

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE NICARAGUA

UNAN-MANAGUA

RECINTO UNIVERSITARIO RUBÉN DARÍO.

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA.

DIRECCIÓN DE INGENIERÍA CIVIL



MONOGRAFÍA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

TEMA

**ELABORACIÓN DE UN MANUAL DEL PROCESO
CONSTRUCTIVO DE MAMPOSTERÍA EN NICARAGUA.**

ELABORADO POR:

BR. JUAN JOSÉ MAYORGA ESPINOZA

TUTOR:

ING. BAYARDO ALTAMIRANO

MANAGUA, NICARAGUA

MARZO, 2017

ÍNDICE

Contenido

AGRADECIMIENTOS	8
INTRODUCCIÓN	9
OBJETIVOS ¹⁰	
ANTECEDENTES	11
JUSTIFICACIÓN	13
MARCO TEÓRICO	15
1. GENERALIDADES Y CONCEPTOS BÁSICOS DE MAMPOSTERÍA.	16
1.1 Definición de Mampostería	16
1.2 Clasificación de Mampostería	16
1.2.1 Mampostería Estructural	16
1.2.2 Mampostería Confinada	16
1.2.3 Mampostería Reforzada	16
1.2.3.1 Mampostería Reforzada Totalmente Inyectada	17
1.2.3.2 Mampostería Reforzada parcialmente Inyectada	17
1.2.3.3 Mampostería de Muros Confinados	17
1.2.4 Mampostería Simple	18
1.2.5 Mampostería en Piedra	18
1.2.6 Mampostería en Cavidad Reforzada	18
1.2.7 Mampostería sin Mortero	19
1.2.8 Mampostería Concertada	19
1.2.9 Mampostería Careada	19
1.3 Componentes de Mampostería	20
1.4 Ventajas de la Mampostería	22
1.5 Desventajas de la Mampostería	24
2. CARACTERÍSTICA DE LA MAMPOSTERÍA COMO MATERIAL COMPUESTO.	26
2.1 Propiedades de las unidades de Mampostería	27
2.1.1 Resistencia a compresión f'_{cu}	27
2.1.2 Resistencia a flexotracción	27
2.1.3 Módulo de Elasticidad E_u	28



2.1.4	Coeficiente de Poisson ν_u	28
2.2	Propiedades de las juntas de Mortero.....	28
2.2.1	Resistencia a Compresión f'_{cp}	29
2.2.2	Módulo de elasticidad E_p	29
2.2.3	Coeficiente de poisson ν_m	30
2.3	Interfaz entre la unidad y el Mortero.....	30
2.3.1	Resistencia al cortante.....	31
2.4	Comportamiento bajo esfuerzos de compresión Uniaxial.....	32
2.4.1	Mecanismo resistente y criterios de falla.....	33
2.4.2	Comportamiento tenso-deformacional σ - ϵ	49
2.4.3	Módulo de Elasticidad de la Mampostería E_m	51
2.5	COMPORTAMIENTO BAJO ESFUERZOS DE FLEXO-COMPRESIÓN Y	
CORTE.	54	
2.5.1	Comportamiento Paralelo Plano.....	54
2.5.1.1	Mecanismos de Falla.....	55
2.5.2	Comportamiento perpendicular al plano.....	63
2.5.2.1	Mecanismos de Falla uniaxiales. Flexión en direcciones principales....	63
2.5.2.2	Mecanismos de falla biaxiales. Flexión con Aparejo Esviado.....	66
2.5.2.3	Comportamiento Perpendicular al plano con un Esfuerzo Axial Vertical.	
	67	
3.	MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN PARA LA MAMPOSTERÍA.....	68
3.1	Unidades de Mampostería.....	68
3.1.1	Materia Prima.....	68
3.1.2	Fabricación.....	69
3.1.3	Tipos de unidades.....	71
3.1.4	Clasificación de las unidades.....	72
3.1.5	Propiedades físicas.....	72
3.1.5.1	Resistencia a la compresión.....	72
3.1.5.2	Absorción de agua y tasa inicial de absorción.....	73
3.1.5.3	Contenido de humedad.....	75
3.1.5.4	Aislamiento acústico.....	76
3.1.6	Características dimensionales.....	76
3.1.6.1	Modularidad y variaciones.....	76



3.1.6.2	Dimensiones.....	77
3.1.6.3	Paredes y perforaciones	77
3.2	Mortero de pega.....	79
3.2.1	Componentes	80
3.2.1.1	Cemento y Cal.....	80
3.2.1.2	Agregado	81
3.2.1.3	Agua.....	83
3.2.1.4	Aditivos	84
3.2.2	Propiedades de los Morteros de pega.....	84
3.2.2.1	Funciones del Mortero de pega.....	84
3.2.2.2	Propiedades del Mortero en Estado plástico.	85
3.2.2.3	Propiedades del Mortero en Estado Endurecido.....	87
3.2.3	Clasificación de los Morteros de pega.....	90
3.3	Mortero de relleno (Grous)	91
3.3.1	Componentes	92
3.3.1.1	Cemento y cal.....	92
3.3.1.2	Agregados.....	92
3.3.2	Preparación de la mezcla.....	93
3.3.3	Propiedades Físicas	94
3.4	Refuerzo.....	95
4.	ANÁLISIS Y DISEÑO DE MUROS DE MAMPOSTERÍA ESTRUCTURAL.	96
4.1	Muros.....	96
4.1.1	Clasificación de muros según su función mecánica.....	97
4.1.1.1	Muro de Carga.....	97
4.1.1.2	Muro Divisorio.....	97
4.2	Según el material del que esté construido.....	97
4.2.1	Muro de Contención.....	98
4.2.2	Muro Capuchino.....	98
4.2.3	Muro al Hilo.....	99
4.2.4	Muros Atizion.....	99
4.2.5	Muro Combinado.....	99
4.2.6	Muros Huecos.....	99



4.2.7	Muro de Piedra.....	100
4.2.8	Muro de Adobe.	100
4.3	Análisis estructural y de cargas.....	100
4.3.1	Configuración Arquitectónica.....	100
4.3.1.1	Configuración en planta.....	101
4.3.1.2	Configuración en altura.....	102
4.3.2	Configuración Estructural	103
4.3.2.1	Concentraciones de Masa	103
4.3.2.2	Excesiva flexibilidad estructural.....	103
4.3.2.3	Torsión.....	104
4.3.2.4	Correcciones de la configuración estructural.....	105
4.3.3	Modelación estructural.....	107
4.3.3.1	Clasificación de los muros estructurales en mampostería	107
4.3.3.2	Diafragma de piso.....	109
4.3.4	Determinación de fuerzas en los muros estructurales.....	110
4.3.4.1	Hipótesis para el análisis.....	111
4.3.4.2	Análisis de fuerzas verticales.....	113
4.3.4.3	Análisis de fuerzas horizontales.....	114
4.4	Análisis y diseño de muros de mampostería estructural.....	119
4.4.1	Hipótesis de diseño.....	119
4.4.2	Características mecánicas para el análisis y diseño de la mampostería 124	
4.4.2.1	Determinación de la resistencia a la compresión de la mampostería f_m . 124	
4.4.2.2	Módulos de elasticidad y de cortante.....	128
4.4.3	Resistencia de diseño.....	128
4.4.3.1	Valor de Φ Para fuerzas horizontales perpendiculares al plano del Muro 129	
4.4.3.2	Valores de Φ para fuerzas horizontales paralelas al plano del muro ...	129
4.4.4	Resistencia para carga axial de compresión.....	130
4.5	Diseño de muros en la dirección perpendicular a su plano.....	132
4.5.1.1	Resistencia a flexión y carga axial.....	132
4.6	Diseño de muros en la dirección paralela a su plano	135



4.6.1	Distribución del acero de refuerzo en los muros de mampostería.....	135
4.6.2	Resistencia a flexión y carga axial	137
4.7	Diseño de muros a cortante	145
4.7.1	Resistencia a cortante en la dirección paralela al plano del muro	145
4.7.2	Resistencia a cortante en la dirección perpendicular al plano del muro. 148	
4.8	Diseño de muros confinados.....	148
4.8.1	Suposiciones de diseño	149
4.8.2	Valores de Φ para reducción de resistencias nominales	149
4.8.3	Diseño para carga axial de compresión.	149
4.8.4	Diseño para fuerzas perpendiculares al plano del muro.....	150
4.8.4.1	Diseño a flexo-compresión.....	150
4.8.4.2	Diseño a Cortante	151
4.8.5	Diseño para fuerzas paralelas al plano del muro	151
4.8.5.1	Diseño a flexo-compresión.....	151
4.8.5.2	Diseño a cortante	154
5.	ANÁLISIS Y DISEÑO DE VIGAS Y COLUMNAS.....	158
5.1	Definición de vigas	158
5.2	Clasificación de vigas	158
5.2.1	Vigas de Nivelación	159
5.2.2	Vigas Maestras.....	159
5.2.3	Vigas de acero L.....	159
5.2.4	Vigas Hip	159
5.2.5	Vigas “I” También conocidas como vigas “H”.	160
5.2.6	Vigas Flitch	160
5.2.7	Vigas de caja	160
5.2.8	Vigas de madera.....	161
5.2.9	Vigas de soporte	161
5.2.10	Vigas de Viguetas	161
5.2.11	Vigas de Tímpano	162
5.2.12	Viga de Pilares	162
5.2.13	Vigas continuas.....	162
5.2.14	Vigas Aéreas.....	163



5.2.15	Viga Corona	163
5.2.16	Viga Dintel	163
5.3	Las vigas según el modo en que están sometidas	164
5.3.1	Viga Simple	164
6.	Columnas	166
6.1	Clasificación de columnas	167
6.1.1	Columna Exenta	167
6.1.2	Columna Adosada	167
6.1.3	Columna Embebida	167
6.1.4	Columna Abalaustrada	168
6.1.5	Columna Fasciculada	168
6.1.6	Columna Geminada	168
6.1.7	Columna Historiada	169
6.1.8	Columna Rostrada	169
6.1.9	Columna Ofídica	169
6.1.10	Columna Salomónica	169
6.1.11	Columna Torsa	170
7.	CONCLUSIONES	171
8.	BIBLIOGRAFÍA	173
<u>ANEXOS</u>	174	





TEMA

**ELABORACIÓN DE UN MANUAL DEL PROCESO
CONSTRUCTIVO DE MAMPOSTERÍA EN NICARAGUA.**



AGRADECIMIENTOS

Primeramente a Dios, por ser quien hizo que fuera posible realizar este trabajo, por darme la fortaleza y la sabiduría.

A mis padres, especialmente a mi madre por el apoyo incondicional estos años.

Al ingeniero Bayardo Altamirano por apoyarme y colaborarme en la realización del trabajo

Al ingeniero Víctor Tirado, Director del Departamento de Construcción por su completa colaboración como director

A los amigos y compañeros por su amistad y experiencias vividas

A todas las personas que de alguna forma se hicieron partícipes en la realización de este trabajo

A la UNAN-Managua por la formación.



INTRODUCCIÓN

El presente trabajo es importante porque es una buena opción constructiva en el ramo de la construcción en Nicaragua, ya que presenta a nivel latinoamericano muchos problemas sísmicos, por lo cual se pretende construir estructuras seguras que satisfagan las diversas necesidades de resistencia ante cualquier evento sísmico, es por eso que se busca un sistema que minimicen un poco los efectos causados por un sismo.

Es por eso que abordamos primero las características generales del sistema constructivo de mampostería en Nicaragua. El cual hacemos una breve descripción del sistema constructivo y de los materiales que lo componen así como la clasificación de los principales productos construidos con este sistema constructivo.

Posteriormente se presentan las principales ventajas y propiedades de la mampostería como sistema constructivo.

Así mismo se plantea la aplicabilidad de este material en la construcción de nuestro país y sus principales usos como material de construcción.

Finalmente un manual paso a paso del proceso constructivo con mampostería, también hacemos énfasis en los equipos, herramientas y accesorios que se necesitan en el sistema de mampostería en el país, así como detalles estructurales de este sistema.



OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

- ✓ **Elaboración de un manual del proceso constructivo de la mampostería en Nicaragua que sirva de base a los profesionales del ramo de la construcción.**

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ **Identificar las características de la mampostería como sistema constructivo.**
- ✓ **Valorar las ventajas de este material de construcción.**
- ✓ **Determinar la aplicabilidad de este material en la construcción de nuestro país.**
- ✓ **Elaborar un manual del proceso constructivo con mampostería.**



ANTECEDENTES

Los primeros intentos del hombre para protegerse del frío y de los animales, se basaron en una mínima modificación del medio natural. La adecuación de cuevas a caverna naturales y la confección de chozas rudimentarias con piedras pegadas con barro eran tentativas para lograr una morada estable que no presuponía una idea clara de construcción. En las burdas construcciones primitivas los grandes bloques de piedras era utilizado sin modificaciones sensibles en su estado general.

El empleo de unidades de material excesivamente grandes, determinó una preponderancia entre el volumen del material de cerramiento y el espacio cerrado.

Para detallar lo que ha sido el desarrollo de la construcción basado en bloques a través de la historia, nos remontamos a sumeria (4.000 A.C) donde inventaron la ciudad, la irrigación, la escritura, los números, la rueda y el molde. Produjeron adobe de barro con paja, elaborados en moldes de madera y secadas al sol.

Luego perfeccionaron la técnica y se producen los primeros ladrillos (adobe al horno) que se pegaban con betún o alquitrán.

En el Antiguo Egipto, fueron muchas las obras construidas en mampostería. En donde predominaban las construcciones mortuorias como pirámides, cementerios y observatorios astronómicos, los cuales han sobrevividos a guerras, terremotos y decadencia, siendo hoy testimonio de una extraordinaria civilización. Sobresalen monumentos como los de Tebas, Karnak, Luxon y Tumbas como los de Kefren, Micerino y Keops; esta última, llamada pirámide de Gizeh, que es una de las mayores construcciones individuales que se hayan realizado.

Su construcción se inició en el año 2.700 A.C y duró aproximadamente veinte años, con una altura de 146,59 metros, una masa de piedra de 2,500.000 m³ bloques de piedra, con un peso de 2,5 toneladas cada uno y pegados con mortero de yeso impuro, marcando el máximo desarrollo en la construcción de este tipo de tumbas,



tanto por su tamaño como por la envergadura de los medios empleados en su elección.

Aunque la mampostería ha estado ligada al desarrollo del hombre en toda la historia, hasta el momento se había utilizado sin refuerzo, y es el año 1813 cuando se emplea refuerzo en una chimenea y en túneles en Inglaterra, construidos con piezas de arcilla.

En el año 1824 se inventa y patenta el cemento Portland, por el inglés Josep Aspdin. Con el descubrimiento del cemento se pensó en productos que no tuvieran que ser labrados, como la piedra y se desarrolló en 1850 el bloque de concreto. El bloque de concreto era solido hecho a mano en cimbras de madera, muy pesado ya que era elaborado en tamaños grandes y por ello difícil de manejar. A finales del siglo XIX se ideó el bloque hueco, observado que sus propiedades continuaban siendo satisfactorias a pesar de los huecos y desde ese momento los bloques solidos empezaron a desaparecer.

En el mismo año se inventa el bloque de concreto, se patenta el concreto reforzado. Y dieciséis años después, el francés Francois Hennebique construye factorías en Nantes y silos e Génova y Estrasburgo utilizando por primera vez el concreto reforzado.

En año 1866 se inventa el ladrillo sillico- calcáreo trayendo otra alternativa para la construcción en mampostería.



JUSTIFICACIÓN

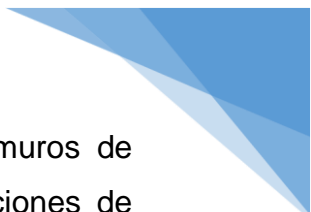
Por milenios, la humanidad ha construido toda clase de estructuras utilizando mampuestos de piedras, tierra, arcilla cocida y en tiempos más recientes, compuestos de cementos. Aún más, en nuestro país la mayor parte de todas las edificaciones que se construyen anualmente están estructuradas con ladrillos de arcilla cocida o de concreto.

Los sismos fuertes que han tenido lugar hasta la fecha en nuestro país, por ejemplo el sismo de 1972; han mostrado en la mayoría de los casos, que las estructuras de mampostería estructurales han sido las más afectadas y han producido pérdidas de vidas humanas considerablemente, comparadas con otros sistemas estructurales. En la mayoría de los casos, el tipo de falla ha estado relacionado con las deficiencias características de esta tipología constructiva, como son: diseño deficiente, malas conexiones, diagramas de pisos excesivamente flexibles y morteros de mala calidad entre otros.

Dando a entender que estas construcciones, es importante para el ingeniero calculista realizar un diseño adecuado de todos los elementos estructurales, tomando en consideración la seguridad, resistencia, economía y apariencia. Pero es igualmente importante que se especifiquen en las memorias los requisitos constructivos. Por lo tanto, con un conocimiento adecuado del comportamiento, el análisis, el diseño y los requisitos constructivos de los muros de mampostería estructural, van a permitir que las fallas que en muchos casos pueden ser catastrófico no se vuelvan a cometer.

Capítulo 1, se hace una reseña histórica de la mampostería y cómo han evolucionado estas a través de los años. Se definen los diferentes tipos de muros de mampostería estructural, que están referenciados en la RNC-07 Y NTON 12 008 09 y se presentan algunos sistemas constructivos en mampostería.





Capítulo 2, En este capítulo se describe el comportamiento de los muros de mampostería, se presentan varios análisis para las diferentes solicitaciones de cargas (como son comprensión pura y flexo- comprensión) y diferentes puntos de aplicaciones (como son paralelas y perpendicular al plano) y se analiza el módulo de elasticidad de la mampostería.

Capítulo 3, Define los materiales para la construcción de muros de mampostería principalmente desde el punto de vista de las propiedades necesarias para un buen comportamiento de los componentes dentro del muro.

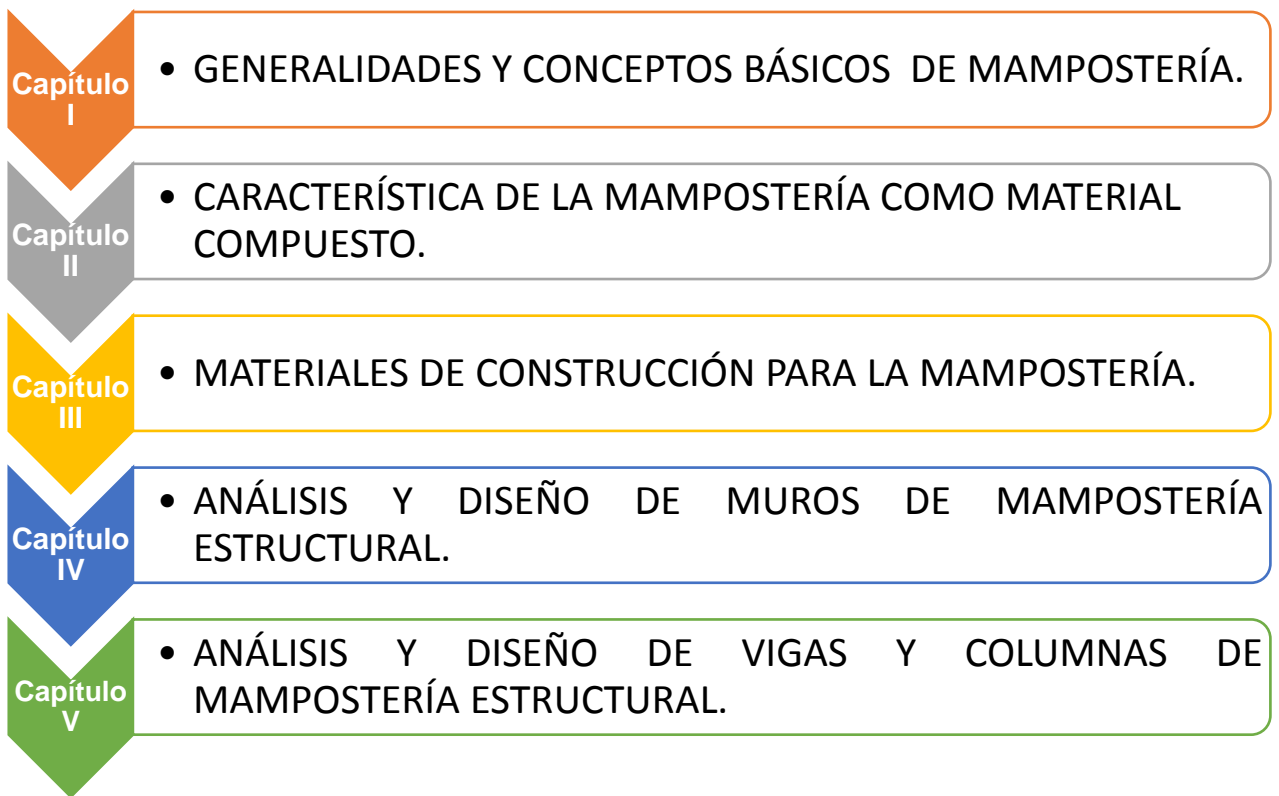
Capítulo 4, Este se enfoca en el análisis y diseño de muros de mampostería, se analizan configuraciones estructurales en altura y planta, análisis de las cargas actuantes en las edificaciones y se analiza la resistencia de los muros tanto paralelo como perpendicular al plano.

Capítulo 5, En este capítulo se trata de explicar y ejemplificar lo que es diseño y análisis de vigas y columnas.



MARCO TEÓRICO

La elaboración de este documento esta distribuidos en cinco capítulos en el cual abarcan los siguientes:



1. GENERALIDADES Y CONCEPTOS BÁSICOS DE MAMPOSTERÍA.

1.1 Definición de Mampostería

La mampostería es el elemento estructural resultante de la unión de piezas formadas por distintos materiales, naturales o artificiales, con un mortero que contribuye a la ligazón entre éstas y que influye en las características del elemento estructural que se forma. (Beltrán & Sanabria, 2016)

1.2 Clasificación de Mampostería

1.2.1 Mampostería Estructural

1.2.2 Mampostería Confinada.

Es cuando la mampostería se encuentra enmarcada usando elementos estructurales, por ejemplo una estructura de concreto armado.



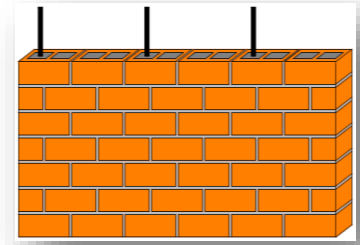
1.2.3 Mampostería Reforzada.

Es cuando en los espacios huecos al interior de los bloques van barras de acero, (aparte del relleno con mortero), decimos que se trata de mampostería.



1.2.3.1 Mampostería Reforzada Totalmente Inyectada

Es cuando todas las celdas de las unidades que forman el muro se encuentran llenas de mortero de relleno.



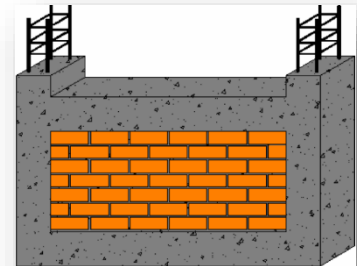
1.2.3.2 Mampostería Reforzada parcialmente Inyectada

Es cuando solo las celdas de las unidades que tienen refuerzos se encuentran llenas de morteros de relleno.



1.2.3.3 Mampostería de Muros Confinados

La mampostería confinada consiste en la construcción de muros con unidades de mampostería de perforación vertical, horizontal o maciza, unidas por medio de mortero, y reforzados de manera principal con elementos de concreto reforzado que se construyen alrededor de este.



Algunas características de estos muros son: los elementos de confinamiento son vaciados después de la construcción de la mampostería, su funcionamiento es monolítico y los muros deben ser continuos desde la cimentación hasta la cubierta y sin ninguna abertura.



1.2.4 Mampostería Simple.

Se ejecuta con un mortero de cal o cemento. Las piedras deben adaptarse unas a otras lo más posible para dejar el menor porcentaje de huecos relleno de mortero. Únicamente se admitirá que aparezca el ripio al exterior si va a ser posteriormente revocada.



1.2.5 Mampostería en Piedra

Es tipo de mampostería tiene como función principal servir de muro perimetral o decorativo, este sistema se emplea debido al bajo costo del material, en este caso la piedra que por lo general el banco de material es cercano a la obra.



1.2.6 Mampostería en Cavidad Reforzada

Es la construcción realizada con dos paredes de piezas de mampostería, separadas por un espacio continuo de concreto reforzado en funcionamiento compuesto. Este sistema estructural se clasifica para efecto de diseño sistema resistente, como uno de los sistemas con capacidad especial de disipación de energía en el rango elástico.



1.2.7 Mampostería sin Mortero

Este tipo de mampostería no se emplea ningún mortero. Hay que escoger los mampuestos uno a uno para que el conjunto tenga estabilidad. Se emplean piedras pequeñas, llamados ripios, para acuñar los mampuestos y rellenar los huecos entre estos.



1.2.8 Mampostería Concertada

Es aquella cuyos mampuestos tienen sus caras de junta y de parámetro labradas en formas poligonales, más o menos regulares, para que el asiento de los mampuestos se realice sobre caras sensiblemente planas.



- No se admite el empleo de ripios.
- Los mampuestos del paramento exterior deben prepararse de modo que las caras visibles tengan forma poligonal.

1.2.9 Mampostería Careada

Es la mampostería cuyos mampuestos se han labrado únicamente en la cara destinada a formar el paramento exterior. Los mampuestos no tienen formas ni dimensiones determinadas. En el interior de los muros pueden emplearse ripios pero no en el paramento visto.



1.3 Componentes de Mampostería

- **Cemento:** Es el responsable de dar las resistencias iniciales. Pueden existir morteros fabricados con cemento Portland o cemento de mampostería.
- **Cal:** Complementa las propiedades del cemento, dándole mayor manejo, plasticidad y retención de agua.

Las principales propiedades que brinda el adicionar cal a la mezcla de mortero son:

- **Adherencia:** La cal permite mayor adherencia entre el mortero y las unidades de mampostería.
- **Trabajabilidad:** La cal permite al mortero ser moldeable incluso al contacto con unidades porosas y muy absorbentes. Esta característica se debe directamente a la gran capacidad de la cal de retener agua por su mayor área superficial y la forma aplanada de las partículas, permitiendo que exista más lubricación en la mezcla y por lo tanto mayor manejo.
- **Flexibilidad:** al adicionar cal a la mezcla de mortero, ésta permite movimientos entre piezas.
- **Curado de fisuras:** Los morteros con cal tienen la capacidad de auto repararse ya que al reaccionar con el agua éste puede salir a través del agua de evaporación, generándose una lechada en las fisuras y haciendo que éstas se sellen.
- **Agua:** Cumple la función de hidratar y dar manejabilidad a la mezcla, y su importancia en los morteros es alta, por lo que se debe entender muy bien su función. Mayores cantidades de agua incrementan la adherencia y la manejabilidad pero se disminuye la resistencia y aumentan los cambios volumétricos.



- **Agregados:** Representan en volumen la mayor porción de la mezcla. Es importante tener en cuenta su gradación y contenido de finos, pues esto puede disminuir o aumentar la resistencia, y la cantidad de cemento y cal de la mezcla.
- **Aditivos:** Existe en el mercado una amplia gama de posibles aditivos que ayuden a mejorar o dar algunas características a las mezclas de mortero para hacer más fácil su colocación y manejo. Retardantes, acelerantes, larga vida, modificadores de adherencia son algunos de los que podemos encontrar.

La siguiente imagen muestra los elementos de la mampostería.




1.4 Ventajas de la Mampostería

Bajo condiciones adecuadas de diseños y construcción, el sistema de mampostería de bloques de concretos presenta grandes ventajas de orden económico y operativo:

- Dado las condiciones y las estrictas tolerancias de fabricación de las unidades, se disminuye los desperdicios de material de muros y de acabados, permitiendo aplicar directamente sobre los muros, estucos, delgado o pinturas, y aprovechar las texturas y colores naturales de las unidades corrientes o de las que tienen características arquitectónicas.
- Los elementos de cierre (fachadas) pueden ser portante, brindando la doble función estructural y arquitectónica.
- Dentro de las celdas verticales de los muros con bloques, se pueden colocar las conducciones eléctricas, hidrosanitaria y de telecomunicaciones. Además, se eliminan, en gran cantidad, las perfecciones de los muros. Las reparaciones y los desperdicios, lo que reduce mano de obra, fijaciones y materiales de reparación.
- Dado que el esfuerzo vertical de las estructura se coloca dentro de las celdas en recintos conformados por bloques, se elimina la formalería y la obra falsa de la estructura vertical.
- Permite utilizar entrepiso total o parcialmente prefabricados, lo que da mayor velocidad al proceso constructivo y la disminución de costo por la reducción en la utilización de formalería y obra falsa.
- En obras debidamente diseñadas se puede construir toda la estructura con un solo materia (la Mampostería), reduciendo el número de proveedores y el manejo de materiales y quipo.



- 
- Al emplear mano de obras especializada y unidades modulares, se tiene una gran velocidad y eficiencia en la construcción de los muros, por lo cual, en muchos casos se reducen los costos por menos por menos actividades, equipos y manos de obra.
 - Como sistema constructivo genera daños secundarios menores, con sismos dentro del espectro de diseño y se puede utilizar en todo rango de riesgo sísmico con gran desempeño.
 - Como sistema estructural y constructivo se pueden emplear desde viviendas de bajo costo de uno o dos pisos, hasta edificios de gran altura y costo, pasando por los de uso industrial, comercial, hotelero, educativo, etc. Siempre con grandes beneficios económicos.
 - La mampostería de concreto, puede ser un sistema de muro portante, facilita y hace económicas las estructuras regulares y repetitivas como hoteles, hospitales, edificios de apartamentos, centro educativo, cárceles, etc.
 - Cuando se combinan las características estructurales y arquitectónicas de la mampostería de concreto, se obtiene estructuras duraderas, de muy bajo mantenimiento y de gran apariencia.
 - Permite diseñar para un gran aislamiento térmico y acústico, ya que los bloques poseen perforaciones cercanas al 50% de su área bruta, brindando cámaras de aire aislantes para ambos factores, y que se pueden llenar con materiales de características adecuadas para tal fin.
 - La mampostería de concreto se puede emplear no solo como sistema constructivo sino con el fin de brindar y reflejar una imagen de innovación,



seguridad y solides, según el manejo que haga de su diseño arquitectónico y estructural.


- La producción de unidades de mampostería está en continua evolución, de manera que a cada momento cuenta con nuevos productos en el mercado, que encajan dentro del sistema, y le dan un nuevo rostro en cada proyecto.
- Potencialmente es un sistema adaptable a condiciones de producción y construcción de tecnología sencilla en lugares, con un gran potencial social y económico, sin sacrificar aspectos básicos de seguridad y durabilidad.

1.5 Desventajas de la Mampostería

Como desventajas relativas del sistema de mampostería de concreto se pueden anotar las siguientes, algunas de las cuales se convierten en beneficio para el usuario:

- Por ser un sistema diferente al de pórticos y a otros de muros (incluyendo otros tipos de mampostería, es indispensable estudiarlo e identificar sus características, para no incurrir en ligereza en cuanto al manejo y funcionamiento de sus materiales, unidades, morteros, etc.), con el fin de eliminar los defectos recurrentes.
- Requiere controles de calidad rigurosos y sistemáticos que, aunque especificados, rara vez se ejecutan para otros sistemas constructivos.
- Requiere un diseño arquitectónico con una rigurosa modulación de muros, tanto vertical como horizontal.
- Tiene un peso ligeramente mayor que el de los edificios de pórticos de concretos con particiones livianas o de mampostería de arcilla.



- 
- Dado que todos los muros son, en principios, estructurales (portantes), no se pueden modificar indiscriminadamente los espacios interiores de los edificios, suprimiendo algunos de ellos total o parcialmente.
 - Provee, al igual que los edificios de muros de concretos, muros de gran dureza que dificultan su modificación o que se perfore o se clave en ellos.
 - Por ser un sistema de muros portantes, tienden a generar estructuras regulares y repetitivas, de apariencia pesada, con lo cual debe trabajar el arquitecto para sacar provecho de los materiales y hacerlas más dinámicas o aprovecharlas para edificaciones repetitivas.



2. CARACTERÍSTICA DE LA MAMPOSTERÍA COMO MATERIAL COMPUESTO.

La mampostería es un material compuesto y su comportamiento está gobernado por las propiedades de los componentes y la relación entre estas propiedades. En particular, la diferencia de deformabilidad de las unidades de mampostería y de las juntas de mortero es una de las características más notables y propias de la mampostería.

Por otra parte, las condiciones en que se encuentran los componentes de la mampostería (en el compuesto) son muy distintas de las que se dan en los ensayos de los componentes por separado por lo que su comportamiento también será diferente. Por ejemplo, la resistencia a la compresión de una unidad de mampostería que se puede obtener en un ensayo no coincidirá necesariamente con el esfuerzo que experimentara esa misma unidad al fallar por aplastamiento en un muro, ya que los mecanismos de falla que se dan en ambas situaciones son diferentes.

Otra característica importante de la mampostería es que es un material anisótropo. La anisotropía de las unidades de mampostería, pero mucho más la existencia de juntas tanto verticales como horizontales condicionan el comportamiento mecánico de este sistema, definiendo un comportamiento diferente en cada dirección. Por esta razón será preciso conocer, la dirección relativa de los esfuerzos actuantes con respecto a cada dirección de las juntas.

Para caracterizar la mampostería como material compuesto primero se tiene que determinar las propiedades mecánicas de sus partes constituyentes (unidades de mampostería y mortero de pega principalmente), ya que en buena medida de estos dependen sus propiedades.



2.1 Propiedades de las unidades de Mampostería

Las propiedades mecánicas fundamentales para efectos de análisis estructural son la densidad, el módulo de deformación longitudinal y la resistencia a compresión, que tiene un significado trascendental ya que constituye un índice de calidad y se utiliza para reducir otras propiedades mecánicas como sucede con el concreto. También suele determinar directamente la resistencia a flexo tracción.

2.1.1 Resistencia a compresión f'_{cu}

La resistencia a la compresión de las unidades mampostería es un índice de calidad valido para comparar unas con otras, si son de iguales dimensiones. Sin embargo, por si misma no permita hacer afirmaciones definitivas sobre la resistencia a compresión de los muros de mampostería que forman.

La resistencia de las unidades de mampostería depende fundamentalmente de su composición y del proceso de cocido. Si las unidades son macizas pueden considerarse isotrópicas, pero si tienen perforaciones (verticales u horizontales) ya esa consideración no es tan válida.

2.1.2 Resistencia a flexotracción

La incapacidad para resistir esfuerzos de tracción es una característica de los muros de mampostería. Sin embargo la falta de resistencia del material compuesto (muro de mampostería) no implica que los componentes no posean resistencia a tracción. De hecho es imprescindible para el funcionamiento resistente del muro que las unidades de mampostería posean, de forma individual una cierta resistencia a tracción.

La resistencia a tracción de las unidades es de interés por el hecho que la falla a compresión de los muros de mampostería está asociada en realidad, al fallo de las unidades por esfuerzos de tracción-transversales; inducidos al confinar el mortero bajo la sollicitación de compresión y de corte.



2.1.3 Módulo de Elasticidad E_u

La rigidez de los muros de mampostería está dada en buena proporción a su componente menos rígido: el mortero. Esto no quiere decir que no es importante conocer el módulo de elasticidad de las unidades de mampostería, puesto que la relación de rigideces entre unidad y el mortero es un parámetro que determina el comportamiento del muro.

2.1.4 Coeficiente de Poisson ν_u

El coeficiente de poisson pocas veces se determina, ya que es un parámetro deformacional muy complicado de medir. Sin embargo influye en la deformabilidad relativa y aparece nominalmente en ciertos modelos analíticos de comportamiento de muros de mampostería.

Ladrillo $0.10 < \nu_u < 0.15$

2.2 Propiedades de las juntas de Mortero

Las juntas de mortero cumplen en los muros de mampostería tres funciones importantes:

- Regularizar el asiento de las unidades de mampostería y repartir uniformemente las cargas.
- Conducir las fuerzas horizontales hasta la cimentación.
- Rellenar las juntas impidiendo el paso del agua.

El funcionamiento del mortero, en un muro de mampostería está dado por estados de esfuerzos triaxiales. Por lo tanto, las propiedades del mortero deberían estudiarse en un régimen triaxial para comprender su comportamiento en servicio (en el muro). Pero en condiciones uniaxiales es como habitualmente se estudia.



2.2.1 Resistencia a Compresión f'_{cp}

La resistencia a la compresión no es la propiedad más importante de los morteros pega. Por otro lado, los ensayos para determinar la resistencia a compresión de un mortero se toma de una muestra de tamaño convencional no confinada, que no reflejan su comportamiento de servicio. Esta resistencia, entonces es un índice de comparación que cuantifica la calidad del mortero.

Aunque la resistencia a la compresión de los muros puede incrementarse utilizando un mortero más resistente, el aumento no es proporcional a la resistencia de compresión de mortero. Por lo tanto, su importancia podría ser a veces sobrevalorada respecto a otras propiedades, pues se sabe que una mejoría en ella no produce aumentos proporcionales en la resistencia a la compresión de los muros. Por ejemplo, pruebas de laboratorio han demostrado que la resistencia a la compresión de muros de mampostería aumenta solo un 10% cuando la resistencia del mortero aumenta en un 130%.

2.2.2 Módulo de elasticidad E_p

El mortero es el elemento más débil de los muros de mampostería, el menos rígido y responsable de mayor parte de la deformación instantánea y prácticamente toda la deformación diferida. Al mortero se le debe la retracción por secado que experimentan los muros de mampostería.

Entre el 60 y el 80% del asentamiento total que sufre un muro de mampostería (instantánea y diferida) tiene lugar en las juntas de mortero. Si se tiene en cuenta que en los muros de mampostería de arcilla, la altura acumulada de mortero representa el 15% del total. Se concluye que la deformación en el mortero es mucho mayor que en las unidades de mampostería. Lo que indica la gran importancia de conocer el módulo de elasticidad del mortero para juntas.



2.2.3 Coeficiente de poisson ν_m

Esta propiedad depende principalmente del estado de esfuerzos. Por lo general el coeficiente de poisson se determina de ensayos uniaxiales. Suele tomarse $\nu_m=0.2$.

2.3 Interfaz entre la unidad y el Mortero

Muchos autores consideran la interfaz entre las unidades y el mortero como un componente más de los muros de mampostería, ya que esta presenta propiedades peculiares y un comportamiento que condiciona el del muro.

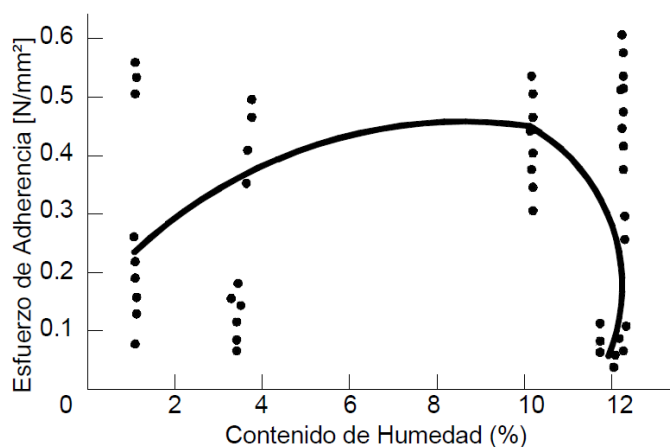
El factor que caracteriza la interfaz entre la unidad y el mortero es la adherencia, producto de la unión entre ambos elementos. Esta unión es de naturaleza física y química, (principalmente la primera). El proceso por el cual se logra la unión física entre el mortero y la unidad de mampostería, puede resumirse en cuatro etapas que a continuación se detallan:

1. Succión de agua por parte de la unidad al mortero, la cual comienza inmediatamente después que ambos entran en contacto. Este proceso puede durar desde minutos hasta pocas horas de producido el contacto, dependiendo de la estructura de poros de la unidad.
2. Transporte de material cementicio por parte del agua succionada.
3. Introducción de los materiales cementicios en los poros capilares de la unidad por medio del agua succionada.
4. Hidratación y cristalización de estos materiales en los poros de la unidad, creando de este modo el anclaje mecánico entre la unidad y el mortero.

La unión entre el mortero y la unidad se ve afectada por diversos factores, entre los que sobresale el contenido de humedad en las unidades en el momento de su colocación y el índice de succión de estas. Si las unidades se colocan con un contenido de humedad próximo al valor máximo de absorción la adherencia cae a cero.



Según Van del Pluijijm La superficie de contacto real (área eficaz) es considerablemente menor que la teórica o total debido a la retracción del mortero. Relación entre el contenido de humedad de las unidades de mampostería en el instante de colocación y el esfuerzo de adherencia en la interfaz. La absorción de humedad de las unidades era de 13.5%.



2.3.1 Resistencia al cortante

La correcta caracterización de la respuesta al corte en las juntas de mortero y en las unidades de mampostería de un muro, evalúa los esfuerzos tangenciales y normales (pre compresión) en las dos.

Existen varias maneras de definir el criterio de falla. El más común es el modelo friccional de Mohr-coulomb.

$$f_v = c + \mu * \sigma$$

Donde f_v es la resistencia al deslizamiento de la junta, c un valor de la cohesión, μ el coeficiente de rozamiento en la interfaz y σ el esfuerzo normal a la junta.



La siguiente tabla recoge una variedad de valores para los parámetros en el método Mohr-Coulomb ¹descrito anteriormente. Y muestra los Valores de c y μ en función del tipo de unidad (ladrillo).

Fuente	Tipo de Ladrillo	Mortero Cemento: Cal: Arena	C (N/mm ²)	μ
Mann y Muller	Arcilla Sólida	1:3	0.4	0.3
		1:0:4	0.35	0.37
	Arcilla Perforada	1:3	0.23	0.38
		1:0:4	0.35	0.37
	Silicato Calcio	1:3	0.25	0.18
		1:0:4	0.4	0.35
Hendry y Sinha	Arcilla Extrusionada	1:0.25:3	0.3	0.5
Chinwah	Arcilla Extrusionada	1:0.25:3	0.25	0.34

Los valores de (c) están comprendidos entre 0.23 y 0.4. En cuanto a la dosificación del mortero no parece que pueda dar una regla general para obtener su influencia el valor de c . por lo tanto es difícil definir qué tipo de unidad y que dosificación de mortero da lugar a valores altos de coeficiente de rozamiento μ .

2.4 Comportamiento bajo esfuerzos de compresión Uniaxial

Los muros de mampostería están generalmente sometidos a esfuerzos predominantes de compresión. Es por esta razón que se debe prestar especial

¹ Se usa el término Mohr- Coulomb por analogía con la ecuación que define ese criterio de falla. Sim embargo no se trata de una verdadera envolvente de tipo Mohr- Coulomb, ya que el fallo se produce cuando el punto definido por el par de esfuerzo $\sigma - 1$, toca la recta definida y no cuando el círculo de Mohr- Coulomb correspondiente al estado de esfuerzo es tangente a dicha recta.



atención al mecanismo de falla bajo este tipo de esfuerzos, y por tanto, el valor de la resistencia a la compresión f'_m de la mampostería.

2.4.1 Mecanismo resistente y criterios de falla

Cuando se somete a esfuerzos de compresión un muro de mampostería, la falla que se produce está directamente relacionada con la interacción que se genera entre las unidades de mampostería y las juntas de mortero², y en función de las diferentes propiedades de deformaciones de ambos componentes.

En el presente capítulo, citan dos mecanismos resistentes para un mismo criterio de falla, los cuales darán un conocimiento más general del comportamiento de un muro de mampostería sometido a esfuerzos de compresión únicamente.

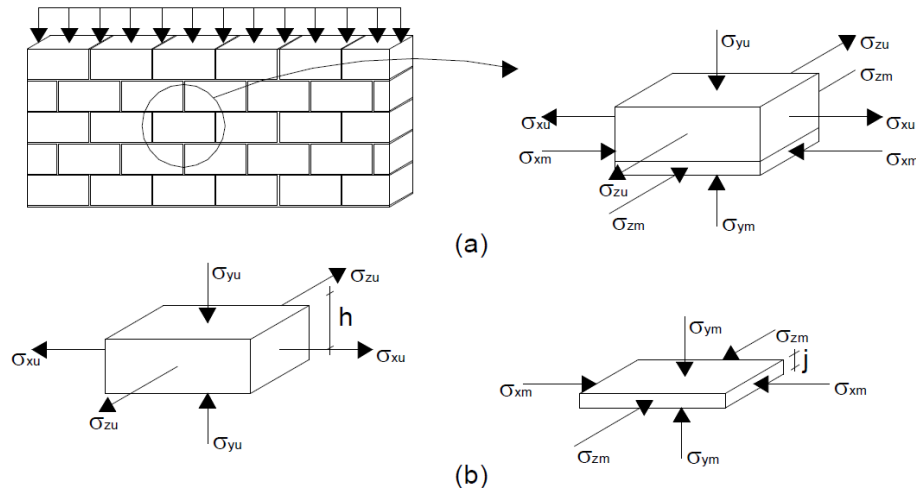
Para analizar el mecanismo resistente y el criterio de falla de un muro de mampostería, sometido únicamente a esfuerzos de compresión se idealiza, (primero) el caso de una unidad perteneciente a la zona central de un muro. Esta unidad y su respectivo mortero, se encuentran sometidos a esfuerzos.

La unidad está bajo un esfuerzo principal de compresión perpendicular a la cara que se asienta en el muro σ_{yu} y esfuerzos transversales de tracción σ_{xu} y σ_{zu} . Al mismo tiempo, el mortero bajo la unidad, está solicitado por un esfuerzo de compresión principal σ_{ym} y esfuerzos de compresión trasversales σ_{xm} y σ_{zm} . De esta manera, el mortero está sometido a una compresión triaxial, mientras que la unidad a una compresión vertical y a tracciones en el plano horizontal.

² Cuando hablamos de unidades y mortero, debe entenderse como unidades de Mampostería y mortero de pega.



Figura 12. Estado de esfuerzos en la unidad de mampostería y en el mortero de pega en un muro de mampostería sometido a esfuerzos de compresión.



Estos esfuerzos que se suponen uniformes en la unidad y en el mortero, varían a lo largo de toda el área de contacto. La figura 12 debe entenderse como un esquema y los esfuerzos representados están localizados en la zona central de la unidad y el mortero. Además existen entre ambos componentes esfuerzos tangenciales τ_{yx} y τ_{yz} de resultante total nula que no se han dibujado por claridad.

En el análisis se debe satisfacer el equilibrio de fuerzas tanto verticales como horizontales; por lo cual se concluye que las fuerzas de compresión verticales en la unidad y el mortero deben ser iguales, ya que se supone que la unidad es maciza y el mortero ocupa el área total por debajo de esta.

De igual forma debe cumplirse el equilibrio las direcciones transversales, de manera que la fuerza por unidad de longitud en las paredes de la unidad será igual a la que actúa sobre el correspondiente espesor del mortero. Esto se cumple para las dos direcciones horizontales. Si el espesor del mortero es j y la altura de la unidad es h , se obtienen las siguientes ecuaciones de equilibrio.

Ecuación 3.2 $\sigma_{yu} = \sigma_{ym} = \sigma_y$



Ecuación 3.3 $\sigma_{xu} = (j/h)^* \sigma_{xm}$

Ecuación 3.4 $\sigma_{zu} = (j/h)^* \sigma_{zm}$

Las ecuaciones 3.3 y 3.4 muestran que la relación entre las tracciones en la unidad y las compresiones en el mortero son igual a la relación puramente geométrica entre el espesor del mortero j y la altura de la unidad h . por esta razón la relación j/h es de importancia en la resistencia de los muros de mampostería. Por ejemplo entre más pequeño sea el valor de j/h , menores son las tracciones en la unidad y mayores las compresiones transversales en el mortero para un mismo valor de esfuerzo vertical σ_y aplicado.

Con la aplicación de los esfuerzos en cada dirección, se tienen unas deformaciones designadas por ϵ_{xu} , ϵ_{yu} y ϵ_{zu} , en la unidad y ϵ_{xm} , ϵ_{ym} y ϵ_{zm} , en el mortero. Por Compatibilidad se debe cumplir que entre ambos componentes las deformaciones transversales de la unidad y el mortero sean iguales, de lo contrario el mortero escaparía de la junta.

Esto se muestra en las siguientes ecuaciones:

Ecuación 3.5 $\epsilon_{xu} = \epsilon_{xm}$

Ecuación 3.6 $\epsilon_{zu} = \epsilon_{zm}$

Estas condiciones se satisfacen muy aproximadamente en la zona central; y en cercanías los bordes la compatibilidad no es perfecta y el mortero experimenta cierta deformación diferencial tratando de escapar.

De las relaciones anteriores de equilibrio y compatibilidad, y asumiendo un comportamiento incrementalmente elástico, se puede concluir que los esfuerzos en las direcciones x y z del plano horizontal son iguales tanto en la unidad como en el mortero, obteniéndose las siguientes ecuaciones:

Ecuación 3.7 $\sigma_{xu} = \sigma_{zu}$

Ecuación 3.8 $\sigma_{xm} = \sigma_{zm}$



Para demostrar estas ecuaciones se parte de la hipótesis de un compartimiento elástico para ambos materiales. Por lo que se tienen las siguientes deformaciones horizontales en la unidad y el mortero.

$$\text{Ecuación 3.9} \quad \mathcal{E}_{xu} = \frac{1}{E_u} [\sigma_{xu} + \nu_u (\sigma_y - \sigma_{zu})]$$

$$\text{Ecuación 3.10} \quad \mathcal{E}_{xu} = \frac{1}{E_u} [\sigma_{zu} + \nu_u (\sigma_y - \sigma_{xu})]$$

$$\text{Ecuación 3.11} \quad \mathcal{E}_{xm} = \frac{1}{E_p} [\sigma_{xm} + \nu_m (\sigma_y - \sigma_{zm})]$$

$$\text{Ecuación 3.12} \quad \mathcal{E}_{zm} = \frac{1}{E_p} [-\sigma_{zm} + \nu_m (\sigma_y - \sigma_{xm})]$$

Donde E_u y E_p son los módulos de elasticidad de la unidad y el mortero y ν_u y ν_m sus respectivos coeficientes de poisson.

Para observar mejor el comportamiento de los esfuerzos transversales en la unidad y el mortero, algunas relaciones entre los dos materiales como j/h serán igual a α y E_u/E_p igual a β aplicando las relaciones de equilibrio y compatibilidad 3.2 a 3.12, se obtiene una relación para los esfuerzos transversales de tracción y los esfuerzos verticales de compresión, además se comprueba que los esfuerzos en el plano horizontal son iguales como ya se había supuesto:

$$\text{Ecuación 3.13} \quad \sigma_{xu} = \sigma_{zu} = \sigma_y \frac{\alpha(\beta\nu_m - \nu_u)}{\alpha(1-\nu_u) + \beta(1-\nu_m)}$$

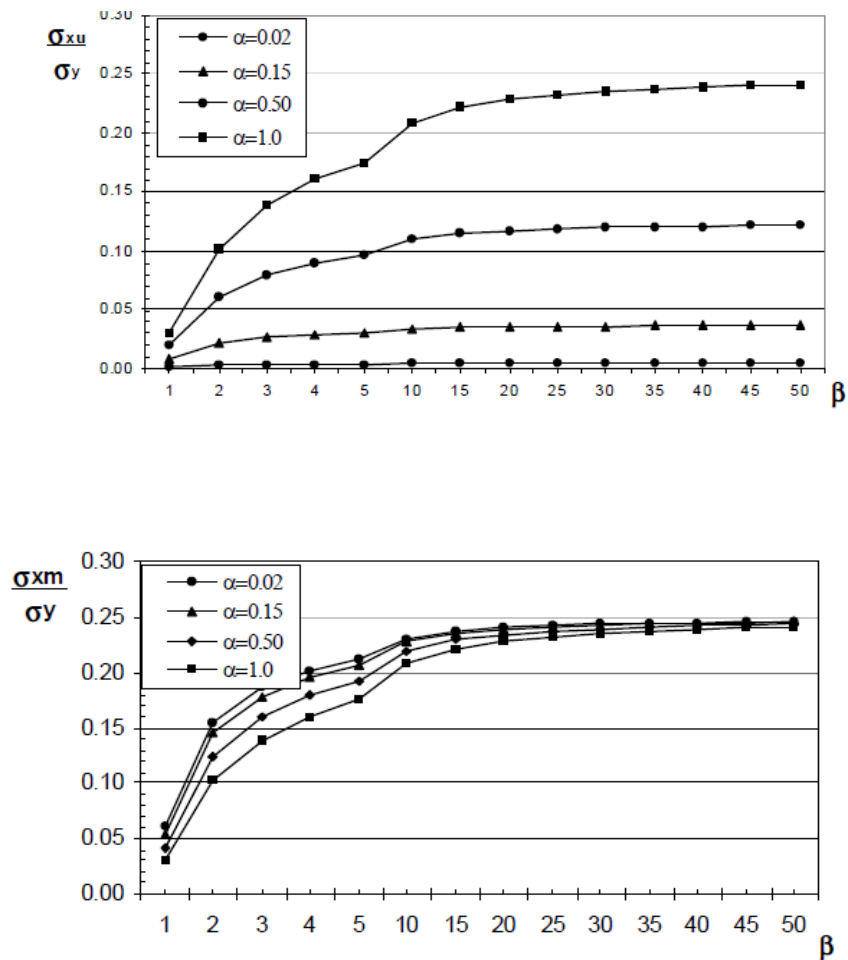
$$\text{Ecuación 3.14} \quad \sigma_{xm} = \sigma_{zm} = \sigma_y \frac{(\beta\nu_m - \nu_u)}{\alpha(1-\nu_u) + \beta(1-\nu_m)}$$

Las ecuaciones 3.13 y 3.14 están basadas únicamente en las ecuaciones de equilibrio, compatibilidad y en la adopción de un modelo elástico para ambos materiales.



Se puede observar como varían estas ecuaciones de esfuerzos transversales para la unidad y el mortero, cuando se tienen diferentes valores de α , β , v_u y v_m . Primero se muestra los esfuerzos transversales en la unidad y el mortero, divididos por el esfuerzo de compresión principal en función de β y para distintos valores de α : figura 13. Si, se han tomado valores para mampostería de $v_u=0.15$ y $v_m=0.2$.

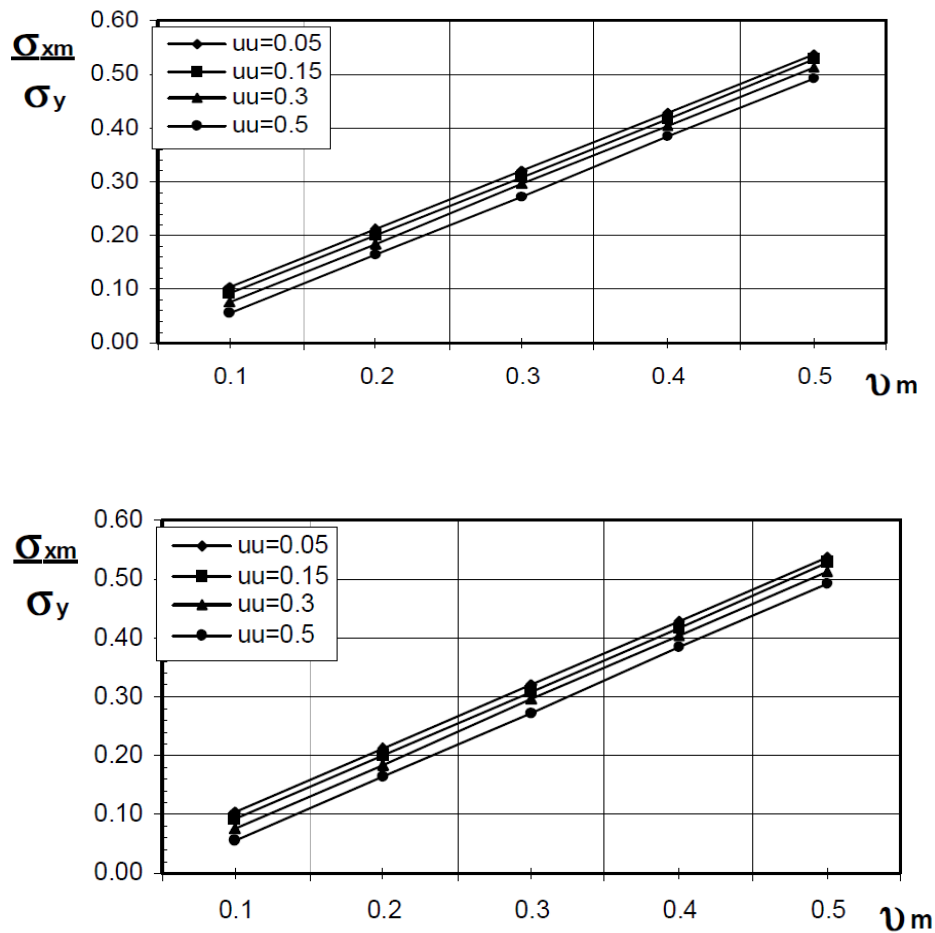
Figura 13. Esfuerzos transversales en las unidades y en el mortero relativas al esfuerzo vertical de compresión, en función de α , y β , con $v_u = 0.15$ y $v_m = 0.2$.



De la figura 13; se puede concluir, que la influencia de β es mucho menor que la de α . La tracción en las unidades está gobernada fundamentalmente por α , mientras que la compresión en el mortero parece casi independiente tanto de α como de β , aunque para valores de β típicos en mampostería de arcilla ($1 < \beta < 15$) se observa una ligera variación de los esfuerzos de compresión.

Segundo, se muestra los esfuerzos transversales en la unidad y en el mortero, divididos por el esfuerzo de compresión principal en función de v_m y para distintos valores de v_u ; figura 14. Si, se han tomado valores para mampostería de $\alpha=0.25$ y $\beta=10$.

Figura 14. Esfuerzos transversales en las unidades y en el mortero son relativos a los esfuerzos verticales de compresión, en función de v_u y v_m .



De la figura 14; se puede concluir, que la influencia de ν_m . Es mucho mayor que la de ν_u por tanto, la compresión transversal en el mortero está gobernada casi exclusivamente por el coeficiente de poisson del mortero ν_m . También se observa que los valores de esfuerzos transversales de tracción en la unidad están entre el 10 y 15% del esfuerzo de compresión principal.

Hasta este momento se conoce el comportamiento de los esfuerzos transversales en los componentes de un muro de mampostería. Entonces se puede formular una hipótesis sobre cuál es la condición crítica de esfuerzos o deformaciones que producen la falla y sobre cuál es la trayectoria de los esfuerzos en la unidad y el mortero desde el comienzo de la aplicación de la carga hasta la falla.

Con aplicar compresión pura sobre la unidad, figura 12, la falla en esta se alcanza cuando el valor del esfuerzo aplicado σ_y es igual al valor de la resistencia a compresión uniaxial de la unidad, es decir $\sigma_y = f'_{cu}$. En tracción biaxial (sin suponer una compresión perpendicular) la falla se produce cuando los esfuerzos de tracción son iguales a la resistencia a tracción biaxial $\sigma_{xu} = \sigma_{zu} = f'_{tu(biaxial)}$ la pregunta es para que combinación de σ_{xu} , σ_y y σ_{zu} se alcanza la falla cuando estos valores son menores de $f'_{tu(biaxial)}$ y f'_{tu} (resistencia a la tracción uniaxial) respectivamente.

En el caso del mortero, al aplicar compresión pura se alcanza la falla cuando el valor del esfuerzo aplicado σ_y es igual al valor de la resistencia a compresión uniaxial del mortero, es decir $\sigma_y = f'_m$. En este caso la pregunta es cuánto vale la resistencia a compresión cuando se tienen esfuerzos de compresión en el plano perpendicular, f'_m .

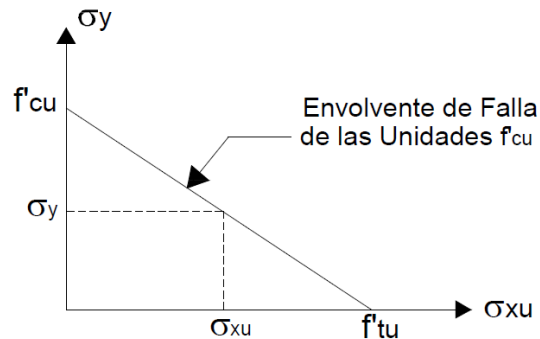
Otra pregunta que surge es cómo evolucionan los esfuerzos σ_{xu} y σ_y desde cero hasta interceptar a alguna de las dos envolventes, la de la unidad o la del mortero.

En este mortero se puede aceptar que la falla de los muros de mampostería se debe al fallo de la unidad y se puede hacer una hipótesis de que la combinación

Crítica $\sigma_{xu}-\sigma_y$ guarda una relación lineal entre f'_{cu} y f'_{tu} , como se muestra en la figura 15.



En la siguiente figura se muestra la Hipótesis envolvente de falla para muros de mampostería.



Se puede decir entonces que la resistencia a la compresión f'_{cu} en presencia de tracciones $\sigma_{xu} = \sigma_{zu}$ es igual a:

$$\sigma_y = f'_{cu} * \left(1 - \frac{\sigma_{xu}}{f'_{tu}} \right)$$

Si se identifica la falla de la unidad con la del muro de mampostería se puede igualar σ_y con la resistencia a la compresión del muro f'_m . Sustituyendo (3.13) σ_y por f'_m y σ_{xu} por el valor que se obtiene de (3.15) se llega al valor de la resistencia a compresión del muro de mampostería.

$$f'_m = f'_{cu} \frac{\alpha * (1 - v_u) + \beta * (1 - v_m)}{\alpha * (1 - v_u + \frac{f'_{cu}}{f'_{tu}} * (\beta * v_m - v_b)) + \beta * (1 - v_m)}$$

Esta ecuación muestra que el valor de la resistencia a la compresión de un muro de mampostería depende de los parámetros elásticos de la unidad y el mortero (E_u , E_p , v_u y v_m) y de la resistencia a compresión y tracción de las unidades.

El segundo mecanismo resistente, resuelve la pregunta formulada anteriormente para el mortero de pega cuando está sujeto a un esfuerzo de compresión en el plano perpendicular igual a f'_m .

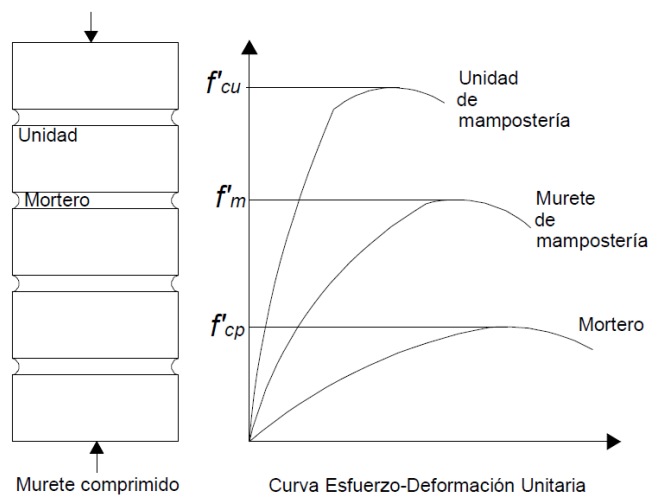


Para el análisis se tiene un murete de mampostería sometido únicamente a un esfuerzo de compresión. Como se dijo anteriormente que las deformaciones transversales (en dirección x y z) son iguales tanto en la unidad como en el mortero.

La unidad está bajo un esfuerzo principal de compresión perpendicular a la cara que se asienta en el muro σ_y y a un esfuerzo transversal de tracción σ_{xu} y al mismo tiempo, el mortero bajo la unidad, esta solicitado por un esfuerzo de compresión principal, σ_y y un esfuerzo de compresión transversal σ_{xm} (como se mencionó con anterioridad).

La resistencia a la compresión de un murete f'_m depende principalmente de la resistencia a la compresión de la unidad f'_{cu} y del mortero f'_{cp} . Además se sabe de qué la resistencia a la compresión del mortero (f'_{cp}) es menor que la resistencia de la unidad (f'_{cu}).

Figura 16. Comportamiento de esfuerzos del murete de mampostería, el mortero y la unidad.



Además, la falla en el murete parece ser estar relacionada por fracturas verticales en la unidad de mampostería que por el aplastamiento del mortero. Este comportamiento puede ser explicado como consecuencia de la mala relación de las propiedades de los materiales (unidad y mortero).

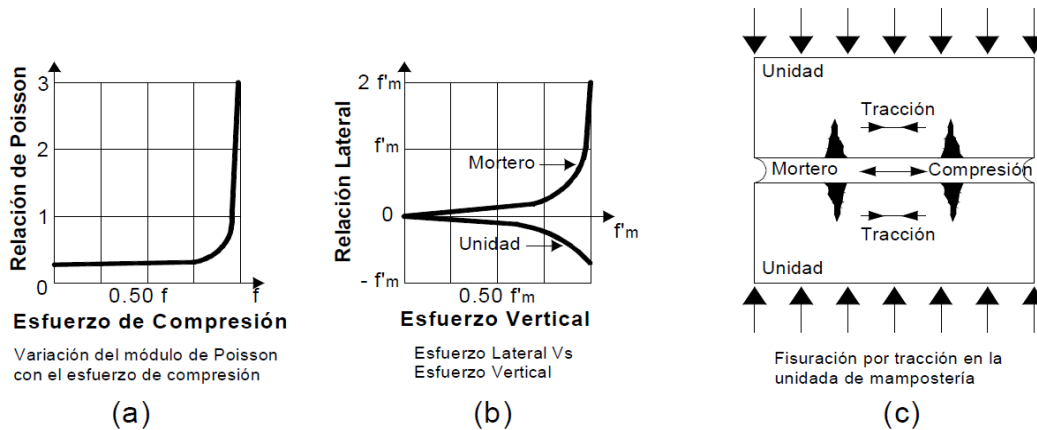


Como el esfuerzo axial se aproxima a la resistencia de aplastamiento f'_{cp} del mortero no confinado, las deformaciones laterales del mortero aumentan marcadamente, a menos que estén refrenadas. Los efectos combinados de un módulo de elasticidad más bajo y una relación de poisson más alta, genera que los esfuerzos laterales del mortero excedan grandemente los esfuerzos laterales de las unidades de mampostería.

Por otra parte, la fricción y la adherencia en la interfaz del mortero - unidad obliga a que las deformaciones laterales de la unidad y el mortero sean iguales.

Existe un equilibrio de los esfuerzos laterales de compresión en el mortero y los esfuerzos laterales de tracción en la unidad de mampostería.

Figura 17. Interacción de fuerzas entre el mortero y la unidad



El estado triaxial de los esfuerzos de compresión que resulta en el mortero aumenta su esfuerzo de falla, mientras que la combinación de compresión vertical y de la tracción biaxial transversal en la unidad de mampostería, reduce su esfuerzo de falla e induce una factura vertical.

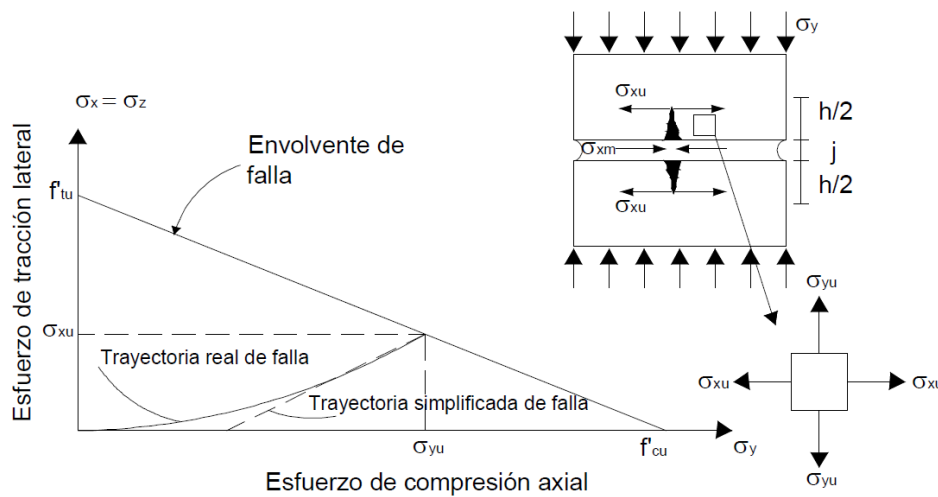


El esfuerzo de compresión del mortero sin confinamiento f'_{cp} , se incrementa con los esfuerzos biaxiales de compresión σ_{xm} y σ_{zm} que actúan sobre el mortero, y cumple la expresión de Richart. Entonces el esfuerzo sobre el mortero en estado confinado se puede aproximar a:

Ecuación 3.17 $\sigma_{yu} = f'_{cp} + 4.1\sigma_{xu}$

Donde σ_{ym} es el esfuerzo vertical máximo a compresión del mortero en servicio (es decir, en estado confinado) y σ_{xm} es el esfuerzo lateral de compresión desarrollado en el mortero. Según Hisdorf propuso un criterio de falla en la unidad parecido al descrito anteriormente.

Figura 18. Criterio de falla de Mohr para una unidad de mampostería.



La ecuación siguiente representa la envolvente de falla para una unidad de mampostería.

Ecuación 3.18 $\frac{\sigma_{xu}}{f'_{tu}} + \frac{\sigma_{yu}}{f'_{cu}} = 1$



Donde σ_{xu} es el esfuerzo de tracción en la unidad, σ_{yu} es el esfuerzo de compresión axial que ocurre conjuntamente con el esfuerzo de tracción σ_{xu} en la unidad, f'_{tu} y f'_{cu} son la resistencia a la tracción y a la compresión uniaxial de la unidad.

La figura 18 muestra una trayectoria simplificada que ignora los esfuerzos inducidos por las diversas deformaciones laterales elásticas, como resultado del aumento de la relación de poisson en el mortero.

Para seguir con el análisis, se citan las ecuaciones 3.3. Y 3.4 las cuales muestran la relación existente entre los esfuerzos de tracción en la unidad y los esfuerzos de compresión en el mortero. Esta relación es puramente geométrica y los parámetros de interés son el espesor del mortero j y la altura de la unidad h .

Si se toma solo la ecuación 3.3 y se relaciona con las ecuaciones 3.17 y 3.18 se obtiene una nueva expresión para el esfuerzo máximo perpendicular a las juntas.

Esta relación es la siguiente:

Ecuación 3.19

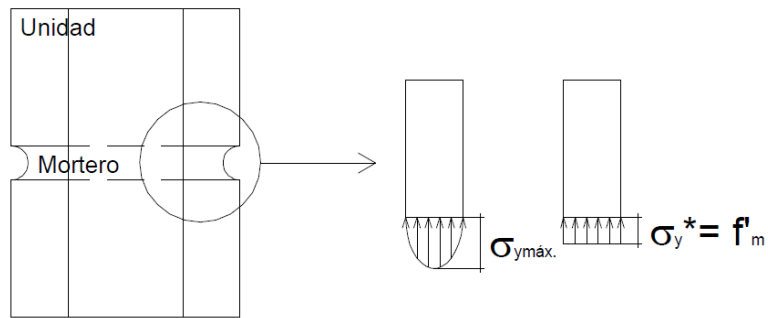
$$\sigma_{y.m\acute{a}x.} = \frac{\left(4.1 \left(\frac{h}{j} \right) \left(\frac{f'_{tu}}{f'_{cu}} \right) + \left(\frac{f'_{cp}}{f'_{cu}} \right) \right)}{4.1 \left(\frac{h}{j} \right) \left(\frac{f'_{tu}}{f'_{cu}} \right) + 1}$$

La relación que ahora es h/j , es de importancia en la resistencia de los muros de mampostería. Por ejemplo entre más grande sea el valor de h/j menores son la tracciones en la unidad y mayores las compresiones transversales en el mortero para un mismo valor de esfuerzo vertical σ_y aplicado.

Por la dificultad de determinar el esfuerzo de tracción (f'_{tu}) en la unidad, muchos autores asumen que es el 10% del esfuerzo de compresión (f'_{cu}). Hilsdorf determino experimentalmente un valor que relacionaba el esfuerzo máximo vertical σ_y con un valor promedio $\sigma_y^* = f'_m$. Este valor fue llamado factor de uniformidad, U ; y experimentalmente se ha determinado como de 1.5. La figura 19 muestra el experimento de Hilsdorf.



Figura 19. Distribución real de esfuerzos en la unidad y mortero.



De este esquema se puede decir que:

Ecuación 3.20

$$\frac{\sigma_{y.máx.}}{\sigma_y^*} = U$$

$$f'_m = \frac{\sigma_{y.máx.}}{U}$$

Si reemplazamos la ecuación 3.19 en la ecuación 3.18 y a eso se le suma el valor del esfuerzo de tracción uniaxial de la unidad; se obtiene el valor del esfuerzo promedio aplicado verticalmente al murete.

Ecuación 3.21

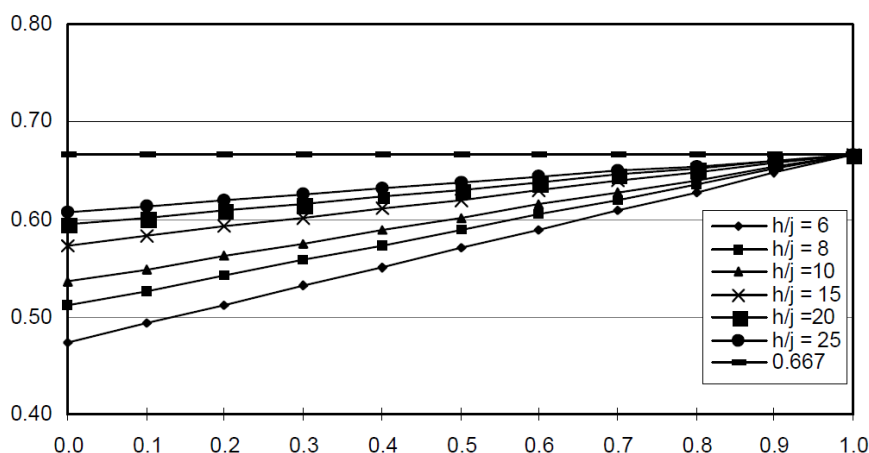
$$f'_m = \frac{2 * f'_{cu}}{3} \left(\frac{0.41 \left(\frac{h}{j} \right) + \left(\frac{f'_{cp}}{f'_{cu}} \right)}{0.41 \left(\frac{h}{j} \right) + 1} \right)$$

Esta ecuación muestra que el valor promedio de la resistencia a la compresión de un muro de mampostería depende de los parámetros que se pueden medir en el laboratorio con mayor facilidad, como son la resistencia a la compresión en la unidad, f'_{cu} y la resistencia a la compresión en el mortero, f'_{cp} .

A continuación se muestra la relación entre el esfuerzo promedio de compresión del murete f'_m y la resistencia a la compresión de la unidad en función de la relación entre la resistencia a la compresión en el mortero f'_{cp} y la resistencia a la compresión en la unidad f'_{cu} y para distintos valores de h/j .



Figura 20. Variación entre la relación del esfuerzo promedio f'_m y la resistencia a la compresión de la unidad f'_{cu} , en función de la relación entre la resistencia a la compresión en el mortero f'_{cp} y la resistencia a la compresión en la unidad f'_{cu} y para distintos valores de h/j .



Como se observa en la figura 20, el máximo valor que puede llegar a tener el esfuerzo promedio f'_m es aproximadamente el 67% de la resistencia a la compresión de la unidad f'_{cu} y este valor se presentara cuando el valor de la resistencia a la compresión en el mortero f'_{cp} es igual la resistencia a la compresión en la unidad f'_{cu} , y además cuando la relación h/j tiende a cero.

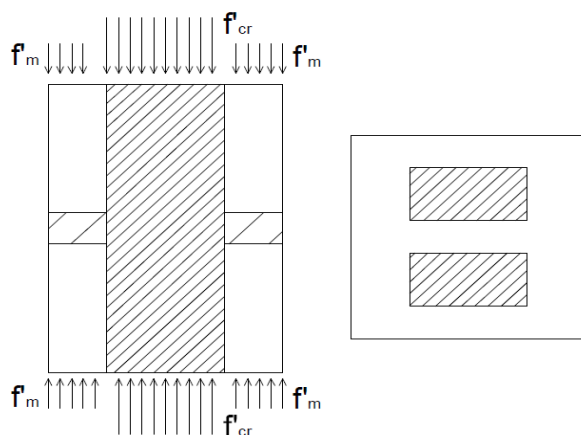
En este momento se tienen dos ecuaciones que muestran el esfuerzo máximo promedio de compresión, f'_m para un muro de mampostería. Estas ecuaciones que pueden dar una idea general del comportamiento de un muro sometido a esfuerzos de compresión, tienen sus inconvenientes, el más significativo, es la hipótesis de un comportamiento elástico de los materiales a lo largo de todo el proceso de carga, esto es muy discutible. Otra consideración que no se tiene en la deducción de las formulas es la influencia del mortero de relleno, si el muro de mampostería es de unidades de perforación vertical o si el muro es con cavidades; la esbeltez de la junta del mortero, el efecto de la hidratación real del mortero de pega, entre otras.

La influencia del mortero de relleno se puede tener en cuenta, si se considera que para muros de mampostería con unidades con perforación vertical o de cavidad



reforzada, el esfuerzo en las paredes (contacto entre unidad y mortero) se puede aproximar al valor de la ecuación 3.20, donde el esfuerzo f'_m se aplicará al área neta de las unidades de mampostería. Y el esfuerzo del mortero de relleno o lechada, f'_{cr} , se aplicará al área de las perforaciones o cavidades.

Figura 21. Esfuerzos de compresión aplicados al murete inyectado



Puesto que el esfuerzo f'_m en las paredes de las unidades alcanza típicamente un esfuerzo menor que al aplicado a la lechada, la suma directa de los esfuerzos no es apropiado. Además, los estudios del parámetro de la influencia del esfuerzo biaxial f'_{tu} en la unidad y el esfuerzo en el mortero, f'_{cp} , y el esfuerzo promedio en las paredes f'_m dado por la ecuación 3.20, indican insensibilidad comparativa a estas variables.

De la figura 21, se deduce que las deformaciones verticales en las paredes de la unidad y en la lechada son las mismas. Si se tiene la siguiente relación entre el área neta (sumatoria de las áreas de las paredes de la unidad), A_m , y el área total de la unidad, A_t :

Ecuación 3.21
$$r = \frac{A_m}{A_t}$$

Ecuación 3.22
$$A_t = A_m + A_g$$



Donde A_g el área de las perforaciones en la unidad de mampostería o el área inyectada. Si se reemplaza 3.21 en 3.22 se tiene:

Ecuación 3.23
$$A_g = (1-r)A_t$$

La fuerza de compresión en el murete se puede aproximar conservadoramente, a la suma de la fuerza en las paredes de la unidad más la fuerza en el mortero inyectado. Como se muestra en la ecuación 3.24.

Ecuación 3.24
$$f'_{mg} A_t = f'_m A_m + f'_{cr} A_g$$

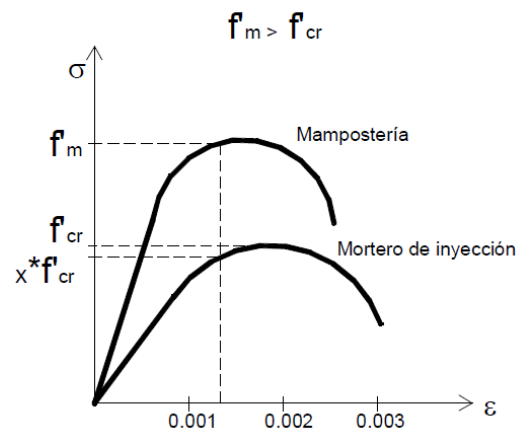
Si se reemplaza 3.23 en 3.24 se tiene:

Ecuación 3.25
$$f'_{mg} = r f'_m + (1-r) f'_{cr}$$

El inconveniente de esta ecuación, es que los valores máximos de las fuerzas de compresión en las paredes y la lechada no se dan a la misma deformación unitaria.

Para la ecuación 3.25 se toma el 75% que proporciona un límite más bajo para la resistencia y es útil cuando se adopta un valor conveniente del diseño para la mampostería.

Figura 22, curva de esfuerzo-deformación unitaria para la mampostería y el mortero de inyección.



La figura 22, muestra que los valores máximos de las fuerzas de compresión en las paredes de mampostería y la lechada no se dan a la misma deformación unitaria. Este criterio fue introducido por Hilsdorf. El valor x es el mismo si $f'_m < y f'_{cr}$ y en la tabla siguiente se muestran algunos valores.

Tabla 11. Valores de x .

Autor	Valor de X
Hilsdorf	0.9375
Priestley	0.9
RNC-07	0.9
TESIS b	0.9* 0.75

2.4.2 Comportamiento tenso-deformacional σ - ϵ

El comportamiento de los muros de mampostería es fuertemente no lineal desde estados tempranos de carga. Esta no linealidad se observa en las curvas de σ - ϵ (figura 23) al comparar los valores del módulo de elasticidad tangente y secante a 2/3 del valor de la resistencia a compresión.

La relación esfuerzo-deformación para la mampostería ha sido estudiada ampliamente en los últimos años. Se ha observado que esta relación depende de las características de los materiales constitutivos, esto es; las deformaciones y los esfuerzos varían considerablemente de un tipo de unidad a otra.

Powell y hodgkinson, ensayaron muretes de mampostería (ladrillos) donde caracterizaron la ecuación tenso-deformacional de los muretes para carga rápida, sin confinamiento y para cuatro tipos diferentes de ladrillos(A: ladrillo perforado,B, C y D: ladrillos solidos).

Como se muestra en la tabla 12. El mortero que se utilizo fue el mismo (proporción de mezcla cemento: limo; arena =1¼:3). Los ensayos se realizaron bajo carga



controlada. En la figura 23 se muestran las curvas esfuerzo-deformacional de los ensayos realizados.

Figura 23. Curvas-deformación para los ensayos de Powell y hodgkinson.

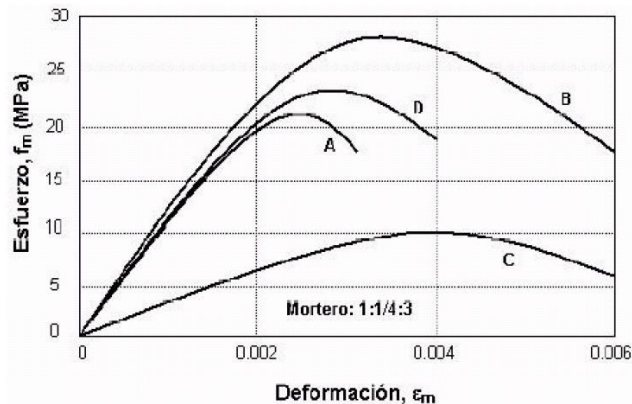


Tabla 12. Datos obtenidos de los ensayos de muretes de Powell y hodgkinson.

Clase de Unidades	Resistencia a compresión de las unidades (Mpa)	Resistencia a compresión de los muretes (Mpa)	f'_m / f'_{cu} (%)	Módulo tangente (Mpa)	Módulo secante (Mpa)
A Perforado	69.6	19.93	28	18230	11900
B Clase A	71.7	27.65	38	17370	12930
C Fletton	25.5	9.33	37	4960	3740
Double flogged	45.3	20-10	44	16830	11610

Las curvas de muretes de unidades A, B y D presentan un comportamiento similar, y similar a su vez al del concreto; un tramo ascendente y otro de descarga. El valor de la deformación elástica oscila entre 0.002 y 0.003, mientras que el valor de la deformación última está sujeta a mayor variación, variable entre 0.0035 el más frágil



(perforado) y 0.006 el más dúctil (unidad B). La forma de la curva de la unidad C es más suave, presentando una resistencia notoriamente menor pero una alta ductilidad.

2.4.3 Módulo de Elasticidad de la Mampostería E_m

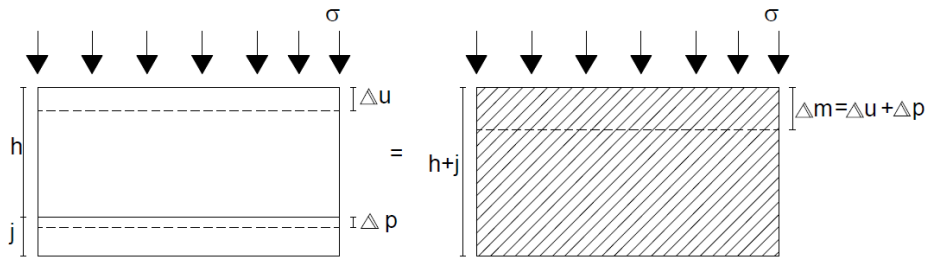
Se han utilizado varias definiciones para evaluar el módulo de elasticidad de la mampostería, E_m . En algunos casos, se define como el módulo secante en el nivel de esfuerzos del 30% o el 75% de la resistencia máxima a la compresión F_m . La ASTM E 111, utiliza el método secante, en el cual, la pendiente de la línea se toma desde el punto correspondiente a un esfuerzo igual a $0.5 f'_m$ hasta un punto sobre la curva en $0.33 f'_m$. En otros casos, no se han descrito los métodos considerados para definir el módulo de elasticidad. Sin embargo, para niveles de esfuerzos bajos y medios, las diferencias obtenidas usando varias definiciones, pueden ser considerados como pequeñas para efectos prácticos, para un mismo tipo de unidad.

Considerando que la mampostería es un material compuesto de unidades y el mortero, cada uno con propiedades de deformación diferentes, resulta razonable desarrollar un modelo analítico para calcular el módulo de elasticidad basado en las propiedades de deformación de estos elementos.

Según Sahlin si no se dispone del diagrama real de σ - ϵ , el módulo de elasticidad se puede estimar de forma tentativa a partir de los módulos de los materiales constituyentes. Para ellos se debe suponer un comportamiento elástico lineal para ambos materiales e igualando las deformaciones de compresión de la mampostería a la suma de la deformación de las unidades y las del mortero.



Figura 24. Unidad y mortero y material homogéneo equivalente



Entonces de la figura 24 se tiene que la deformación total de la mampostería Δ_m es igual a la suma de las deformaciones de la unidad Δ_u y la del mortero Δ_p .

Ecuación 3.26 $\Delta_m = \Delta_u + \Delta_p$

Ecuación 3.27 $\Delta_m = \frac{\sigma * (h + j)}{E_m}$

Ecuación 3.28 $\Delta_u = \frac{\sigma * h}{E_u}$

Ecuación 3.29 $\Delta_p = \frac{\sigma * j}{E_p}$

Si se reemplaza las ecuaciones 3.27 a 3.26, obtenemos la siguiente ecuación para el módulo de elasticidad para la mampostería.

Ecuación 3.30 $E_m = \left(\frac{1 + \frac{h}{j}}{\frac{E_u}{E_p} + \frac{h}{j}} \right) * E_u$



Donde E_m es el módulo de elasticidad del muro de mampostería, E_u y E_p los módulos de elasticidad de la unidad y el mortero y h la altura de la unidad y j es el espesor de la junta de mortero.

Esta expresión indica que el módulo de elasticidad de los muros de mampostería, siempre será más pequeño que el módulo de la unidad cuando en mortero es más deformable ($E_u < E_p$), como usualmente ocurre, adicionalmente, esta ecuación predice que E_m aumenta cuando el mortero es más rígido y cuando el espesor de la junta de mortero es más pequeño.

Este valor del módulo puede ser tangente o secante dependiendo de que módulos se consideren para E_u y E_p .

Otras propuestas empíricas, de gran aplicación práctica, han sido desarrolladas por diferentes autores, a partir de una gran variedad de ensayos de laboratorio. La mayoría de las propuestas varían entre: $400 f'_m < E_m < 1000 f'_m$. la tabla 13 resume algunas de las propuestas más utilizadas.

Tabla 13. Expresiones empíricas para el módulo de elasticidad de la mampostería.

Autores	Valor de E_m
Sinha y Pedreschi, 1983	$1180 f'_m^{0.83}$
Hendry, 1990	$2116 f'_m^{0.5}$
San Bartolomé, 1990	$500 f'_m$
Paula y Priestley, 1992	$750 f'_m$



2.5 COMPORTAMIENTO BAJO ESFUERZOS DE FLEXO-COMPRESIÓN Y CORTE.

2.5.1 Comportamiento Paralelo Plano

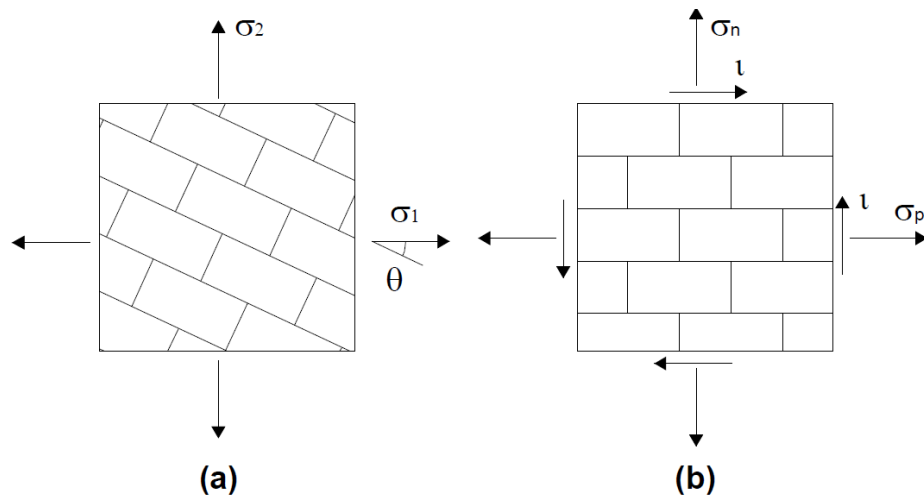
Los muros de mampostería están sometidos a esfuerzos de flexo-compresión y de corte en su plano, apareciendo en ellos estados de esfuerzos biaxiales. Los muros de mampostería presentan una gran anisotropía, causada, fundamentalmente, por la presencia de juntas horizontales y verticales, y por la propia anisotropía que presentan las unidades de mampostería (perforación vertical y horizontal). Es por esta razón que el comportamiento de los muros depende en gran medida de la dirección de esfuerzos con respecto a la dirección de las juntas. Para el análisis de los estados biaxiales, de los posibles mecanismos de falla, del valor de las resistencias, etc.; se realizará a partir del estudio del agotamiento de la junta de mortero o de la unidad ante combinaciones de esfuerzos tangenciales y esfuerzos normales en su plano.

El estado de esfuerzos resultantes en los muros de mampostería bajo sollicitación se definirá, bien por sus esfuerzos principales y el Angulo que forman estos con respecto al plano de las juntas θ , (a) de la figura 25; o bien por lo esfuerzos normales y tangenciales (σ_n , σ_p , τ). En las direcciones de las juntas (b).

El estado biaxial de esfuerzos es producto de la sollicitación de esfuerzos externos (M, N, V) en cada cara del Angulo que forman con la dirección de las juntas. Por otro lado, el comportamiento de los muros de mampostería se ha demostrado que es fuertemente dependiente del ángulo θ , porque los valores de las resistencias y los modos de falla son diferentes con respecto a este.



Figura 25. Definición del estado biaxial de esfuerzos en los muros de mampostería



2.5.1.1 Mecanismos de Falla

Los criterios de falla para estados biaxiales de esfuerzos, expuestos en este capítulo, están basados en observaciones e interpretaciones de ensayos.

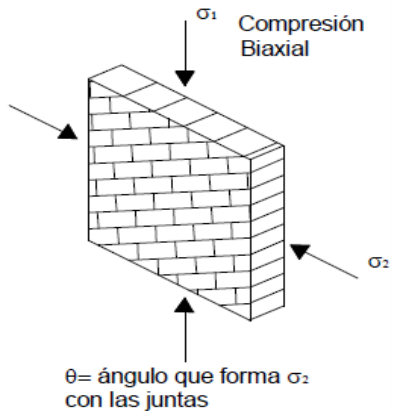
Page (3) es el que más ha estudiado comportamiento de muros de mampostería bajo esfuerzos biaxiales. Por desgracia, se ha realizado un menor número de ensayos en comparación con los de esfuerzos uniaxiales. La experimentación se ha basado en ensayos hasta la rotura de muretes de mampostería de ladrillo con mortero de cemento.



Los muretes fueron sometidos a estados de compresión biaxial y de tracción – compresión, para los que se estudiaron diferentes valores de θ (Ángulo que mide la inclinación de los esfuerzos principales con respecto a las juntas).

Los mecanismos de fallas obtenidas en los ensayos están representados en la figura 26.

En donde se muestran los diferentes tipos de fallas inducidos en muros.



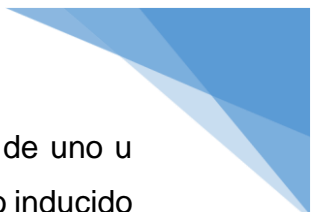
45°			
67.5°			
Angulo	Tracción uniaxial	Otros σ_1 y σ_2	Compr. uniaxial
0°			
22.5°			
90°			

Sin embargo los valores numéricos de agotamiento solo son válidos para estos muretes ensayados siendo difícilmente extrapolables.

La figura 26 muestra el mecanismo de falla obtenida por page, al ensayar a rotura muretes bajo diferentes estados biaxiales de esfuerzos.

En todo caso, los resultados obtenidos de los ensayos, demostraron que, en los casos de falla bajo estados de tracción- compresión, la influencia del ángulo θ era fundamental. En estos casos, el fallo final estaba provocado por fisuración y deslizamiento en las juntas. También se observó un mecanismo mixto en el que





estaban involucradas tanto las unidades como las juntas. La ocurrencia de uno u otro dependía del valor θ . Otra conclusión a la que se llegó, fue que el daño inducido por micro fisuración, al comprimir el murete altamente en una dirección, se disminuía la resistencia a la tracción en la dirección perpendicular.

En los casos de compresión biaxial se obtuvieron también diferentes mecanismos de falla en función del ángulo θ y de la importancia entre el valor de los dos esfuerzos σ_1 y σ_2 inducidos.

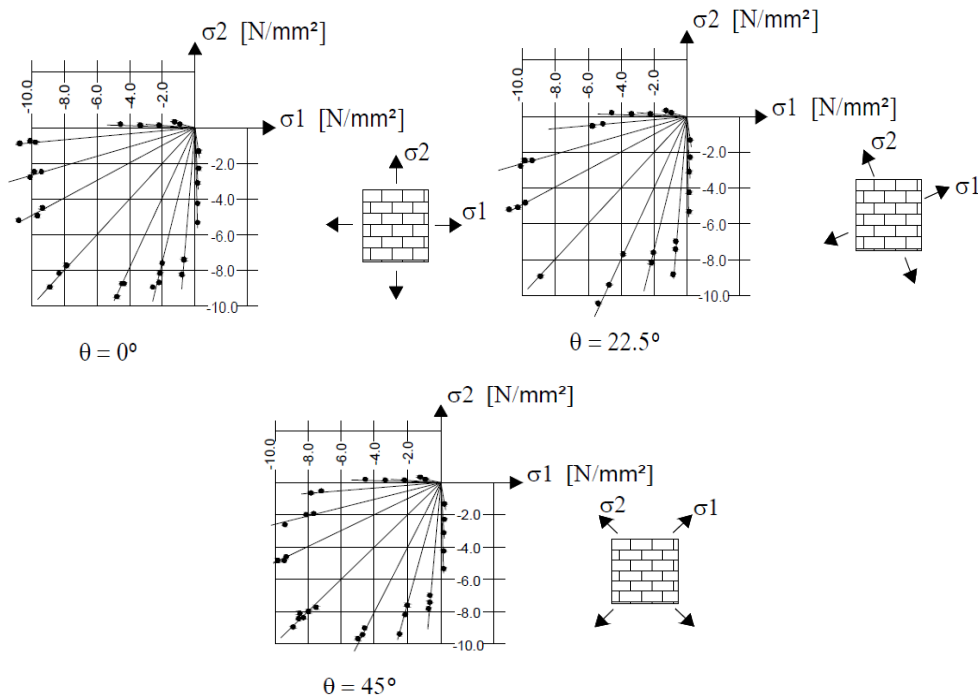
Cuando el valor de estos esfuerzos no difería en gran medida, el mecanismo de falla obtenido se caracterizaba por no depender de θ y por producirse en el plano paralelo al murete. Por el contrario, cuando uno de los esfuerzos de compresión era predominante frente a otro, el plano de falla era perpendicular al murete, pudiéndose producir a su vez, dos clases de mecanismos de rotura, mecanismos por fisuración y deslizamiento en las juntas o mecanismos combinados de falla en las unidades y juntas.

La resistencia a compresión alcanzaba en estados de compresión biaxial era mayor que la resistencia a compresión uniaxial.

En la figura 27, se muestran los resultados de los valores de falla obtenidos en el ensayo de los muretes, cada una de las figuras representa los puntos de falla para $\theta = 0^\circ, 22.5^\circ$ y 45° . Cuando la orientación de los esfuerzos coincide con la disposición de juntas ($\theta = 0^\circ$), se observa que el valor en falla de σ_1 , cuando σ_2 es nulo (compresión uniaxial perpendicular a juntas horizontales), es mucho mayor, del orden del doble, al valor de la resistencia a compresión uniaxial paralela a las juntas horizontales (σ_2 cuando σ_1 es nulo). También se detectó que el valor de la resistencia en compresión biaxial es del orden de 1.25 veces al valor de la compresión uniaxial para todos los valores de θ .



Figura 27. Resultados obtenidos por page al ensayar a rotura los muretes bajo diferentes estados biaxiales de esfuerzos.



Cuando $\theta \neq 0$, los valores obtenidos para la resistencia a compresión uniaxial sufren una bajada importante.

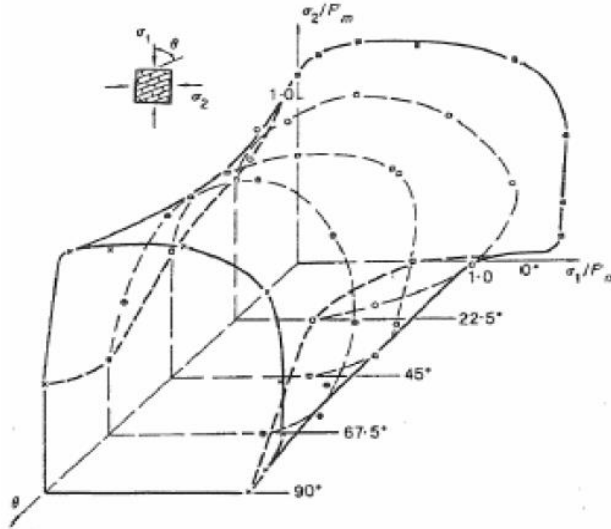
Las superficies de la falla de la figura 27 se parecen, con ciertas salvedades, a las obtenidas para el hormigón. Se pueden diferenciar tres zonas dentro de la envolvente. En la primera, para estados de compresión-compresión la envolvente tiene forma de curva cóncava, no siendo simétrica para σ_2 y σ_1 (solo es simétrica para $\theta = 45^\circ$). En la segunda, bajo estado de tracción-compresión la envolvente se puede asimilar a una recta y finalmente, en la zona donde ambos esfuerzos son de tracción, se puede tomar, como envolvente, dos rectas paralelas a las direcciones de ejes.

Por lo tanto, para caracterizar el comportamiento de los muros de mampostería bajo estados biaxiales no es suficiente con una envolvente plana, como las representadas en la figura 27, sino que se hace necesario representar las diferentes



envolventes en función de ángulo θ . La figura 28 representa la superficie de falla de los muros de mampostería bajo estados biaxiales para cualquier valor de θ .

Figura 28. Superficie de falla en estados de compresión biaxial en muros de ladrillos (page 1981).

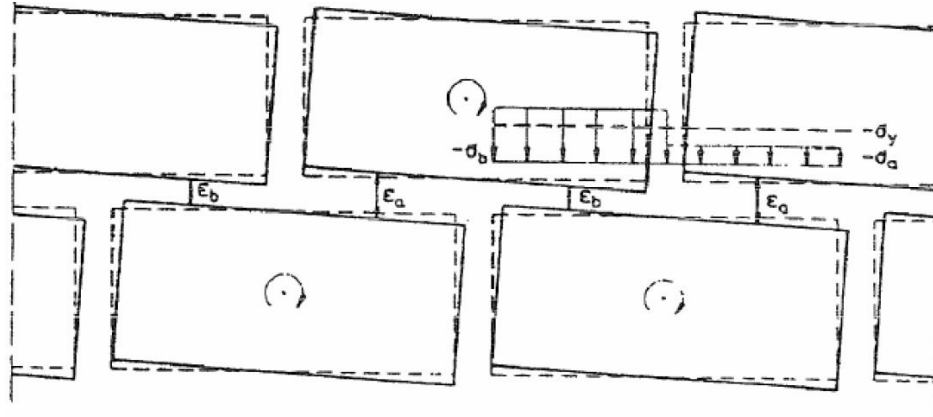


Mann y Müller formularon un nuevo criterio de falla de los muros de mampostería. Su planteamiento contempla dos hipótesis de partida. Por un lado, la infinita rigidez de las unidades con respecto al mortero. Esto provoca que las unidades de mampostería, bajo esfuerzos de corte, experimenten giros de sólidos rígidos dentro de la matriz deformable (mortero), induciendo un estado de esfuerzos al suponer un giro igual en todas las unidades, que produce una deformación diferencial en el mortero, que a su vez, comprime más una zona de las unidades, figura 29.

La segunda hipótesis realizada considera que las juntas verticales son incapaces de transmitir esfuerzos tangenciales. Esta afirmación se apoya en que no suelen estar completamente rellenas y en que no se puede asegurar la adherencia al no estar comprimidas.



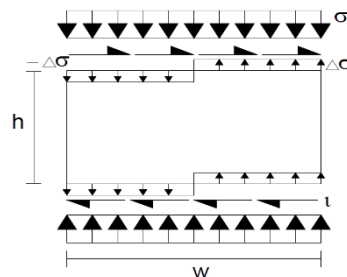
Figura 29. Unidades rígidas embebidas en el mortero al producirse un movimiento de solido rígido de las mismas por un esfuerzo de corte y al estar sometidas a esfuerzos axiales, Mann y Müller.



En definitiva, el estado de esfuerzo en la unidad y la junta resultan de sumar dos estados independientes. Uno proveniente de realizar un análisis elástico e isótropo de los muros de mampostería bajo esfuerzos axiales, dando como resultados un estado de esfuerzos normales uniformes. Es segundo proveniente del cálculo de esfuerzos tangenciales y de la redistribución de esfuerzos normales en la unidad y bajo esfuerzos de corte dentro del planteamiento de las unidades rígidas embebidas en una matriz deformable.

El estado final aparece representado en la figura 30. en este caso, el esfuerzo paralelo a las juntas verticales se supone igual a cero.

Figura 30. Solicitación de esfuerzos sobre la unidad según las hipótesis de Mann y Müller.



De esta manera imponiendo el equilibrio de momentos en el centro de la pieza, se obtiene una relación entre $\Delta\sigma$ (incremento o decremento de esfuerzos normales debido al giro) y el esfuerzo tangencial supuesto uniforme en la junta horizontal.

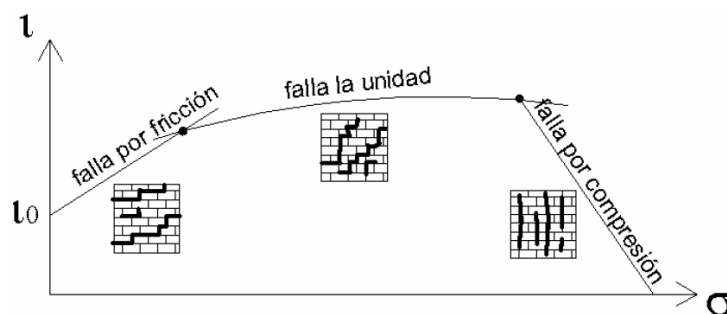
$$l * w * \frac{h}{2} = \Delta\sigma * \frac{w}{2} * \frac{w}{2}$$

$$\Delta\sigma = 2 * l * \frac{h}{w}$$

Bajo este estado de esfuerzos, los tres posibles mecanismos de rotura son:

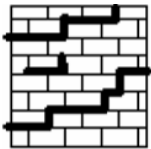
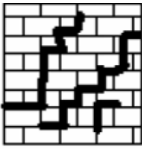
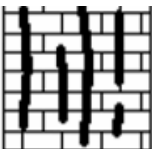
- Falla de las juntas horizontales; es el primero tramo de la figura 31. Para valores pequeños del esfuerzo normal, la falla se produce por fallo friccional en las juntas horizontales, dando lugar a una fisuración en escalera (junta horizontal y vertical) sin rotura de la unidad.
- Falla por generación de estados de tracción-corte en las unidades: es el tramo intermedio de la figura 31, el agotamiento se alcanza cuando el máximo esfuerzo principal alcanza el esfuerzo de tracción de la unidad.
- Falla a compresión del muro: por último, en el tramo final de la figura 31, se representa la falla cuando el esfuerzo normal máximo (la media debida a el esfuerzo axial y el incremento debido el esfuerzo de corte) alcanza la resistencia a compresión.

Figura 31. Envolvente de falla en ejes l - σ Mann y Müller



En los temas anteriores se ha mostrado como la experimentación y las interpretaciones teóricas encontradas en la bibliografía ponen de manifiesto el comportamiento biaxial de los muros de mampostería, en su plano. Las conclusiones principales son la importancia de la anisotropía del material compuesto y el acoplamiento existente entre la respuesta ante los esfuerzos normales en dos direcciones entre si y de estos con los esfuerzos de corte.

Tabla 14. Modos de fallo de los muros de mampostería en estados biaxiales.

Esfuerzo Predominante	Condición de Fallo	Parámetro geométricos y materiales	Aspectos de la falla
Cortante	Deslizamiento en las juntas Interfaz mortero unidad	Interfaz mortero unidad	 <p>Escalonada sin fallo de unidades</p>
Cortante y Normal	Fallo a tracción de las unidades (o del mortero)	f'_{tu} y la relación alto- largo de las unidades	 <p>Escalonada con fallo mixto de juntas y unidades</p>
Normal	Fallo a compresión del muro (tracción indirecta en las unidades)	f'_m del muro ($f'_{cu}, f'_{tu h/j}$)	 <p>Fisuración perpendicular a las juntas</p>



Como se puede apreciar existen un gran número de variables que intervienen y condicionan los modos de falla en el comportamiento biaxial paralelo al plano del muro; lo que hace de este problema un fenómeno complejo y de mucho cuidado para el diseño.

2.5.2 Comportamiento perpendicular al plano

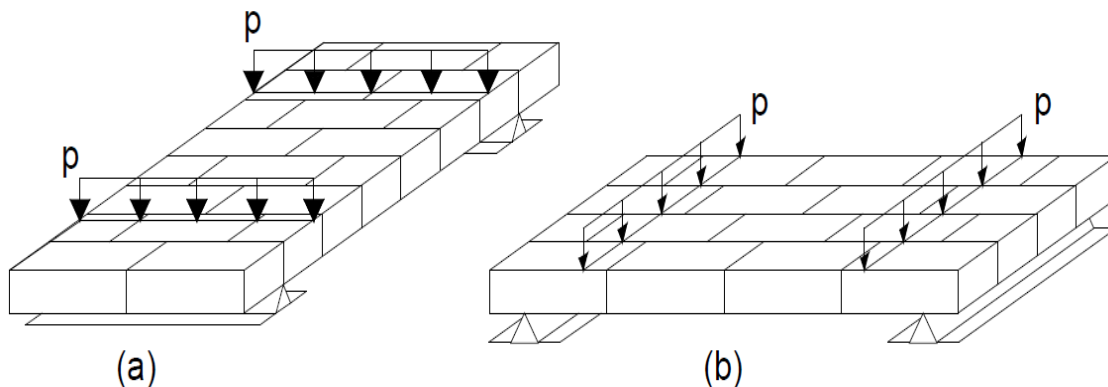
El comportamiento de los muros de mampostería fuera de su plano ha sido menos estudiado y su nivel de conocimiento esta menos avanzado, con respecto al comportamiento en su plano.

Lourenco, el cual hace un llamado de atención para el valor de la resistencia a flexotracción de la mampostería; porque se han realizado ensayos sobre el comportamiento de muretes de mampostería a flexión perpendicular al plano, pero se conoce muy poco sobre ella.

2.5.2.1 Mecanismos de Falla uniaxiales. Flexión en direcciones principales

Este caso se produce cuando el eje de flexión fuera de su plano es paralelo(a) o perpendicular (b) a las juntas de horizontales.

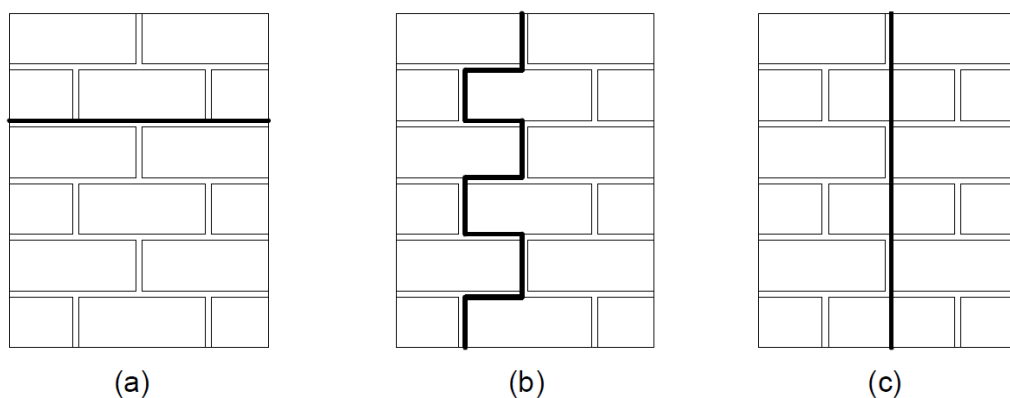
Figura 32. Flexión fuera del plano. Paralelas a las juntas horizontales (en que se asienta la unidad) (a) y perpendicular a estas (b).



Los mecanismos de falla asociados son, en el primer caso(a) de la figura 32, flexión de eje paralelo a las juntas horizontales, falla en la junta por escasa adherencia de la unión (interfaz) entre la unidad y la junta de mortero. En el segundo caso (b) de la figura 32, flexión perpendicular a las juntas horizontales, se producen dos mecanismos de falla diferentes en función de la resistencia relativa de las unidades y de las juntas de mortero.

Si la resistencia de las unidades es mayor, la falla se produce por fisuración dentada a lo largo de las juntas horizontales (que se asientan) y las juntas verticales (perpendiculares a las que se asientan), esto se muestra en (b) la figura 33. En otro caso, la falla se produce por un mecanismo mixto atravesando casi directamente las unidades y las juntas de mortero, (c) de la figura 33.

Figura 33. Mecanismos de falla para flexión fuera del plano del muro.



En el caso (a), representa flexión paralela a las juntas horizontales, como se observa en la figura 33, la falla se presenta por escasa adherencia en la interfaz entre la junta de mortero y las unidades de mampostería.

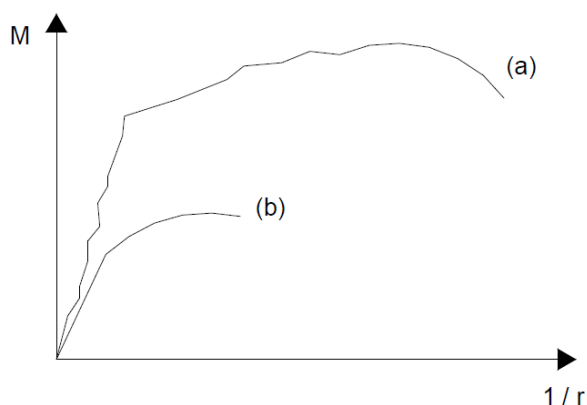
En los casos (b) y (c), representan flexión perpendicular a las juntas horizontales, como se observa en la figura 33, la falla en (b) se presenta por fisuración en las

juntas verticales y horizontales de mortero. La falla en (c) es un mecanismo mixto de fisuración entre las juntas de mortero y las unidades de mampostería.

Los diagramas M-1/r asociados a los mecanismos de falla provenientes de los ensayos de Lourenco se representan en la figura 34. En esta figura se puede observar la pérdida de rigidez ocurrida en el momento de entrar en el comportamiento no lineal.

En la figura 34 se muestran los dos casos expuestos anteriormente, perpendicular (a) y paralelo (b) a las juntas horizontales. Se puede observar que en el caso (b) se presenta una fuerte disminución en el momento que resistido y en la ductilidad del murete. Se sabe que la ductilidad es de vital importancia en el comportamiento de estructuras expuestas a fuerza horizontal; entonces, los muros solicitados a carga horizontal paralela a las juntas van a presentar un gran problema.

Figura 34. Diagrama M-1/r obtenidos para los mecanismos de falla a flexión perpendicular al plano.



En el caso (a) flexión perpendicular a las juntas horizontales, se observa un primer tramo casi lineal, luego pasa a un tramo mucho más horizontal (este tramo representa la parte no lineal) que sin desarrollar una gran capacidad resistente postpico, si se alcanza un valor notablemente superior para la curvatura final.

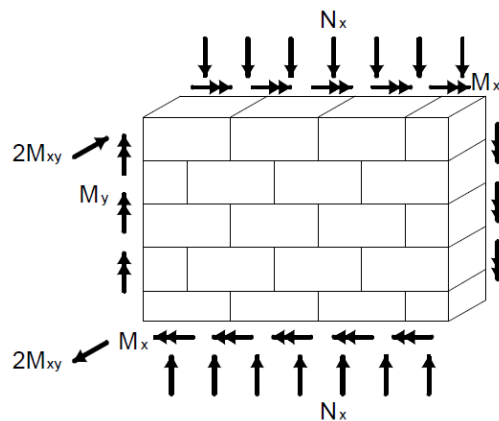


2.5.2.2 Mecanismos de falla biaxiales. Flexión con Aparejo Esviado

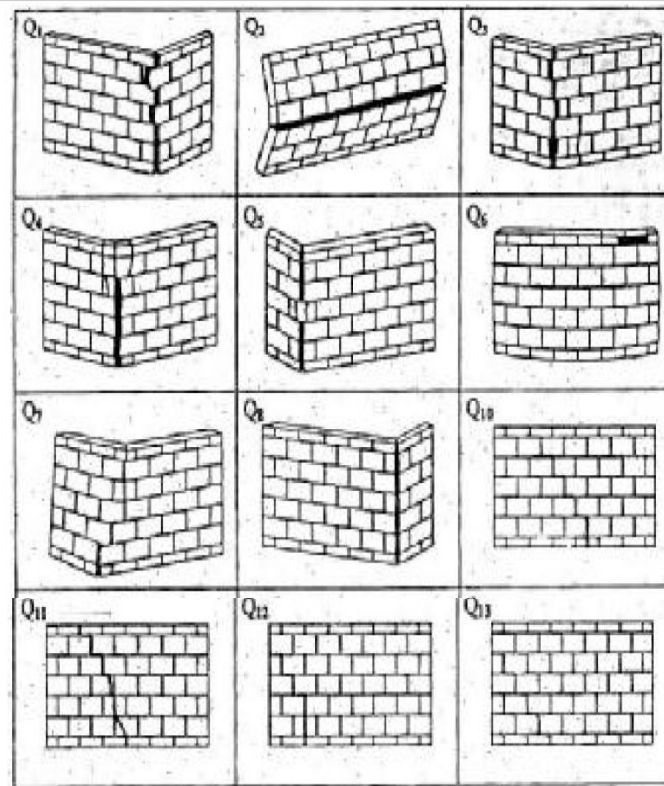
Cuando la flexión se produce con aparejo esviado, es decir, cuando el eje de flexión no es paralelo (ángulo $\theta = 0^\circ$) o perpendicular (ángulo $\theta = 90^\circ$) a las juntas horizontales, se inducen estados de esfuerzos biaxiales. La descripción completa de la flexión perpendicular al plano de muro, pasa entonces por definir los valores de los momentos principales y el ángulo θ . (M_1 , M_2 , θ) o los momentos según los ejes de las juntas verticales y horizontales (M_x , M_y , M_{xy}).

En la referencia (3), se menciona un estudio que trata el comportamiento biaxial de la mampostería bajo flexión perpendicular al plano del muro. Guggisberg y thurlimann obtuvieron diferentes modos de falla en función de la variación del ángulo θ (ángulo que forman los ejes principales con las juntas horizontales). Los resultados se muestran en la figura 35.

Figura 35. Modos de falla obtenidos en los ensayos realizados por Guggisberg y Thurlimann.



Como se observa en la siguiente figura, los modos de falla son una combinación de tracción y cortante en las juntas verticales y horizontales, salvo para ángulo $\theta \cong 90^\circ$, donde se produce también fisuración en las unidades de mampostería.



2.5.2.3 Comportamiento Perpendicular al plano con un Esfuerzo Axial Vertical.

La presencia de un esfuerzo axial en la dirección perpendicular a las juntas, aumenta la capacidad de flexión fuera del mismo, siempre que el modo de falla sea el producido por combinación de tracción y cortante en las juntas verticales y en las juntas horizontales de mortero (debido a un aumento de la resistencia en el modelo friccional planteado en 3.3.1.) y no el producido por compresión en el muro de mampostería.



3. MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN PARA LA MAMPOSTERÍA

Todo sistema estructural esta influenciado por las caracteristic de los materiales que lo constituyen, y la mamposteria estructural no se escapa de esta condicion. La mamposteria estructural es de los que mas depende de las propiedades de sus componenentes. Por esta razon, para hablar del comportamiento de la mamposteria, primero debe conocerse las propiedades de sus componentes, para luego identificar porque esta puede llegar a comportarse de cierta forma.

Los materiales que se utilizan en la construccion de muros de mamposteria estructural son: las unidades de mamposteria, el mortero de pega, el mortero de relleno y por lo generla acero refuerzo.

El presente capitulo pretende mostrar las propieedaddes de cada material y como deben ser estas, para que el comportamiento de la mamposteria sea el deseado.

3.1 Unidades de Mampostería

Las unidades de mamposteria que se utilizan en la cosntruccion de muros de mamposteria estructural son piezas de forma paralelepipeda, elaboradas principalmente en arcilla cocida, concreto, silice-cal y piedra que cumplen requisitos dimensionales y de resistencia.

El presente capitulo y en adelate, cuando se hable de unidades de mamposteria se debe entendere solo como unidades de mamposteria de arcilla cocida.

Las propiedaddeds de unidades de mamposteria depende de muchos aspectos, como son la arcilla que se utiliza, los metodos de la fabricacion, curado etc.

3.1.1 Materia Prima

La materia prima para la fabricación de unidades de mampostería, no es la arcilla misma, sino una mezcla de esta con otros componentes. Estos componentes se



usan en cantidades menores, con el objeto de controlar las contracciones y los agrietamientos de la mezcla durante el proceso de secado y cocción.

Los tipos más comunes de arcilla para la elaboración de unidades de mampostería son: arcillas calcáreas que tienen un 15% de carbonatos de calcio y que en el proceso de cocido adquieren un color amarillo, y las arcillas no calcáreas (las de silicato de alúmina) que presentan del 2 al 10% de óxido de hierro y feldespatos, estas adquieren un color rojo cuando se cocinan (son las más conocidas en nuestro medio).

La arcilla representa por lo general el 67% de la mezcla, y el otro 33% es arena, limos y otros materiales. Estos componentes adicionales son conocidos con el nombre de desgrasantes y algunas granulometrías de estos son:

- Arena o arenisca, la granulometría para este material se encuentra en el rango de 50 a 500 micras.
- “chamote” material desechado después de la cocción y triturado para reutilizarse. La granulometría oscila entre 80 y 800 micras. Su comportamiento es inerte en el secado.
- Otros materiales usados son serrín de madera y cenizas volcánicas.

3.1.2 Fabricación

La resistencia a la compresión de las unidades de mampostería depende en gran medida de su composición (materia prima) y fabricación (proceso de mezclado, secado y cocido).

Para la fabricación de unidades, es necesario contar con un estudio geológico que permita determinar la estratificación, calidad y tipos de arcillas en el terreno.

Cuando se ha extraído la arcilla, esta se debe humectar por lo menos seis meses, para que se ablande y se estabilice química y físicamente, al eliminar mediante procesos de oxidación la mayor cantidad de sustancias solubles, mejorando la trabajabilidad de la arcilla.



La materia prima según 2.1.1. Cuando es macerada y mezclada, se reduce de tamaño mediante el uso de molinos y trituradores. Realizado este proceso la materia prima se moldea. Existen dos métodos de moldeo, que comúnmente se usan:

- Método de barro plástico: en este el contenido de agua utilizado para la arcilla oscila entre un 15 y 20%. Una vez que la pasta ha alcanzado estos valores se pasa por la extrusora.
- Método del moldeo en seco: el contenido de agua en este método oscila entre un 4 y 7% y debe tenerse cuidado de triturar finamente las arcillas y de someterlas a un secado previo. Una vez la pasta ha obtenido la consistencia adecuada esta es prensada.


En el proceso de presado, las unidades quedan listas para ser secadas, por el contrario si fueran extruida necesitaran antes ser cortadas.

Prensado para la obtención de unidades de mampostería.



El secado es una de las fases más delicadas y trascendentales en la fabricación de la unidad. Es una operación compleja, ya que en ella convergen muchos factores como son: naturaleza de la arcilla, grado de preparación y homogenización, esfuerzos ocurridos durante el moldeo, diseño y formato de la unidad, aire y temperatura.





La cocción es donde la arcilla se transforma en una pieza sólida con forma, color, textura, dimensiones y dureza definitiva. La temperatura de cocción está entre 900° y 1200°.

3.1.3 Tipos de unidades

Los tipos de unidades de mampostería que se describen a continuación están basados en la RNC-07 y la CCN-11. Se pueden definir de esta forma: unidad bloque (con perforaciones horizontales y verticales) y unidad tolete (maciza o con perforaciones menores del 25% del volumen de la pieza).

Según la RNC-07 podemos definir tres tipos de unidades de mampostería que son

- **Unidades de mampostería de perforación vertical (PV), llamadas ladrillos:** son aquellas que tienen celdas o perforaciones perpendiculares a la cara o superficie que se asienta en el muro. Debe tener un área neta de celdas medida en cualquier dirección a sus ejes no mayor del 65% de área bruta en esa misma sección.
- **Unidades de mampostería de perforación horizontal (PH), llamadas bloques:** son aquellas con celdas paralelas a la cara que se asienta el muro
- **Unidades de mampostería macizas (PM), llamadas ladrillos:** son aquellos mampuestos aligerados con pequeñas perforaciones menores del 25% del volumen, o que no tengan ninguna perforación.

Como vemos entre las normas RNC-07 y la CCN-11 existen diferencias en los tipos o nombres de las unidades, por otra parte, la más usada por los fabricantes tiene que ser según la NTON 12 008 -09



Independientemente del nombre que cada fabricante asigne a sus productos, estos deben tener las iniciales del tipo a que corresponden (PV, PH o PM).

3.1.4 Clasificación de las unidades

La siguiente clasificación está basada Según la RNC, que clasifica las unidades de mampostería por su uso o función principal. La clasificación es la siguiente:

- **Unidades de mampostería estructural (portantes) y no estructural (divisorios o de cierre):** las unidades estructurales son aquellas que se diseñan y fabrican para ser utilizadas en construcciones de tipo estructural, además de su peso deben soportar otras cargas. Las no estructurales son aquellas que se utilizan para muros divisorios o de cierre que únicamente soportan su peso.
- **Unidades de mampostería de uso interior y de uso exterior(o de fachada):** las interiores son aquellas que solo son aptas para usarse en muros que no estén expuestos a la intemperie, como muros divisorios interiores que puedan estar o no a la vista. Las exteriores son aquellas aptas para construir muros a la vista que estén expuestos a la intemperie.

3.1.5 Propiedades físicas

Las unidades de mampostería deben tener ciertas propiedades físicas, para que su funcionamiento en el muro sea el adecuado. Las principales propiedades de unidades son:

3.1.5.1 Resistencia a la compresión

La resistencia a la compresión es la principal cualidad que deben tener las unidades de mampostería y varía con el tipo de unidad que se vaya a elaborar.



La resistencia a la compresión de las unidades de mampostería depende de: la calidad del proceso de elaboración (fabricación), resistencia intrínseca de la masa, esbeltez de la probeta y la forma de la probeta. La resistencia a la compresión esta especificada para ser alcanzada a los 28 días de producidas las unidades. Sin embargo, las unidades se pueden utilizar a edades menores cuando se tenga un registro sobre la evolución de la resistencia de unidades de iguales características, y este indique que ellas alcanzaran dicha resistencia, lo cual no exime de la verificación directa de la calidad de las unidades.

La norma RNC-07-60 es la especifica las resistencias mínimas para las unidades; estas están en la siguiente tabla.

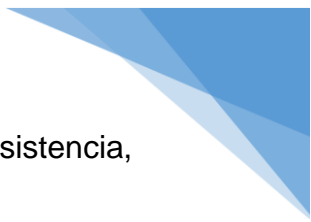
Tipo	Resistencia mínima a la Compresión Mpa (Kg/cm ²)		Absorción de agua máxima en %			
			Interior		Exterior	
	Prom 5 U	Unidad	Prom 5 U	Unidad	Prom 5 U	Unidad
PH	5.0 (50)	3.5 (35)	13	16	7 a 13.5	14
PV	18.0 (180)	150 (150)	13	16	7 a 13.5	14
PM	20.0 (200)	15.0 (150)	13	16	7 a 13.5	14

3.1.5.2 Absorción de agua y tasa inicial de absorción

La absorción es la propiedad de la unidad para absorber agua hasta llegar al punto de saturación. Está directamente relacionada con la permeabilidad de la unidad o sea el paso de agua a través de sus paredes.

Es importante tener los menores niveles de absorción posibles, ya que a mayor absorción de las unidades, éstas sustraen más agua del mortero de pega y del mortero inyección, reduciendo o anulando la hidratación del cemento en la superficie que los une, con lo cual se pierde adherencia y se originan fisuras. Por el contrario, unidades totalmente impermeables evitan el intercambio de humedad y la creación





de una superficie de adherencia, dando como resultado uniones de baja resistencia, que se manifiestan como fisuras y que son permeables al agua.

Una absorción baja reduce el ingreso de agua dentro de la masa de la unidad y, por ende, el de materiales contaminantes arrastrados por esta, por lo cual se convierte en un requisito de calidad para la durabilidad.

Las unidades deben ser tratadas de modo que al momento de su colocación tengan una buena humedad, la adecuada para no extraer agua a una alta velocidad y de esta forma absorber la pasta de cemento que produce la adherencia. En la práctica, lo más común es mojar (no saturar) las unidades, momentos antes de colocarse, lo cual usualmente no produce una buena interacción entre el mortero y la unidad, debido a que el agua que queda en el exterior de ella, aumenta la relación a/c del mortero v. en muchos casos, produce que la succión sea insuficiente o defectuosa.

Por lo anterior descrito, lo más recomendable es saturar las unidades antes de su colocación y extraerlas con la anticipación suficiente que permita que sus superficies se encuentren en estado de succión que asegure una adecuada adherencia con el mortero, pero no mojadas al punto de tener una película de agua superficial.



La norma RNC-07, recomienda los requisitos mínimos de pre humedecimiento de las unidades, para su colocación con la tasa inicial de absorción, tabla 2.

Tabla 2. Tasa inicial de absorción según la RNC-07

Tasa inicial de absorción G/cm ² /min	Tiempo recomendado de pre humedecimiento
<0.10	5 min
<0.15	1h
<0.25	24 h

Dado que la absorción esta inversamente relacionada con la resistencia a la compresión, se permiten niveles mayores para las unidades de resistencia baja.


A las unidades para mampostería no estructural, se les pide una absorción igual a la de las unidades de resistencia baja para mampostería estructural, pues los niveles de resistencia son muy similares.

3.1.5.3 Contenido de humedad

A diferencia de la absorción, el contenido de humedad no es una propiedad de las unidades de mampostería, sino un estado de la presencia de humedad dentro de la masa de las mismas, entre la saturación y el estado seco al horno.

El control del contenido de humedad de las unidades es fundamental, dado que la arcilla se expande y se contrae con el aumento o disminución de su humedad, la colocación de unidades muy húmedas conlleva su contracción posterior y la aparición de fisuras, si las unidades se colocan en el muro con un contenido de humedad mayor que el del ambiente, pierden humedad hasta llegar al equilibrio con la humedad ambiente; y dado que los muros poseen restricciones de movimiento,





aunque sea solo en su fundación, la contracción de las unidades origina figuración de los muros, por compatibilidad de deformaciones.

Lo anterior implica que es indispensable mantener los menores contenidos de humedad posibles en las unidades en todo momento, para la cual es necesario que, una vez se termina el curado, estas se sequen y se conserven en dicho estado. Para mantener las unidades secas se protegen, con láminas de plástico, hasta que sean colocadas en el muro, el cual también se debe proteger, de igual manera, para que no reciba humedad proveniente de la lluvia o de otras actividades de construcción.

3.1.5.4 Aislamiento acústico

Después de chocar con un muro las ondas de sonido son parcialmente reflejadas, absorbidas y transmitidas en cantidades variables, dependiendo de la clase de superficie y la composición del muro.

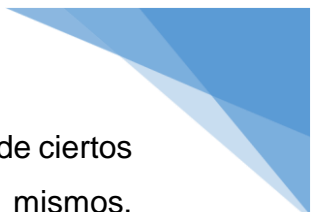
El estudio de estas características es de suma importancia en el diseño de teatros y auditorios, donde el sonido emitido en un punto, debido a una apropiada reflexión, debe ser audible a una distancia considerable; y al mismo tiempo el recinto debe estar asilado del ruido exterior. Por otra parte la demanda de habitaciones silenciosas en hoteles, hospitales, viviendas escuelas y oficinas, en donde los ruidos de habitaciones adyacentes y del exterior son inaceptables. También requiere de materiales de construcción aislantes de sonido.

3.1.6 Características dimensionales

3.1.6.1 Modularidad y variaciones

La variabilidad en las dimensiones de las unidades de mampostería altera el espesor del muro y del mortero de pega. Modificando las características estructurales constructivas (apariencia final del muro, niveles de enrase, alineación de juntas, acabados adicionales etc.). El sistema de unidades de arcilla para mampostería es rigurosamente modular, y dado su proceso de fabricación las





medidas son muy precisas y constantes. Sin embargo, deben estar dentro de ciertos límites pues variaciones entre celdas de moldes o el desgaste de los mismos, pueden dar lugar a diferencias entre unidades supuestamente iguales.

3.1.6.2 Dimensiones

Las dimensiones de una unidad de mampostería están definidas por su espesor, altura y longitud. Para cada una de ellas existen dos tipos de dimensiones, según el propósito: las dimensiones reales son las medidas directamente sobre la unidad en el momento de evaluar su calidad; las dimensiones estándar son las designadas por el fabricante en su catálogo o pliego (dimensiones de producción).

3.1.6.3 Paredes y perforaciones

En una unidad de mampostería se tienen dos tipos de paredes las exteriores y los tabiques. Las paredes exteriores son los elementos longitudinales que constituyen los dos lados de un muro.

Los tabiques son los elementos transversales que mantienen unidas las paredes de un lado con las opuestas o separan celdas dentro de la unidad.

Tanto las unidades de perforación horizontal como vertical, las paredes exteriores pueden ser sólidas, perforadas o dobles (la expresión pared sólida se refiere a unidades de mampostería de una sola pared o pared maciza).

Los espesores mínimos de las paredes y tabiques, según las normas RNC y CCN-11 están representadas en las siguientes tablas.



Tabla 3. Espesores de paredes y tabiques de unidades de mampostería de perforación vertical, RNC-07.

Espesor externo nominal	Espesores mínimos de paredes exteriores		Espesor mínimo de tabiques transversales
	Sin perforaciones verticales secundarias	Con perforaciones verticales secundarias	Sin perforaciones verticales secundarias
80	20	30	20
100	20	30	20
120	22	32	20
150	25	35	25
200	30	40	25
250	35	45	30
300	40	50	30

Tabla 4. Espesor de paredes y tabiques para unidades de mampostería, RNC-07

Como se observa existe una diferencia en cuanto a las dimensiones mínimas de paredes y tabiques.

Tipo	Espesor Neto Mínimo de las Paredes	Espesor Neto Mínimo de los Tabiques
Perforación vertical (PV)	19	10
Perforación vertical (PH)	16	10



3.2 Mortero de pega

La definición más adecuada de un mortero de pega es la siguiente: “Mezcla de un material aglutinante (cemento portland y/o otros cementantes), un material de relleno (agregado fino o arena), agua y eventualmente aditivos, que al endurecerse presenta propiedades químicas, físicas y mecánicas similares a las del concreto y es ampliamente utilizado para pegar unidades de mampostería en la construcción de muros.

Por otra parte la RNC lo define como “Mezcla plástica de materiales cementantes, agregado fino y agua, usados para unir unidades de mampostería”.

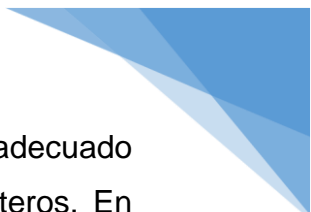
El mortero de pega debe tener cualidades especiales, diferentes a los morteros destinados para otros usos, ya que están sometidos a condiciones especiales dentro de un muro de mampostería.

A pesar que el mortero de pega ocupa alrededor de un 15% del volumen total de un muro de mampostería, desempeña un papel crucial en su funcionamiento estructural, debido a que es el responsable de mantener unidas monolíticamente las unidades de mampostería.

Siendo Nicaragua un país sísmico, la propiedad fundamental de los morteros de pega es su adherencia con las unidades, fundamentalmente las adherencias capaces de resistir esfuerzos de corte y tracción, debido a que estos se originan al someter los muros de mampostería a fuerzas horizontales.

Por otra parte, si el mortero no tiene la propiedad de retener agua, esta pasa fácilmente a las unidades de mampostería y el cemento del mortero pierde la posibilidad de hidratarse adecuadamente, con la consiguiente pérdida de resistencia mecánica. Esta pérdida de agua de la mezcla es significativa debido al pequeño espesor de la junta de mortero (aproximadamente 1cm) y a la trayectoria del agua que es la mitad del espesor, si la junta une dos unidades de mampostería. Esto exige que los morteros de pega tengan la propiedad de retener agua, en mucho mayor grado que los morteros para otros fines.





Frecuentemente se supone de forma errónea que teniendo un adecuado conocimiento y practica para concretos, ellos también sirven para morteros. En realidad, los morteros defieren de los concretos en muchos tópicos, principalmente en: consistencia en obra, en el método de colocación y en el ambiente de curado.

El mortero pega se utiliza para unir unidades de mampostería que forman un elemento estructural individual, mientras que el concreto es generalmente un elemento estructural por sí mismo.

Una diferencia aun mayor entre ambos materiales viene dada por la manera en que ellos se manipulan durante la construcción. El concreto se coloca habitualmente en encofrados no absorbentes, metálicos o de madera, para retener la mayor cantidad de agua. El mortero se coloca casi siempre entre unidades absorbentes, y en cuanto entra en contacto con ellas, le cede agua.

La resistencia a la compresión es la propiedad fundamental del concreto, pero, para el mortero, es solamente uno de entre varios factores importantes.

3.2.1 Componentes

Los componentes para el mortero de pega son: cemento (portland o de mampostería), cal hidratada, arena, agua y algunas veces aditivos.

3.2.1.1 Cemento y Cal

El cemento utilizado en la elaboración del mortero de pega debe estar en condiciones apropiadas y debe corresponder en su tipo y clase a aquel sobre el cual se basan las dosificaciones. Si se usa cal en la preparación del mortero, esta debe ser cal hidratada y debe verificarse que no sea perjudicial a ninguna de las propiedades específicas del mortero.



Las normas que deben cumplir tanto la cal como el cemento son las siguientes:

Cemento portland: RNC-07 y NTON 12 00-09(ASTM C 150).

Cemento para albañilería: NTON 12 00-09(ASTM C91).

Cal viva: NTON 12 00-09(ASTM C5).

Cal hidratada: NTON 12 00-09(ASTM C270).

3.2.1.2 Agregado

La arena utilizada en el mortero de pega debe estar limpia y bien gradada, su selección depende de la disponibilidad de ella en la zona (depósitos aluviales, cantera, etc.).

Como al mortero de pega se le exige que tenga la propiedad de retener el agua, se necesita una arena con una granulometría especial. Esta granulometría está basada según el tipo de arena natural o de trituración. Esta se muestra en la tabla 5.

Por lo general las arenas naturales (depósitos sedimentarios o aluviales) producen morteros de resistencias más altas que las arenas de trituración (de peña o cantera). Esto se debe principalmente a que las arenas de peña tienen un alto contenido de arcilla.

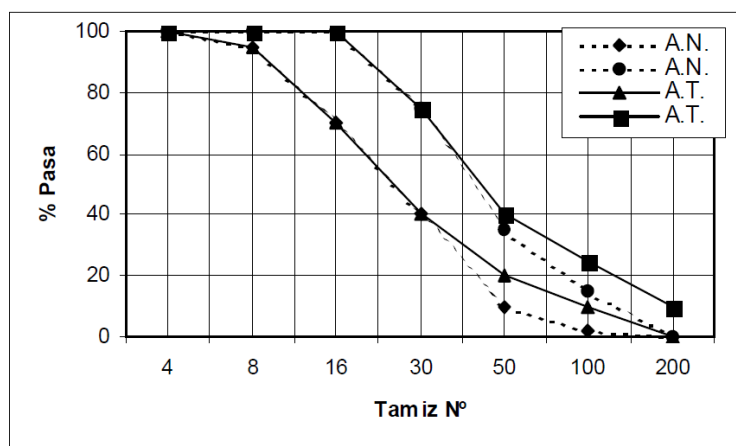
La arcilla le da a la arena la capacidad de retener agua y cohesión, y es por esta razón que su uso es bastante apreciado por los mamposteros. Sin embargo, la arcilla es inconveniente para el buen comportamiento del cemento, ya que por el tamaño de sus partículas puede bloquear la acción entre dos partículas de cemento, con lo cual la pasta pierde resistencia. Por otro lado la arcilla puede sufrir grandes cambios volumétricos con la variación en su contenido de humedad, lo cual perjudica el mortero.



Tabla 5. Granulometría de la arena para mampostería (mortero de pega)

Tamiz N°	Porcentaje que pasa	
	Arena Natural	Arena de Trituración
No.4	100	100
No.8	95 a 100	95 a 100
No.16	70 a 100	70 a 100
No.30	40 a 75	40 a 75
No.50	10 a 35	20 a 40
No.100	2 a 15	10 a 25
No.200	0	0 a 10

Figura 10. Distribución de la granulometría.



En el comercio se conocen tres tipos de arena para morteros:

- Arena sin lavar.
- Arena semilavada.
- Arena lavada.



Desde luego las arenas para morteros de pega son arena semilavada y lavada. Con el uso de estos materiales hay que tener muchos cuidado, porque por lo general la arena lavada es una arena semilavada, la cual después de puesta en la volqueta para su transporte se le agrega agua por encima, con lo cual lo único que se logra es un aumento de su precio, ya que el contenido de arcilla permanece inmodificado.

La arena para mortero de pega debe cumplir con la norma RNC -07 o en su defecto con la norma ASTM 144. Debe estar libre de materiales contaminantes o deleznable que puedan deteriorar las propiedades del mortero. Como esto casi imposible de cumplir con esto, se recomienda según los siguientes porcentajes.

Tabla 6. Porcentaje máximo permisible de la masa total.

Material	Porcentaje máximo permisible de la masa total	
	Partículas Deleznales	19
Partículas livianas que floten en un líquido que tenga una gravedad específica de 2.0	16	10

3.2.1.3 Agua

El agua es utilizada para la elaboración del mortero de pega debe estar limpia y libre de cantidades perjudiciales de aceite, ácidos, alcoholes, sales materiales orgánicas u otras sustancias que pueden ser dañinas para el mortero o el refuerzo. Se recomienda utilizar agua doméstica.



3.2.1.4 Aditivos

Los aditivos que se utilicen en la preparación del mortero de pega deben someterse a la aprobación previa del supervisor técnico, y debe demostrarse mediante realización de ensayos de laboratorio o evidencia confiable de obras similares, que no deterioran ninguna de las propiedades deseables del mortero ni de las unidades de mampostería, ni causan corrosión del refuerzo embebido.

3.2.2 Propiedades de los Morteros de pega

3.2.2.1 Funciones del Mortero de pega

La función principal de mortero de pega es actuar como agente de vinculación o de adherencia que integre a las unidades de mampostería, permitiendo que trabajen en forma monolítica, ayudando a un adecuado comportamiento estructural de los muros de mampostería.

Sin embargo, esa no es su única función. Además, debe acomodar variaciones dimensionales y características físicas de las unidades, deben lograr un efecto sellante entre estas, impidiendo el paso tanto al agua como del aire finalmente, el mortero de pega debe proporcionar resultados estéticos satisfactorios en los muros que requieran dejar las unidades expuestas.

El comportamiento íntegro de las funciones antes descritas depende fundamentalmente del comportamiento adecuado que presentan sus distintas propiedades, en especial, la adherencia, la cual debe ser fuerte, total y, sobre todo durable.

Los morteros de pega presentan dos conjuntos de propiedades importantes, unas correspondientes al mortero fresco y otras correspondientes al mortero endurecido



3.2.2.2 Propiedades del Mortero en Estado plástico.

En estado plástico el mortero presenta una serie de propiedades que requieren de un alto conocimiento, dado que ellas, además de regular el comportamiento del mortero en ese estado, son de gran importancia e incidencia en las propiedades y características en estado endurecido.

➤ Manejabilidad

La manejabilidad es la propiedad más importante del mortero de pega en estado plástico, en virtud de la influencia que ella ejerce sobre otras propiedades del mismo, tanto en estado plástico como endurecido.

La manejabilidad resulta difícil de definir, debido a que es una combinación de cierto número de propiedades interrelacionadas. Se considera que las que tiene mayor incidencia en la manejabilidad son: consistencia, fluidez, capacidad de retención de agua y tiempo de fraguado.

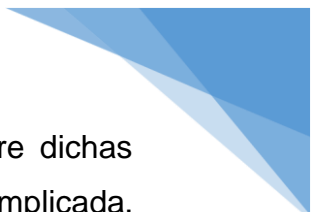
La manejabilidad es una característica definida por lo general por albañil, un mortero bien manejable debe extenderse con facilidad sobre las unidades de mampostería, adherirse a las superficies verticales, introducirse fácilmente en las juntas, soportar la presión aplicada por el albañil para producir el alineamiento de las unidades y permitir la colocación de estas sin que ocurran modificaciones posteriores debido a su propio peso o al de varias hiladas.

Si bien la manejabilidad de un mortero es fácilmente reconocible por un albañil, ella es una propiedad compleja, y no existe un ensayo para cuantificarla por sí sola. Por ello, en nuestro medio se usa la consistencia como medida de la manejabilidad.

La consistencia es el grado de fluidez del mortero en estado plástico que depende fundamentalmente de la fase líquida y del contenido y características de los componentes sólidos.

En el ambiente de trabajo se diferencian tres consistencias distintas que son determinadas por la película de pasta de cemento que rodea a la arena. La consistencia seca es aquella en que la pasta se encarga exclusivamente de rellenar





los espacios entre las partículas de arena lo que permite el roce entre dichas partículas, de forma que la trabajabilidad del mortero es realmente complicada. Cuando la mezcla se considera plástica, existe una fina película de pasta rodeando los granos de arena permitiendo una mayor manejabilidad. En el último de los casos cuando las partículas de arena se encuentran inmersas en pastas de cemento, sin permitir alguna cohesión entre ellas, se le denomina mezcla fluida, en este caso existe una tendencia a la segregación del mortero.

➤ **Retención de Agua**

La retención de agua o retentividad es la capacidad del mortero de retener el agua de amasado ante sollicitaciones externas de absorción o succión por parte de las unidades de mampostería. Esto permite que el mortero mantenga su plasticidad para que las unidades puedan ser cuidadosamente alineadas sin romper el enlace, lo que hace que esta propiedad este íntimamente relacionada con la manejabilidad, por lo tanto, sea uno de los factores de mayor incidencia en la adherencia entre mortero y unidades.

En general, cuando un mortero presenta una buena retentividad es posible controlar el fenómeno de exudación, el cual se produce debido a que los materiales que conforman el mortero presentan distintos peso específico, por lo que los de mayor peso tiendan a decantar y los más livianos como el agua, asciendan. La exudación produce una pérdida de agua y asentamientos por sedimentación del mortero.

Una mejor retentividad del mortero, se puede lograr con:

1. Una adecuada composición granulométrica de la arena.
2. Una mayor dosis de cemento y uso de cemento más fino.
3. Una mayor dosis de cal y de cales más finas.
4. El agregado de adiciones finas (cenizas volcánicas, puzolanas y similares).



5. Un incremento de tiempo de mezclado, facilitando así una distribución adecuada del agua sobre las partículas que componen el mortero.

Es destacable la importancia que ejerce la composición granulométrica de la arena en la retención de agua del mortero, como se dijo anteriormente. La presencia de partículas finas ayuda a mejorar esta propiedad debido a la disminución del tamaño de los poros. Además, las partículas finas presentan mayor superficie específica, lo que implica que hay mayor área envolvente por donde se absorbe agua y por ende, mayor retención de esta. Bajo este punto de vista, el empleo de cal, cuyas partículas son de menor tamaño que las del cemento, contribuye a mejorar la retentividad.

No obstante a lo anterior, la retentividad de los morteros de pega debe tener límites máximos tolerantes, ya que si entran en contacto un mortero de alta retentividad con unidades de baja absorción, estas últimas podrían prácticamente flotar sobre el mortero.

3.2.2.3 Propiedades del Mortero en Estado Endurecido

➤ Resistencia a la Compresión

La resistencia a la compresión generalmente se usa como el principal criterio para seleccionar el tipo de mortero a utilizar en una estructura de muros de mampostería, ya que es fácil de medir y puede relacionarse con otras propiedades como la adherencia y la durabilidad. Sin embargo, esta propiedad no representa en la forma más adecuada la función principal de un mortero de pega, que es servir de unión entre las unidades, de tal manera que un muro de mampostería trabaje como un elemento estructural integral.

La resistencia a la compresión del mortero de pega depende en gran parte del tipo y cantidad del material cementante y de la relación agua/cemento utilizado al prepararlo. Para un mismo agregado el mortero más resistente e impermeable es



el que tiene mayor porcentaje de cemento en un volumen dado de mortero; la densidad del mortero está relacionada con el tamaño de los granos y la relación agua/cemento pues a menor tamaño de las partículas y mayor contenido de agua decrece la resistencia.

El aumento del contenido de aire reduce en algún grado la resistencia a compresión, las estructuras que fallan debido a esto son escasas y son más críticas otras propiedades como por ejemplo la adherencia.

➤ **Adherencia**

La adherencia es la propiedad más importante del mortero de pega en estado endurecido. Es también la más inconstante e impredecible. El mortero tiene que desarrollar suficiente adherencia con las unidades para resistir los esfuerzos de tracción producidos por las cargas de la estructura, del terreno, sísmicas y de viento; cambio de volumen de las unidades y los cambios de temperatura. En cuanto a los esfuerzos que debe resistir un muro de mampostería, los más significativos, dada las características sísmicas de nuestro país, corresponden a los esfuerzos horizontales, los cuales provocan fallas donde generalmente la resistencia al corte es menor, es decir, la interface mortero-unidad. También la impermeabilidad de los muros de mampostería, depende de esta propiedad.

La adherencia proviene del anclaje de cristales de cemento hidratado en los poros de las unidades, es decir, es de naturaleza exclusivamente mecánica, más que química. Esta propiedad depende principalmente de los siguientes factores:

- Interacción hídrica entre el mortero y la unidad.
- Manejabilidad y retención de agua del mortero de pega.
- Componentes del mortero, por ejemplo, tipo y cantidad de materiales aglomerantes y contenido de aire.



- Características de las unidades, esto es: succión, contenido y estructura de poros capilares, textura de la superficie de la cara de asiento y contenido de humedad.
- Calidad del proceso constructivo: tiempo de interrupción, acabado y presión aplicada a la capa de mortero durante la colocación de las unidades.

La adherencia tiene dos aspectos importantes que son: la tensión de adherencia, que es cuanta fuerza se requiere para separar las unidades (medida de la calidad de anclaje de los cristales en las unidades) y la extensión de la adherencia o punto de adherencia, la que se define como el área adherida (porcentaje de la unidad en que el mortero queda pagado) dividido por la sección de adherencia.

El tiempo y la velocidad de absorción de las unidades, son parámetros de gran importancia en el desarrollo de la adherencia. El primero depende del contenido de agua del mortero (que varía con el tiempo). Del diámetro de los poros de la unidad y del grado de colmatación de los poros del mortero, sobre todo, en las zonas cercanas a la interface con la unidad. La velocidad de absorción es variable; máxima al inicio del contacto y decreciente de acuerdo avance el proceso de absorción.

La adherencia mejora tanto por un incremento de la rugosidad superficial de la unidad, como por la presencia de oquedades en ella, donde pueda introducirse el mortero.

La mano de obra también es un factor importante para asegurar la adherencia. Debe reducirse al mínimo el tiempo entre la operación de extender el mortero y asentar las unidades, porque el contenido de agua disminuye debido a la absorción de la unidad que se coloque primero.

➤ **Retracción**

Las reacciones químicas que ocurren en el momento de la hidratación del cemento producen cambios de volumen que ocasionan la aparición de grietas, especialmente en aquellas con altas relaciones de agua/cemento. La evaporación de agua por



diversos factores como el viento, superficies muy absorbentes o la elevada temperatura, produce tensiones internas en el mortero y las consecuentes grietas.

Para evitar la retracción se utilizan cementos de baja retracción, arenas con pocos finos y una adecuada granulometría, la arena rugosa evita los cambios de volumen y el a

➤ **Durabilidad**

La durabilidad del mortero está relacionada con la capacidad de resistir a agentes externos como la temperatura, penetración del agua, desgates por abrasión, retracción al secado, agentes corrosivos (ambientes agresivos), etc.; sin afectar sus condiciones físico-químicas con el tiempo. La durabilidad se puede conseguir con morteros menos porosos, con baja absorción capilar y así atacar el acceso y avance de agentes corrosivos como cloruros y sulfatos que generan el desgaste del mortero, contribuyendo a aumentar su resistencia y durabilidad.

3.2.3 Clasificación de los Morteros de pega

La clasificación de los morteros de pega, obedece a propiedades específicas de resistencia a compresión, de acuerdo con las propiedades de los materiales utilizados en su preparación. Tal vez la norma más difundida la ASTM C270, la cual clasifica los morteros de pega, por propiedades mecánicas y dosificación.

La clasificación de los morteros está relacionada por la palabra en inglés Mason Work que significa albañilería.

M A S O N W O R K

Estas cinco letras son la clasificación de las ASTM C270. La norma de diseño y construcción sismo-resistente RNC-07 toma por cuestiones de resistencia y



seguridad las tres primeras de la clasificación ASTM C270; los cuales son M, S, y N. la tabla siguiente muestra la clasificación según la RNC-07 por requisitos mínimos y por dosificación.

Tabla 7. Requisitos mínimos y dosificación de los morteros en partes por volumen.

Tipo de Mortero	Resistencia (Mpa)	Flujo (%)	Retención de Agua	Cemento portland	Cal Hidratada	Cemento Mampost.	Arena/Material Cementante	
M	17.5	120	75%	1	No aplica	No aplica	2.25	3.0
				1	0.25	1	2.25	2.5
S	12.5	115	75%	1	No aplica	No aplica	2.50	3.5
				0.5	0.25 a 0.50	1	2.50	3.0
N	7.5	110	75%	1	No aplica	No aplica	3.00	4.5
				0	0.5 a 1.25	1	3.00	4.0

3.3 Mortero de relleno (Grous)

Es un elemento esencial de la mampostería estructural, que consiste en una mezcla fluida de agregados y material cementante, capaz de penetrar en todas las cavidades del muro sin sufrir segregación, la cual se adhiere a la unidades de mampostería y a las barras de refuerzo para que actúen juntas para soportar las cargas.

El mortero de relleno tiene como fin el aumento de la resistencia del muro y la transmisión de los esfuerzos al acero. También permite mejorar otras propiedades tales como el aislamiento térmico y acústico y la resistencia al fuego del muro. Para lograr lo anterior, el mortero de inyección debe cumplir con la RNC y la NTON 12 008-09



3.3.1 Componentes

3.3.1.1 Cemento y cal

Al igual que para los mortero de pega los cementos utilizados para el mortero de inyección puede ser portland tipo I, II, o III (siempre que cumplan con las normas RNC-07 y NTON 12 008-09).

La cal debe cumplir con la RNC- 07(ASTM C270) y corresponde al tipo S.

3.3.1.2 Agregados

Tabla 8. Granulometrías para los agregados para los morteros de pega y de inyección según la RNC 07 Y NTON 12 008-09.

% Acumulado que pasa por el Tamiz correspondiente						
Tamiz (NTC 33)		Agregado Fino			Agregado Grueso	
		Arena para concreto NTC 174	Arena para Mortero de pega NTC 2240		Gradación 1	Gradación 2
			Natural	Triturada		
12.5 mm	1/2"	-	-	-	100	100
9.5 mm	3/8"	100	100	100	85 a 100	90 a 100
4.75 mm	No. 4	95 a 100	100	100	10 a 30	20 a 55
2.36 mm	No. 8	80 a 100	95 a 100	95 a 100	0 a 10	5 a 30
1.18 mm	No. 16	50 a 85	70 a 100	70 a 100	0 a 5	0 a 10
600 µm	No. 30	25 a 60	40 a 75	40 a 75	0	0 a 5
300 µm	No. 50	10 a 30	10 a 35	20 a 40	-	-
150 µm	No. 100	2 a 10	2 a 15	10 a 25	-	-
75 µm	No. 200	0 a 3	0	0 a 10	-	-
Módulo de Finura		3. 38-2.15	2. 83-1.75	2.65-1.60	-	-



Los morteros de inyección pueden tener un amplio rango de composición de acuerdo con las resistencias y características que se le exijan y con el sistema de colocación empleado. Sus agregados deben cumplir con la RNC 07 y su granulometría debe estar de acuerdo con la tabla 1 de dicha norma, la cual se presenta en la tabla 8. En otras palabras, dichos agregados pueden ser: arena para concreto, que cumpla con la NTON 12 008 09; arena para mortero de pega (ver punto 2.2.1.2); o arena para mortero de pega combinada con agregado grueso.

Se debe tener en cuenta que el tamaño máximo de agregado debe ser 12,5 mm, para eliminar toda posibilidad de obstrucción en relleno de las celdas o que se genere segregación.

3.3.2 Preparación de la mezcla

En general el mortero de inyección se elabora con los mismos materiales que se usan para producir un concreto convencional. Además de una gran resistencia, en el mortero de inyección se busca una elevada trabajabilidad. Esta propiedad se evalúa mediante la prueba de la consistencia con el cono de Abraham, la cual se presenta en la RNC-07, según la cual se debe obtener un asentamiento entre 200 mm y 250 mm (estado líquido). Se sugiere un asentamiento de 180 mm si la mezcla no va a ser bombeada durante su colocación. Pero se debe determinar el asentamiento de acuerdo con el diseño de la mezcla. Por lo general se requiere de una alta relación agua/cemento, a menos que se utilice un aditivo plastificante.

Tabla 9. Clasificación por volumen de los morteros de relleno.

Tipo de Mortero	Cemento Portland	Agregado/Cemento			
		Fino		Grueso (tamaño < 10mm)	
		Mín.	Máx.		
Fino	1	2.25	3.5	-	-
Grueso	1	2.25	3.0	1.0	2.0



3.3.3 Propiedades Físicas

➤ **Fluidez**

La mezcla debe tener la característica de una emulsión, de manera que haya una perfecta penetración en todas las cavidades del muro sin segregación. La fluidez se logra con la adición suficiente de agua o con aditivos químicos; el muro (por las unidades) disminuye la relación agua/cemento del mortero de inyección al absorber parte del agua de mezcla.

La comparación (vibrado) de la mezcla ayuda a eliminar burbujas de aire y a fluir adecuadamente los sectores de inyección.

➤ **Adherencia**

La Adherencia entre el relleno y las unidades se presentan mediante la unión mecánica mortero de inyección-unidad de mampostería, debidas a las rugosidades de la unidad y a la forma misma de la cavidad (es igual que el mecanismo para la Adherencia entre el mortero de pega y las unidades).la trasferencia de agua permite reducir la relación agua/cemento de la mezcla con lo que se aumenta su resistencia final.

➤ **Resistencia a la compresión**

La resistencia a la compresión del mortero de inyección debe ser compatible con la resistencia de las unidades de mampostería, con el fin de que todas las propiedades mecánicas sean también compatibles.

Para realizar el ensayo de la resistencia a la compresión se deben seguir los procedimientos descritos en la RNC 07(ASTM C1019). La resistencia a la compresión f_{cr} debe medirse a los 28 días sobre probetas tomadas en las celdas de las unidades huecas o en prismas de unidades dispuestas convenientemente, con uso de papel permeable que permita la trasferencia de agua entre el mortero de relleno y las unidades de mampostería, impidiendo su adherencia. Este



procedimiento tiene por objeto reproducir, en parte las condiciones que tiene en obra.

3.4 Refuerzo

El refuerzo forma parte de la mampostería y se requiere en múltiple casos y para diversidad de condiciones, por lo cual debe ser definido por el diseñador, tanto en el tipo como en la cantidad. Por lo general se colocan dos tipos de refuerzo: de funcionamiento y de sollicitación.

El primero hace posible el funcionamiento del sistema como tal (conexiones entre muros o en los elementos de bloque sin traba, etc.); el segundo tiene la función estructural de absorber los esfuerzos de tracción, compresión y cortante, entre otras.

Los distintos tipos de refuerzo deben estar embebidos en mortero para que este pueda transmitir los esfuerzos entre las unidades de mampostería y el esfuerzo y viceversa; y para protegerlo de las condiciones atmosféricas agresivas.

El esfuerzo más corriente en la mampostería estructural es el de barras de acero, las cuales deben cumplir con las siguientes RNC-07-55.56.57.58.capitulo2; o con las normas ASTM A 884 o A 934. En la NTON 12 008-09, se prohíbe el uso de barras de acero que no cumplan con la RNC-07; y con el mismo NTON 12 008-09 se imponen restricciones para las barras de acero que cumplen.

En el caso menos frecuente de utilizar mallas, estas deben cumplir con las siguientes RNC 07-57.titulo 2 capitulo 1.2 .3; o con la norma ASTM A 884.



4. ANÁLISIS Y DISEÑO DE MUROS DE MAMPOSTERÍA ESTRUCTURAL.

En el presente capítulo se expondrán conceptos básicos para el análisis y diseño de edificaciones con muros de mampostería estructural.

Existen dos filosofías para el diseño de muros de mampostería estructural que han sido utilizadas desde hace varios años atrás. El diseño por esfuerzos de trabajo (WSD/ working stress design) fue el método más usado al principio para diseñar muros de mampostería, pero rápidamente fue desplazado por el método de estado límite de resistencia (diseño por resistencia última), en gran parte por su enfoque más racional de la seguridad estructural.

Además, al discutir el método de estado límite de resistencia para las estructuras de muros de mampostería estructural, se debe prestar atención a la diferencia entre las cargas sobre la estructura considerada en su totalidad y las solicitaciones en las secciones transversales de los elementos individuales. Primero se usan métodos de análisis elásticos para calcular las solicitaciones de servicio en los elementos individuales debidos a la acción de las cargas de servicio sobre la totalidad de la estructura.

4.1 Muros

Los muros son los cerramientos verticales para los marcos de las edificaciones que sirve también para dividir espacios, y a su vez soportar ciertas cargas gravitacionales y laterales. No son en general o necesariamente hechos de concreto sino de cualquier material que llene estéticamente la forma y necesidades funcionales del sistema estructural.



4.1.1 Clasificación de muros según su función mecánica

4.1.1.1 Muro de Carga.

Su función básica es soportar cargas, consecuencia, se puede decir que es un elemento sujeto a compresión. Las características del material para este tipo de muro deben estudiarse conscientemente para trabajos mecánicos.



4.1.1.2 Muro Divisorio.

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



4.2 Según el material del que esté construido

- Muro de bloques
- Muro de piedra natural
- Muro de hormigón
- Muros de ladrillo cuarterón
- Muros mixtos
- Muros de madera.



4.2.1 Muro de Contención.

Generalmente están sujetos a fricción en virtud de tener que soportar empujes horizontales. Estos muros pueden ser de contención de tierra, de agua o de aire.

Los grupos anteriores se dividen en muros interiores y muros exteriores, por el tipo de material de que están hechos.

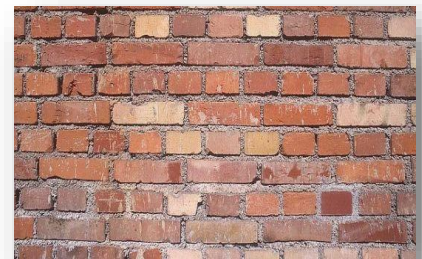
Los materiales para la construcción de muros son muy variados, en general, las especificaciones y calidades que deben poseer los tabiques, block y otros elementos usados a la construcción estarán suspendidos a las funciones y calidades que dichos muros vayan a desempeñar.

Dentro de estos tres tipos de muros se encuentran un sin número de clases. El más comúnmente usado es el tabique rojo recocido de 7x14x28 cm, tenemos otro como el tabique ligero con las mismas dimensiones del anterior. El llamado block de concreto hueco en sus diferentes calidades: 10, 12,15 y 20 cm de espesor por 20 de altura y 40 de largo. Entre este tipo de block se encuentran además algunas variedades propias para cerramiento, celosía, castillo, etc.

Por las formas de colocación de los muros pueden ser:

4.2.2 Muro Capuchino.

Se utiliza como muro divisorio y es aquel en el cual los tabiques se acomodan con su parte angosta.



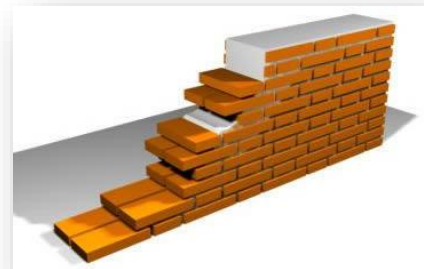
4.2.3 Muro al Hilo.

Se le da este nombre al muro cuya disposición de elementos se hace en sentido longitudinal. Presenta caras interiores y exteriores.



4.2.4 Muros Atizon.

Este tipo de muro es inversa al interior, puesto que los tabiques se colocan en forma transversal presentando también caras interiores y exteriores.



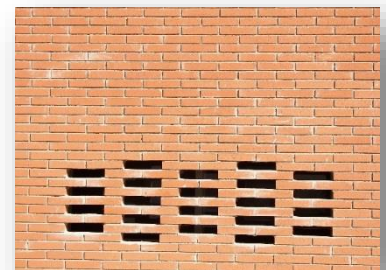
4.2.5 Muro Combinado.

Es la combinación de los tres anteriores.



4.2.6 Muros Huecos.

Es aquel que se utiliza como aislante, ya que la colocación de los tabiques que forman huecos interiores o cámaras de aire. Este tipo de muro puede construirse al hilo, capuchino, atizon o combinado. Existen otros tipos de muros que se utilizan como elemento decorativo, divisorio ó revestimiento, construyéndose generalmente adosados a los muros de carga.



4.2.7 Muro de Piedra.

Para este sistema constructivo se debe vigilar que la piedra empleada sea mayor de 30 cm exenta de grietas o de deficiencia que disminuye su resistencia, debiendo rechazarse, piedras redondas.



Las puntas de mortero no debe ser mayor de 2.5 cm y cuando por lo morfo de las piedras quedan espacios mayores de 3 cm deberá acuñarse con piedras pequeñas o rojuelas del mismo, material por lo general se emplea mortero de cal y arena 1: 3: 1: 5.

4.2.8 Muro de Adobe.

Este tipo de muro es recomendable impermeabilizar brevemente la superficie del cimient o dala con el fin de evitar que la humedad suba por el muro. Puede desplazarse a hilo o atizon siendo más conveniente el primer sistema puesto que se ahorra material y peso en el muro. En ambos casos el alineamiento de los paños se logra auxiliándose de reventones y crucetas que indican espesores y direcciones del muro.

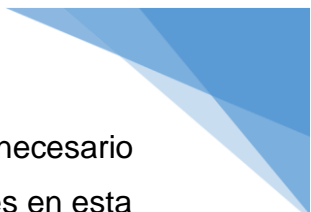


4.3 Análisis estructural y de cargas

4.3.1 Configuración Arquitectónica

La configuración de una edificación, no es solamente la forma espacial de una construcción en abstracto, sino el tipo, disposición, fragmentación, resistencia y geometría de la estructura de la edificación, con relación a ciertos problemas de respuesta estructural ante sismos.





En el planeamiento de una edificación con muros de mampostería es necesario tener en cuenta que una de las mayores causas de daños en edificaciones en esta tipología, ha sido, el uso de configuraciones arquitectónicas-estructurales complejas. De manera general, se puede decir, que formas y esquemas estructurales poco simples son castigados fuertemente por los sismos.

A continuación se dan algunos aspectos relevantes de la incidencia de la configuración geométrica en la respuesta sísmica de las edificaciones. Debe hacerse énfasis en que, debido a su complejidad, y a su estrecha relación con el planteamiento de espacio y forma de la construcción, los problemas de configuración deben ser enfrentados básicamente desde la etapa de definición del esquema espacial del edificio, y en toda la etapa de diseño.

4.3.1.1 Configuración en planta

Los problemas de configuración en planta, se presentan por lo general cuando las plantas son de forma irregular, como se muestra en la figura 36. La longitud en planta también influye en la respuesta estructural de la misma de una manera que no es fácil de determinar por medio de los métodos usuales de análisis.

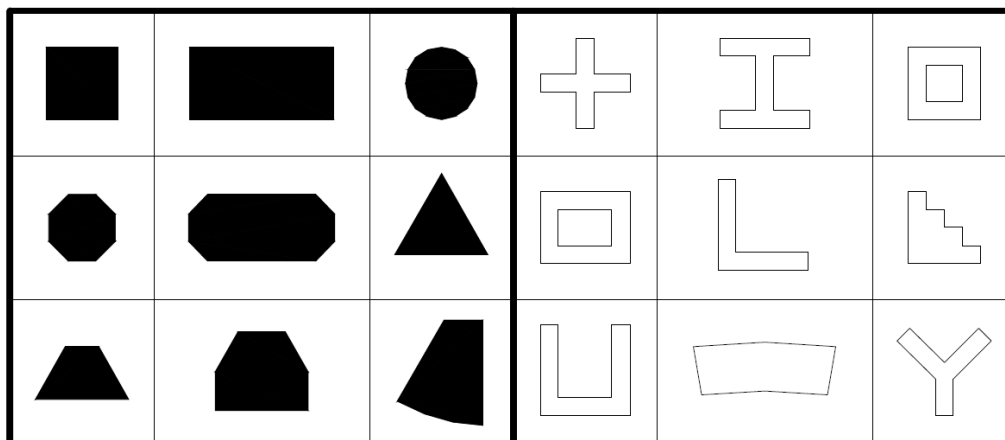
El movimiento del terreno consiste en una trasmisión de ondas, la cual se da con una velocidad que depende de las características de más rigidez del suelo de soporte; la excitación que se da en un punto de apoyo de la edificación en un momento dado difiere de la que se da en otro, diferencia que es mayor en la medida en que sea mayor la longitud de la edificación en la dirección de las ondas. Entonces se puede decir que los edificios cortos se acomodan más fácilmente a las ondas que los edificios largos.

Los edificios largos son también más sensible a los componentes torsionales de los movimientos del terreno, puesto que las diferencias de movimientos transversales



y longitudinales del terreno de apoyo, de las que depende dicha rotación, son mayores.

Figura 36. Formas sencillas y formas complejas en planta.



En las edificaciones con de plantas complejas, se presentan concentraciones de esfuerzos. Una planta compleja es aquella en la cual la línea de unión de dos de sus puntos suficientemente alejados hace su recorrido en buena parte fuera de la planta. Esto se da cuando la planta está compuesta de alas de tamaño significativo orientadas en diferentes direcciones (formas en H, U, L, etc.).

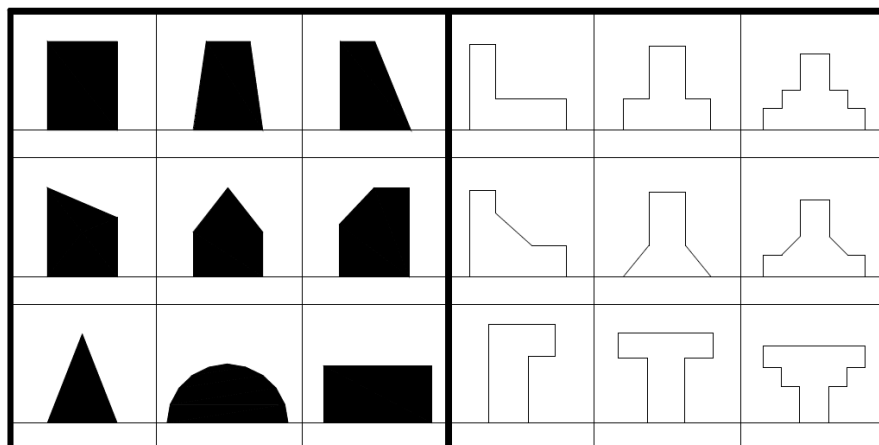
En las plantas irregulares las alas pueden asimilarse a un voladizo empotrado en el cuerpo restante del edificio, sitio en el cual sufriría menores deformaciones laterales que en el resto del ala. Por esta razón aparecen grandes esfuerzos en la zona de transición, los cuales producen con frecuencia daños en los elementos no estructurales, en la estructura vertical y aun en el diafragma de la planta.

4.3.1.2 Configuración en altura

Los problemas de configuración arquitectónica en altura se presentan principalmente por los escalamientos en los volúmenes del edificio, figura 37. Sin embargo, desde el punto de vista sísmico, son causa de cambios bruscos de rigidez



y de más; por lo tanto, traen consigo la concentración de fuerzas que producen daño en los pisos aledaños a la zona del cambio brusco.



4.3.2 Configuración Estructural

4.3.2.1 Concentraciones de Masa

Las altas concentraciones de masa en un piso determinado de una edificación pueden ser por disponer de elementos pesados, tales como equipos, tanques, bodegas, archivos, etc. A medida que dicho piso se ubica a mayor altura, las aceleraciones sísmicas de respuesta aumentan, con lo cual se tiene una mayor fuerza sísmica de respuesta aumentan, con lo cual se tiene una mayor fuerza sísmica de respuesta allí, y por ende una mayor posibilidad de volcamiento.

Por lo anterior, en el diseño arquitectónico es recomendable disponer los espacios que representen pesos inusuales en sótanos o en construcciones asiladas aledañas al cuerpo principal del edificio.

4.3.2.2 Excesiva flexibilidad estructural

La Excesiva flexibilidad de la edificación en mampostería antes cargas sísmicas puede definirse como la susceptibilidad a sufrir grandes deformaciones laterales



entre los diferentes pisos, conocidas como derivas; que es muy complicado para estructuras de este tipo. Las principales causas de este problema residen en la excesiva distancia entre los elementos de soporte (claros o luces), las alturas libres y la rigidez de los mismos.

Dependiendo de su grado, la flexibilidad puede traer como consecuencias:

- Daños en los elementos no estructurales.
- Inestabilidad del o los pisos flexibles. O del edificio en general.
- No aprovechamiento de la ductilidad disponible.

4.3.2.3 Torsión

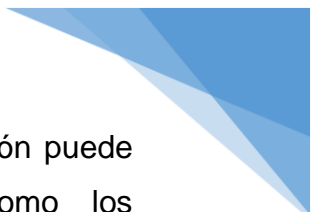
La torsión ha sido causa de importantes daños de edificios de muros estructurales sometidos a sismos intensos, que van desde la distorsión a veces visible de la estructura (y por tanto su pérdida de imagen y confiabilidad) hasta el colapso estructural. La torsión se produce por la excentricidad existente entre el centro de masa y el centro de rigidez.

Algunos de los casos que pueden dar lugar a dicha situación en planta son:

- Posición de los muros estructurales de manera asimétrica con respecto al centro de gravedad del piso.
- Colocación de grandes masas en forma asimétrica con respecto a los muros estructurales.
- Combinación de las dos situaciones anteriores.

Cuantitativamente, puede considerarse que una excentricidad entre el centro de la masa y de rigidez es grande cuando supera el 10% de la dimensión en planta bajo análisis.





Si se contempla además la situación en altura, el panorama de la torsión puede complicarse aún más cuando hay irregularidades verticales, como los escalonamientos. En efecto, la parte superior del edificio transmite a la inferior un cortante excéntrico, lo cual provoca torsión del nivel de transición hacia abajo, independientemente de la simetría o asimetría estructural de los pisos superiores e inferiores.

Como todos los problemas de configuración, el de la torsión deber ser enfrentado desde la etapa de diseño espacial y de forma de la edificación. Las torsiones deben ser consideradas inevitables, debido a la naturaleza del fenómeno y a las características de la estructura. Por tal razón, se le debe buscar la mayor simetría posible entre la rigidez y la masa de la edificación.

4.3.2.4 Correcciones de la configuración estructural

La norma RNC-07 define unos valores de castigo para los problemas presentados anteriormente, y los define como irregularidades en planta y altura, los cuales son una mezcla de los problemas de configuración estructural con los arquitectónicos.

Como se mencionó con anterioridad, determinar la influencia de estos problemas en la respuesta estructural, no es fácil por medio de los métodos usuales de análisis por tal razón, la RNC-07 castiga para el caso de una edificación irregular, el valor del coeficiente de capacidad de disipación de energía R que se utiliza en el diseño sísmico de la edificación.

El valor “ R ” debe reducirse multiplicándolo por los factores:

Φ_p Y Φ_a , que representan las irregularidades en planta y en altura respectivamente. Los valores de Φ_p Y Φ_a , se encuentran en las normas del RNC-07 Y en el capítulo 5 de la RNC-07.



Lo que se hace con esta reducción de R , es aumentar las fuerzas de cortante obtenidas de espectro de respuesta. El valor R entonces está representado por la siguiente ecuación.

$$R = \Phi_p \Phi_a R_o$$

En el caso de edificaciones de muros portantes de mampostería estructural se aplican los siguientes valores de R_o

Tabla 15. Valores de R_o para edificaciones a base de muros de mampostería.

SISTEMA ESTRUCTURAL	R_o
Muros de mampostería totalmente reforzada Con todas las celdas inyectadas (MRTI), en DES.	4.5
Muros de mampostería de cavidad reforzada (MCR) en DES.	4.0
Muros de mampostería totalmente reforzada con celdas parcialmente inyectadas (MRPI), en DMO	3.5
Muros de mampostería parcialmente reforzada (MPR), en DMI.	2.5
Muros de mampostería confinada (MMC), en DMO	1.5
Muros de mampostería no reforzada (MNR), en DMI.	1.0

Como se observa en la tabla el valor de R_o para muros de mampostería, es bajo comparado con otros sistemas estructurales, lo cual, da a entender que los muros de mampostería presentan baja ductilidad en el rango elástico.



4.3.3 Modelación estructural

4.3.3.1 Clasificación de los muros estructurales en mampostería

Resulta conveniente clasificar los muros sismo- resistentes de mampostería, con respecto a su comportamiento estructural. Por esta razón, se clasifican en muros en voladizo y muros acoplados, ya que cada uno tiene particularidades propias en su análisis y diseño. Es importante también cuantificar el grado de acoplamiento para que el diseño, se pueda distinguir si se trata de muros acoplados, o de dos muros en voladizo interconectados entre sí.

➤ Muros en Voladizo

Son aquellas donde el momento de vuelco en la base se resiste solamente por flexión, como se muestra en (a) de la figura 38. El mecanismo de colapso se genera por una rotula plástica situada en la base de los muros.

➤ Muros Acoplados

Son aquellos donde el momento de vuelco total en la base se resiste por flexión y por un momento provocado por esfuerzos axiales, como se muestra en (b) de la figura 38.

El mecanismo de colapso estará constituido por rotulas plásticas en las vigas de acoplamiento y en la base de los muros. Para que esto sea posible, las vigas de acoplamiento deberán poseer suficiente rigidez y resistencia a fin de que el factor de acoplamiento A , definido en la ecuación 4.2, este comprendido entre $1/3$ y $2/3$.

Según (8), si $A < 1/3$ se considera que el sistema no está acoplado y el comportamiento de los muros es en voladizos independientes, cuando $1/3 \leq A \leq$



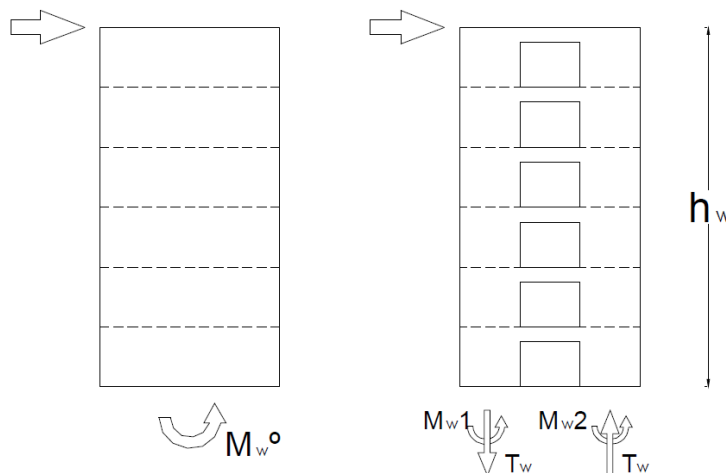
2/3 se considera que el sistema está acoplado y el valor de **R (coeficiente de capacidad de disipación energía)** deberá interpolarse, y si **A>2/3** se considera el conjunto como un único muro en voladizo con aberturas.

Ecuación 4.2
$$\frac{1}{3} \leq A = \frac{T_w L}{M_w^o} \leq \frac{2}{3}$$

Ecuación 4.3
$$M_w^o = M_{w,1} + M_{w,2} + T_w L$$

La contribución efectiva del acoplamiento al momento de resistencia de la estructura y a la disminución de los desplazamientos horizontales (derivas), debe tomarse en cuenta en los dimensionamientos geométricos y cuantías de los muros de mampostería; ya que, no hacerlo implicaría un sobre diseño.

Figura 38. Mecanismos de resistencia flexional en muros sismo resistentes de mampostería estructural.



En los muros de mampostería se deben hacer las siguientes hipótesis para su análisis:



- Ambos muros se deflecan igualmente (no hay deformación axial en las vigas de acople, considerándose infinitamente rígidas en esta dirección) con un punto de inflexión en la mitad de la luz de las vigas de conexión.
- El sistema discreto de vigas de conexión puede ser reemplazado por un medio continuo flexible de rigidez equivalente.
- Relación de inercias de los muros igual a la relación de inercias de las fundaciones.
- Teoría de la Elasticidad válida.
- Muros simétricos y no simétricos (con aletas) y características geométricas y de materiales constantes a lo largo de toda la altura de los muros.

Investigaciones indican un mayor aporte del acoplamiento en el momento interno total para casos de edificios de mediana altura que para los de baja, en donde su aporte en la práctica suele despreciarse.

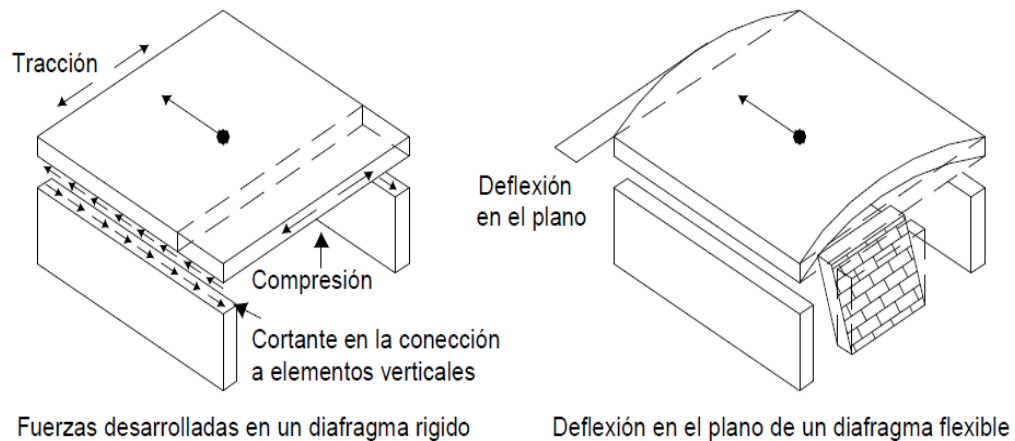
4.3.3.2 Diafragma de piso

La función principal de los diafragmas es asegurar una interacción eficiente de todos los muros estructurales de mampostería bajo las acciones sísmicas horizontales en una edificación de esta tipología. Se encuentran en general 2 tipos de diafragmas de entrepiso, como se muestra en la figura 39.

- Aparece en cualquier nivel donde el sistema de piso, puede suponerse rígido en su propio plano, además, se debe disponer de rigidez y resistencia para que actúe como una unidad, y sus propiedades de masa y rigidez se puedan concentrar en el centro de masa y en el centro de rigidez.
- Se supone flexible, cuando la máxima deflexión horizontal dentro del diafragma, al verse sometido a las fuerzas sísmicas, es más de 2 veces el promedio de sus deflexiones horizontales.



El comportamiento de los diafragmas rígidos implica deformaciones laterales uniformes. Adicionalmente, la distribución de fuerzas laterales se hará de acuerdo a la rigidez de los elementos verticales (en este caso muros de mampostería). Figura donde se muestra el comportamiento de los diafragmas rígidos y flexible.



La relación largo-ancho es trascendental en un diafragma rígido. Por tratarse de un trabajo a flexión de este tipo de elementos, mientras mayor sea la relación largo-ancho del diafragma, mayores pueden ser sus deformaciones laterales. En general, los diafragmas con relaciones de aspectos iguales e inferiores a 5 pueden considerarse rígidos.

Las aberturas de gran tamaño en el diafragma para efectos de iluminación, ventilación y relación visual entre los pisos, ocasionan la aparición de zonas flexibles dentro del diafragma, las cuales impiden el ensamblaje rígido de las estructuras verticales.

4.3.4 Determinación de fuerzas en los muros estructurales

Para determinar las solicitaciones de los elementos estructurales de una edificación con muros de mampostería, se deben hacer algunas hipótesis que simplifiquen el

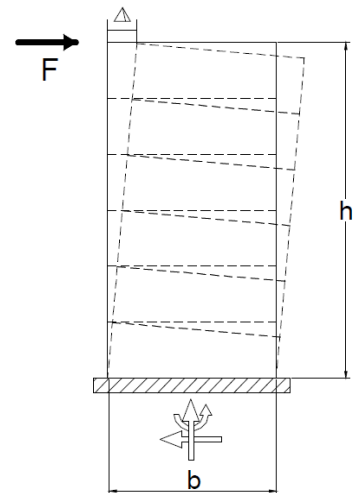


análisis. Estas hipótesis están contempladas en la RNC-07 y algunas especificaciones relacionadas.

Las fuerzas y momentos internos en los muros se hará, en general, por medio de un análisis elástico de primer orden. En la determinación de las propiedades elásticas, de los muros deberá considerarse que la mampostería no resiste tracciones en dirección normal a las juntas.

4.3.4.1 Hipótesis para el análisis

- **Voladizos empotrados en la base:** permite utilizar para el análisis estructural el modelo simplificado de muros en voladizo empotrados en la base y arriostrados lateralmente por los diafragmas del piso.



Para analizar el comportamiento estructural de estos muros tenemos la siguiente figura la cual muestra un muro en voladizo sometido a una fuerza horizontal en su extremo, además, se muestran las reacciones y deflexiones que se producen.

Por estática se deduce que la deflexión total es la combinación de una deflexión por flexión más una deflexión por cortante.

$$\Delta = \Delta_{flexión} + \Delta_{cortante}$$

$$\Delta_{flexión} = \frac{Fh^3}{3EI}$$

$$\Delta_{cortante} = \frac{1.2Fh}{AG}$$

$$\text{Si } F = K \Delta$$



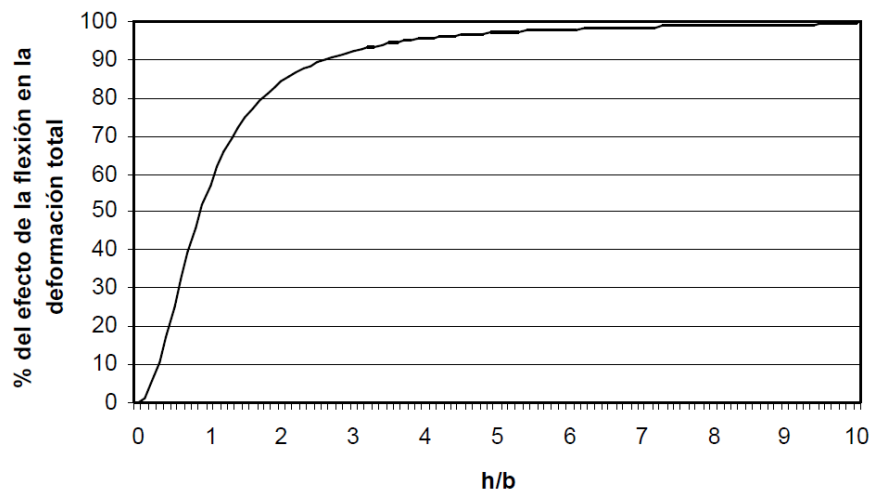
Entonces la rigidez para un muro de cualquier sección transversal es; si $F = 1$

$$K = \frac{1}{\frac{h^3}{3EI} + \frac{1.2h}{AG}}$$

Si se supone una sección transversal rectangular de espesor t y altura h , además se reemplaza G por el 40%, se tiene la siguiente expresión.

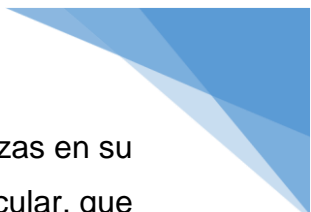
$$K = \frac{Et}{4\left(\frac{h}{b}\right)^3 + 3\left(\frac{h}{b}\right)}$$

Si compara es rigidez total con la rigidez por flexión, se obtiene la siguiente figura.



La deformación por corte tiene importancia solamente en muros en los cuales la relación h/b es cercana a 1 o de todos modos menor que 2, es decir en edificaciones de uno y dos pisos o en los primeros pisos de edificaciones de mayor número de pisos. Por lo tanto, en los muros de más de 2 pisos se puede aproximar el valor de la rigidez a la rigidez por flexión.





Además, los muros estructurales son elementos de gran rigidez para fuerzas en su plano o en un sentido, y de baja rigidez y resistencia en el plano perpendicular, que sería el otro sentido. Por tal razón toda estructura conformada con muros de mampostería estructural debe tener componentes en las dos direcciones ortogonales principales de la edificación, mediante la disposición de muros en las direcciones apropiadas o por medio del uso de elementos compuestos cuya geometría en planta genera rigidez en dos direcciones principales.

La rigidez en una dirección principal en planta, para cualquier piso de una edificación en mampostería con tres o más niveles, no puede ser inferior del 20% de la rigidez existente en la otra dirección ortogonal. En edificaciones de menos de tres niveles esta relación puede reducirse a 10%

Por otra parte, los muros en voladizo no resultan apropiados para los casos en donde los elementos de acoplamiento tengan, además de una gran rigidez axial, una rigidez a flexión significativa.

➤ **Losas rígidas en su plano**

Se puede suponerse el diafragma rígido en su propio plano, además, se dispone de rigidez y resistencia para que actúe como una unidad, y sus propiedades de masa y rigidez se puedan concentrar en el centro de masa y en el centro de rigidez.

Pero, además, se debe tenerse en cuenta el aumento en los cortantes sobre los muros de resistencia sísmica debido a la distribución, en planta de la rigidez de los muros.

Para edificaciones a base de muros de mampostería, deben tener amarres continuos entre los diferentes elementos del diafragma con el fin de distribuir las fuerzas de anclaje.

4.3.4.2 Análisis de fuerzas verticales

Para el análisis por fuerzas verticales se tomara en cuenta que en las juntas de los muros y los elementos de piso ocurren rotaciones locales debidas al aplastamiento



del mortero. Por tanto, para muros que soportan diafragmas rígidos, se supone que la junta tiene suficiente capacidad de rotación para que pueda considerarse que, para efectos de distribución de momentos en el nudo muro-losa, y los muros solo quedan cargados axialmente.

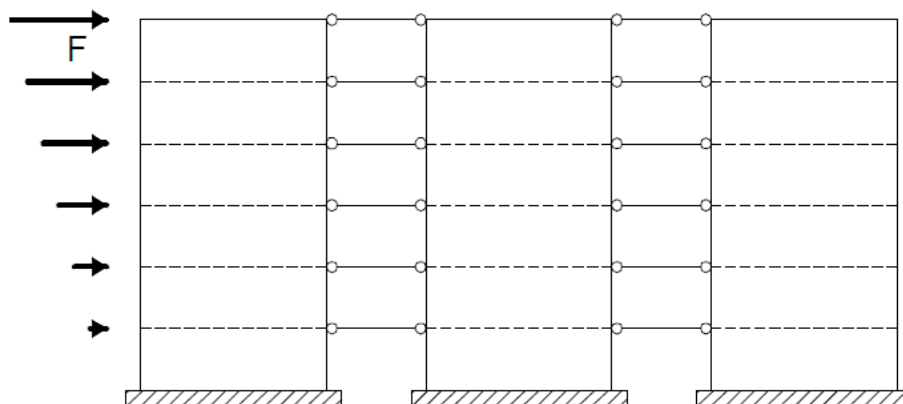
Será admisible determinar las fuerzas verticales que actúan sobre cada muro mediante áreas aferentes.

Para el diseño solo se tomarán en cuenta los momentos flexionantes siguientes: los resistidos por condiciones de estática y que no pueden ser redistribuidos por la rotación del nudo, como son los debidos a un voladizo que se empotre en el muro y los debidos a empujes de tierra, perpendiculares al plano del muro.

4.3.4.3 Análisis de fuerzas horizontales

Para el análisis por fuerzas horizontales se tomara una distribución de acuerdo con la respectiva rigidez de cada muro y en los dos sentidos ortogonales de la estructura. Esta distribución es válida siempre y cuando el diafragma respectivo es capaz de efectuar tal distribución, esto se logra, solo si, el diafragma es rígido.

Para la distribución de cortante en el plano paralelo al muro, se puede entonces efectuar de la siguiente forma: **Muros independiente en voladizo o muros con acoplamiento.**



El análisis aproximado para determinar el cortante es una serie de muros, es basado en la suposición de que los muros se unen al suelo por un diafragma infinitamente rígido. Por consiguiente los consiguiente, los muros mostrados, tomaran un cortante de piso.

$$V_i = \frac{K_i}{\sum K_i} V \quad \text{ó} \quad M_i = \frac{K_i}{\sum K_i} M$$

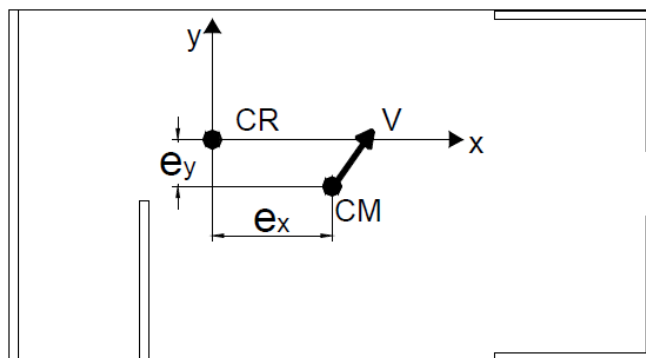
El cortante en cada muro es proporcional a la rigidez de cada uno, e inversamente proporcional a la sumatoria de las rigideces de los muros. Por otra parte, la rigidez de los muros rectangulares con respecto a su eje débil, es tan pequeño que generalmente se puede ignorar.

El cortante, aplicado en cualquier muro y a una distancia del centro de masa, es como, casi siempre se calcula.

El centro de masa es el punto (en planta) o el eje (en altura), donde se puede concentrar toda la carga vertical y horizontal. Normalmente coincide con el centro geométrico, y el centro de rigidez es el punto (en planta) o el eje (en altura), donde se puede concentrar toda la rigidez de la estructura.

Cuando el centro de rigidez y el centro de masa no coinciden, la fuerza cortante de cada piso, produce un momento de torsión alrededor del eje de rotación de la estructura.

Centro de masa y rigidez para edificación en mampostería.



Por el caso general mostrando la fuerza cortante en cada muro:

$$V_{ix} = \frac{K_{iy}}{\sum K_{iy}} V_x + \frac{y_i K_{iy}}{\sum (x_i^2 K_{ix} + x_y^2 K_{iy})} (V_x e_y - V_y e_x)$$

$$V_{iy} = \frac{K_{ix}}{\sum K_{ix}} V_y + \frac{x_i K_{ix}}{\sum (x_i^2 K_{ix} + x_y^2 K_{iy})} (V_x e_y - V_y e_x)$$

Donde $(V_x e_y - V_y e_x)$ es el momento del torsional del cortante de piso, V , sobre CR;

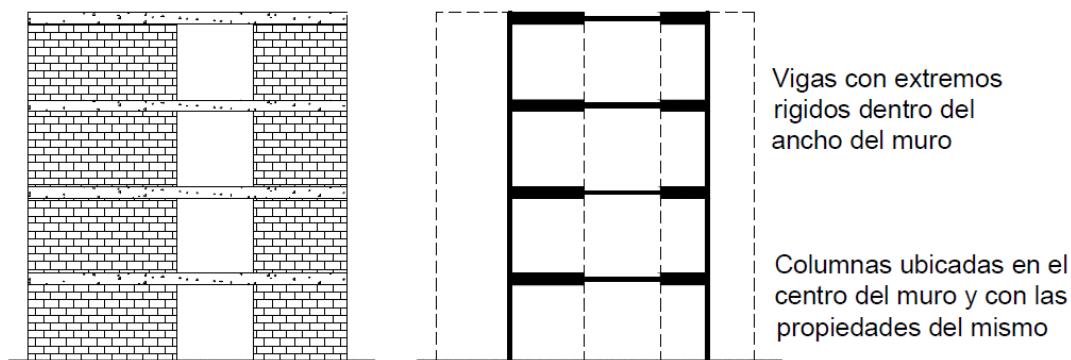
$\sum (x_i^2 K_{ix} + x_y^2 K_{iy})$ Es la rigidez rotacional del sistema de muros, e_x y e_y son excentricidades medidas del centro de rigidez (CR) al centro de masa del piso (CM).

Alternativamente, un análisis más exacto puede usarse técnicas de computadora establecidas. Otra metodología de análisis de cargas que se puede utilizar en la determinación de fuerzas cortantes en las edificaciones de muros de mampostería, la presenta las normas técnicas complementarias para diseño y construcción de estructuras de mampostería.

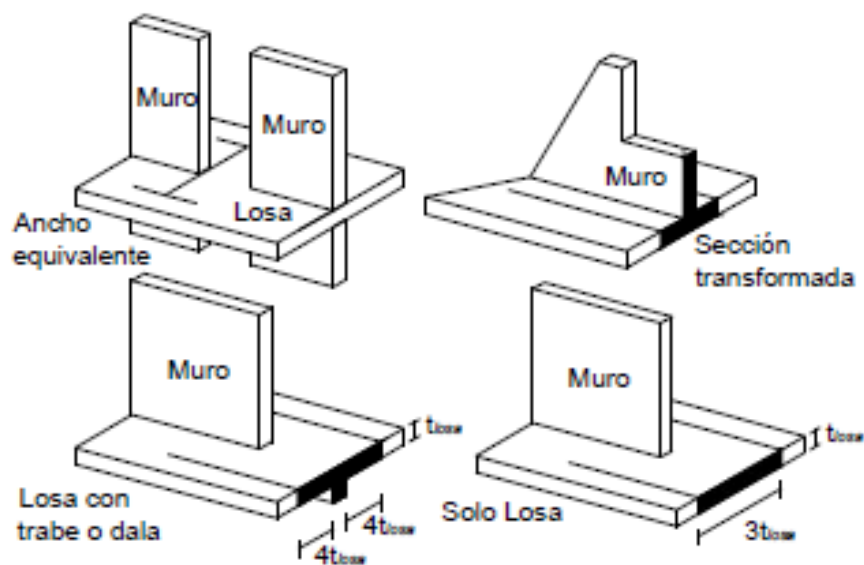
Esta norma propone que en estructuras de mampostería confinada o mampostería reforzada, los muros y segmentos sin aberturas se pueden modelar como columnas anchas. Con momentos de inercia y áreas de cortante iguales a las del muro o segmento real. En muros largos, como aquellos con columnas y vigas intermedias, se deberá evaluar el comportamiento esperado para decidir si, para fines de análisis, el muro se divide en segmentos, a cada uno de los cuales se les asignara el momento de inercia y el área de cortante correspondiente.



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



Para estimar la rigidez a flexión en losas, con o sin pretiles, se considerara un ancho de cuatro veces el espesor de la losa a cada lado de la trabe o dala, o de tres veces el espesor de la losa cuando no se tiene trabe o dala, o cuando la dala está incluida en el espesor de la losa.



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

Ancho efectivo del patín a compresión del muro



Para el caso de muros que contengan aberturas, estos podrán modelarse como columnas anchas equivalente, solamente si el patrón de aberturas es regular en elevación. En cuyo caso los segmentos solidos del muro se modelaran como columnas anchas y estas se acoplaran por vigas conforme se establece anteriormente. Si la distribución de aberturas es irregular o compleja en elevación, deberán emplearse métodos más refinados para el modelado de dichos muros.

Para la distribución de cortante en el plano perpendicular al muro, se puede efectuar como lo establecen las normas. Estas establecen que para muros estructurales de mampostería, exteriores o interiores, deben amarrarse a los diagramas o cubiertas que les provean apoyo lateral, por medio de anclajes diseñados para resistir una fuerza horizontal que actúa perpendicularmente al plano del muro. Dicha fuerza debe ser igual a "A" a veces la masa del muro, pero no menor que el 10% de la masa de dicho muro por la gravedad.



4.4 Análisis y diseño de muros de mampostería estructural

La mampostería se ha quedado detrás de otros materiales en la determinación de una resistencia representativa, o del acercamiento al diseño de estados límites; y todavía es prácticamente diseñada por métodos de esfuerzos de trabajo para cargas de servicio. La razón por la que muchos diseñadores no se han cambiado al diseño de estado límite, parece ser en la creencia dudosa de que el comportamiento de las estructuras de mampostería se puede predecir con mayor precisión en los niveles de la carga de servicio y no en los niveles últimos.

Hay en efecto, poca evidencia para apoyar esta creencia, además la hipótesis de que las secciones planas permanecen planas, puede ser inválida en muchos casos.

El comportamiento de la resistencia última es, sin embargo algo insensible a estos aspectos, así que a los momentos en los últimos esfuerzos puede ser predicho con exactitud comparativa.

Por otra parte, en estos momentos se cuenta con información adecuada que prueba particularmente que para la mampostería reforzada, se puede apoyar en el uso de los métodos de estado límite desarrollados para el concreto.

4.4.1 Hipótesis de diseño

- Equilibrio de las fuerzas y compatibilidad de las deformaciones.

En el cálculo de la resistencia de un muro de mampostería o de una sección transversal en mampostería, mediante el método del estado límite de resistencia, se exige que se satisfagan dos condiciones básicas:



- **Equilibrio estático:** exige que las fuerzas de compresión y tracción que actúan en la sección transversal para la resistencia última, estén en equilibrio.
- **Compatibilidad de las deformaciones:** Exige que también se satisfaga la compatibilidad entre las deformaciones de la mampostería y del acero de refuerzo bajo condiciones últimas

El término último, es muy utilizado en relación con el método del estado límite de resistencia. Pero es necesario tener en cuenta que la resistencia nominal calculada de acuerdo con los requisitos de la norma RNC-07, puede no necesariamente ser el valor último real. Dentro de la hipótesis de diseño permitida, se desprecian algunas de las propiedades de los materiales y se establecen otros límites conservadores para utilizar en el diseño práctico. Esto contribuye a la posibilidad de que la resistencia última sea menor que la obtenida mediante ensayos (o resistencia última real).

La resistencia nominal calculada se debería considerar exclusivamente como una resistencia definida por la norma. En consecuencia, al definir la resistencia calculada de un muro no se utiliza el término último, sino que se usa el término nominal.

En el diseño de muros de mampostería se deberá despreciar la resistencia a la tracción de la mampostería.

La resistencia a la tracción de la mampostería solicitada a flexión-compresión, conocida como módulo de rotura, es una propiedad más variable que la resistencia a la compresión. Esta resistencia a la tracción de la mampostería solicitada a flexión se desprecia en el diseño por estado límite de resistencia. Se debe tener en cuenta que la resistencia de la mampostería solicitada a tracción es importante desde el punto de vista fisuras.



Las deformaciones específicas en el acero de refuerzo y en la mampostería se deben suponer directamente proporcionales a la distancia desde el eje neutro.

En otras palabras, se asume que las secciones planas normales al eje de flexión permanecen planas luego de la flexión. Numerosos estudios han confirmado que las deformaciones específicas de una sección transversal en mampostería responden a una distribución esencialmente lineal en altura, aun cerca de su resistencia última.

Para el acero de refuerzo, esta hipótesis ha sido verificada mediante numerosos ensayos de elementos comprimidos con carga excéntrica y elemento solicitados exclusivamente a flexión. Esta hipótesis es válida para todo el rango de cargas, desde carga nula hasta la carga última.

- Los esfuerzos en el acero de refuerzo f_s . Por debajo del esfuerzo de fluencia f_y se tomará como E_s por la deformación específica del acero de refuerzo ϵ_s . Para deformaciones específicas mayores que f_y / E_s , el esfuerzo en el acero de refuerzo se considerara independiente de la deformación e igual a f_y

Es razonable suponer para esfuerzos en el acero de refuerzo, por debajo del esfuerzo de fluencia, es proporcional a la deformación específica. Para el diseño práctico, en los cálculos de resistencia se desprecia el aumento de la resistencia debido al efecto de endurecimiento por deformación del esfuerzo.

La fuerza desarrollada en el esfuerzo de tracción o de compresión es función de la deformación específica en el refuerzo ϵ_s y se puede calcular de la siguiente manera:



Cuando $\varepsilon_s \leq \varepsilon_y$ (deformación de fluencia):

$$f_s = E_s \varepsilon_s$$

$$A_s f_y = A_s E_s \varepsilon_s$$

Cuando $\varepsilon_s \geq \varepsilon_y$:

$$f_s = E_s \varepsilon_s = f_y$$

$$A_s f_y = A_s f_y$$

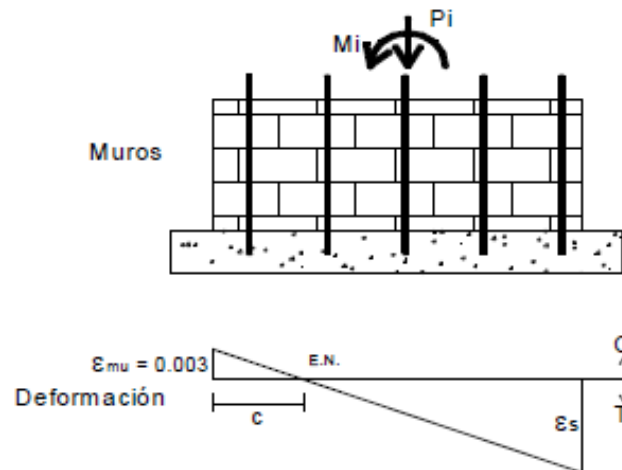
Siendo ε_s el valor del diagrama de deformación correspondiente a la ubicación del refuerzo. Para el diseño, el módulo de elasticidad del acero de refuerzo, E_s , se toma como 200.000 MPa.

- La máxima deformación unitaria utilizable en la fibra comprimida extrema de la mampostería se asumirá igual a $\varepsilon_{mu} = 0,003$.

La máxima deformación unitaria de la mampostería varía entre 0,003 y valores de hasta 0,004. Sin embargo, para los casos prácticos la máxima de formación específica es de 0.003 a 0,0035. Aunque a máxima deformación disminuye a medida que aumenta la resistencia a la compresión de la mampostería, el valor 0,003 permitido para el diseño es razonablemente conservador. En algunos países las normas especifican para el diseño un valor de 0,0035; lo cual representa una diferencia muy pequeña en cuanto a la resistencia calculada de un elemento de mampostería.



Linealidad de las deformaciones con respecto al eje neutro y la máxima deformación de la mampostería $\epsilon_{mu} = 0,003$.



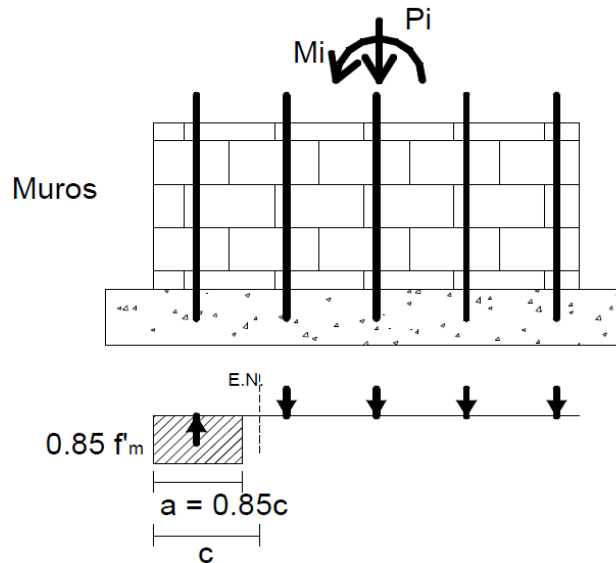
- Los requisitos de D.5.1.6.6 se pueden considerar satisfechos con una distribución rectangular de esfuerzos equivalente en la mampostería definido de la siguiente manera:

Se asumirá un esfuerzo en la mampostería de $0,85'f_m$ uniformemente distribuida en una zona de compresión equivalente limitada por los bordes de la sección transversal y una recta paralela al eje neutro ubicada a una distancia $a = 0.85 c$ a partir de la fibra con máxima deformación específica de compresión. La distancia "c" entre la fibra con máxima de formación específica de compresión y el eje neutro se deberá medir en dirección perpendicular a dicho eje.

La norma Nicaragüense RNC-07 permite usar una distribución rectangular de esfuerzos de compresión en reemplazo de las otras distribuciones de esfuerzos más exactas. Usando la distribución rectangular de esfuerzo equivalente y asumiendo que el refuerzo entra en fluencia antes del aplastamiento de la mampostería, la resistencia nominal al momento M_n se puede calcular en base a la condición de equilibrio de fuerzas y momentos.



Distribución rectangular de esfuerzo equivalente en la mampostería y la distancia de aplicación.



4.4.2 Características mecánicas para el análisis y diseño de la mampostería

4.4.2.1 Determinación de la resistencia a la compresión de la mampostería f'_m .

El valor especificado para la resistencia a compresión de la mampostería f'_m . Este método se puede determinar de tres formas diferentes.

- Mediante la determinación estadística de f'_m . este método se puede hacer, solo si, se cuenta con registros históricos confiables y suficientes de resultados de ensayos de muestra de muretes de construcciones anteriores realizadas con los materiales especificados para la obra, llevados a cabo con similares procedimientos técnicos y de supervisión, en caso de que el coeficiente de variación de los resultados sea inferior o igual al 30%, se permite seleccionar el valor de f'_m con base en estos registros, según el número de ensayos registrados y de acuerdo con:



- Más de 30 ensayos históricos: cuando el número de resultados de ensayos de muestras registradas, sea superior o igual a 30, se puede seleccionar f'_m como del 75% el valor promedio de los resultados del registro.
- Entre 10 y 30 ensayos históricos: cuando el número de resultados de ensayos de muestras registradas sea de 10 a 30, se puede seleccionar f'_m como el 70% del valor promedio de los resultados del registro.
- Menos de 10 ensayos históricos: no se puede utilizar los registros históricos para la selección de f'_m ,

El segundo es mediante determinación experimental sobre muretes de prueba: la resistencia especificada a la compresión de la mampostería f'_m se puede determinar experimentalmente para los mismos materiales que se va a emplear, realizando ensayos sobre muretes preliminares a la obra. Los muretes deben elaborarse con los mismos materiales y bajo las mismas condiciones que la estructura. El contenido de humedad de los materiales debe ser el mismo que se tiene en la estructura en el momento de construirse. La calidad de la mano de obra debe ser la misma en la construcción.

Si se exceptúa el número de muretes por muestra, los cuales deben ser los indicados a continuación.

- Más de 30 ensayos previos a la obra: cuando el número de muretes ensayados sea superior o igual a 30, f'_m se puede tomar como el 85% del valor promedio de los ensayos.
- Entre 10 y 30 ensayos previos a la obra: cuando el número de muretes ensayados sea superior a 10 e inferior a 30, f'_m se puede tomar como el 80% del valor promedio de los ensayos.



- Menos de 10 ensayos previos a la obra: cuando el número de muretes ensayados sea inferior a 10, pero no menor de 3, f'_m se puede tomar como el 75% del valor promedio de los ensayos.

El valor de f'_m para una muestra debe ser el promedio obtenido del ensayo de 3 muretes de igual procedencia, pero no debe ser mayor del 125% del menor valor obtenido en los ensayos.

El valor de cada ensayo se obtiene de dividir la carga última por el área neta de la mampostería que tiene el murete ensayado. Los muretes deben tener un mínimo de 30 cm de altura y una relación altura-ancho mayor en 1.5 y menos de 5. Los muretes de mampostería de bloque de perforación vertical deben tener al menos el largo de una pieza completa. Los muretes de otro tipo deben tener al menos el largo de una pieza completa. Los muretes de otro tipo deben tener al menos 10 cm de largo. El ancho y el tipo de construcción deben ser representativos del tipo de mampostería que se va a utilizar en la construcción. Las celdas de la mampostería de bloque de perforación vertical no deben llenarse a menos que se trate de mampostería totalmente inyectada.

El valor de f'_m debe corregirse multiplicándolo por el factor de corrección por esbeltez del murete.

Tabla 16. Factor de corrección por esbeltez para f'_m

Relación altura/espesor del Murete	1.5	2.0	2.5	3.0	4.0	5.0
Factor de corrección	0.86	1.0	1.04	1.07	1.15	1.22

Está basado en la calidad de los materiales: cuando f'_m no se seleccione mediante ensayos de muretes preliminares o históricos, su valor puede determinarse con base en una correlación apropiada de la calidad de los materiales



empleados. En ausencia de tal correlación, el valor de f'_m se puede determinar mediante la siguiente expresión: $f'_m = 0.75R_m$

$$R_m = \left(\frac{2h}{75 + 3h} \right) f'_{cu} + \left(\frac{50k_p}{75 + 3h} \right) f'_{cp} \leq 0.8 f'_{cu}$$

La norma para mampostería estructural, en una de sus recomendaciones, para determinar la resistencia a la compresión de la mampostería estimada en base a la resistencia de las unidades individuales.

$$f'_m = 0.6 f'_{cu}$$

Esta expresión concuerda con la norma RNC-07, ya que si el valor de R_m es mayor que el 80% de la resistencia a la compresión de las unidades de mampostería. Se tomara este valor como R_m . Si se reemplaza R_m en 4.10, el valor de f'_m es entonces igual a $0.6 f'_{cu}$ Además, este valor está relacionado con el máximo valor que puede llegar a tener el esfuerzo promedio, f'_m , que es aproximadamente el 67% de la resistencia a la compresión de la unidad f'_{cu} ,

Cuando la mampostería es de cavidad reforzada o de perforación vertical inyectada con mortero de relleno, el valor de f'_m , es igual a:

$$f'_m = 0.75 [rR_m + 0.9(1-r)f'_{cr}] \leq 0.94R_m$$

La resistencia a la compresión del mortero de relleno debe estar entre 1.2 y 1.5 veces la resistencia a la compresión de la mampostería; pero, no puede ser menor de 10 MP a los 28 días.



4.4.2.2 Módulos de elasticidad y de cortante

Para determinar el módulo de elasticidad de la mampostería se tomara el valor que especifica la RNC-07.

$$E_m = 500 f'_m \leq 10000 MPa$$

Otras formas de determinar el módulo de elasticidad de la mampostería es por medio de ensayos de laboratorio tomando la secante desde 0-05 f'_m hasta 0-33 f'_m . O registros históricos determinados experimentalmente.

Se establece dos módulos de elasticidad, uno para cargas de corta duración y otro para cargas sostenidas.

Para obtener el módulo de elasticidad para cargas sostenidas se deberán considerar las deformaciones diferidas debidas al flujo plástico de las unidades y el mortero principalmente

$E_m = 600 f'_m$ para cargas de corta duracion.

$E_m = 350 f'_m$ para cargas de corta sostenida.

El módulo de cortante que recomiendan, todas las normas de diseño de muros de mampostería, está dado por el 40% del módulo de elasticidad de la mampostería.

$$G_m = 0.4 E_m$$

4.4.3 Resistencia de diseño

El método de diseño de estado límite, requiere que en cualquier sección la resistencia de diseño de un elemento sea mayor o igual que la resistencia requerida calculada mediante las combinaciones de cargas mayoradas especificadas por la norma RNC-07 de forma generalizada.

Resistencia requerida (U) ≤ Resistencia de diseño = Φ x Resistencia nominal

Los coeficientes de reducción de resistencia, Φ , deben ser los siguientes según la RNC-07.



4.4.3.1 Valor de Φ Para fuerzas horizontales perpendiculares al plano del Muro

En el diseño de muros de mampostería estructural para efectos causados por fuerzas horizontales perpendiculares al plano del muro, deben emplearse los siguientes coeficientes de reducción de resistencia.

- Flexión y flexo-compresión $\Phi=0.80$
- Cortante $\Phi=0.60$

4.4.3.2 Valores de Φ para fuerzas horizontales paralelas al plano del muro

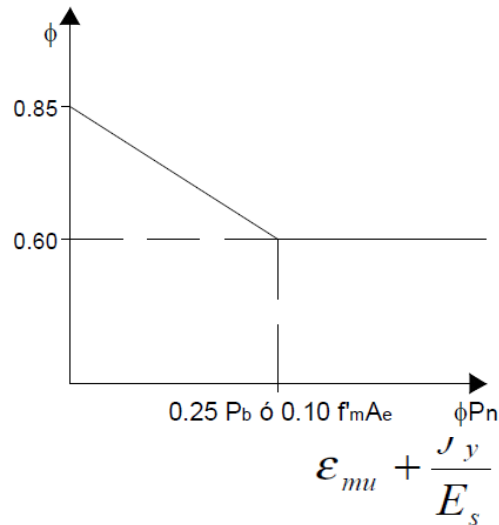
En el diseño de muros de mampostería estructural para efectos causados por fuerzas horizontales paralelas al plano del muro, deben emplearse los siguientes coeficientes de reducción de resistencia:

- Flexión $\Phi=0.85$
- Compresión y flexo-compresión y cortante $\Phi=0.60$

El valor de Φ Compresión y flexo-compresión puede aumentar en el caso de muros con refuerzo simétrico en los cuales el valor de f_y , no exceda 420 MPa. El incremento es lineal hasta un máximo de $\Phi=0.85$ en medida que ΦP_n disminuye desde $0.10 f'_m \text{ ó } A_e$ o $0.25 P_b$ hasta cero. En la siguiente figura se muestra el aumento lineal de Φ para compresión y flexo-compresión



La carga axial puede calcular



nominal balanceada, P_b se de la siguiente manera:

$$P_b = 0.85 f'_m b a_b$$

4.4.4 Resistencia para carga axial de compresión

La máxima resistencia axial teórica del muro sometido a carga axial sin excentricidad, P_o que define la RNC-07, se obtiene por medio de la expresión. Si la mampostería está reforzada, el valor de P_o debe restársele la porción de resistencia debida a la mampostería del área ocupada por el acero, y sumársele la resistencia aportada por el acero.

$$P_o = 0.85 f'_m (A_e - A_{st}) + A_{st} F_y \leq f'_m A_e$$

De acuerdo con la RNC-07, P_o , no exceder la resistencia aportada por la mampostería sola, es decir, $f'_m A_e$. Sin embargo P_o debe reducirse en función de la esbeltez del elemento a compresión, para tener en cuenta el pandeo. El factor de reducción por pandeo es:

$$R_e = 1 - \left(\frac{h'}{40t} \right)^3$$



La altura a compresión “h”, según la RNC-07, para el cálculo de coeficiente de reducción por pandeo debe ser:

- Para elementos soportados lateralmente arriba y abajo en la dirección considerada, como la distancia libre entre apoyos.
- Para elementos no soportados en un extremo en la dirección considerada, la altura efectiva será en doble de la dimensión mediada entre apoyos.
- Cuando se justifique apropiadamente, se puede utilizar como altura efectiva una dimensión menor a la distancia libre entre apoyos.

Pero se debe chequear que la relación entre la altura efectiva y el espesor efectivo no sea mayor que 25.

La RNC-07, define P_n , como el 80% del P_o , de manera que:

Ecuación 4. 19 $P_n = 0.80 P_o R_o$

El valor de la máxima resistencia de diseño para carga axial de compresión P_u , sin excentricidad y teniendo en cuenta los efectos de esbeltez, esta dada por la RNC-07.

$P_u \leq P_n = \Phi 0.80 P_o R_o$

El área efectiva A_e , debe ser la suma del área mínima de contacto entre el mortero de pega y la unidad de mampostería y el ara inyectada. Cuando la junta de mortero sea ranurada, el área efectiva debe reducirse proporcionalmente. En la mampostería confinada incluye el área de los elementos de confinamiento.



4.5 Diseño de muros en la dirección perpendicular a su plano

Los requisitos que se detallan a continuación se emplean para el diseño por el método del estado límite de resistencia, de muros de mampostería estructural de unidades de perforación vertical y de cavidad reforzada para el efecto de las cargas horizontales perpendiculares al plano del muro, además de las fuerzas verticales que actúan sobre el muro. Estos requisitos se encuentran contemplados en RNC-07

4.5.1.1 Resistencia a flexión y carga axial

La figura 50, ilustra los procedimientos para el análisis y diseño de un muro de mampostería sujeto a flexión perpendicular a su plano. Una pregunta que surge para el análisis es: cuál es el ancho efectivo b del muro que actúa en compresión para balancear la fuerza de tracción de cada barra.

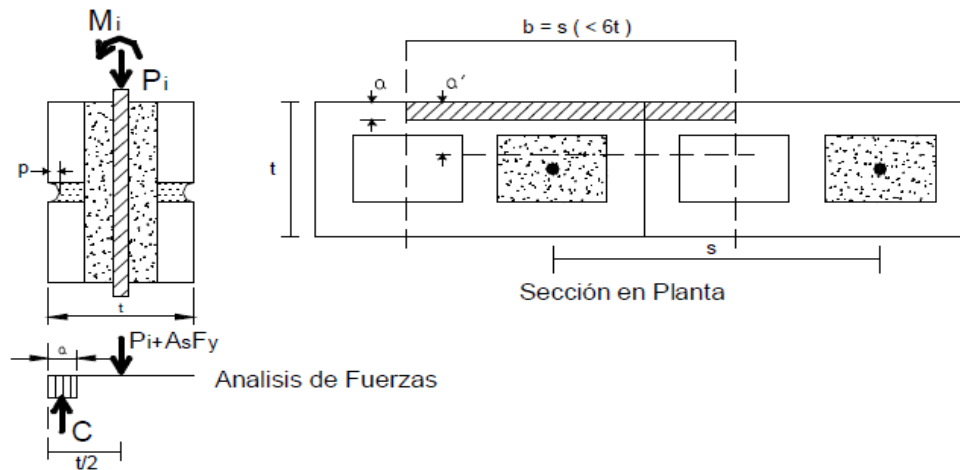
Según RNC-07 define el ancho efectivo b para efectos de diseñar la sección, cuando la dirección de las fuerzas horizontales es perpendicular al plano del muro, e inducen flexión o flexo-compresión con respecto a un eje paralelo al muro, como la mayor entre 6 veces el cancho nominal del muro y la distancia centro a centro entre refuerzos verticales, esto para aparejo trabado. En la mampostería con todas sus celdas inyectadas, la sección se considera sólida y no hay necesidad de aplicar las reducciones indicadas anteriormente.

En pocas palabras, el ancho efectivo b se tomara igual a los espaciamientos de las barras si $6t > s$. Y cuando $s > 6t$, se debe asumir que $b=6t$.

Para el análisis se asumirá la teoría de la resistencia a la flexión perpendicular al plano. Es decir asumiendo una falla de tracción.



Figura 50. Análisis y diseño de la sección sujeta a flexión perpendicular al plano del muro.



La profundidad de la zona a compresión a en la mampostería se asumirá igual:

$$a = \frac{P_u + A_s F_y}{0.85 f'_m b}$$

Esta ecuación esta representativa en RNC-07 como la ecuación d.5-20. Entonces el momento que soporta muro para sección anterior es:

$$M_n = (P_u + A_s F_y) \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

Ecuación 4.23

Donde d es igual a:

$$d = \frac{t}{2} - p$$



Donde p , es la profundidad de empalmes de la junta de mortero. A excepción de empalmes profundo o rastrillados ($p > 3\text{mm}$), es normal aproximar el valor de la profundidad p , a cero.

En la mayoría d los casos la profundidad a , sobrepasa enteramente al espesor de las paredes exteriores de la unidad. Para muros de mampostería inyectados, y con una alta cuantía o carga axial alta, es posible que se presente este caso y el valor de a es igual a (a').

Es por eso que la norma RNC-07 define el parámetro para la carga axial, que actúa simultáneamente al momento M_i . El parámetro que define la metodología para el análisis a flexión perpendicular al plano del muro, es el 10% de la carga axial que idealmente puede soportar un muro de mampostería.

Entonces, el primer caso es cuando la carga axial P_u , es menor que $0.1 f'_m A_e$. En este caso, el momento de diseño solicitado, M_u , debe cumplir la condición siguiente:

$$M_u \leq \phi R_e M_n$$

Donde R_e está dado por la ecuación 4.18 y M_n por la ecuación 4.23.

El diseño perpendicular al plano del muro se puede hacer despejando A_s . Si la junta de mortero no está ranurada, el valor de d se puede aproximar a $t/2$.

$$\frac{M_u}{\phi R_e} = (A_s f_y + P_u) \left(\frac{t}{2} - \frac{A_s f_y + P_u}{0.85 f'_m b} \right)$$

En este caso se debe chequear que la cuantía de refuerzo a flexión $p = A_s / (bd)$ no exceda el 50% de la cuantía balanceada P_b .



El segundo caso, es cuando la carga axial P_u , es mayor que $0.1 f'_m A_e$. En este caso, se debe cumplir que la relación de esbeltez del muro h'/t no sea mayor de 30; entonces el momento de diseño solicitado, M_u , debe cumplir la condición siguiente:

Ecuación 4.26 $M_u \leq \Phi R_e M_n$

Pero en este caso el valor de M , no se obtiene de la ecuación 4.23, si no la interacción entre el momento y la carga axial.

4.6 Diseño de muros en la dirección paralela a su plano

Los requisitos que se detallan a continuación se emplean para el diseño por el método del estado límite de resistencia, de muros de mampostería estructural de unidades de perforación vertical y de cavidad reforzada para el efecto de las cargas horizontales paralelas al plano del muro, además las fuerzas verticales que actúan sobre el muro.

4.6.1 Distribución del acero de refuerzo en los muros de mampostería

Para determinar el efecto de la distribución del acero de refuerzo en la capacidad a flexión de los muros de mampostería, se recurre a la teoría elástica para analizar el comportamiento de estos.

La figura 51, muestra dos muros de dimensiones idénticas y que soportan la misma carga axial; reforzados con la misma cantidad total de acero refuerzo, A_{ST} . En la parte (a) de la figura 51, este refuerzo se disminuye uniformemente a lo largo de la longitud del muro, mientras que en (b), el refuerzo se concentra en dos paquetes de $A_{ST}/2$, uno en cada extremo del muro. La teoría elástica indica que el arreglo mostrado en (b) es más eficiente, dando como resultado un momento permisible cerca del 33% más alto que para el esfuerzo distribuido.



Sin embargo, para los porcentajes de acero típicamente bajos y las cargas axiales bajas comunes en edificios de mampostería, la capacidad flexional es invariable a la distribución del acero de refuerzo.

Figura 51. Efecto de la distribución del acero de refuerzo en la capacidad de flexión d los muros de mampostería.

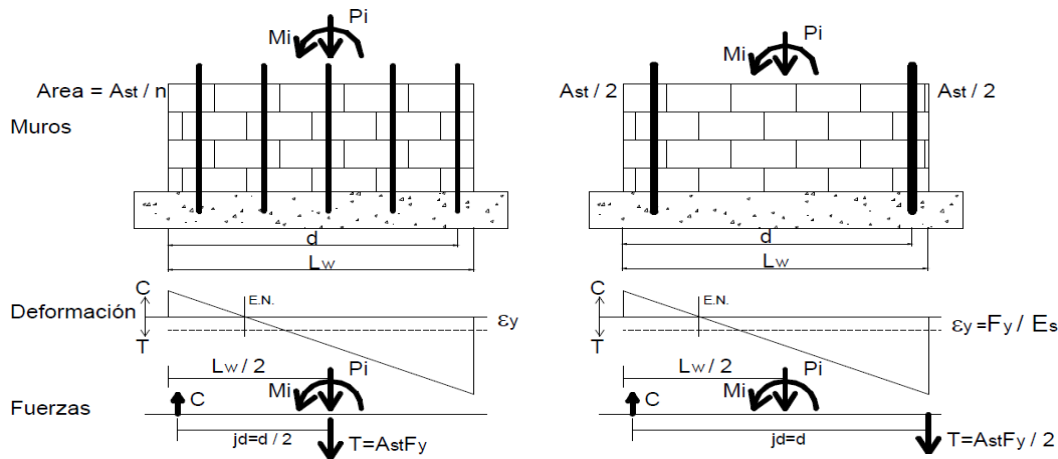


Figura 1: Acero Distribuido.

Figura2: Acero Concentrado en los extremos.

Para el refuerzo uniformemente distribuido la profundidad pequeña del eje-neutral asegura la producción extensible de todo el refuerzo vertical virtualmente. Con la notación mostrada en la figura 52, esto da lugar a un momento de flexión, descrito por la ecuación 4.27.

Ecuación 4.27
$$M_i = A_{st} F_y \frac{d}{2} + P_i \frac{l_w}{2}$$

Para el acero de refuerzo concentrado acerca de los extremos del muro, la fuerza de tracción, es $\frac{1}{2} A_{st} F_y$ que es aproximadamente la mitad para el caso distribuido, pero dos veces la distancia de aplicación, así que la capacidad flexional sigue siendo efectivamente la misma.

Para los valores típicos de carga axial y del cemento de acero refuerzo, la diferencia de la capacidad ultima del momento de las dos alternativas, de la figura 51, será



menos del 5%.hay buenas razones de adoptar una distribución uniforme del acero de refuerzo, más bien, que de concentrar barras en los extremos de los muros.

Anteriormente, se estableció que la resistencia a la flexión en el plano paralelo de muro de mampostería era efectivamente independiente, de si el acero de refuerzo era concentrado en los extremos del muro, o si era, uniformemente distribuido a lo largo dl muro. La distribución uniforme del acero de refuerzo es la mejor colocación del refuerzo. Las razones de concentrar el refuerzo en los extremos del muro causan problemas de enlace y anclaje debido al espacio limitado del mortero de relleno.

Además incrementa la tendencia a agrietase la zona de compresión de la mampostería como resultado de las barras de refuerzo que están en compresión, particularmente bajo la respuesta cíclica inelástica para esfuerzos sísmicos. Si esto ocurre, la resistencia y la rigidez se degradan rápidamente, y si barras de esfuerzo a flexión no es doblado correctamente en la base, se puede presentar un colapso total del muro.

El acero refuerzo distribuido, no está sujeto a estas fallas para la misma sollicitación, y tiene la ventaja adicional de funcionamiento a cortante. Otra ventaja del acero distribuido, es que incrementa la magnitud de la carga axial de compresión que soporta el muro de mampostería.

4.6.2 Resistencia a flexión y carga axial

La resistencia de una sección transversal solicitada a una combinación y flexión y compresión debe satisfacer tanto la condición de equilibrio de fuerzas como la condición de compatibilidad de las deformaciones. Luego la resistencia a la combinación de carga axial y momento ($P_n M_n$). Se multiplica por el factor de reducción de la resistencia Φ que corresponda para determinar la resistencia de diseño ($\Phi P_n \Phi M_n$) de la sección. La resistencia de diseño debe ser mayor o igual que la resistencia requerida.

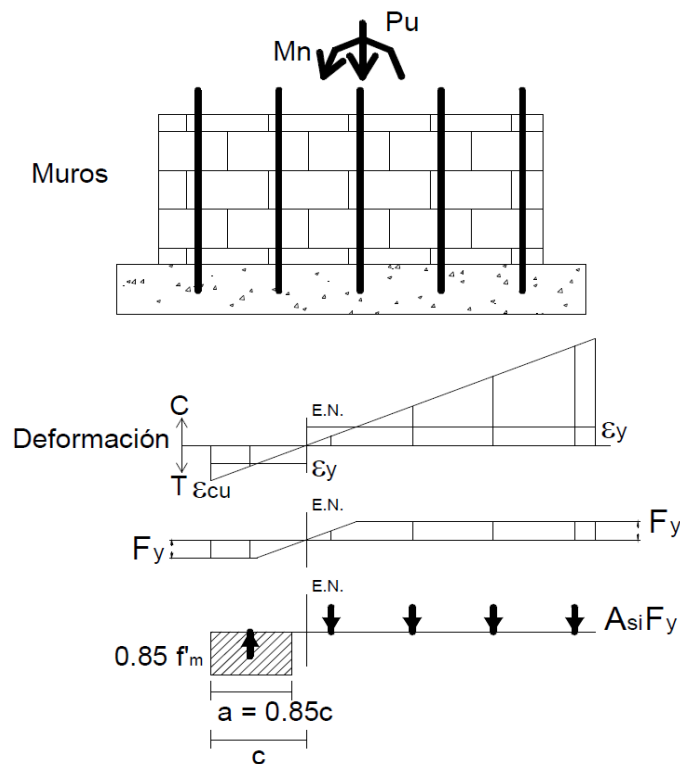
Ecuación 4.28 $(\Phi P_n, \Phi M_n) \geq (P_u M_u)$



Todos los elementos de mampostería solicitados a una combinación de flexión y carga axial se deben diseñar para satisfacer este requisito básico. Observar que la resistencia requerida ($P_u M_u$) representa los efectos estructurales de las diferentes combinaciones de cargas que pueden solicitar una estructura.

Para determinar la resistencia a flexo-compresión de un muro de mampostería se expondrán varias metodologías. En la primera se tiene la figura 52, que ilustra un procedimiento desarrollo por Paulay y Presley, para obtener la fuerza flexión de un muro de mampostería rectangular con refuerzo distribuido. El muro contiene barras de áreas iguales. Debido generalmente a la carga axial P_u y el porcentaje de refuerzo (cuantía) $P = A_s / (L_w t)$, la profundidad al eje neutro, será pequeño comparado con la longitud del muro.

Figura 52. Análisis de una sección de un muro de mampostería sujeta a flexo-compresión.



Puesto que la deformación en compresión de la mampostería E_{cu} normalmente es mayor que la deformación en el acero de refuerzo E_y , se puede asegurar que casi todo el acero de refuerzo está fluyendo. Pero además se puede asumir que todo el acero de refuerzo que está cerca del eje neutro, también está fluyendo. Esto es una aproximación justificable. Ya que la influencia sobre el momento resistente total del muro, por la sobre estimación del esfuerzo en las barras cercanas al eje neutro será pequeño.

El análisis requiere de un procedimiento iterativo para encontrar la posición del eje neutro.

1. El primer paso es asumir el valor de A_{si} , como la cuantía mínima por la sección bruta del muro. Luego se asume un valor para la profundidad del bloque a compresión de la mampostería.

Ecuación 4.29

$$a = \frac{P_u + 0.5 \sum_{i=1}^n A_{si} f_y}{0.85 f'_m t}$$

En esta estimación inicial se asume que el 75% del acero está a tracción y el 25% a compresión.

2. Se calcula la distancia al eje neutro desde la fibra a compresión más alejada como:

$$c = \frac{a}{0.85} = \frac{P_u + 0.5 \sum_{i=1}^n A_{si} f_y}{0.7225 f'_m t}$$

3. Se calcula la fuerza a compresión en la mampostería $C_m = 0.85 f'_m t a$



4. Con el valor de c , se determinan cuales barras están en compresión y se determina la fuerza a compresión de estas, como:

$$C_s = \sum_{i=1}^j A_{si} f_y$$

5. Así desde las barras $j+1$ hasta la n , están en tracción. Por lo tanto, la fuerza de tracción del acero de refuerzo es

$$T = \sum_{i=j+1}^n A_{si} f_y$$

6. Se debe chequear el equilibrio de la fuerza así:

$$C_m + C_s - T = P_u$$

Si $C_m + C_s - T > P_u$, se debe reducir "a" en proporción.

Si $C_m + C_s - T < P_u$, se debe incrementar "a" en proporción.

7. Los pasos del 2 al 6 se repiten hasta que el acuerdo en la ecuación 4.29, este entre el 2% y 5% en tolerancia.

8. Se calcula el momento con respecto a las fuerzas de compresión y tracción. Esto se muestra con la siguiente ecuación:

Ecuación 4.32
$$M_u = \phi \left[C_m \left(c - \frac{a}{2} \right) + \sum_{i=1}^n |f_y A_{si} (c - x)| + P_u \left(\frac{l_w}{2} - c \right) \right]$$

Este procedimiento genera valores muy exactos. Por tanto la suposición de que el 75% y 25% del acero de refuerzo a tracción y compresión, son bastantes acertadas para el diseño.

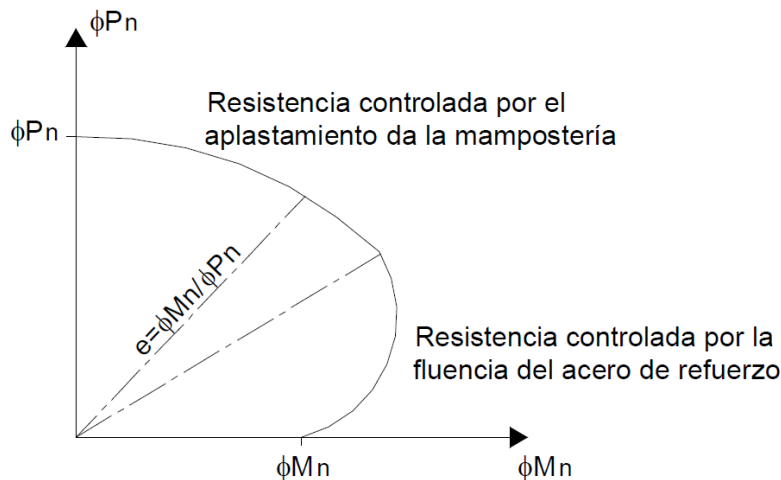


Otra metodología es hacer un diagrama de interacción de resistencia, graficando la resistencia a la carga axial de diseño ΦP_n en función de la correspondiente resistencia al momento de diseño ΦM_n ; este diagrama define la resistencia utilizable de la sección de mampostería para diferentes excentricidades de la carga.

El diagrama de interacción debe cumplir las hipótesis, además el acero de refuerzo se distribuye simétricamente en toda la sección.

Por otra parte, es sabido que para cada excentricidad, existe un solo par de valores de ΦP_n y de ΦM_n ; que se producen un estado inminente de falla. Este par de valores pueden dibujarse como un punto en un gráfico que relacione ΦP_n y ΦM_n .

Para generar esta gráfica, se deben hacer una serie de cálculos similares, cada uno correspondiente a una excentricidad diferente. En este diagrama cualquier línea radial representa una excentricidad n particular $e = \Phi M_n / \Phi P_n$.



Por ejemplo, cuando el valor $e=0$, el valor de ΦP_n es la capacidad del muro para compresión pura que se puede determinar por la ecuación 4.20. Para excentricidades pequeñas la falla está regida por compresión de la mampostería, mientras que para las grandes llevarán a una falla iniciada por fluencia de acero de refuerzo a tensión.



Para un muro de mampostería, el diagrama puede construirse fácilmente si se escogen valores sucesivos de la distancia al eje neutro c , desde el infinito (carga axial con excentricidad cero) hasta valores muy pequeños encontrados por tanteos para obtener $\Phi P_n=0$ (flexión pura)

El primer paso para hacer el diagrama es seleccionado un valor de C (distancia desde el eje neutro hasta la fibra más alejada a compresión), luego se determinan las deformaciones de las barras los esfuerzos en el acero y las fuerzas en la mampostería.

Para calcular el esfuerzo en el acero de refuerzo a tensión.

$$\epsilon_s = \epsilon_{cu} \frac{d - c}{c}$$

$$f_s = \epsilon_{cu} \frac{d - c}{c} E_s \leq F_y$$

Donde d es la distancia del borde a compresión del muro hasta la barra analizada.

Para el acero a compresión:

$$\epsilon_s = \epsilon_{cu} \frac{c - d}{c}$$

$$f_s = \epsilon_{cu} \frac{c - d}{c} E_s \leq F_y$$

Para determinar la fuerza de compresión del bloque de mampostería se tiene un ancho, $a=0.85c \leq a$ la longitud del muro. Y en consecuencia la resultante a compresión en la mampostería es:

Ecuación 4.37 $C = 0.85 f'_m a t$



Después de calcular la fuerza en cada barra y en el bloque en compresión de mampostería, se calcula la fuerza nominal P_n , que el muro puede soportar, de la siguiente manera:

Ecuación 4.38

$$P_n = 0.85 f'_m at + \sum_{i=1}^n A_{si} f_{si}$$

Se calcula el valor del momento nominal M_n , de la siguiente manera:

Ecuación 4.39

$$M_n = 0.85 f'_m at \left(\frac{l}{2} - \frac{a}{2} \right) + \sum_{i=1}^n A_{si} f_{si} \left(\frac{l}{2} - d_i \right)$$

Siempre que la distancia a cada barra d_i sea menor o igual a la longitud del muro.

Luego se multiplican por su correspondiente valor de ϕ Según 4.2.3.2. Y se grafica la pareja de valores. Esto repite dependiendo del número de valores de C que haya propuesto.

Por último se chequean los valores de P_u y M_u , en el diagrama de interacción. Si estos valores están fuera del diagrama, se aumenta A_{st} . Pero, si están dentro, quiere decir, que el muro de prueba cumple con las exigencias.

La norma propone dos ecuaciones para determinar el momento resistente para muros con barras longitudinales colocadas simétricamente en sus externos.

El momento flexionante resistente de diseño de la sección, M_u , se calcula de acuerdo con las ecuaciones:



$$M_u = F_R A_s F_y d' + 0.3 P_u d \quad \text{si } 0 \leq P_u \leq \frac{\phi P_n}{3}$$

$$M_u = \left(1.5 F_R A_s F_y d' + 0.15 \phi P_n d \right) \left(1 - \frac{P_u}{\phi P_n} \right) \quad \text{si } 0 \leq P_u \leq \frac{\phi P_n}{3}$$

Donde:

- $A_s F_y d'$ resistencia a flexión pura del muro.
- A_s es área total de acero de refuerzo longitudinal colocada en los extremos.
- D' es la distancia entre los centroides del acero colocado en ambos extremos.
- D' es la distancia entre el centroide del acero de tensión y la fibra a compresión máxima.
- P_u carga axial de diseño a compresión, cuyo valor se tomara con signo positivo.
- F_R se tomara igual a 0.8, si $P_u \leq \phi P_n / 3$ e igual a 0.6 en caso contrario.

Estas ecuaciones dan valores aproximados y conservadores del momento flexionante resistente de diseño.

Una vez que se ha determinado M_n y se compara en el diagrama de interacción, si la falla predominante del muro es la flexión, la resistencia nominal a flexión del muro M_n debe ser cumplir con:

Ecuación 4.42 $M_n \geq \alpha M_{cr}$



Donde $a = 1.8$ para mampostería con todas las celdas inyectadas con mortero de relleno, $a = 3.0$ para mampostería de cavidad reforzada y mampostería reforzada con solo las celdas con refuerzo inyectada. El valor de M_{cr} es el momento de agrietamiento.

Ecuación 4.43
$$M_{cr} = \frac{bl_w^2}{6} f_r$$

Y donde f_r se encuentra en la siguiente tabla:

Tipo de mampostería	f_r
Mampostería totalmente inyectada	$0.33\sqrt{f'_m} \leq 1.6MPa$
Mampostería solo inyectada las celdas con refuerzo	$0.21\sqrt{f'_m} \leq 0.8MPa$
Mampostería de cavidad reforzada	$0.17\sqrt{f'_m} \leq 0.8MPa$

4.7 Diseño de muros a cortante

4.7.1 Resistencia a cortante en la dirección paralela al plano del muro

En el diseño de muros de mampostería en la dirección perpendicular a su plano, se debe cumplir que la fuerza cortante que actúa en esa dirección sea menor que la resistencia a cortante nominal afectado por su correspondiente factor de reducción de resistencia, como se ilustra a continuación.

Ecuación 4.44

$$V_u \leq \phi V_n$$



Ecuación 4.43

Donde V_n es igual a:

$$V_n = V_m + V_s$$

Si $V_u \geq \phi V_m$, entonces, el refuerzo debe tomar todo el esfuerzo

El cortante nominal que resiste la mampostería, V_m , se calcula utilizando las expresiones dadas. Donde M es el momento que ocurre simultáneamente con V en la sección bajo consideración, y d puede tomarse como $0.81w$ en ausencia de un análisis de compatibilidad de deformaciones.

Tabla 18. Valor del cortante nominal resistido por la mampostería

$\frac{M}{Vd}$	V_m
$0.25 \geq \frac{M}{Vd}$	$V_m = 0.20A_{mv}\sqrt{f'_m}$
$0.25 < \frac{M}{Vd} < 1.0$	$V_m = \left[0.23 - 0.13\left(\frac{M}{Vd}\right) \right] A_{mv}\sqrt{f'_m}$
$\frac{M}{Vd} \geq 1.0$	$V_m = 0.10A_{mv}\sqrt{f'_m}$

Donde A_{mv} , es el área neta del alma de la sección, para cortante en la dirección paralela al plano del muro. Generalmente $A_{mv} = b_l w$, siendo b el ancho efectivo del alma. Cuando hay concentraciones de celdas inyectadas con mortero de relleno en los extremos del muro, el ancho efectivo para este propósito debe calcularse en la zona central del alma.



El cortante nominal resistido por el esfuerzo horizontal de cortante V_s se calcula utilizando la siguiente ecuación.

Ecuación 4.46
$$V_s = \rho_n f_y A_{mv}$$

Ecuación 4.47
$$\rho_n = \frac{A_v}{sb}$$

A_v es el área del refuerzo horizontal que resiste cortante, separado una separación S medida verticalmente, colocado dentro de elementos horizontales embebidos dentro del muro.

Calculado el cortante nominal se chequea, con los valores máximos que establece la RNC-07.

$\frac{M}{Vd}$	Máximo valor permitido para V_n
$0.25 \geq \frac{M}{Vd}$	$0.50 A_{mv} \sqrt{f'_m} \leq 2.7 A_{mv}$
$0.25 < \frac{M}{Vd} < 1.0$	$\left[0.56 - 0.23 \left(\frac{M}{Vd} \right) \right] A_{mv} \sqrt{f'_m} \leq \left[3.0 - 1.3 \left(\frac{M}{Vd} \right) \right] A_{mv}$
$\frac{M}{Vd} \geq 1.0$	$0.33 A_{mv} \sqrt{f'_m} \leq 1.7 A_{mv}$

Si el cortante nominal del muro, V_n , excede el cortante que se produce con la resistencia nominal a flexión del muro, M_n existe la posibilidad de que se desarrolle una articulación plástica en la base del muro y deben adoptarse precauciones especiales dentro de la región que va desde la base del muro hasta una altura igual a l_w . Todas las secciones dentro de esta región deben tener una resistencia nominal al cortante igual a:

Ecuación 4.48
$$V_n = V_s$$



La resistencia al corte requerido V_u para esta región puede determinarse con base en el momento resistente M_n en una sección localizada a una altura igual a $l_w/2$, pero no más de medio piso por encima de la base del muro. La separación, s , del refuerzo horizontal de cortante dentro de esta región comprendida entre la base y una altura igual a l_w , no puede exceder tres veces el ancho nominal de muro, t , ni 600 mm. En el resto del muro hacia arriba, la resistencia nominal al cortante puede determinarse por medio de la ecuación 4.43.

4.7.2 Resistencia a cortante en la dirección perpendicular al plano del muro.

Se debe chequear que la fuerza cortante que actúa en la dirección perpendicular al plano del muro cumpla con:

Ecuación 4.49

$$V_u \leq \phi V_n$$

Ecuación 4.50

$$V_n = \frac{1}{6} A_{mv} \sqrt{f'_m}$$

Donde A_{mv} es área efectiva a cortante, que es igual a A_e ($A_{mv}=A_e$), excepto cuando se emplea mortero de pega solo en las paredes laterales de la unidad de perforación vertical.

4.8 Diseño de muros confinados.

Los procedimientos expuestos anteriormente para diseño de muros, no contemplan el diseño de muros de mampostería estructural. Por lo que, a continuación se dará



una descripción del diseño de muros confinados de mampostería, siguiendo la RNC-07.

4.8.1 Suposiciones de diseño

- Las suposiciones dadas en 4.2.1 son aplicables para el análisis de muros de mampostería.
- Se debe considerar que el muro es un elemento homogéneo que incluye la porción de mampostería y los elementos de confinamiento. Las propiedades mecánicas del muro, como conjunto, se describen a través de la mampostería, las cuales, a su vez, deben las que se describen en 4.2.2.
- En la determinación de las características dimensionales efectivas, se debe considerar que los elementos de confinamiento son equivalentes a celdas inyectadas con mortero.

4.8.2 Valores de Φ para reducción de resistencias nominales

- | | |
|---|-------------|
| ➤ Carga axial de compresión, con o sin esfuerzo | $\Phi=0.70$ |
| ➤ Carga axial de tracción. | $\Phi=0.90$ |
| ➤ Flexión sin carga axial. | $\Phi=0.90$ |
| ➤ Cortante | $\Phi=0.60$ |

4.8.3 Diseño para carga axial de compresión.

El muro se diseña como si fuera homogéneo (ecuación 4.20) y el área de acero requerido se coloca en el acero longitudinal de elemento de confinamiento. Cuando se requiera verificar las resistencias axiales de los elementos verticales de confinamiento se puede hacer de la siguiente manera:



- **Resistencia nominal a compresión:**

$$P_{nc} = 0.68 f'_c (A_{ci} - A_{st}) + 0.8 f'_y A_{st}$$

- **Resistencia nominal a tracción:**

$$P_{nd} = -f_y A_{st}$$

Se debe verificar que la resistencia a la compresión de la mampostería sola

P_{nd}

$$P_{nd} = 0.68 f'_m A_{md} R_e$$

Donde R_e se determina con la ecuación 4.18 A_{md} es el área efectiva de la sección.

4.8.4 Diseño para fuerzas perpendiculares al plano del muro

4.8.4.1 Diseño a flexo-compresión

- Se ignora la contribución de la mampostería.
- El diseño se realiza con base en la teoría del hormigón.
- La anchura efectiva es la dimensión del elemento vertical, en la dirección del muro.
- La carga axial última P_u , utilizada sobre los elementos verticales de confinamiento debe ser dos veces la carga obtenida con base en el área de todo el muro. A menos que se convierta el área de la mampostería en su equivalente en área de hormigón, de acuerdo con las diferencias en los módulos de elasticidad.



4.8.4.2 Diseño a Cortante

El diseño a cortante debe hacerse a un muro de mampostería reforzada, por lo tanto cortante último V_u es igual a:

Ecuación 4.54

$$V_u \leq 0.6V_n$$

Si el cortante nominal de la sección V_n

Ecuación 4.55

$$V_n = \frac{1}{6} A_{mv} \sqrt{f'_m}$$

4.8.5 Diseño para fuerzas paralelas al plano del muro

4.8.5.1 Diseño a flexo-compresión

- Resistencia a flexo-compresión teniendo en cuenta la contribución de la mampostería.

El momento de diseño M_u , que acompaña la carga axial P_u , debe cumplir la siguiente condición.

Ecuación 4.54 $M_u = 0.7M_n$

El momento nominal, M_n , se obtiene de un diagrama de interacción que tiene en cuenta la carga axial sobre el muro, y cumple con la hipótesis de diseño ya expuestas.



- Resistencia a flexo-compresión despreciando la contribución de la mampostería:

En este procedimiento se desprecia la compresión de la mampostería a la resistencia a flexo-compresión del muro. Entonces deben calcularse las fuerzas solicitadas máximas, de compresión P_{uc} y de tracción P_{ut} sobre cada columna de confinamiento, por medio de las siguientes ecuaciones:

Ecuación 4.57

$$P_{uc} = \frac{A_{ci}}{A_{ct}} P_u + \Delta P_{ui}$$

Ecuación 4.58

$$P_{ut} = \frac{A_{ci}}{A_{ct}} P_u - \Delta P_{ui} \leq 0$$

Donde P_u y ΔP_{ui} son siempre positivas, y ΔP_{ui} se obtiene por medio de la siguiente ecuación:

Ecuación 4.59

$$\Delta P_{ui} = \left| \frac{M_u A_{ci} (x_i - \bar{x})}{I_{ct}} \right|$$

Donde:

Ecuación 4.60

$$A_{ct} = \sum_i A_{ci}$$



Ecuación 4.61

$$\bar{x} = \frac{\sum_i A_{ci} x_i}{A_{ct}}$$

Ecuación 4.62

$$I_{ct} = \sum_i A_i \left(x_i - \bar{x} \right)^2$$

Cuando se trata de un muro confinado que tiene únicamente dos columnas de confinamiento iguales en los bordes.

Ecuación 4.63

$$P_{uc} = \frac{P_u}{2} + \Delta P_u$$

Ecuación 4.64

$$P_{ut} = \frac{P_u}{2} - \Delta P_u \leq 0$$

Donde P_u y ΔP_u son siempre positivas, y ΔP_u se obtiene por medio de la siguiente ecuación:

Ecuación 4.65

$$\Delta P_u = \frac{M_u}{l_w}$$



Después de calculado P_{uc} y P_{ut} en cada columna de confinamiento del muro deben cumplirse las condiciones siguientes:

Ecuación 4.66

$$P_{uc} \leq \phi P_{nc}$$

Ecuación 4.67

$$P_{ut} \leq \phi P_{nt}$$

4.8.5.2 Diseño a cortante

En los muros de mampostería de confinados, toda la fuerza cortante sobre el muro debe ser por tomada por la mampostería, y se supone que no hay contribución a la resistencia a cortante por parte de los elementos de confinamiento.

La resistencia de diseño a cortante V_u , debe cumplir la siguiente relación:

Ecuación 4.68

$$V_u \leq 0.6V_n$$

Y la resistencia nominal a cortante por tracción diagonal, se obtiene de:

Ecuación 4.69

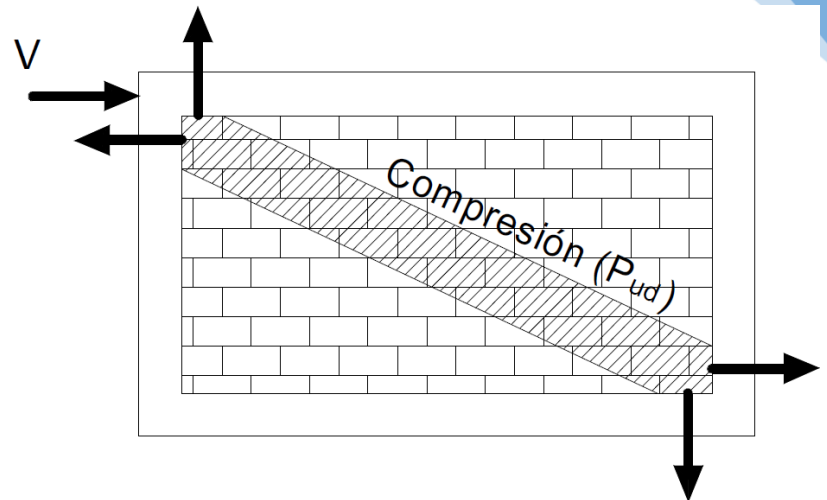
$$V_n = \left(\frac{1}{12} \sqrt{f'_m} + \frac{P_u}{3A_e} \right) A_{mv} \leq \frac{1}{6} \sqrt{f'_m} A_{mv}$$

Donde P_u es la carga axial mayorada que actúa simultáneamente con la máxima fuerza cortante mayorada solicitada, V_u , para la cual se realizó en diseño.

Figura 54. Cortante en los elementos de confinamiento, por causa de la biela de compresión.



Los muros transmiten las cargas laterales hacia su cimentación a través de una biela de compresión. Por lo tanto debe chequearse el aplastamiento en el alma del muro y el cortante de los elementos de confinamiento.



En el primer caso, por aplastamiento del alma, se debe chequear que:

Ecuación 4.70

$$P_{ud} \leq (0.68 f'_m A_{md}) \left(1 - \left(\frac{h'}{40t} \right)^3 \right)$$

Donde P_{ud} y A_{md} son iguales a:

Ecuación 4.71

$$P_{ud} = \frac{h'}{l_w} V_u$$

Ecuación 4.72

$$A_{md} = \left(\frac{h'}{5} \right) t$$

En el segundo caso, se debe de chequear que:

Para las columnas de confinamiento



Ecuación 4.73

$$V_{uc} = \frac{l_c}{2l_w} V_u \leq 0.6V_{nc}$$

Para las vigas de confinamiento

Ecuación 4.74

$$V_{uc} = \frac{h_p}{2l_w} V_u \leq 0.6V_{nc}$$

La componente horizontal de biela de compresión que actúa en la diagonal del muro debe ser resistida con fuerza de tracción en la viga de confinamiento que llega a la misma esquina del paño del muro donde actúa la biela de compresión.

La fuerza de tracción es igual a la fuerza cortante que lleva el paño del muro, por tanto:

$$P_{ut} = -\frac{l_c}{l_w} V_u \leq -0.7 f_y A_{st}$$

Ejemplo de Muro

Se debe revisar la magnitud del esfuerzo producido en la base de un muro de bloque 20 x 20 x 40 con altura de 3 metros, soportando una carga de 3 t/m, la resistencia de los bloques f'm de 95 kg/cm².

Procedemos a calcular la sección transversal efectiva.

$$A = 20 \times 40 \times 2.5 \times 0.508 = 1016$$



La carga total debe incluir el peso propio, para lo cual determinamos el número de bloque por m, horizontalmente $1/0.4 = 2.5$ y verticalmente $3/0.2 = 15$.

$$\text{Peso } 2.5 \times 15 \times 0.2 \times 253 = 1898 \text{ Kg}$$

Y el esfuerzo será

$$\sigma = \frac{4898}{1016} = 4.82 \leq 9.8 \text{ Es lo permitido}$$

Encontrar la carga máxima posible con seguridad 1.5

Esfuerzo admisible $9.8 / 1.5 = 6.53$ Carga total $1016 \times 6.53 = 6634 \text{ Kg}$.

Restando el peso $6634 - 1898 = 4736 \text{ Kg} = 4.37 \text{ t}$



5. ANÁLISIS Y DISEÑO DE VIGAS Y COLUMNAS.

5.1 Definición de vigas

La viga es un elemento estructural muy resistente empleado en las construcciones para dar soporte a los techos y/o asegurar la estructura. Puede ser elaborado de madera, de hormigón armado, y de hierro; donde su resistencia da a lugar tensiones de compresión, tracción, y de torsión, esta última ocurre al colocar la viga en la parte exterior del forjado. También se define como una estructura horizontal empleada para aguantar la carga entre dos apoyos sin general un empuje lateral en estos. A su vez se define como la estructura que sostiene y transmite cargas transversales a las que se encuentran sometido.

Es decir son miembros estructurales sometidos a cargas laterales; es decir a fuerzas o momentos que tienen sus vectores perpendiculares al eje de la barra.

5.2 Clasificación de vigas

Vigas de aire Refiere al tipo de viga que únicamente se sostiene en sus extremos.

Vigas reticuladas También conocidas como vigas de celosía. Esta se forma al entrecruzar barras con el fin crear ciertos nudos.



5.2.1 Vigas de Nivelación

Es el tipo de viga sé que emplea como cimiento en determinadas superestructuras.



5.2.2 Vigas Maestras

Son empleadas para aguantar las cabezas de maderos o maderas que se ubican de manera horizontal; la misma suele colocarse sobre columna y pilares. También es empleada como soporte de los cuerpos superiores edificio.



5.2.3 Vigas de acero L

Es la más empleada en la construcción de grandes edificios, de centros comerciales y demás grandes estructuras, donde muestra la forma de una “L” desde uno de su costado.



5.2.4 Vigas Hip

Son las vigas que se utilizan en combinación de otras vigas de carga, para proporcionar mayor apoyo. Son muy empleadas en la construcción de residenciales. A su vez puede dar paso a la ramificación de nuevas vigas a partir de esta. Se suele ubicar en aquellos puntos críticos de techos de viviendas.



5.2.5 Vigas “I” También conocidas como vigas “H”.

Están formadas por dos bridas planas en dirección horizontal, que encierra una viga vertical que es conocida como red. La combinación de estas vigas logra distribuir perfectamente el peso de forma equitativa. Estas se elaboran en base a acero y son empleadas en construcciones comerciales y residenciales.



5.2.6 Vigas Flitch

Son vigas elaboradas en capas superpuestas de madera, metal y acero. Se pueden clavar fácilmente en otras estructuras gracias a los perfiles de madera, a su vez las capas de metal le hacen ser mucho más resistente y le hace soportar mayor peso. Vigas de madera laminada Estas vigas son muy comunes en el sector de la construcción para erigir edificaciones públicas, son elaboradas con maderas comprimidas y a la vez superpuestas de 2 pulgadas de espesor.



Vigas de madera laminada chapada a la vez se forman por madera superpuestas y comprimidas, pero esta vez se emplea madera enchapada de 4,4 centímetro. Es muy utilizada para soportar las cargas de las paredes del exterior de las edificaciones.

5.2.7 Vigas de caja

Son elaboradas en base a madera enchapada, a la cual se le agrega trozos de madera con el objetivo de formar una caja. Estos trozos pueden ser de 2 por 4, o de 2 por 6; y son añadidas mediante el pegado o el clavado.



5.2.8 Vigas de madera

Estas vigas eran las empleadas desde antaño, donde se utiliza para su elaboración tronco de árboles. Son muy empleadas en la construcción de casas de madera.



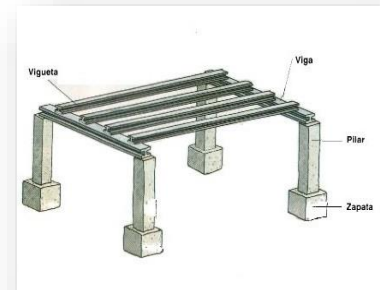
5.2.9 Vigas de soporte

Empleadas en puentes, balcones y en las ventanas con el objetivo de redistribuir el peso de las vigas principales del inmueble.



5.2.10 Vigas de Viguetas

Es un tipo de viga que se suelen emplear en el exterior, como soporte de cimientos para el piso y como soporte del techo de edificios. Su grosor y ubicación en la edificación dependerá de la cantidad de peso que deberá soportar. Dinteles Son empleados en paredes de mamposterías para aguantar las ventas y puertas, por lo cual se coloca por encima de las aberturas de ciertas paredes.



5.2.11 Vigas de Tímpano

Refiere aquellas vigas empleadas en paredes exteriores para aguantar su lialidad y su peso. Al igual son usadas en el techo los pasillos de edificaciones. Largueros como su nombre lo indica son vigas que se colocan a todo lo largo de un camino de un puente. Se suelen apreciar en construcciones de acueductos, viaductos, pasaderos y soterramientos.



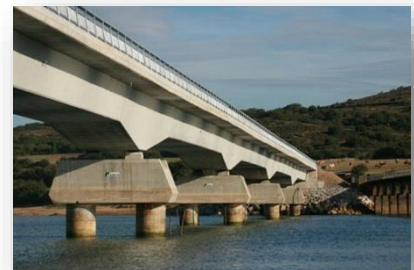
5.2.12 Viga de Pilares

Son vigas que suelen visualizar como columnas que sobresalen de la construcción. Estas además de sostener el peso superior de la edificación, también cimienta el extremo inferior. Armaduras Son las vigas que se crean al unirse dos vigas.



5.2.13 Vigas continuas.

Las vigas continuas tienen apoyos adicionales, por lo que requieren enfoques diferentes cuando se trata de analizar las fuerzas y los momentos de reacción. Estas vigas se llaman estéticamente indeterminadas.



5.2.14 Vigas Aéreas

Cuando van construidas o apoyadas únicamente sobre dos o más apoyos.



5.2.15 Viga Corona

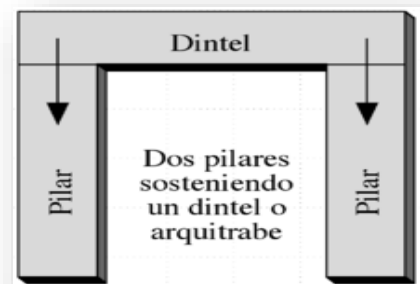
Cuando van construidas en la parte superior de las paredes. En esta viga va anclado el sistema de estructural de techo.



5.2.16 Viga Dintel

Esta es la viga es la que va en la parte superior de puertas y ventanas la cual contribuye a dar más rigidez y resistencia al vano. 6.5.3

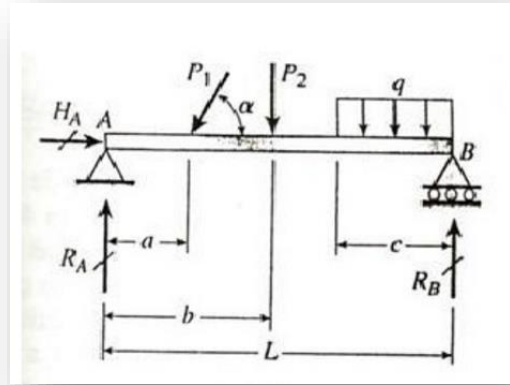
Muros Los muros son los cerramientos verticales para los marcos de las edificaciones que sirve también para dividir espacios, y a su vez soportar ciertas cargas gravitacionales y laterales. No son en general o necesariamente hechos de concreto sino de cualquier material que llene estéticamente la forma y necesidades funcionales del sistema estructural.



5.3 Las vigas según el modo en que están sometidas

5.3.1 Viga Simple

La viga simple es una viga con un soporte de pasador en un extremo y un soporte o apoyo de rodillo en el otro. La característica esencial de un soporte de pasador es que impide la traslación en el extremo de una viga pero no su rotación. El extremo A de la viga en la figura (a) no puede moverse en sentido horizontal o vertical, pero el eje de la viga puede girar en el plano de la figura.

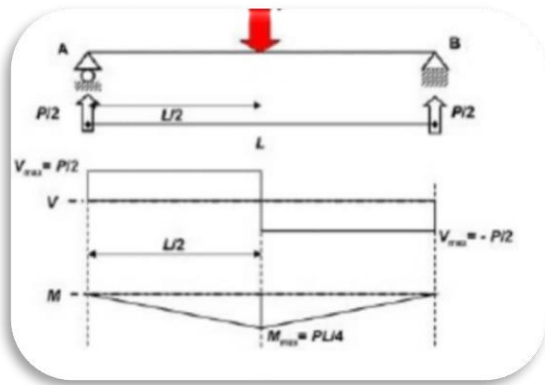


En consecuencia, un soporte de pasador es capaz de desarrollar una reacción de fuerza con componentes horizontal y vertical (H_A y R_A), pero no puede desarrollar una reacción de momento. En el extremo B de la viga en la figura (a), el soporte de rodillo impide la traslación en dirección vertical pero no en la horizontal; por tanto, ese apoyo puede resistir una fuerza vertical (R_B) mas no una fuerza horizontal. Por supuesto, el eje de la viga puede girar en B y en A.



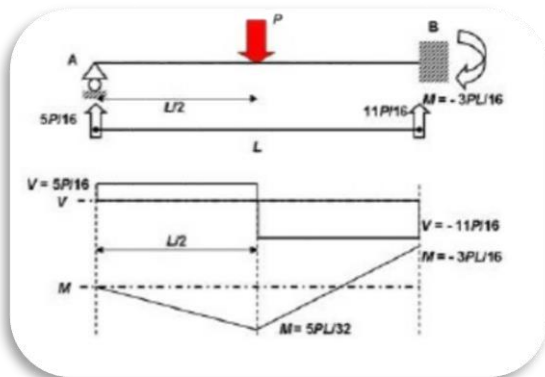
Las reacciones verticales en los soportes de rodillo y en los soportes de pasador pueden actuar ya sea hacia abajo o hacia arriba y la reacción horizontal en un soporte de pasador puede actuar ya sea hacia la izquierda o hacia la derecha. En las figuras, las reacciones se indican por diagonales que atraviesan las flechas para distinguirlas de las cargas.

Caso 1:



Viga simplemente apoyada (Isostática) con carga puntual en el centro de la luz. Las reacciones son idénticas, debido a la posición simétrica de la carga respecto de los apoyos (que además actúan de igual manera, es decir, absorbiendo cargas verticales), recibiendo cada una de ellas la mitad de la carga puntual.

Caso 2:



Viga con empotramiento y rodillo (Hiperestática de Grado 1) con carga puntual en el centro de la luz.



6. Columnas

Una columna es una pieza arquitectónica vertical y de forma alargada que sirve, en general, para sostener el peso de la estructura, aunque también puede tener fines decorativos. De ordinario su sección es circular; cuando es cuadrangular suele denominarse pilar o pilastra. La columna está comúnmente formada por tres elementos: basa, fuste y capitel.

TIPOS DE APOYO

- a) Apoyo Empotrado
- b) Apoyo Móvil o de Rodillo
- c) Apoyo Simple
- d) Apoyo de Palanca



Los tipos de columnas son elementos arquitectónicos alargados y estructurales que pueden cumplir fines estructurales y decorativos. La forma de las columnas es circular, y se compone por el capitel (parte superior), el fuste (parte que se encuentra

entre los dos extremos) y la basa (parte que marca el punto de apoyo). Pueden existir distintas clasificaciones, dependiendo de la función de las mismas:

6.1 Clasificación de columnas

6.1.1 Columna Exenta

También denominada aislada, es aquella que está separada del esqueleto de la construcción principal. Queda exenta de cualquier elemento vertical de la edificación.



6.1.2 Columna Adosada

Es la que está pegada a las paredes o algún otro elemento de la construcción. Cumple funciones estructurales como también de decoración.



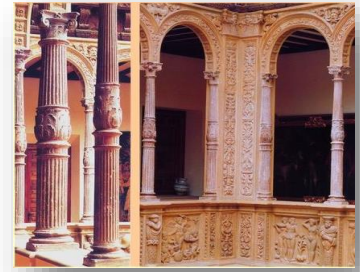
6.1.3 Columna Embebida

Es la que parece estar embutida en un muro o en cualquier otro elemento de la construcción. A diferencia de la adosada, la columna embebida generalmente se incluye en las edificaciones en grupos, y cumple funciones principalmente estructurales.



6.1.4 Columna Abalaustrada

Es aquella cuyo fuste posee la forma de un balaustre. Su contorno tiene distintos grosores en su recorrido, y pueden incluir también pequeños elementos a modo de decoración. Es una estructura propia del Renacimiento en general, y de la arquitectura renacentista española del siglo XVI en particular. Esta columna torneada es empleada para la decoración de barandilla.



Columna Fajada

Es la que tiene el fuste constituido por piedras labradas y rústicas, conjuntamente. También se caracteriza por los cilindros del mismo material, menos o más pequeños, dependiendo de la decoración y el modelo perseguido.



6.1.5 Columna Fasciculada

Está constituida por delgados fustes, sobre un capitel y una basa en común. Son varias columnas en una sola, al golpe de la vista.



6.1.6 Columna Geminada

Es aquella formada por dos fustes gemelos que siguen la misma dirección y que comparten el capitel.



6.1.7 Columna Historiada

Es la que tiene el fuste decorado. Recibe este nombre porque, nacida durante el esplendor del estilo barroco, se utilizaba para desarrollar en ella el curso de la historia que buscaba perpetuarse. Las construcciones se pensaban para la eternidad, y decorar el fuste de las columnas era una manera de eternizar los hechos del pasado.



6.1.8 Columna Rostrada

Es la que en el fuste tiene decoraciones de popas y proas de barcos.



6.1.9 Columna Ofídica

Es una de las más llamativas desde el punto de vista artístico. Se constituye de un fuste con dos cilindros enlazados, que se confunden en una misma dirección. Su utilización fue común en las columnas eclesiásticas del periodo iluminista.



6.1.10 Columna Salomónica

Se forma por un fuste espiralado. A diferencia del modelo de columna ofídico, que se forma de dos cilindros entrelazados, la arquitectura salomónica compromete un solo cilindro, y el espiral se forma sobre un mismo eje sobre la basa.



6.1.11 Columna Torsa

Está construida con un fuste de apariencia espiralado, que la recorre de arriba abajo formando estrías. No respeta la arquitectura del modelo salomónico, sino que sobre un cilindro convencional se decoran las estrías.



Ejemplo de columna.

Columna de mampostería a flexo C.

Carga 14 ton =P, m= 0.4 tm, altura = 3.2 cm

$f'_m = 105$ $f_s = 1400 \text{ Km/cm}^2$ $n = 40$

Proponemos una columna 30 x 30 cm

Reforzada con 4 \neq 4 (5.08 cm²)

$$P_g = \frac{5.8}{900} = 0.56\%$$

Capacidad solo comprensión

$$P = A_g [0.18 f'_m + 0.65 \times 0.56 \times 14]$$

La esbeltez no cuenta.

$$P = 900 [0.18 \wedge 105 + 5.10] = 21.6 \text{ ton}$$


Flexocompresion



7. CONCLUSIONES.

- El Reglamento de la Construcción de Nicaragua (RCN) y la Cartilla de la Construcción de Nicaragua (CCN), especifican las condiciones y los Reglamentos que se deben de tener en cuenta al momento de construir con mampostería y a la vez en estos se encuentran tablas de unidades de mampostería, pero en comparación a los diferentes Reglamentos de Construcción de otros país de Latinoamérica como México y Colombia que tiene características similares en cuanto a sismos se trata, hace falta más información y tabla con datos específicos de la mampostería que puedan ser de ayuda al momento de construir con mampostería.
- Dada las características sísmicas de nuestro país la mampostería es una de las principales formas de construcción y una de las más económicas.
- La propiedad física más importante del mortero de pega es la adherencia ya que como se mencionó anteriormente el mortero tiende a desarrollar esfuerzos de tracción producido por cargas de estructuras, los sismos y el viento, cambio de volumen y el cambio de temperatura.
- La resistencia a la compresión del mortero de pega f'_{cp} , por si solo no influye notablemente el valor de la resistencia a compresión del muro de mampostería pero si en sus propiedades de deformidad y adherencia ya que ejerce un efecto de restricción de la deformación lateral de la unidad.
- La deformidad del mortero resulta importante en la relación j/h y por lo tanto en la resistencia de los muros de mampostería, entre más bajo sea el valor de j/h menores son las tracciones en la unidad y la resistencia a compresión del muro, es casi igual a la de las unidades de mampostería.



- 
- Los muros en voladizos no resultan apropiadas para los casos en donde los elementos de acoplamiento tengan además de una gran rigidez axial un rigidez a flexión significativa. Esto es importante cuando se diseñan edificaciones en mampostería confinada.
 - Dependiendo de las dimensiones de las vigas de confinamiento, se pueden presentar estas condiciones, el diseño de muro de mampostería no es tan crítico al chequeo por carga axial como el chequeo por flexión, la razón es que las cargas axiales producto del peso de los elementos y las cargas vivas son pequeñas, y el cortante producto de las fuerzas horizontales genera un momento considerable, que pone a trabajar el muro a flexión.



8. BIBLIOGRAFÍA

- Altamirano, B. (2016). *Apuntes de Investigación*. Managua: Gaceta.
- Beltrán, G. G., & Sanabria, I. C. (Agosto de 2016). *Escuela de Mampostería*. Obtenido de <http://www.lanamme.ucr.ac.cr/mamposteria/index.php/seminario-introduccion-a-la-mamposteria-de-concreto-reforzada>
- Civil, I. (15 de Diciembre de 2016). *masonry construction*. Obtenido de www.linguee.es/ingles-espanol/traduccion/masonry+construction.html
- Nicaragua, C. (2011). *Cartilla de la Construcción Nicaragua*. Managua- Nicaragua: Gaceta.
- Nicaragua, R. N. (3 de Noviembre de 2016). *Structural alternaative of horizontal reinforcement in masonry walls*. Obtenido de www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692...
- Sánchez, L. P. (23 de 03 de 2011). Obtenido de <http://es.slideshare.net/isoldaruiz5/tesina-casa-mamposteria-confinada>





ANEXOS



Normas Jurídicas de Nicaragua

Materia: Infraestructura
Rango: Normas Técnicas

NORMA TÉCNICA OBLIGATORIA NICARAGÜENSE. FABRICACIÓN DE BLOQUES DE CONCRETO

NTON 12 008-09. Aprobada 01 de Septiembre del 2009

Publicada en la Gaceta No. 243 del 21 de Diciembre del 2010

La Norma Técnica Nicaragüense denominada NTON 12 008 - 09 Fabricación de Bloques de Concreto, ha sido preparada por el Comité Técnico de Transporte, Construcción e Infraestructura y en su elaboración participaron las siguientes personas:

Evangelina López	CEMEX
Evelyn Fuentes	HOLCIM
Juan Marcos Arauz	Arenas S.A
Diógenes Ríos	Arenas S.A
Vladimir Tercero	Concretera Total
Ana verónica Pérez	Cámara Nicaragüense de la Construcción CNC
Rodrigo Pereira Reyes	Cámara Nicaragüense de la Construcción CNC
Juergens Lacayo	Ministerio de Transporte e Infraestructura MTI

Oscar Dávila	Ministerio de Transporte e Infraestructura MTI
Helman Taleno	Ministerio de Transporte e Infraestructura MTI
Evert Antonio Rivera	Ministerio de Transporte e Infraestructura MTI
Álvaro Corea	Instituto Nicaragüense del Cemento y del Concreto
Denis Saavedra	Ministerio de fomento, Industria y Comercio MIFIC
Oscar López	Ministerio de fomento, Industria y Comercio MIFIC

1. OBJETO

Establecer los requisitos físicos y mecánicos de los bloques de concreto que se utilizan en las construcciones civiles, así como los procedimientos para el control de calidad de los mismos.

2. CAMPO DE APLICACIÓN

Aplica a los bloques que se utilizan en la construcción de obras civiles, tanto como elemento estructural para la construcción de paredes, como no estructural.

3. DEFINICIONES

3.1 Área Bruta. El área bruta de los bloques será el área total incluyendo las celdas, medidas en el plano perpendicular a la dirección de las cargas gravitacionales

3.2 Área Neta. El área neta de los bloques será el área bruta excluyendo el área de las celdas, medidas en el plano perpendicular a la dirección de las cargas gravitacionales.

3.3 Bloque de Concreto. Es un cuerpo prismático sólido o con huecos, utilizado para conformar la mampostería, fabricados de cemento Portland o Modificado, agua y agregados minerales con o sin la inclusión de otros materiales.

4. CLASIFICACIÓN DE LOS BLOQUES DE CONCRETO

4.2 Bloque Estructural 2 (BE - 2). Bloque hueco o sólido con características tales que permiten su uso para los sistemas constructivos de mampostería confinada y reforzada, con una resistencia de compresión mínima de 7.51 MPa (1 090 psi) con respecto al área neta y a utilizarse en las zonas sísmicas A y B del Reglamento Nacional de Construcción de Nicaragua

4.3 Bloque No Estructural (BNE). Bloque hueco o sólido que se utiliza en la construcción de elementos no estructurales, con una resistencia de compresión mínima de 5.04 MPa (732 psi) respecto al área neta.

4.4 Bloque Especial. Bloque sólido o hueco estructural que se utiliza para condiciones especiales y que debe de cumplir con requerimientos de dimensiones, resistencia y absorción aprobados por el MTI.



5. PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LOS MATERIALES CONSTITUYENTES

5.1 Cemento. Cemento **Pórtland** o **Pórtland Modificado**, los que deben cumplir con las especificaciones ASTM C150 ó ASTM C1157, respectivamente.

5.2 Agregados. Agregado Grueso (Piedra natural o grava triturada): El agregado grueso debe cumplir con la norma ASTM C 33.

Agregado Fino (Arena natural o fabricada). El agregado fino debe cumplir con la norma ASTM C 33

5.3 Agua. El agua que se utilice para la fabricación de bloques de concreto debe ser potable o que cumpla los requisitos de ASTM C 1602.

5.4 Otros Minerales. Los bloques de concreto pueden tener otros agregados tales como cal hidratada, pigmentos colorantes, repelentes, sílice natural, entre otros, siempre que no disminuyan la resistencia y durabilidad de los mismos.

6. REQUISITOS FÍSICOS Y MECÁNICOS DE LOS BLOQUES DE CONCRETO

6.1 Requisitos Físicos.

6.1.1 Dimensiones de los Bloques. Las dimensiones nominales y reales de los bloques son los establecidos en la tabla 1

Tabla 1.
Dimensiones nominales y reales de los bloques

Tipo de bloque	Largo Nominal cm	Largo Real cm	Ancho Nominal cm	Ancho Real cm	Alto Nominal cm	Alto Real cm
BE-1 de 10 cm	40	39	10	10	20	19
BE-1 de 15 cm	40	39	15	15	20	19
BE-1 de 20 cm	40	39	20	20	20	19
BE-1 de 25 cm	40	39	25	25	20	19
BE-1 de 30 cm	40	39	30	30	20	19
BE-2 de 10 cm	40	39	10	10	20	19
BE-2 de 15 cm	40	39	15	15	20	19
BE-2 de 20 cm	40	39	20	20	20	19
BE-2 de 25 cm	40	39	25	20	20	19
BE-2 de 30 cm	40	39	30	20	20	19
BNE de 10 cm	40	39	10	10	20	19
BNE de 15 cm	40	39	15	15	20	19

Tabla 2.
Espesores mínimos de las paredes externas e internas de los bloques

Tipo de bloque	Espesor mínimo de la pared externa (mm)	Espesor mínimo de la pared interna (mm)
BE-1 de 10 cm	25	25
BE-1 de 15 cm	25	25
BE-1 de 20 cm	30	25
BE-1 de 25 cm	35	30
BE-1 de 30 cm	40	30
BE-2 de 10 cm	25	25
BE-2 de 15 cm	25	25
BE-2 de 20 cm	30	25
BE-2 de 25 cm	35	30
BE-2 de 30 cm	40	30
BNE de 10 cm	25	25
BNE de 15 cm	25	25

Tabla 3.
Valores Máximos de absorción según tipo de bloque

Tipo de bloque	Valor máximo en un bloque (%)
Bloque BE-1	10
Bloque BE-2	12
Bloque BNE	15

Tabla 4.
Clasificación de bloques de acuerdo a su densidad

Tipo de bloque	Bloque de peso ligero (kg/m3)	Bloque de peso mediano (kg/m3)	Bloque de peso normal (kg/m3)
Bloque BE-1	Hasta 1682	De 1682 hasta menos de 2000	Más de 2000
Bloque BE-2	Hasta 1682	De 1682 hasta menos de 2000	Más de 2000
Bloque BNE	Hasta 1680	De 1680 hasta menos de 2000	Más de 2000



GALERÍA DE FOTOS DE MAMPOSTERÍA



Mampostería en Piedra



Mampostería Confinada



Mampostería Reforzada



Mampostería Simple



Mampostería sin Mortero



Mampostería Careada



GALERÍA DE FOTOS DE VIGAS



Vigas Maestras



Vigas H



Vigas de Caja



Vigas de Pilares



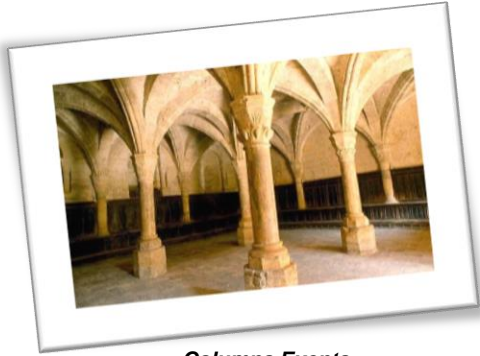
Vigas Continuas



Vigas Aéreas



GALERÍA DE FOTOS DE COLUMNAS



Columna Exenta



Columna Abalaustrada



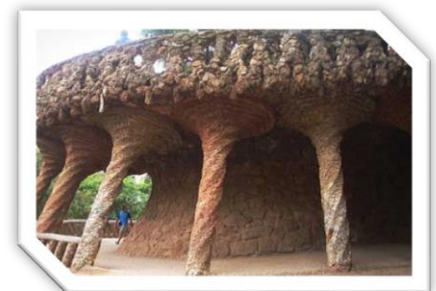
Columna Fajada



Columna Ofídica



Columna Salomónica



Columna Torsa

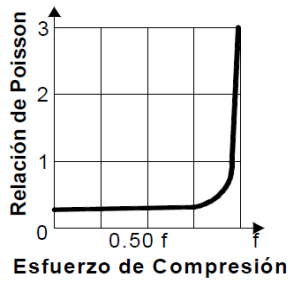


La siguiente figura muestra los Valores de c y μ en el modelo Mohr- Coulomb en función del tipo de unidad (ladrillo).

Fuente	Tipo de Ladrillo	Mortero Cemento: Cal: Arena	C (N/mm ²)	μ
Mann y Muller	Arcilla Sólida	1:3	0.4	0.3
		1:0:4	0.35	0.37
	Arcilla Perforada	1:3	0.23	0.38
		1:0:4	0.35	0.37
	Silicato Calcio	1:3	0.25	0.18
		1:0:4	0.4	0.35
Hendry y Sinha	Arcilla Extrusionada	1:0.25:3	0.3	0.5
Chinwah	Arcilla Extrusionada	1:0.25:3	0.25	0.34

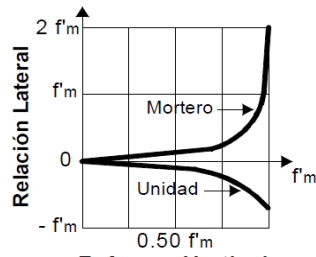


Figura 17. Interacción de fuerzas entre el mortero y la unidad



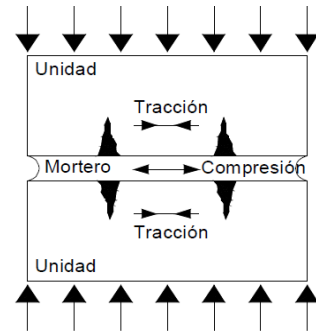
Variación del módulo de Poisson con el esfuerzo de compresión

(a)



Esfuerzo Lateral Vs Esfuerzo Vertical

(b)



Fisuración por tracción en la unidad de mampostería

(c)



