26,4% de abertura en el muro se sobrepasa el cortante máximo admisible, por lo que en la (figura 27) se puede observar que la máxima abertura es el 25% de área total que corresponde a una abertura de 0,85 metros x 2,2 metros.

El 25% encontrado se ha hecho con la resistencia nominal porque necesitamos reducir la resistencia en un 20% como lo especifica el ACI 318 2008 en la sección 9,3; por lo que también se necesita reducir el % de abertura; entonces la abertura quedaría de la siguiente manera  $0.8 \times 25\% = 20\%$

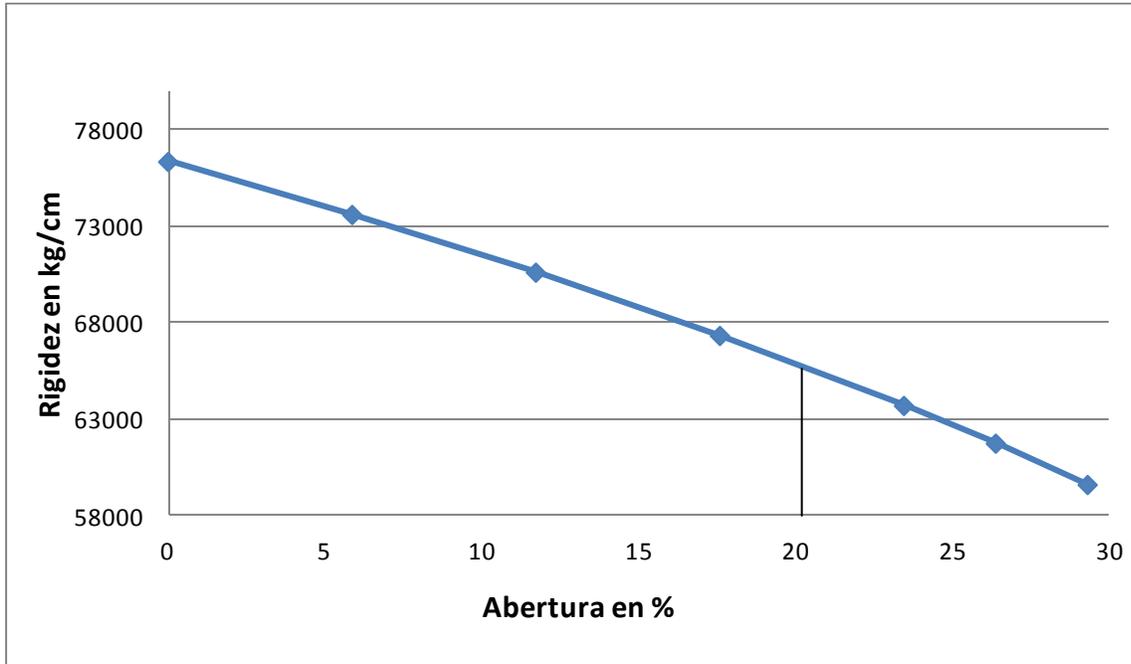
Figura 27. **Abertura vrs deriva**



Fuente: elaboración propia.

La figura 28 presenta el comportamiento del muro mostrando su desplazamiento el cual es proporcional en crecimiento con la abertura. Pero se puede observar que la tangente toca un punto que nos señala una abertura aproximada de 20%.

Figura 28. Rigidez vrs abertura



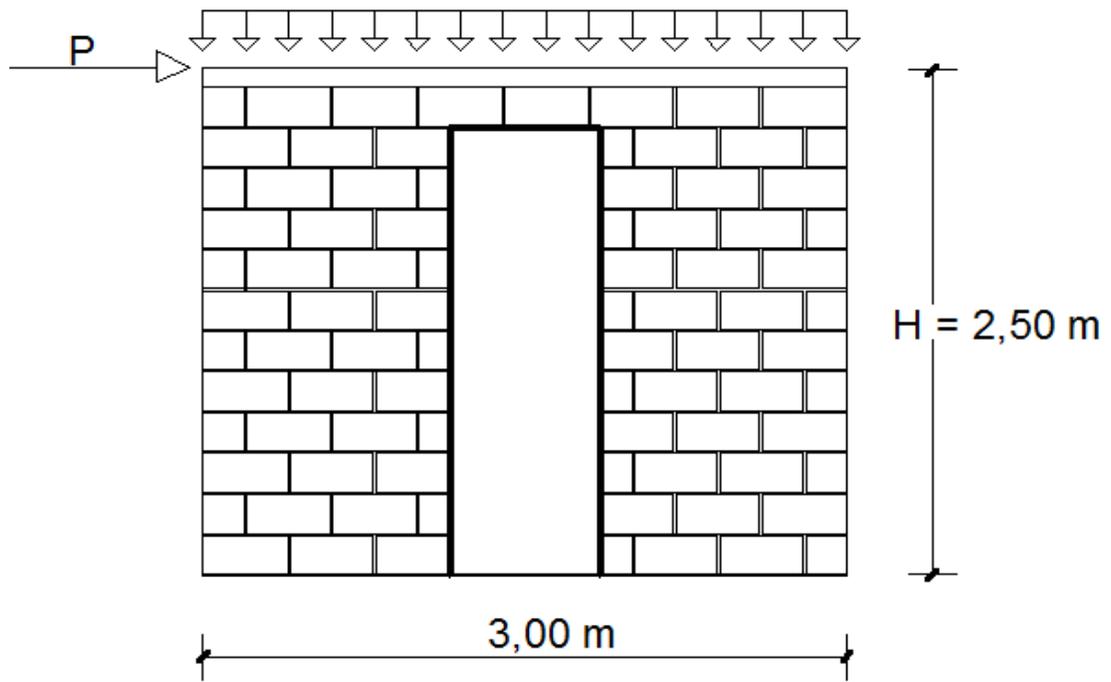
Fuente: elaboración propia.

El cambio de rigidez es grande si es comparado con el muro continuo y el muro con la primera abertura, luego con crecimiento uniforme de la abertura las rigideces crecen proporcionalmente a la abertura, hasta que se observa un cambio abrupto de 4000 kilogramos/centímetro que coincide con el rango donde se encuentra la máxima abertura en % que se puede tener en un muro para considerarlo continuo.

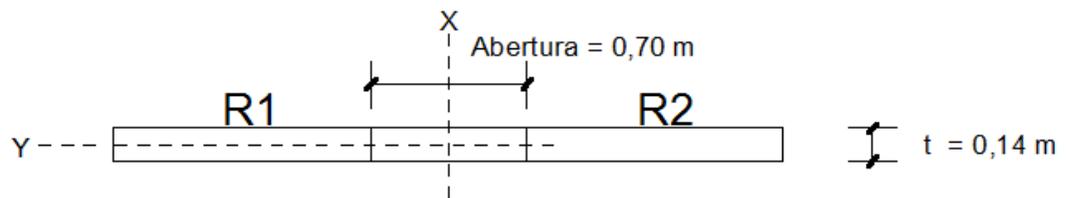
Con el análisis de las tres gráficas se concluye que el muro tiene un comportamiento aceptable ante las sollicitaciones expuestas y se puede considerar como un muro continuo en cuanto su resistencia, esto con un 20% de abertura.

Análisis de la abertura máxima para determinar los valores críticos y máximos. Con abertura de 0,70 metros de ancho por 2,2 metros de alto.

Figura 29. **Esquema de muro con abertura máxima**



Sección del muro con abertura en el centro.



Fuente: elaboración propia.

El muro con la abertura máxima en su centro y sus características se esquematizan en la figura 29. Para la realización de los cálculos se toman los siguientes datos:

Longitud total del muro	=	$L = 3,00 \text{ m}$
Altura del muro	=	$H = 2,50 \text{ m}$
Espesor efectivo	=	$t = 0,14 \text{ m}$
Resistencia de la mampostería	=	$= 35 \text{ Kg/cm}^2$
Modulo de elasticidad de la mampostería	=	$= 750 \text{ f'm}$
Distancia desde el eje "X" al centro del murete	=	$d$
Carga axial total	=	$\omega = 15\,000 \text{ kg}$

Determinación de inercia para cada segmento de murete en la zona de la abertura según el método (CE3).

\_\_\_\_\_

El módulo de elasticidad esta dado por

\_\_\_\_\_

Determinación de la rigidez lateral para un murete.

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

---

$R_T = R_1 + R_2$  pero por simetría de los muretes laterales a la abertura la rigidez total es

Encontrando la deriva total que permiten las rigideces de los muretes, utilizando una carga lateral de 7000 kilogramos Y el método II de las rigideces.

---

Esfuerzo axial máximo (fa) vrs. Esfuerzo admisible ( ).

---

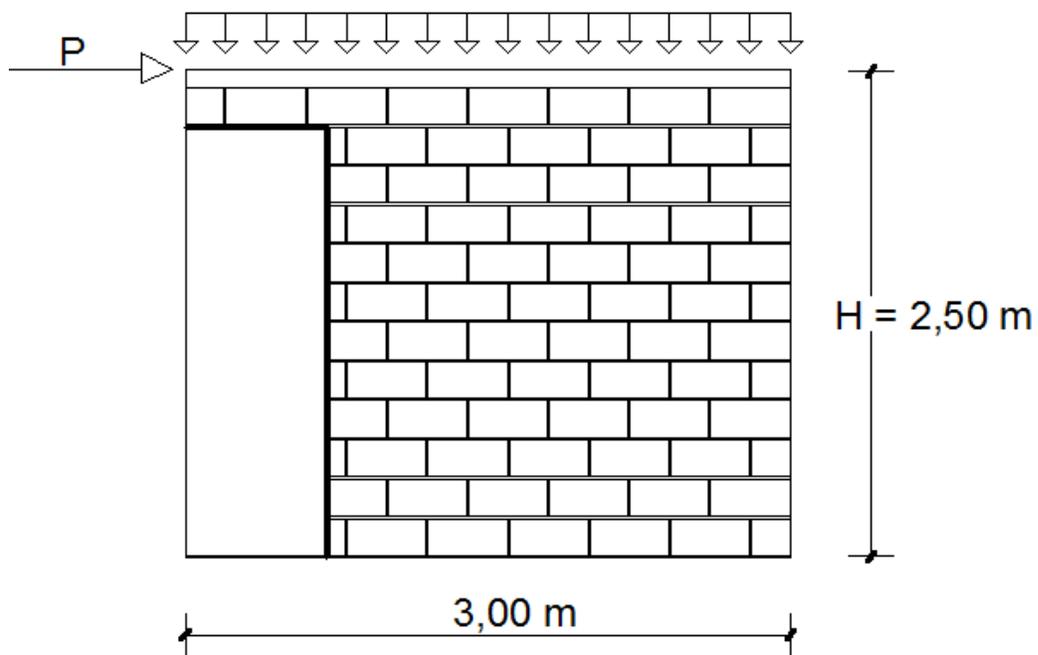
Cortante de diseño ante cortante máximo admisible. Utilizando las características ya especificadas en el listado anterior.

Cálculo de cortante utilizando solo mampostería y descontando la abertura.

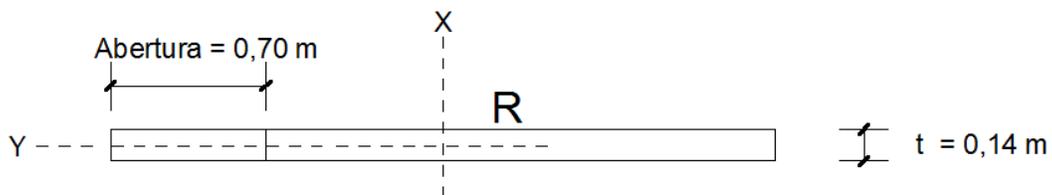
Se moverá la máxima abertura determinada, para analizar el comportamiento del muro cuando la abertura no se encuentra en el centro.

La ubicación de la abertura será al extremo izquierdo, con dimensiones de 0,70 metros de ancho por 2,20 metros de alto.

Figura 30. **Esquema de muro con abertura máxima en un extremo**



Sección del muro con abertura en el extremo izquierdo.



Fuente: elaboración propia.

El muro con abertura en un extremo se esquematiza en la figura 30. Para la realización de los cálculos se toman los siguientes datos:

Longitud total del muro	=	$L = 3,00 \text{ m}$
Altura del muro	=	$H = 2,50 \text{ m}$
Espesor efectivo	=	$t = 0,14 \text{ m}$
Resistencia de la mampostería	=	$= 35 \text{ Kg/cm}^2$
Modulo de elasticidad de la mampostería	=	$= 750 \text{ f'm}$
Distancia desde el eje "X" al centro del murete	=	$d$
Carga axial total	=	$\text{III} = 15\ 000 \text{ kg}$

Determinación de inercia para cada segmento de murete en la zona de la abertura según el método (CE3). Para este caso se divide en tres partes al muro, 2 del tamaño de la abertura a los extremos y el tercero lo que queda de la longitud.

\_\_\_\_\_

El modulo de elasticidad esta dado por.

\_\_\_\_\_

Determinación de la rigidez lateral para un murete.

---

---

---

Encontrando la deriva total que permiten las rigideces de los muretes, utilizando una carga lateral de 7000 kilogramos Y el método II de las rigideces.

---

Esfuerzo axial máximo (fa) vrs. Esfuerzo admisible ( ).

---

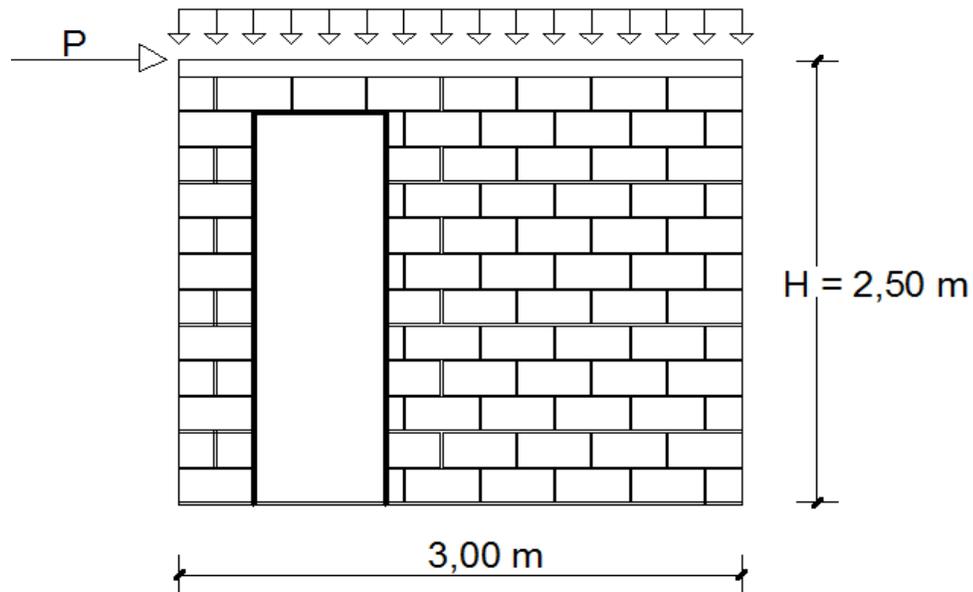
Cortante de diseño ante cortante máximo admisible. Utilizando las características ya especificadas en el listado anterior.

Cálculo de cortante utilizando solo mampostería y descontando la abertura.

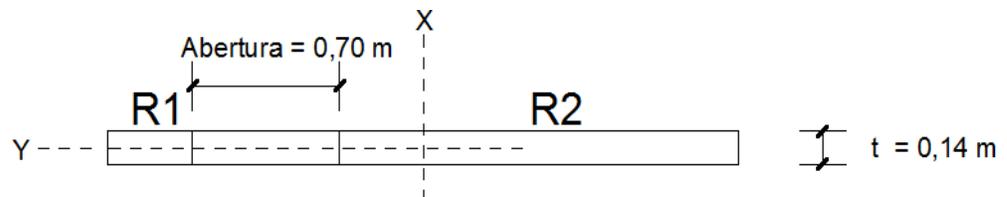
Si la abertura se coloca en el extremo derecho se obtendrán los mismos resultados, esto debido a que nuestra longitud sería la misma y no cambiaría el área y la inercia.

La ubicación de la abertura será en centro del lado izquierdo, con dimensiones de 0,70 metros de ancho por 2,20 metros de alto.

Figura 31. **Esquema de muro con abertura máxima y excentricidad**



Sección del muro con abertura en el extremo izquierdo.



Fuente: elaboración propia.

El muro y sus características se esquematizan en la figura 31. Para la realización de los cálculos se toman los siguientes datos:

Longitud total del muro	=	$L = 3,00 \text{ m}$
Altura del muro	=	$H = 2,50 \text{ m}$
Espesor efectivo	=	$t = 0,14 \text{ m}$
Resistencia de la mampostería	=	$= 55 \text{ Kg/cm}^2$
Modulo de elasticidad de la mampostería	=	$= 750 \text{ f'm}$
Distancia desde el eje "X" al centro del murete	=	$d$
Carga axial total	=	$\omega = 15\ 000 \text{ kg}$

Determinación de inercia para el segmento en el lado izquierdo de la abertura.

\_\_\_\_\_

El módulo de elasticidad esta dado por.

\_\_\_\_\_

Determinación de la rigidez lateral para un murete.

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

---

Determinación de la inercia para el segmento de muro al lado derecho de la abertura con referencia al eje "x"

---

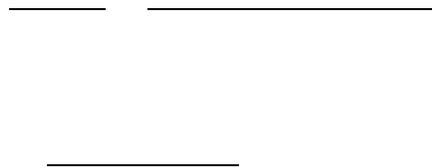
El módulo de elasticidad esta dado por

Determinación de la rigidez lateral para un murete.

---

$R_T = R_1 + R_2$  no existe simetría de los muretes laterales a la abertura y la rigidez total es , aquí se debe de aplicar una corrección por la excentricidad de la abertura.

Encontrando la deriva total que permiten las rigideces de los muretes, utilizando una carga lateral de 7000 kilogramos Y el método II de las rigideces.



Esfuerzo axial máximo (fa) vs. Esfuerzo admisible ( ).



Cortante de diseño ante cortante máximo admisible. Utilizando las características ya especificadas en el listado anterior.

Calculo de cortante utilizando solo mampostería y descontando la abertura.

Si la abertura la coloca en el centro del lado derecho se obtendrán los mismos resultados, esto debido a la simetría.

### **3.11. Conclusiones del análisis teórico**

Con todo el procedimiento de análisis teórico realizado en base a la rigidez y el cortante de diseño en este capítulo, se concluye que un muro trabaja como continuo en cuanto a su resistencia, con un 20% de abertura del área total.

Es necesario hacer la observación de que si la abertura se corre con un 100% de excentricidad hacia cualquiera de los extremos, la rigidez del muro disminuye en un 23%; esto concuerda con la norma FHA, la cual especifica que aberturas no deben estar a menos de 70 centímetros de las intersecciones o uniones de los muros unos con otros.

Se debe hacer énfasis en otro aspecto importante, refiriéndose al tamaño de las aberturas, ya que para obtener el 20% del área máxima la abertura debe tomar siempre la forma rectangular, porque lo crítico lo hace lo ancho y no lo alto de la abertura.



## **4. ANÁLISIS DE ENSAYOS EN MUROS DE MAMPOSTERÍA CON ABERTURAS**

En este capítulo se analiza un muro ensayado a escala natural por el Área de Estructuras del Centro de Investigaciones de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

### **4.1. Observación directa e indirecta**

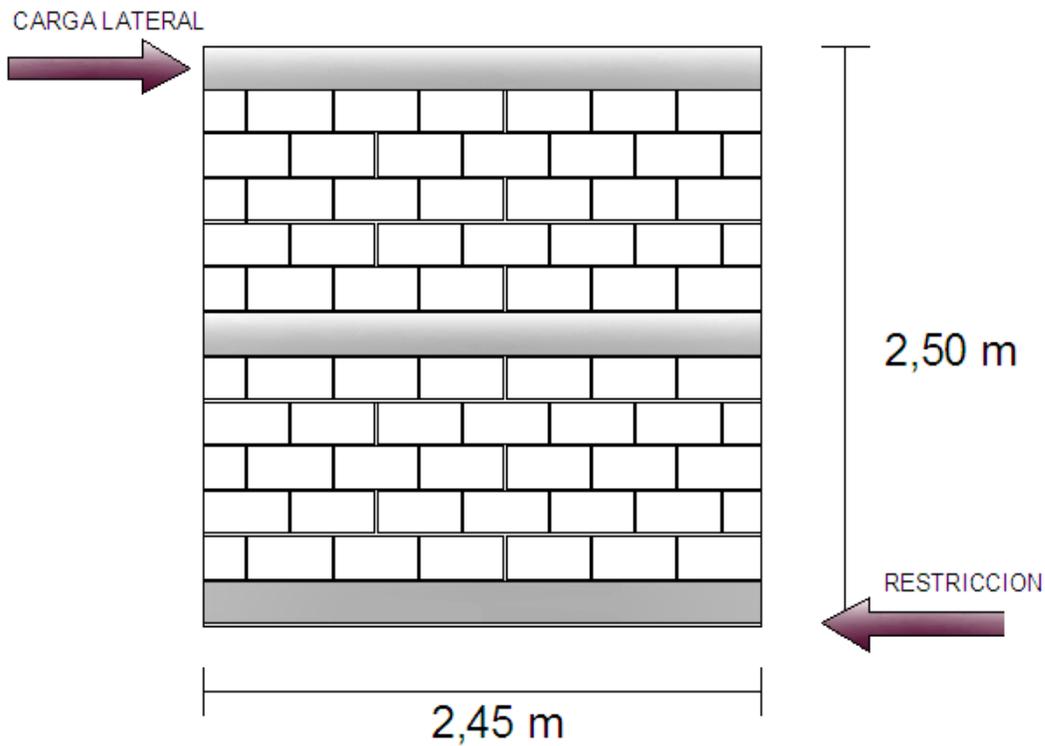
Estas clases de observaciones toman en cuenta los pormenores del muro ensayado, en este caso se usa el informe técnico E- 30, O. T. 19183 realizado en octubre del 2005 bajo la supervisión del ingeniero Mario Rodolfo Corzo Ávila.

El muro a utilizar se asemeja al muro propuesto en el análisis teórico del capítulo 3, la misma cuenta con dimensiones de 2,45 metros de largo por 2,50 metros de altura. Las dimensiones de la mampostería son, 0,20 metros de ancho, 0,20 de alto y 0,40 metros de largo.

El muro antes descrito se ensayo a corte y compresión, además se realizaron ensayos para determinar el , también se utilizo una carga de trabajo a corte de 4000 kilogramos y colapso con 18 535,4 kilogramos.

El siguiente esquema es una copia del esquema que se encuentra en el informe técnico E-30.

Figura 32. **Esquema de muro ensayado**



Fuente: elaboración propia.

#### **4.2. Características de las aberturas**

Se utiliza el muro continuo (sin aberturas) descrito en la sección 4.1., debido a que no se encontró un muro ensayado con aberturas que tuviera las mismas cualidades en cuanto al tipo de mampostería. Además de esto se utiliza el mismo muro pero evaluándolo con el porcentaje de abertura máxima determinada en el capítulo 3, las dimensiones de la abertura serán determinadas debido a las dimensiones de este nuevo muro.

#### **4.3. Evaluación de las aberturas**

La abertura propuesta para el análisis de un muro continuo ensayado, dará resultados importantes, esto por la comparación de resultados que se hará con los datos del muro ensayado y con los datos del muro con abertura máxima determinado en el capítulo 3.

#### **4.4. Determinación de la ubicación y magnitud de la abertura**

La ubicación de la abertura será al centro del muro y las dimensiones se obtienen del 20% del área total del muro que fue ensayado, el criterio base es la abertura máxima obtenida en capítulo 3, y con la siguiente fórmula se encuentran las dimensiones.

—

Entonces las dimensiones de la abertura son, 2,2 metros de largo por 0,55 metros de ancho, las cuales corresponden a las letras minúsculas.

#### **4.5. Análisis según los datos obtenidos en ensayos**

Algo muy importante de analizar en el ensayo que se usa como referencia, son los datos obtenidos en la tabla de resultados, como ejemplo claro está el modulo de elasticidad, este teóricamente se sobrestima en valor, pero aquí se puede observar el resulta un poco bajo si se compara con los valores estándar que se utilizan en los análisis teóricos, además no se deben utilizar las cargas obtenidas hasta el colapso según el ensayo, debido a la fórmula de rigidez que se utiliza en este trabajo, ya que esta solo sirve para calcular la rigidez inicial.

#### 4.6. Determinación de la rigidez de diseño

El muro y sus características se esquematizan en la figura 32. Para la realización de los cálculos se toman los siguientes datos que pertenecen al muro ensayado.

Longitud total del muro	=	$L = 2,45 \text{ m}$
Altura del muro	=	$H = 2,50 \text{ m}$
Espesor efectivo	=	$t = 0,20 \text{ m}$
Resistencia según el ensayo	=	$= 22,85 \text{ Kg/cm}^2$
Modulo de elasticidad de la mampostería	=	$= 750 \text{ f'm}$
Distancia desde el eje "X" al centro del murete	=	$d$
Carga axial total	=	$\omega = 15 \text{ 000 kg}$

Determinación de inercia para cada segmento de murete en la zona de la abertura según el método (CE3).

—

—————

El módulo de elasticidad esta dado por.

Determinación de la rigidez lateral para un murete.



#### **4.7. Determinación de la deriva de diseño**

Aquí se utilizan los datos obtenidos en el ensayo del muro continuo y encuentra la deriva con la carga que causo la máxima deriva en el ensayo, la cual es de 3 746,40 kilogramos.



#### **4.8. Determinación de esfuerzos axiales y corte de diseño**

Se utiliza la carga a compresión teórica del capítulo 3, debido a que en el ensayo solo encontramos la carga de colapso la cual es muy grande comparada con la carga de trabajo.

Esfuerzos de Compresión Axial. Para diseño de muros armados y confinados, el esfuerzo admisible ( ) está dado por la siguiente expresión (donde la cantidad entre paréntesis expresa la reducción de resistencia por esbeltez del muro):

En este caso:

Esfuerzo axial máximo (fa) vs. Esfuerzo admisible ( ).

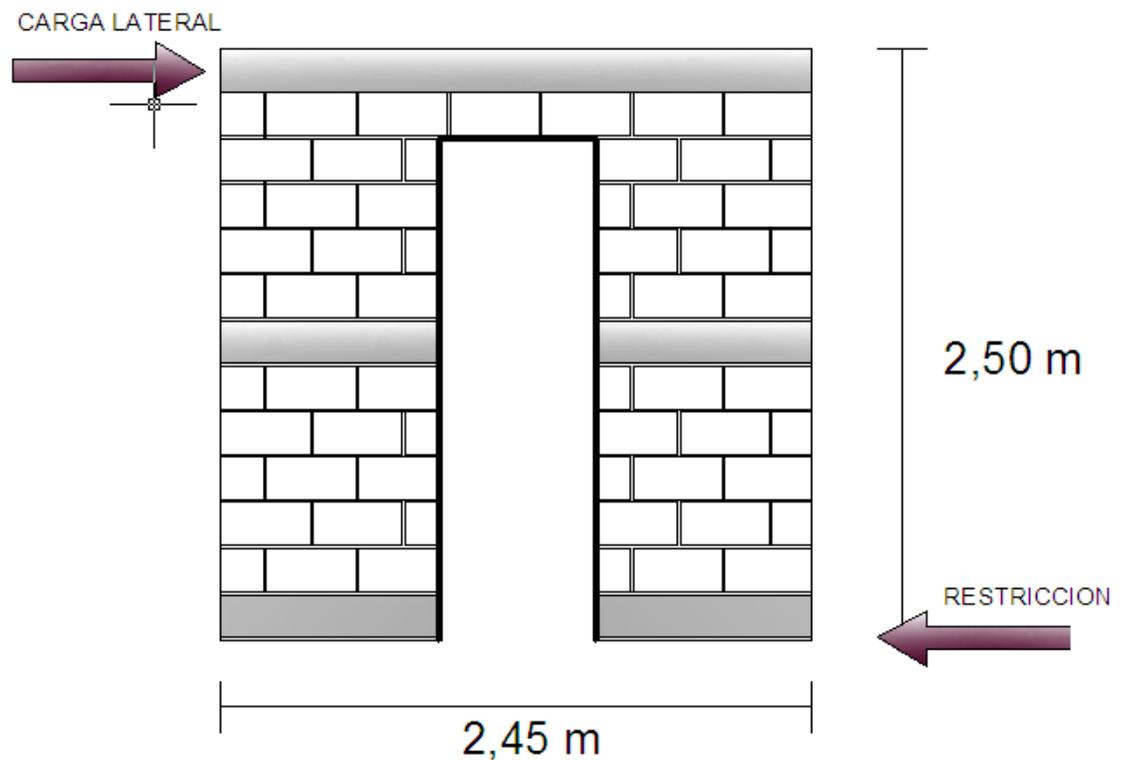
— —————

Cortante de diseño ante cortante máximo admisible: utilizando las características ya especificadas en el listado anterior.

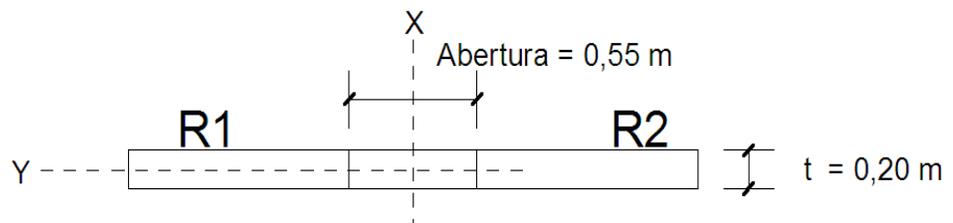
Cálculo de cortante utilizando solo mampostería y como muro continuo.

Según se explico anteriormente, al muro continuo ensayado en el centro de investigaciones se implementa una abertura para hacer comparaciones, y obtener buenas conclusiones.

Figura 33. **Esquema del muro ensayado con abertura propuesta**



Sección del muro con abertura en el extremo izquierdo



Fuente: elaboración propia.

A continuación se usa la abertura propuesta en la sección 4.4., y se esquematiza en la figura 33, se usan las características del muro ensayado las cuales se lista a continuación:

Longitud total del muro	=	$L = 2,45 \text{ m}$
Altura del muro	=	$H = 2,50 \text{ m}$
Espesor efectivo	=	$t = 0,20 \text{ m}$
Resistencia de la mampostería	=	$= 22,85 \text{ Kg/cm}^2$
Modulo de elasticidad de la mampostería	=	$= 750 \text{ f'm}$
Distancia desde el eje "X" al centro del murete	=	$d$
Carga axial total	=	$\omega = 15 \text{ 000 kg}$

Determinación de inercia para cada segmento de murete en la zona de la abertura según el método (CE3).

\_\_\_\_\_

El módulo de elasticidad esta dado por

\_\_\_\_\_

Determinación de la rigidez lateral para un murete.

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

---

$R_T = R_1 + R_2$  pero por simetría de los muretes laterales a la abertura la rigidez total es

Encontrando la deriva total que permiten las rigideces de los muretes, utilizando una carga lateral de 7000 kilogramos Y el método II de las rigideces.

---

Esfuerzo axial máximo ( $f_a$ ) vs Esfuerzo admisible ( ).

---

Cortante de diseño ante cortante máximo admisible: utilizando las características ya especificadas en el listado anterior.

Cálculo de cortante utilizando solo mampostería y descontando la abertura.

#### **4.9. Conclusiones del análisis de ensayos**

La parte más importante a enfatizar en el análisis del muro ensayado, es la propuesta de la abertura, ya que necesita constatar el 20% de la abertura y lo hacemos observando la resistencia de diseño a corte.

Debido a la utilización directa de un 20% de área para la abertura en el muro ensayado, se puede ver qué resultados de cortante coinciden con la teoría del capítulo 3. Esto aplicando el factor de 0,8 según ACI 318 2008 al cortante máximo admisible.

Se hace una comparación de la teoría aquí presentada, con la conclusión de un análisis encontrado en el trabajo de graduación de Juan Borman Emanuel López Rivera, sobre electropanel de poliestireno expandido, por lo que se puede decir que el 20% de abertura es funcional para otro tipo de mampostería y otras condiciones de servicio.

## CONCLUSIONES

1. Con el análisis teórico, utilizando las características apropiadas de los materiales según las normas y códigos que se presentan en la bibliografía, se determinó la abertura máxima para un muro de mampostería el cual corresponde a un 20% del área total.
2. Se probaron tres métodos para determinar la inercia a utilizar en la fórmula de la rigidez, y se considera que el método III, es el que arroja resultados más exactos si se compara con los resultados obtenidos en un software para análisis.
3. La base para la determinación de la de las aberturas máximas es la rigidez inicial, la cual solo toma en cuenta el módulo de elasticidad de la mampostería, la inercia, la altura y el largo del muro.
4. Se escogió un muro ensayado en el Departamento de Estructuras del Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, para hacer una aplicación de la abertura máxima teórica, tomando en cuenta los valores usados en el ensayo y determinando el comportamiento del mismo.
5. La abertura máxima no depende del tipo de mampostería según la comparación de este trabajo, con un resultado obtenido en el trabajo de graduación de Juan Borman Emanuel López Rivera; pero si depende de la ubicación en la que se encuentra la abertura en el plano del muro.

6. Los tipos de aberturas que existen son diversos, pero todos dependen de la forma que se les quiera dar, ya que esto hace crítico el comportamiento según lo analizado en el capítulo 3 de este trabajo. Las dimensiones de la abertura están limitadas en lo largo y ancho, tomando en cuenta de que estos no pueden intercambiarse en medidas aunque el resultado del área sea el mismo.

## RECOMENDACIONES

1. Debido a que una abertura es casi inevitable en viviendas y otras edificaciones, se recomienda verificar la rigidez del muro que contiene la abertura, utilizando el método presentado en este trabajo ya que es sencillo si se conocen las propiedades de los materiales que utilizarán para la construcción de los mismos.
2. No se deben de dejar las aberturas en los extremos de los muros o sea cerca de las columnas o en las esquinas (intersecciones de los mismos) ya que en estos casos la abertura máxima no cumple con la continuidad según se verifico moviendo la abertura máxima a los extremos, esta cumple cuando está en el centro y a excentricidades pequeñas.
3. Es recomendable que la forma de las aberturas sea como la de un rectángulo, con la dimensión más grande en la altura del muro, debido a que en el otro sentido hace que los muretes laterales a la abertura sean más pequeños disminuyendo así su resistencia.
4. Es recomendable que después de obtener información del comportamiento del muro con abertura, se tome la decisión de la forma en que se deben acoplar los muretes laterales a la abertura, estas formas pueden ser: la losa, una solera, o ambos, ya que estos transmiten la fuerza de un murete a otro.

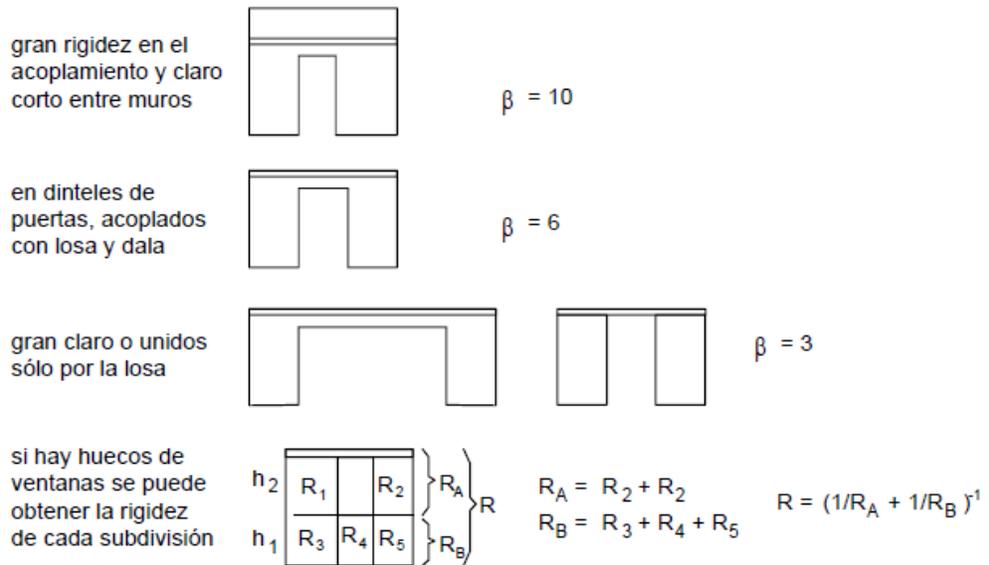
5. Como es común por causas arquitectónicas que se sobrepase la máxima abertura, es recomendable utilizar una costilla en un lado de la abertura o en ambos, dependiendo de lo crítico que sea el comportamiento de nuestro muro se puede tomar la decisión de construir muros individuales, ya que la rigidez de un muro puede afectar a la rigidez de todo un nivel de nuestra edificación y por consiguiente hacer que todo colapse cuando esté sometido a fuerzas accidentales como los producidos por sismos.

## BIBLIOGRAFÍA

1. American Concrete Institute. Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural y comentario: ACI 318S-08. Farmington Hills Michigan, 2008. 111 p.
2. AMRHEIN E, James. *Reinforced Masonry Engineering Handbook: clay and concrete masonry*. 5ª ed. Los Ángeles California: Masonry Institute of America, 1994. 470 p.
3. Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica. *Normas de seguridad estructural de edificios y obras de infraestructura para la República de Guatemala*. Guatemala: AGIES, 2010. 75 p.
4. CIRSOC. *Reglamento argentino de estructuras de mampostería*. Argentina: Instituto Nacional de Tecnología Industrial, 2007. 36 p.
5. CORZO ÁVILA, Mario Rodolfo. *Notas generales sobre mampostería*. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1994. 96 p.
6. International Code Council. *Código Internacional de la Edificación (IBC)*. Estados Unidos de América, 2003. 280 p.

7. SAN BARTOLOMÉ RAMOS, Ángel. *Construcciones de albañilería, comportamiento sísmico y diseño estructural*. Perú: Pontificia Universidad Católica de Perú, 1994. 88 p.
8. Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural. *Edificaciones de mampostería para vivienda*. Memorias. México: Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural, 1997. 316 p.
9. Uniform Building Code. *Reglamento para el diseño de ingeniería estructural y comentario. Versión en inglés y en sistema inglés*. Vol. I, Estados Unidos de America: UBC, 1997.195 p.

## ANEXOS



(Tomando en cuenta el giro en la base para  $R_1$  y  $R_2$ ):  $R_{1,2} = \left( \frac{(h_2)^3}{3EI} + \frac{h_2}{GA} + \frac{h_2(h_1)^2}{2EI} \right)^{-1}$

