



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

**ANÁLISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL DE VIVIENDAS UNIFAMILIARES DE DOS
NIVELES, CON DIFERENTE UNIDAD DE MAMPOSTERÍA POR NIVEL**

María Fernanda Ramírez Hernández

Asesorado por el Ing. Mario Rodolfo Corzo Ávila

Guatemala, marzo de 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

ANÁLISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL DE VIVIENDAS UNIFAMILIARES DE DOS NIVELES, CON DIFERENTE UNIDAD DE MAMPOSTERÍA POR NIVEL

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

MARÍA FERNANDA RAMÍREZ HERNÁNDEZ

ASESORADO POR EL ING. MARIO RODOLFO CORZO ÁVILA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERA CIVIL

GUATEMALA, MARZO DE 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Narda Lucía Pacay Barrientos
VOCAL V	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

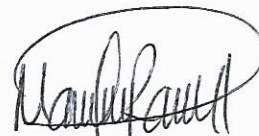
DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Marco Antonio García Díaz
EXAMINADOR	Ing. Guillermo Francisco Melini Salguero
EXAMINADOR	Ing. Walter Roberto Salazar
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

ANÁLISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL DE VIVIENDAS UNIFAMILIARES DE DOS NIVELES, CON DIFERENTE UNIDAD DE MAMPOSTERÍA POR NIVEL

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha, 16 de abril de 2013.



María Fernanda Ramírez Hernández

Guatemala, 22 de enero de 2015

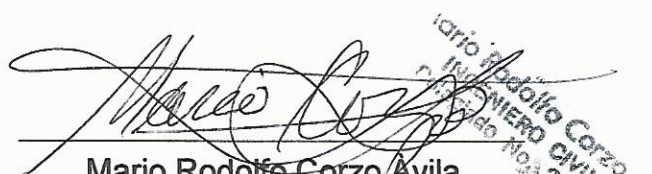
Ingeniero
Guillermo Francisco Melini Salguero
Coordinador Área de Materiales y Construcciones Civiles
Escuela de Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala
Presente

Estimado Ingeniero:

Cumpliendo con lo resuelto con la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, se procedió a la asesoría y revisión del trabajo de graduación: **ANÁLISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL DE VIVIENDAS UNIFAMILIARES DE DOS NIVELES, CON DIFERENTE UNIDAD DE MAMPOSTERÍA POR NIVEL**, presentado por la estudiante: María Fernanda Ramírez Hernández.

Considera que el trabajo de graduación se ha desarrollado satisfactoriamente y cumple con los objetivos que motivaron la selección de dicho tema, por lo que hago de su conocimiento que apruebo el trabajo realizado.

Atentamente,


Mario Rodolfo Corzo Avila
Ingeniero Civil Colegiado No. 2089



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

Universidad de San Carlos de Guatemala
FACULTAD DE INGENIERÍA
Escuela de Ingeniería Civil



Guatemala,
12 de febrero de 2015

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

Estimado Ingeniero Montenegro.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación ANÁLISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL DE VIVIENDAS UNIFAMILIARES DE DOS NIVELES, CON DIFERENTE UNIDAD DE MAMPOSTERÍA POR NIVEL, desarrollado por la estudiante de Ingeniería Civil María Fernanda Ramírez Hernández, quien contó con la asesoría del Ing. Mario Rodolfo Corzo Ávila.

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

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Guillermo Melini

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



FACULTAD DE INGENIERIA
MATERIALES Y
CONSTRUCCIONES CIVILES

USAC

/bbdeb.

Mas de 134 años de Trabajo Académico y Mejora Continua





USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

Universidad de San Carlos de Guatemala
FACULTAD DE INGENIERÍA
Escuela de Ingeniería Civil



El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Mario Rodolfo Corzo Ávila y del Coordinador del Área de Materiales y Construcciones Civiles, Ing. Guillermo Francisco Melini Salguero, al trabajo de graduación de la estudiante María Fernanda Ramírez Hernández, titulado ANÁLISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL DE VIVIENDAS UNIFAMILIARES DE DOS NIVELES, CON DIFERENTE UNIDAD DE MAMPOSTERÍA POR NIVEL, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.


Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, marzo 2015

/bbdeb.

Mas de 134 años de Trabajo Académico y Mejora Continua





El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al Trabajo de Graduación titulado: **ANÁLISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL DE VIVIENDAS UNIFAMILIARES DE DOS NIVELES, CON DIFERENTE UNIDAD DE MAMPOSTERÍA POR NIVEL**, presentado por la estudiante universitaria: **María Fernanda Ramírez Hernández**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:


Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
Decano



Guatemala, 4 de marzo de 2015

/gdech

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por darme la fortaleza y sabiduría necesaria para alcanzar cada una de mis metas en mi vida.
- Mis padres** Fernando Ramírez Gómez y Julia Hernández Monterroso, por ser mi ejemplo a seguir y brindarme su amor y apoyo incondicional en todo momento.
- Mis hermanos** Silvana y Pablo Ramírez Hernández, por estar siempre conmigo, por su cariño y apoyo incondicional que me brindan.
- Mis abuelos** Josué Hernández (q.e.p.d), María Monterroso, Ricardo Ramírez y Vilma Gómez, por ser fuentes de sabiduría y por su amor en mi vida.
- Mi familia** Tíos, primos y sobrinos, por confiar en mí, por todo su cariño y apoyo en cada momento para alcanzar cada una de mis metas.
- Mis amigos** Por su apoyo en todo momento, su confianza y por ser parte importante de mi vida.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por permitirme realizarme como profesional en esta casa de estudios.
Facultad de Ingeniería	Por la formación académica recibida en el transcurso de la carrera.
Ing. Mario Corzo	Por compartir sus experiencias y todo su conocimiento, por sus consejos para la vida profesional y su apoyo en el desarrollo de este trabajo.
Sección de estructuras	Don Fabio Sánchez y los practicantes de esta área, por su colaboración en el desarrollo de este trabajo.
Mi familia	Por su apoyo incondicional en todo momento para alcanzar mis metas.

1.2.3.	Grout o lechada de relleno	17
1.2.4.	Acero de refuerzo	19
1.2.4.1.	Clasificación	19
1.2.4.2.	Dimensiones.....	19
1.2.4.3.	Propiedades mecánicas	20
1.3.	Sistemas estructurales de mampostería con refuerzo	21
1.3.1.	Mampostería reforzada interiormente	21
1.3.2.	Mampostería confinada	22
2.	ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LAS UNIDADES DE MAMPOSTERÍA	25
2.1.	Ensayo a compresión.....	25
2.1.1.	Resultados de los ensayos.....	27
2.1.1.1.	Prismas de bloques de concreto	27
2.1.1.2.	Ladrillo tipo superblock.....	28
2.2.	Ensayo a tensión diagonal	29
2.2.1.	Resultados de los ensayos.....	31
2.2.1.1.	Bloques de concreto.....	31
2.2.1.2.	Ladrillo tipo superblock.....	32
2.2.2.	Análisis de resultados	33
2.2.2.1.	Ensayo a compresión	33
2.2.2.2.	Ensayo a tensión diagonal	34
3.	DISEÑO ESTRUCTURAL DE MAMPOSTERÍA REFORZADA EN ZONAS SÍSMICAS.....	35
3.1.	Aspectos a considerar en el diseño de estructuras de mampostería en zonas sísmicas	35
3.1.1.	Normatividad	35
3.1.2.	Calidad de los materiales	36

3.1.3.	Influencia de las aberturas en los muros	36
3.1.3.1.	Rigidez lateral de la estructura	36
3.1.3.2.	Distribución de fuerzas cortantes.....	37
3.1.4.	Importancia de la configuración estructural	38
3.1.4.1.	Densidad de muros.....	38
3.1.4.2.	Configuración en planta.....	38
3.1.4.3.	Distribución simétrica de muros en planta.....	39
3.1.4.4.	Continuidad de muros en elevación.....	40
3.2.	Modos de falla en muros de mampostería.....	41
3.3.	Procedimiento de diseño de mampostería reforzada	42
3.3.1.	Análisis de cargas.....	42
3.3.2.	Centro de masa	43
3.3.3.	Centro de rigidez	43
3.3.4.	Excentricidad real y excentricidad de diseño	44
3.3.5.	Corte basal	45
3.3.5.1.	Selección de criterios.....	45
3.3.5.2.	Período de la estructura	50
3.3.5.3.	Esfuerzo de corte basal para diseño ...	51
3.3.5.4.	Distribución vertical de fuerzas	51
3.3.5.5.	Carga lateral por muro.....	52
3.3.6.	Incremento de carga por torsión.....	53
3.3.7.	Carga total por sismo.....	54
3.3.8.	Refuerzo por muro.....	54
3.3.8.1.	Propiedades físicas del muro.....	54
3.3.8.2.	Esfuerzos actuantes y resistentes	55
3.3.8.2.1.	Esfuerzo de compresión actuante	55
3.3.8.3.	Esfuerzo de flexión actuante.....	55

	3.3.8.3.1.	Esfuerzo de corte actuante	56
	3.3.8.3.2.	Esfuerzos resistentes de los muros.....	56
4.	ANÁLISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL DE UNA VIVIENDA UNIFAMILIAR DE DOS NIVELES, CON DIFERENTE UNIDAD DE MAMPOSTERÍA POR NIVEL		59
4.1.	Viviendas de dos niveles.....		59
4.2.	Primer caso: ladrillo tipo superblock en el primer nivel y bloque de concreto en el segundo nivel.....		64
4.2.1.	Centro de masa.....		64
	4.2.1.1.	Primer nivel	66
	4.2.1.2.	Segundo nivel.....	70
4.2.2.	Centro de rigidez		73
	4.2.2.1.	Primer nivel	73
	4.2.2.2.	Segundo nivel.....	75
4.2.3.	Excentricidad real y excentricidad de diseño.....		76
	4.2.3.1.	Primer nivel	76
	4.2.3.2.	Segundo nivel.....	78
4.2.4.	Corte basal		81
	4.2.4.1.	Selección de criterios	81
	4.2.4.2.	Período de la estructura	81
	4.2.4.3.	Esfuerzo de corte basal para diseño	82
	4.2.4.4.	Distribución vertical de fuerzas.....	83
	4.2.4.5.	Carga lateral por muro	84
4.2.5.	Incremento de carga por torsión.....		85
	4.2.5.1.	Momento torsional	86

4.2.5.2.	Momento polar equivalente de inercia	86
4.2.5.2.1.	Primer nivel.....	86
4.2.5.2.2.	Segundo nivel.....	88
4.2.5.3.	Carga por torsión	89
4.2.5.3.1.	Primer nivel.....	89
4.2.5.3.2.	Segundo nivel.....	91
4.2.5.4.	Carga total por sismo.....	92
4.2.5.4.1.	Primer nivel.....	93
4.2.5.4.2.	Segundo nivel.....	94
4.2.6.	Refuerzo por muro.....	95
4.2.6.1.	Propiedades físicas del muro.....	99
4.2.6.1.1.	Primer nivel.....	99
4.2.6.1.2.	Segundo nivel.....	100
4.2.6.2.	Esfuerzos actuantes y resistentes	101
4.2.6.2.1.	Primer nivel.....	102
4.2.6.2.2.	Segundo nivel.....	103
4.2.6.3.	Determinación del refuerzo.....	104
4.3.	Segundo caso: bloques de concreto en el primer nivel y ladrillo tipo superblock en el segundo nivel	105
4.3.1.	Propiedades físicas del muro.....	107
4.3.1.1.	Esfuerzos actuantes y resistentes	109
4.3.1.2.	Determinación del refuerzo.....	112
4.4.	Detalles constructivos.....	117
4.4.1.	Colocación armadura horizontal	118
4.4.2.	Colocación de armadura vertical	119
4.4.3.	Otros detalles.....	120

CONCLUSIONES..... 127
RECOMENDACIONES 129
BIBLIOGRAFÍA..... 131
ANEXOS..... 133

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Tipos de ladrillos	4
2.	Prueba de la cuchara invertida.....	15
3.	Comparación de asentamiento típicos	18
4.	Detalle de unidades de mampostería con refuerzo interior	22
5.	Muro de mampostería confinada.....	23
6.	Bosquejos del modo de falla de los prismas	26
7.	Mecánica típica de falla de la mampostería a la compresión	26
8.	Ensayo a tensión diagonal	30
9.	Modos de falla de ensayos a tensión diagonal.....	31
10.	Desplazamientos en una estructura de mampostería con aberturas debido a fuerzas laterales	37
11.	Plantas irregulares en edificios de mampostería.....	39
12.	Distribución asimétrica de muros en planta.....	39
13.	Continuidad de muros en elevación	40
14.	Modos de falla en muros de mampostería	41
15.	Mapa de zonas sísmicas de Guatemala	46
16.	Planta primer nivel.....	60
17.	Planta segundo nivel	61
18.	Planta acotada primer nivel e identificación de muros	62
19.	Planta acotada segundo nivel e identificación de muros.....	63
20.	Identificación de áreas de losa primer nivel	68
21.	Identificación de áreas de losa segundo nivel.....	72
22.	Excentricidad real primer nivel	77

23.	Excentricidad real segundo nivel	79
24.	Muro de mampostería	95
25.	Diagrama de esfuerzos de muro A	97
26.	Refuerzo mínimo vertical primer nivel.....	114
27.	Refuerzo mínimo vertical segundo nivel	115
28.	Detalles de armado de refuerzo vertical	116
29.	Detalle soleras	116
30.	Refuerzo horizontal en muros.....	117
31.	Detalle de colocación de varilla horizontal en bloques especiales con ranura.....	118
32.	Detalle de colocación de varilla horizontal	119
33.	Detalles del anclaje de armadura vertical	120
34.	Cimentación para casa de dos niveles	121
35.	Sección de pared de mampostería con refuerzo integral.....	122
36.	Elevación de pared de mampostería con refuerzo integral.....	123
37.	Detalle de anclaje de refuerzo en viga bloque	124
38.	Dobleces del refuerzo	125
39.	Dobleces del refuerzo	125

TABLAS

I.	Dimensiones nominales de los ladrillos.....	4
II.	Clasificación, designación y usos de los ladrillos	5
III.	Propiedades físicas y mecánicas de los ladrillos	7
IV.	Medidas físicas principales de los bloques de concreto.....	10
V.	Propiedades físicas y mecánicas de los bloques de concreto	10
VI.	Guía para la selección de morteros para mampostería.....	13
VII.	Proporciones de morteros por volumen	14
VIII.	Especificaciones de las propiedades de los morteros.....	14

IX.	Proporciones del <i>grout</i> por volumen.....	18
X.	Dimensiones nominales de las barras de acero corrugadas.....	20
XI.	Propiedades del acero de refuerzo	21
XII.	Factores de corrección para prismas de compresión de mampostería	27
XIII.	Características físicas de prismas a compresión vacíos a 28 días	28
XIV.	Cargas y esfuerzos últimos en prismas a compresión vacíos a 28 días.....	28
XV.	Características físicas de prismas a compresión vacíos a 28	29
XVI.	Cargas y esfuerzos últimos en prismas a compresión vacíos a 28 días.....	29
XVII.	Características físicas de prismas a corte vacíos a 28 días	32
XXVIII.	Cargas y esfuerzos de corte en prismas vacíos a 28 días	32
XIX.	Características físicas de prismas a corte vacíos a 28 días	32
XX.	Cargas y esfuerzos de corte en prismas vacíos a 28 días	33
XXI.	Factor de zona sísmica Z	45
XXII.	Tipo de perfil de suelos	47
XXIII.	Categoría de destino	47
XXIV.	Tipo de lugar de origen del sismo	48
XXV.	Factor de cercanía a la fuente N_a	48
XXVI.	Factor de cercanía a la fuente N_v	49
XXVII.	Coefficiente de sismicidad C_a	49
XXVIII.	Coefficiente de sismicidad C_v	50
XXIX.	Sistema estructural.....	50
XXX.	Datos de las unidades de mampostería	59
XXXI.	Datos de los niveles de la vivienda	59
XXXII.	Centro de masa de muros primer nivel	67
XXXIII.	Centro de masa de losa primer nivel.....	69

XXXIV.	Centro de masa de muros segundo nivel.....	70
XXXV.	Centro de masa de losa segundo nivel	71
XXXVI.	Centro de rigidez primer nivel	74
XXXVII.	Centro de rigidez segundo nivel.....	75
XXXVIII.	Carga lateral por muro	85
XXXIX.	Momento polar equivalente de inercia primer nivel	87
XL.	Momento polar equivalente de inercia segundo nivel	88
XLI.	Carga por torsión primer nivel	90
XLII.	Carga por torsión segundo nivel	92
XLIII.	Carga total por sismo primer nivel.....	93
XLIV.	Carga total por sismo segundo nivel	94
XLV.	Propiedades físicas de muros primer nivel	100
XLVI.	Propiedades físicas de muros segundo nivel	101
XLVII.	Esfuerzos actuantes y resistentes primer nivel	102
XLVIII.	Esfuerzos actuantes y resistentes segundo nivel.....	103
XLIX.	Refuerzo muros primer nivel	104
L.	Refuerzo muros segundo nivel.....	105
LI.	Propiedades físicas de muros primer nivel	108
LII.	Propiedades físicas de muros segundo nivel.....	109
LIII.	Esfuerzos actuantes y resistentes primer nivel	110
LIV.	Esfuerzos actuantes y resistentes segundo nivel.....	111
LV.	Refuerzo muros primer nivel	112
LVI.	Refuerzo muros segundo nivel.....	113

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
H	Altura del muro
h_p	Altura del prisma de mampostería
h_n	Altura total de la estructura
A_{sh}	Área del acero de refuerzo horizontal colocada a una separación s_h .
A_{sv}	Área del acero de refuerzo vertical colocada a una separación s_v .
A_n	Área del muro
cm	Centímetro
C_a	Coefficiente de sismicidad
C_v	Coefficiente de sismicidad
Δ	Desplazamiento de la estructura
B	Dimensión del muro perpendicular a la dirección del sentido en consideración.
d	Distancia del extremo a compresión hasta el centroide de acero a tensión.
f_a	Esfuerzo de compresión actuante en el muro
f_v	Esfuerzo de corte actuante en el muro
V	Esfuerzo de corte basal para diseño
F_v	Esfuerzo de corte resistente en el muro
f_b	Esfuerzo de flexión actuante en el muro
F_b	Esfuerzo de flexión resistente en el muro
t	Espesor de la mampostería del muro

t_p	Espesor del prisma de mampostería
N_a	Factor de cercanía a la fuente del sismo
N_v	Factor de cercanía a la fuente del sismo
I	Factor de importancia sísmica
Z	Factor de zona sísmica
Δ_v	Incremento de carga por torsión del sistema
kg	Kilogramo
lb	Libras
psi	Libras por pulgada cuadrada (<i>pounds squart inch</i>)
f_y	Límite de fluencia del acero
L	Longitud del muro de mampostería
MPa	Mega Pascales
m^2	Metro cuadrado
mm	Milímetros
E_m	Módulo de elasticidad de la mampostería
S_n	Módulo de sección del muro
J	Momento polar equivalente de inercia
T	Período de la estructura
$f'm$	Resistencia especificada a la compresión de la mampostería.
k	Rigidez del muro
s_h	Separación del acero de refuerzo horizontal en el muro.
s_v	Separación del acero de refuerzo vertical en el muro

GLOSARIO

AGIES	Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica.
Área bruta	Área total de la cara de una unidad de mampostería perpendicular a los orificios.
Área neta	Área de la cara de una unidad de mampostería perpendicular a los orificios sin incluir el área transversal de los mismos.
ASCE	American Society of Civil Engineers (Sociedad Americana de Ingenieros Civiles).
ASTM	American Society for Testing and Materials (Sociedad Americana para Ensayos y Materiales).
Carga estructural	Fuerza aplicada sobre una estructura o de sus componentes.
COGUANOR	Comisión Guatemalteca de Normas.
Desplazamiento	Movimiento lateral de la estructura debido a cargas laterales.

Diafragma estructural	Elemento estructural que transmite fuerzas que actúan en el plano del diafragma hacia los elementos verticales del sistema de resistencia ante fuerzas sísmicas.
Ensayo	Prueba de las propiedades de un elemento o material.
Esfuerzo	Fuerza por unidad de área.
Falla estructural	Pérdida gradual de resistencia de un elemento para soportar esfuerzos bajo los cuales fue diseñado.
Grout	Lechada de concreto. Mezcla de material cementante y agua, con o sin agregados, para llenar espacios y garantizar la continuidad entre los elementos de la dosificación.
Junta	Separación vertical u horizontal entre las unidades de mampostería con mortero.
Mampostería	Sistema constructivo que consiste en colocar unidades formadas o prefabricadas una sobre otra, unidas con mortero.
Material cementante	Materiales que tienen propiedades cementantes por sí mismos al ser utilizados en el concreto.

Muro estructural	Elemento diseñado para resistir combinaciones de cortantes, momentos y fuerzas axiales.
Muro no estructural	Elemento que se construye de forma vertical para delimitar espacios.
Parapeto	Muro de altura media de protección para evitar caídas al vacío, ubicado en balcones o terrazas. Puede ser construido de mampostería, concreto armado o elemento liviano.
Prisma	Muestra representativa de la mampostería de un muro.
Rigidez	Capacidad de un elemento estructural para resistir esfuerzos sin adquirir grandes deformaciones y/o desplazamientos.
Sismo	Serie de vibraciones de la superficie terrestre generadas por un movimiento brusco y repentino de las capas internas (corteza y manto).
UBC	Uniform Building Code (Código Uniforme de la Edificación).
Unidad	Elemento básico de la construcción de mampostería, que puede ser elaborado de arcilla (ladrillo), concreto u otro material.

RESUMEN

En el presente trabajo de graduación se desarrolla inicialmente una recopilación de normas nacionales e internacionales, como AGIES, ASTM y COGUANOR, para determinar la calidad de los materiales utilizados en viviendas de mampostería. También se analiza la resistencia de esfuerzos de compresión y corte, de bloques de concreto y ladrillo tipo superblock, por medio de ensayos de prismas realizados en el Centro de Investigaciones de Ingeniería en la Sección de Estructuras.

Posteriormente, se indica un procedimiento de análisis y diseño para viviendas de mampostería ubicadas en zonas sísmicas. Se consideraron códigos internacionales, ASCE y UBC, para el procedimiento propuesto.

Finalmente, se desarrolla el análisis y diseño estructural de viviendas unifamiliares con diferente unidad de mampostería por nivel. Las unidades a utilizar son bloques de concreto y ladrillo tipo superblock. El análisis consiste en diseño de dos viviendas, para las cuales se varía las unidades de mampostería en cada nivel. Se determina para cada una de éstas, el refuerzo requerido para los muros que la conforman, con el fin de determinar el diseño más conveniente en la construcción.

OBJETIVOS

General

Analizar el comportamiento de viviendas unifamiliares de dos niveles, con diferente unidad de mampostería por nivel, block de concreto y ladrillo tipo superblock, en zonas sísmicas de Guatemala.

Específicos

1. Analizar la resistencia a compresión y corte de los prismas de bloques de concreto y ladrillo tipo superblock, con referencia a ensayos existentes.
2. Establecer un procedimiento de diseño de mampostería reforzada para viviendas unifamiliares en zonas sísmicas.
3. Comparar el diseño de refuerzo de los muros de mampostería de viviendas de dos niveles, considerando para el primer caso, ladrillo tipo superblock en el primer nivel y bloque de concreto en el segundo nivel; y viceversa para el segundo caso.

INTRODUCCIÓN

La mampostería ha sido uno de los sistemas constructivos más antiguo utilizado en el país. Las unidades más utilizadas en las construcciones son bloques de concreto y ladrillo de barro cocido, los cuales se fabrican en diferentes tipos y tamaños, variando sus características y propiedades mecánicas.

Las edificaciones de mampostería son económicas y estables. Con la implementación del acero como refuerzo en las estructuras, se ha adaptado la mampostería reforzada interiormente y la mampostería confinada, las cuales han presentado un comportamiento adecuado durante eventos sísmicos.

En el país se presenta actividad frecuente de sismos, con intensidades menores a 5, en la escala de Mercalli Modificada, lo cual induce a la fatiga de los elementos estructurales, y se incrementa cuando no existe una homogeneidad estructural de los componentes de la misma. Esto genera una inestabilidad en la estructura, que ante eventos de mayor intensidad puede causar daños severos e incluso el colapso.

Por lo tanto, para el entorno guatemalteco, la combinación de diferentes tipos de mampostería, fundamentados o sustentados con la incorporación del acero, ha llevado específicamente para el presente trabajo de graduación. El uso de mampostería con diferentes unidades y calidad a la ampliación de segundos niveles, sin tener en consideración la variación de sus propiedades mecánicas, físicas y estructurales, con los consiguientes peligros de inestabilidad estructural.

Se desarrolla en el presenta trabajo un procedimiento de diseño para mampostería reforzada interiormente, con el cual se analiza el comportamiento de dos viviendas unifamiliares, con diferente unidad de mampostería por nivel, en zonas sísmicas. Se consideran especificaciones de códigos internacionales, como ASCE y UBC, por sus siglas en inglés American Society of Civil Engineers y Uniform Building Code, respectivamente.

1. CONSIDERACIONES GENERALES DE LA MAMPOSTERÍA

1.1. Antecedentes

En Guatemala, la mampostería ha sido uno de los sistemas de construcción más utilizados para viviendas económicas. A principios del siglo XX, la mayoría de viviendas estaban construidas de adobe y ladrillo, y no se utilizaba refuerzo. Se consideraba que los muros trabajaban principalmente por gravedad, estabilizando la estructura para soportar las fuerzas laterales.

Durante este siglo, se presentó actividad sísmica frecuente en el país. Las más recordadas son las de 1917 y 1976. Las viviendas que sufrieron la mayor parte del daño de los movimientos sísmicos fueron las construcciones de adobe. Estas se usaban en la mayoría de las poblaciones del altiplano y en las partes viejas de las ciudades.

Debido al comportamiento observado de las viviendas, se implementó el uso de bloques de concreto y diferentes formas de mampostería en combinación con el acero. Posteriormente, se implementó el uso de normas y códigos para el diseño de estructuras de mampostería reforzada en zonas sísmicas.

1.2. Materiales

Los materiales que se emplean en construcciones de mampostería se definen según normas nacionales e internacionales, así como las propiedades con las cuales deben cumplir para garantizar su calidad.

1.2.1. Unidades de mampostería

Las unidades de mayor uso en el país para el levantado de muros de mampostería con acero de refuerzo son ladrillos y bloques de concreto. Esto se define a continuación según las normas de COGUANOR respectivamente.

1.2.1.1. Ladrillo

Es una unidad en forma rectangular, con o sin agujeros, formado de barro o arcilla cocida. Se elaboran a mano o a máquina, según el tipo de ladrillo. Los ladrillos deben cumplir con la Norma COGUANOR NGO 41 022.

1.2.1.1.1. Tipos (según nombre comercial)

Existen diferentes tipos de ladrillo según el porcentaje de aberturas que poseen. El nombre comercial de éstos corresponde al que indica la norma. Se ha introducido en el mercado el ladrillo tipo superblock.

- Tayuyo

Se conocen también como ladrillos macizos. Pueden ser elaborados a máquina o a mano y no presentan agujeros o perforaciones.

- Perforado

Ladrillos producidos a máquina con perforaciones perpendiculares a las caras que soportan la carga, siendo el área neta en esas caras mayor al 75 por ciento del área bruta.

- Tubular

Ladrillos producidos a máquina con perforaciones perpendiculares a las caras que soportan la carga, siendo el área neta en esas caras entre 60 por ciento y 75 por ciento del área bruta.

- Superblock

Ladrillos con dimensiones similares a los bloques de concreto. Se utilizan principalmente para muros estructurales.

1.2.1.1.2. Dimensiones

Las dimensiones más usadas de los ladrillos se muestran en la tabla I, para las cuales se indican pesos promedio y el número de unidades por metro cuadrado. Los ladrillos se indican según su nombre comercial en el país.

Tabla I. **Dimensiones nominales de los ladrillos**

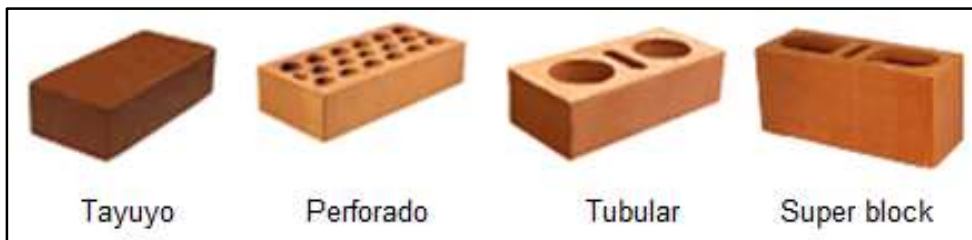
Tipo	Medidas (cm) [alto×ancho×largo]	Peso (lb)	Unidades/m²
Tayuyo	5×11×23	4,8	69,5
	6,5×11×23	6,7	56
Perforado	6,5×14×23	6,0	56
Tubular	6,5×11×23	4,2	56
	6,5×14×29	6,4	45
	9×14×29	7,9	33,5
	9×14×39	11,3	25
	14×14×29	10,8	12,5
Superblock	19×14×39	17,2	12,5
	19×14×39	21,1	12,5

Fuente: Norma COGUANOR NGO 41 022 y catálogo de productos INMACO.

1.2.1.1.3. Clasificación

Los ladrillos se clasifican de acuerdo a su uso, en tipos, grados y clases, como se presenta en la figura 1 y tabla II. Se especifica en la Norma que la carga es aplicada de forma distribuida sobre los muros.

Figura 1. **Tipos de ladrillos**



Fuente: Catálogo de productos INMACO.

Tabla II. **Clasificación, designación y usos de los ladrillos**

Tipos	Grados	Clases	Usos recomendados
Tipo MQ, ladrillos hechos a máquina	1	Clase M, o macizo Clase P, o perforado	Muros con carga elevada* (comprendida entre 1,05 MPa y 1,35 MPa), expuestas en sus dos caras.
	2	Clase M, o macizo Clase P, o perforado Clase T, o tubular	Muros con carga moderada* (comprendida entre 1,35 MPa y 2,4 MPa), expuestas en una cara.
	3	Clase M, o macizo Clase P, o perforado Clase T, o tubular	Muros con carga baja* (comprendida entre 1,05 MPa y 1,35 MPa), expuestas en una cara.
Tipo MA, ladrillos hechos a mano	1	Clase M, o macizo	Muros con carga elevada, expuestas en sus dos caras.
	2	Clase M, o macizo	Muros con carga moderada, expuestas en una cara.
	3	Clase M, o macizo	Muros con carga baja, expuestas en una cara.

* Carga aplicada de forma distribuida sobre el muro.

Fuente: Norma COGUANOR NGO 41 022. p. 2.

1.2.1.1.4. Propiedades físicas y mecánicas

La calidad de los materiales utilizados en construcciones de mampostería influye en gran magnitud en la estructura final. Por lo que debe verificarse en los ladrillos que no se presenten: grietas, incrustaciones, saltaduras, ampolladuras y otros defectos superficiales que puedan afectar su resistencia a la compresión o durabilidad.

Las dimensiones de los ladrillos deben ser uniformes y controladas para una rápida colocación de éstos con el mortero, y para alcanzar la resistencia a la compresión especificada.

Las propiedades de los ladrillos que determinan su durabilidad son la resistencia a la compresión y la absorción de agua. Un alto porcentaje de absorción de agua puede disminuir la resistencia de la estructura, debido a que el ladrillo puede absorber el agua del mortero. También se puede presentar una excesiva humedad que retarda el fraguado, evitando una buena adherencia entre la unidad de mampostería y el mortero. La razón inicial de la absorción se conoce como succión en los ladrillos y se da por poros y pequeñas aberturas en sus superficies que funcionan como capilares que tienden a absorber agua dentro de la unidad. Para disminuir la succión se humedece la unidad antes del levantado del muro o antes de repellarlos.

Para determinar las propiedades de los ladrillos, las Normas COGUANOR NGO 41 024 -h1, h2, h3, h4 y h5-, indican el procedimiento de los ensayos, para los cuales, las propiedades deben cumplir con la tabla III.

Tabla III. **Propiedades físicas y mecánicas de los ladrillos**

Propiedades	Tipo MQ, ladrillos hechos a máquina						Tipo MA, ladrillos hechos a mano		
	Clase M, o macizo			Clase T, o tubular			Clase M, o macizo		
	Grado 1	Grado 2	Grado 3	Grado 2	Grado 3	Grado 3	Grado 1	Grado 2	Grado 3
Resistencia a la compresión, en megapascales, mínimo - promedio de 5 unidades - individual	12	8	4,5	8	4,5	12	8	4,5	4,5
	9	6	3,5	6	3,5	9	6	3,5	3,5
Adherencia, en megapascales, mínimo - promedio de 3 especímenes - espécimen individual	0,4	0,4	0,25	0,4	0,25	0,4	0,4	0,25	0,25
	0,3	0,2	0,20	0,3	0,20	0,3	0,2	0,2	0,20
Absorción de agua en 24 h, en porcentaje, máximo - promedio de 5 unidades - individual	12	14	18	14	18	14	16	18	20
	14	16	20	16	20	16	18	20	24
Tolerancia individual en milímetros, máximo: a) en las dimensiones b) en la planicidad c) en la rectitud de las aristas d) en la desviación del ángulo recto	± 4	± 5	± 5	± 5	± 5	± 4	± 5	± 5	± 5
	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15

Fuente: Norma COGUANOR NGO 41 022. p. 5.

1.2.1.2. Block de concreto

Es un elemento en forma de prisma elaborado con cemento hidráulico y arena de río, con uno o más agujeros en su interior. Deben cumplir con la Norma COGUANOR NTG 41 054.

1.2.1.2.1. Clasificación

La clasificación de los bloques de concreto, según la Norma COGUANOR NTG 41 054, se basa en su resistencia a compresión y en el porcentaje de absorción máxima de humedad que presenta la unidad.

- Clase A. Uso estructural con baja absorción de humedad
 - Para uso en muros exteriores o interiores que soportan carga por debajo o sobre el nivel del suelo.
 - Muros de contención, muros de cimentación, muros de división que soportarán carga.
 - Para edificaciones con áreas mayores de 100 metros cuadrados de construcción, de uno o dos niveles. Para edificaciones de más de dos niveles se debe cumplir con los requisitos de diseño estructural de la Norma AGIES NSE 7,4. Requisitos para edificaciones de mampostería estructural.
 - Los bloques pueden usarse con o sin recubrimiento protector debido a la intemperie.

- Clase B. Uso general con mediana absorción de humedad
 - Muros exteriores o interiores que soportan carga sobre el nivel del suelo, para edificaciones con un área máxima de 100 metros cuadrados de construcción y distribución simétrica, de uno o dos niveles.
 - En muros exteriores se debe aplicar un recubrimiento para proteger los bloques de la intemperie.

- Clase C. Uso no estructural con alta absorción de humedad
 - Muros exteriores o interiores sobre el nivel del suelo que no soportan carga, o que la soportan en muros de edificaciones de un nivel, menores de 50 metros cuadrados de construcción con distribución simétrica.
 - Muros colindantes entre terrenos.
 - En muros exteriores se debe aplicar un recubrimiento para proteger los bloques de la intemperie.

1.2.1.2.2. Propiedades físicas y mecánicas

Los bloques de concreto de buena calidad deben cumplir con diferentes propiedades físicas y mecánicas para ser usados en construcciones de mampostería.

Las medidas físicas principales que especifica la norma se presentan en la tabla IV. Se acepta una tolerancia de ± 3 milímetros.

Tabla IV. **Medidas físicas principales de los bloques de concreto**

Uso	Medidas principales nominales o modulares (cm)			Medidas principales reales (cm)		
	Ancho	Alto	Largo	Ancho	Alto	Largo
Bloque de muro	20	20	40	19	19	39
	15	20	40	14	19	39
Medio bloque de muro	20	20	20	19	19	19
	15	20	20	14	19	19
Bloque de tabique	10	20	40	9	19	39
Medio bloque de tabique	10	20	20	9	19	19

Fuente: Norma COGUANOR NTG 41 054. p. 6.

Los bloques de concreto deben cumplir con la resistencia a compresión mínima, absorción máxima y densidad, según su clase como se presenta en la tabla V.

Tabla V. **Propiedades físicas y mecánicas de los bloques de concreto**

Propiedades	Clase		
	A	B	C
Resistencia mínima a compresión sobre área neta, kg/cm ² (MPa) - promedio de 5 bloques o más - mínimo del bloque individual	133,0 (1,0) 113,0 (11,1)	100,0 (9,8) 85,0 (8,3)	66,0 (6,5) 56,0 (5,5)
Absorción máxima de agua en 24 h, en porcentaje de masa - promedio de 3 bloque mínimo - valor máximo bloque individual	≤ 10 11,0	≤ 15 16,5	≤ 20 22,0
Densidad (masa unitaria), kg/cm ³ (lb/pie ³)	Pesado > 2 000 (125)	Medio 1 680 ≤ ρ ≤ 2 000	Liviano < 1 680 (105)

Fuente: Norma COGUANOR NTG 41 054. p. 4 y 5.

1.2.2. Mortero

Los morteros usados para mampostería consisten en una mezcla plástica de arena y agua con un material cementante. El mortero cumple varias funciones y una de las principales es adherir las unidades de mampostería que integran el elemento estructural. Los espesores para las juntas verticales y horizontales varían entre 7 milímetros a 13 milímetros, siendo el promedio ideal de 10 milímetros.

Las propiedades de los morteros son variables y dependen de la dosificación de sus componentes. La dosificación de la mezcla debe permitir que sea trabajable, capaz de retener el agua, durable y que proporcione la resistencia a compresión requerida.

La calidad de los materiales usados en el mortero influirá en las propiedades que presente. El cemento proporciona la resistencia y durabilidad, la cal mejora sus propiedades de adherencia y la arena sirve como relleno y contribuye a la resistencia. Por lo cual, los materiales cementantes deben encontrarse en buen estado y la arena debe estar bien graduada y limpia.

El agua es otro elemento fundamental que contribuye en las propiedades del mortero. Proporciona plasticidad a la mezcla y se procura emplear la mínima cantidad posible, siempre que permita la trabajabilidad del mismo. Debe tener la menor cantidad de sustancias perjudiciales que alteren las propiedades del mortero.

1.2.2.1. Clasificación

Los morteros pueden clasificarse según el aglomerante a emplear en la mezcla. Este modifica las propiedades mecánicas del mortero proporcionando mayor resistencia a compresión o mayor trabajabilidad.

- Morteros de cemento

Estos morteros se caracterizan por alcanzar altas resistencias iniciales debido al rápido fraguado del cemento. Son menos trabajables y su retención de agua es menor que los morteros de cal. Su colocación en la obra debe ser rápida.

- Morteros de cal

La cal contribuye de forma considerable en la trabajabilidad de los morteros. También permite mantener la humedad por mayor tiempo, resistiendo la absorción del agua por las unidades. Sin embargo, el endurecimiento de la mezcla ocurre de forma lenta evitando altas resistencias iniciales.

- Morteros de cemento y cal

Estos morteros aprovechan las propiedades de la cal y del cemento para lograr una buena trabajabilidad, alta retención de agua y altas resistencias iniciales. Sin embargo, la dosificación de estos materiales debe ser adecuada para lograr las propiedades requeridas en la construcción.

La Norma ASTM C 270, Standard Specification for Mortar Unit Masonry, clasifica los morteros en cuatro tipos: M, S, N, y O. Para la selección del tipo de

mortero se proporciona una guía en la tabla VI, para la cual debe conocerse el uso que tendrá según el elemento constructivo y la ubicación del mismo en la estructura.

Tabla VI. **Guía para la selección de morteros para mampostería**

Ubicación	Segmento Constructivo	Tipo de mortero	
		Recomendado	Alternativo
Exterior, sobre el nivel del suelo	Muros de carga	N	S o M
	Muros sin carga	O	N o S
	Parapeto	N	S
Exterior, en o por debajo del nivel del suelo	Muro de cimentación, muro de retención, pozos de visita, alcantarillas, pavimentos, aceras y patios.	S	M o N
Interior	Muro de carga	N	S o M
	Muro divisor sin carga	O	N

Fuente: Norma ASTM C 270. p. 155.

Estos pueden ser especificados por proporción o por propiedades. Cuando son especificados por proporción, debe conocerse el mortero según su material cementante, tabla VII. La especificación por propiedades depende de la resistencia a compresión, la retención de agua y el contenido de aire requeridos por el mortero, tabla VIII.

Tabla VII. **Proporciones de morteros por volumen**

Mortero	Tipo	Proporciones por volumen (Materiales cementantes)				Relación de agregados (Medida en condición húmeda y seca)
		Cemento Portland	Mortero de cemento M S N	Mortero de mampostería M S N	Cal hidratada	
Cemento y cal	M	1	- - -	- - -	¼	No menor que 2 ¼ y no mayor que 3 veces la suma de los volúmenes separados de los materiales cementantes
	S	1	- - -	- - -	De ¼ a ½	
	N	1	- - -	- - -	De ½ a 1¼	
	O	1	- - -	- - -	De 1¼ a 2½	
Cemento	M	1	- - 1	- - -	-	
	M	-	1 - -	- - -	-	
	S	½	- - 1	- - -	-	
	S	-	- 1 -	- - -	-	
	N	-	- - 1	- - -	-	
De mampostería	O	-	- - 1	- - -	-	
	M	1	- - -	- - 1	-	
	M	-	- - -	1 - -	-	
	S	½	- - -	- - 1	-	
	S	-	- - -	- 1 -	-	
	N	-	- - -	- - 1	-	
	O	-	- - -	- - 1	-	

Fuente: Norma ASTM C 270. p. 146.

Tabla VIII. **Especificaciones de las propiedades de los morteros**

Mortero	Tipo	Resistencia a la compresión a 28 días, mínima psi (Mpa)	Retención de agua, mínimo %	Contenido de aire, máximo %	Relación de agregados (Medida en condición húmeda y seca)
Cemento y cal/Cemento	M	2500 (17,2)	75	12	No menor que 2 ¼ y no mayor que 3 veces la suma de los volúmenes separados de los materiales cementantes
	S	1800 (12,4)	75	12	
	N	750 (5,2)	75	14	
	O	350 (2,4)	75	14	
De mampostería	M	2500 (17,2)	75	18	
	S	1800 (12,4)	75	18	
	N	750 (5,2)	75	20	
	O	350 (2,4)	75	20	

Fuente: Norma ASTM C 270. p. 147.

1.2.2.2. Propiedades mecánicas

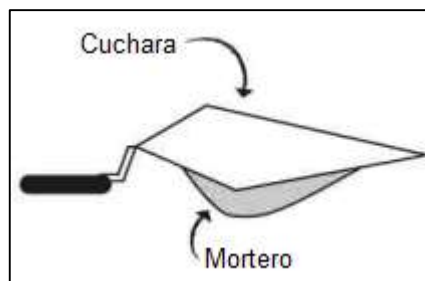
Entre las propiedades mecánicas del mortero se encuentran principalmente las siguientes: trabajabilidad, capacidad de retención de agua, adherencia, resistencia a la compresión y durabilidad.

- Trabajabilidad

Se refiere a la consistencia que alcanza el mortero, en estado plástico, para la cual se logra una fácil colocación del mismo con las unidades de mampostería.

Para determinar la trabajabilidad del mortero, en forma empírica, se recomienda la técnica de la cuchara invertida. La cual consiste en colocar una porción del mortero sobre la cuchara, y ponerla en posición vertical o invertida, sin que escurra.

Figura 2. Prueba de la cuchara invertida



Fuente: CCYC. *Manual de construcción con bloques de concreto*. p. 2.

- Retención de agua

Consiste en la capacidad del mortero para mantener el agua propia de la mezcla, evitando ser absorbida por las unidades de mampostería que disminuyen la trabajabilidad y adherencia en el mortero. Influye en la velocidad de endurecimiento, como en la resistencia final a compresión del mortero, por lo que puede ser mejorada mediante la adición de cal u otros aditivos plastificantes.

- Adherencia

La adherencia es una de las propiedades más importantes de los morteros. Es la habilidad que el mortero presenta para unir las unidades de mampostería. Se refiere también a la capacidad del mortero para resistir cargas transversales y excéntricas, proporcionando resistencia a la estructura.

- Resistencia a la compresión

La resistencia a compresión está dada según la dosificación de los materiales utilizados en la mezcla de mortero. Al incrementar la cantidad de cemento, la resistencia a compresión aumenta pero disminuye con el contenido de cal, arena o agua empleados.

- Durabilidad

Se refiere a la capacidad de los morteros para resistir los diferentes factores a los que están expuestos, manteniendo sus propiedades físicas y mecánicas con el tiempo.

1.2.3. **Grout o lechada de relleno**

El *grout* consiste en una mezcla de material cementante, agregados y agua. Debe tener una consistencia que permita su colocación sin producir la segregación de los constituyentes. Se utiliza para llenar los espacios dentro de las unidades de mampostería, proporcionando la continuidad entre los elementos de la edificación y contribuir a la resistencia a compresión del muro.

Las especificaciones para los *grouts* de mampostería están dadas por la Norma ASTM C 476. Esta indica las proporciones de los componentes del *grout* y los clasifica como fino y grueso, según el tamaño máximo nominal de los agregados.

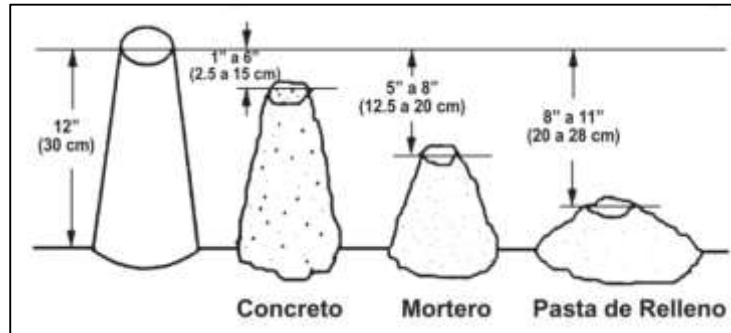
- *Grout* fino

Se utiliza cuando el espacio entre el acero de refuerzo y la unidad de mampostería es pequeño o angosto (mínimo 6,5 milímetros). La proporción por volumen de los materiales se indica en la tabla IX. La cantidad de agua es la necesaria para obtener un revenimiento de 200 a 280 milímetros, como se presenta en la figura 3.

- *Grout* grueso

Se utiliza cuando el espacio libre entre el acero de refuerzo y la unidad de mampostería es mayor a 13 milímetros. También cuando los agujeros, de las unidades de mampostería, presentan dimensiones mínimas de 38 milímetros de ancho y 75 milímetros de largo. La proporción por volumen de los materiales se indica en la tabla IX. La cantidad de agua debe ser la necesaria para obtener un revenimiento de 200 a 280 milímetros, como se presenta en la figura 3.

Figura 3. **Comparación de asentamiento típicos**



Fuente: National Ready Mixed Concrete Association. *Grouts* (Lechadas de relleno). p. 2.

Tabla IX. **Proporciones del *grout* por volumen**

Tipo	Partes por volumen de cemento Portland	Partes por volumen de cal hidratada	Agregado, medido en condición húmeda y seca	
			Fino	Grueso
<i>Grout</i> fino	1	0 – 1/10	2 ¼-3 veces la suma de los volúmenes de los materiales cementantes	-----
<i>Grout</i> grueso	1	0 – 1/10	2 ¼-3 veces la suma de los volúmenes de los materiales cementantes	1-2 veces la suma de los volúmenes de los materiales cementantes

Fuente: Norma ASTM C 476. P. 290.

Las proporciones del *grout* por su resistencia a compresión (a 28 días), se determinan mediante el Método de Ensayo C 1019. El *grout* debe ser dosificado para un revenimiento de 200 a 280 milímetros, de acuerdo al Método de Ensayo C 143/C 143 M y debe alcanzar una resistencia mínima a la compresión de 14 Mega Pascales (2 000 libras por pulgada cuadrada).

Se debe tener presente la calidad del elemento de mampostería para garantizar la mejora del sistema al momento de usar el *grout*. Las variaciones en humedad y rugosidad pueden alterar la integridad entre el *grout* y la unidad de mampostería, produciendo una reducción en la resistencia del sistema estructural del muro.

1.2.4. Acero de refuerzo

El acero de refuerzo empleado en columnas, soleras y/o elementos colocados en el interior del muro, consiste en varillas corrugadas que cumplen con la Norma ASTM A703 o ASTM A615, equivalente a COGUANOR NGO 36 011. El uso de varillas lisas se admite en estribos y como refuerzo que no tenga fines estructurales. Las barras corrugadas se usan para aumentar la resistencia al deslizamiento entre el acero y el concreto.

1.2.4.1. Clasificación

Las barras de acero de mayor uso en el país se clasifican en grado 40 y grado 60. Se refiere a la fluencia nominal del acero con un valor de 40 000 y 60 000 libras por pulgada cuadrada, respectivamente. El refuerzo de grado 33, por su nombre comercial, ya no es utilizado debido a que no posee ductilidad ni uniformidad, también presenta un alto grado de variabilidad en resistencia y dimensiones.

1.2.4.2. Dimensiones

Los tamaños de las barras se denominan mediante números, siendo los más usados los números 2 a 11, 14 y 18. Las barras se designan de esta manera debido a la poca precisión de definir un solo valor medio del diámetro.

Los números han sido establecidos de tal forma que el número de la designación corresponde a un valor cercano al número de diámetros de 1/8 de pulgada. Por ejemplo, una barra Núm. 3 tiene un diámetro nominal de 3/8 de pulgada.

Los diámetros convencionales que se usan en Guatemala se muestran en la tabla X, y se fabrican en longitudes de 6, 9 y 12 metros.

Tabla X. **Dimensiones nominales de las barras de acero corrugadas**

Designación	Masa unitaria (Kg/m)	Diámetro (mm)	Área (cm²)	Perímetro (cm)
2	0,249	6,35	0,317	1,994
3	0,560	9,53	0,713	2,992
4	0,994	12,70	1,267	3,990
5	1,552	15,88	1,981	4,986
6	2,235	19,05	2,850	5,984
7	3,042	22,23	3,881	6,982
8	3,973	25,40	5,067	7,980
9	5,060	28,65	6,447	9,002
10	6,404	32,26	8,174	10,135
11	7,907	35,81	10,072	11,252
14	11,384	43,00	14,522	13,513
18	20,239	57,33	25,814	18,009

Fuente: Norma COGUANOR NGO 36 011. p. 6.

1.2.4.3. Propiedades mecánicas

Las barras de acero para refuerzo deben cumplir con los valores mínimos de máxima resistencia a la tensión y límite de fluencia, que especifica la Norma COGUANOR NGO 36 011, como se presenta en la tabla XI.

Tabla XI. **Propiedades del acero de refuerzo**

Características		Grado del acero, Sistema Internacional (Sistema Inglés)		
		276 (40)	345 (50)	414 (60)
Límite de fluencia, mínimo	MPa	276	345	414
	lb/pulg ²	40 000	50 000	60 000
Máxima resistencia a la tensión, valor mínimo	MPa	483	552	621
	lb/pulg ²	70 000	80 000	90 000

Fuente: Norma COGUANOR NGO 36 011. p. 7.

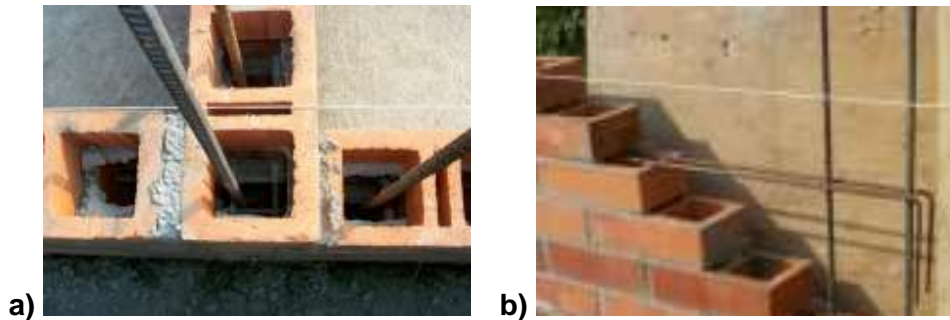
1.3. **Sistemas estructurales de mampostería con refuerzo**

Los sistemas estructurales de mampostería pueden ser reforzados con barras de acero o no reforzados. Los sistemas que no emplean refuerzo de acero se conocen como mampostería simple. En los últimos años, se ha empleado los sistemas estructurales de mampostería reforzada para que el acero resista las fuerzas laterales a las que son sometidas las estructuras.

1.3.1. **Mampostería reforzada interiormente**

En este sistema se colocan las barras de acero dentro del muro. El refuerzo vertical consiste en las varillas que se colocan dentro de los agujeros de las unidades de mampostería, figura 4(a). El refuerzo horizontal consiste en las varillas de acero colocadas entre la junta horizontal del mortero, figura 4(b).

Figura 4. **Detalle de unidades de mampostería con refuerzo interior**

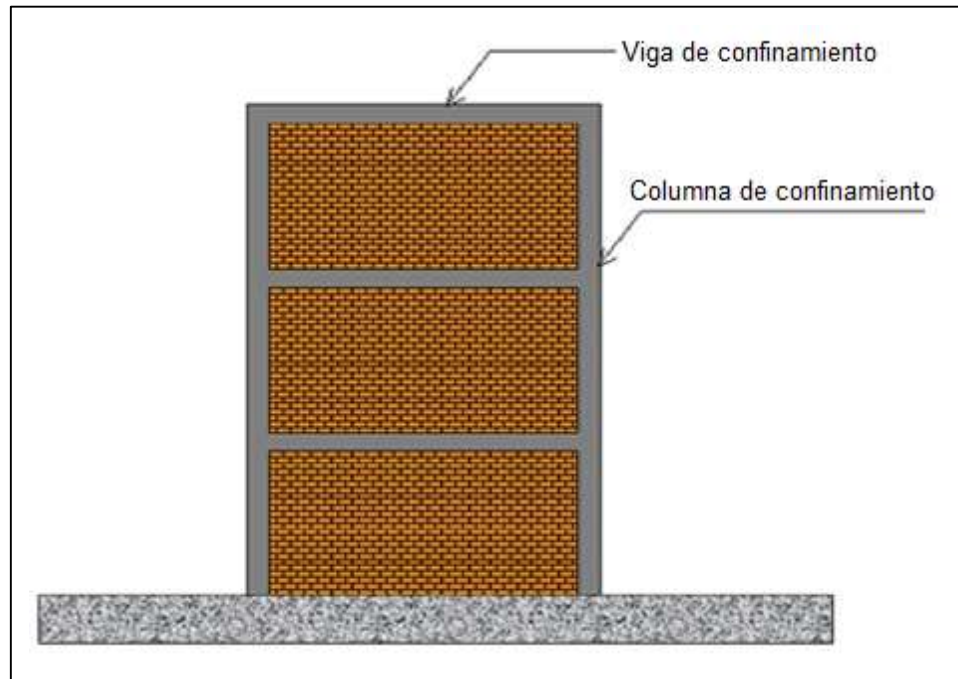


Fuente: Fundación ICA. *Edificaciones de mampostería para vivienda*. p. 173.

1.3.2. Mampostería confinada

En este sistema el refuerzo vertical y horizontal se encuentra concentrado en elementos de concreto: columnas, soleras, costillas y mochetas, como se muestra en la figura 5. El espesor de estos elementos son iguales a las del muro para proporcionar un confinamiento que mejore su ductilidad y le permita soportar repeticiones de carga lateral sin deteriorarse excesivamente. Existen normas y códigos para el diseño y construcción de los elementos de concreto que confinan los muros.

Figura 5. **Muro de mampostería confinada**



Fuente: [http://cmapspublic.ihmc.us/estructuras de mampostería](http://cmapspublic.ihmc.us/estructuras-de-mamposteria). Consulta: 8 de noviembre de 2014.

2. ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LAS UNIDADES DE MAMPOSTERÍA

El análisis de las propiedades mecánicas para las diferentes unidades de mampostería se realiza a partir de ensayos de prismas elaborados por el Centro de Investigaciones de Ingeniería.

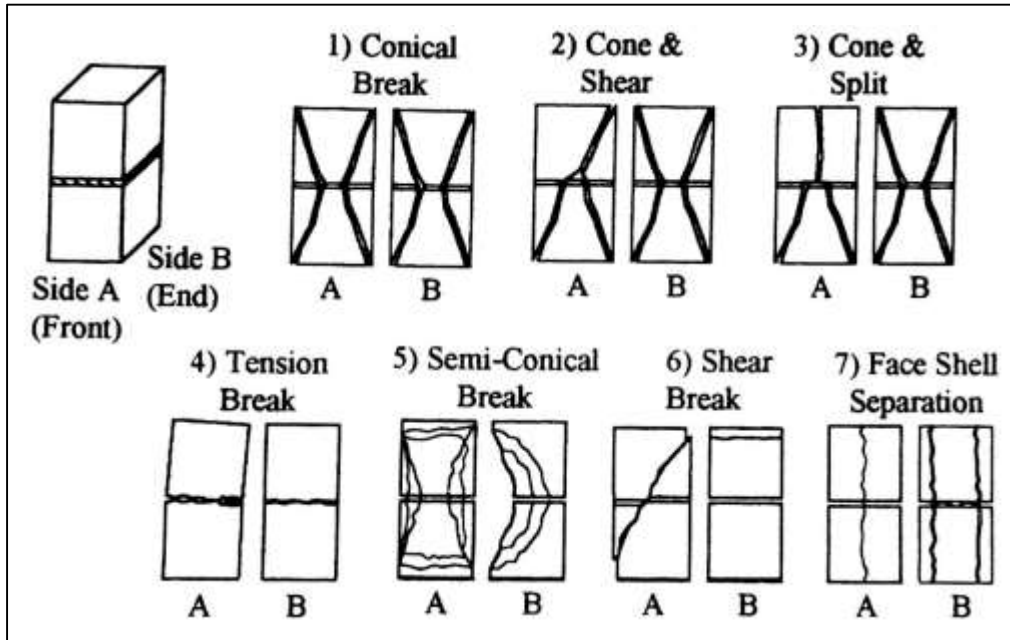
Los ensayos de compresión y corte diagonal son las propiedades mecánicas analizadas en el presente documento tanto para el bloque de concreto como para el ladrillo tipo superblock.

2.1. Ensayo a compresión

La norma utilizada para el ensayo a compresión en prismas de mampostería, es la ASTM C 1314 – 03: Método Estándar de Ensayo a Esfuerzo de Compresión de Prismas de Mampostería. Indica los procedimientos para la construcción, ensayo, y cálculos para la determinación del esfuerzo a compresión de prismas de mampostería, f_{mt} , usados de conformidad para la determinación del esfuerzo a compresión de la mampostería, f'_m .

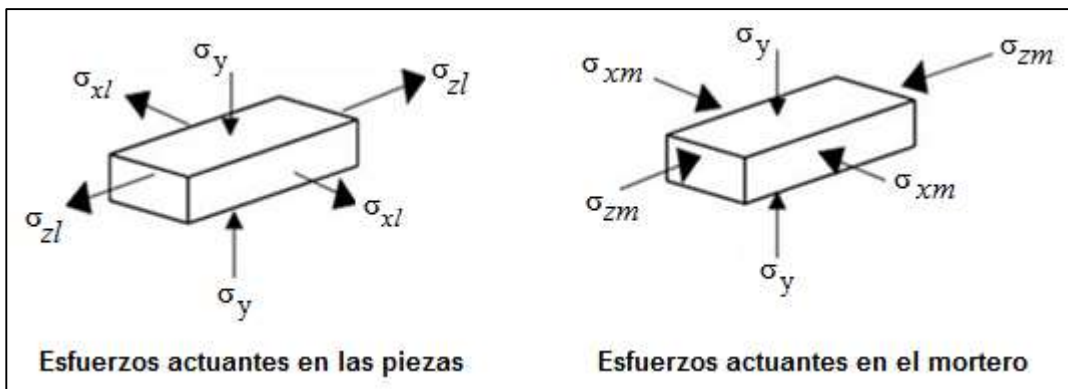
Se indica también los modos de falla que se pueden presentar en los prismas de mampostería (figura 6), que dependen de la interacción entre las unidades y el mortero. La interacción está dada por las características esfuerzo-deformación de cada uno, donde las unidades de mampostería introducen esfuerzos de compresión transversales en el mortero, y éste introduce esfuerzos transversales de tensión en las unidades, figura 7.

Figura 6. **Bosquejos del modo de falla de los prismas**



Fuente: Norma ASTM C 1314-03.

Figura 7. **Mecánica típica de falla de la mampostería a la compresión**



Fuente: Fundación ICA. *Edificaciones de mampostería para vivienda*. p. 108.

La norma proporciona también factores de corrección para los prismas de compresión. Están dados por la relación h_p/t_p de cada prisma, usando la altura y la menor dimensión lateral, según la tabla XII. Cuando el valor de la relación altura/espesor se encuentra en medio de los valores tabulados en la tabla, se debe determinar el correspondiente factor de corrección por medio de interpolación lineal entre los valores tabulados.

Tabla XII. **Factores de corrección para prismas de compresión de mampostería**

h_p/t_p	1,3	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0
Factor de corrección	0,75	0,86	1,0	1,04	1,07	1,15	1,22

h_p/t_p - Relación entre la altura y la dimensión lateral más pequeña del prisma

Fuente: Norma ASTM C 1314-03.

El factor de corrección debe multiplicarse por el esfuerzo del prisma de mampostería para determinar el esfuerzo a compresión de la mampostería.

2.1.1. Resultados de los ensayos

Los resultados que se presentan a continuación se obtuvieron de ensayos realizados en el Área de Estructuras del Centro de Investigaciones de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

2.1.1.1. Prismas de bloques de concreto

Se presenta para los prismas de bloques de concreto ensayados a compresión, las principales características físicas en la tabla XIII. La carga

última y esfuerzo último a los 28 días se indican en la tabla XIV, con el factor de corrección correspondiente.

Tabla XIII. **Características físicas de prismas a compresión vacíos a 28 días**

Prisma	Peso (kg)	Largo (cm)	Alto (cm)	Ancho (cm)
28-C-003	29,26	38,90	58,70	13,90
28-C-005	29,34	39,00	58,70	13,90
28-C-006	28,95	38,90	58,50	13,80

Fuente: CORDÓN BRACAMONTE, Luis Miguel. *Evaluación y comparación de la resistencia de los prismas de bloques de mampostería llenos y huecos.* p. 103.

Tabla XIV. **Cargas y esfuerzos últimos en prismas a compresión vacíos a 28 días**

Prisma	Factor de corrección	Carga última (kg)	Esfuerzo último (kg/cm ²)
28-C-003	1,1640	9 647,45	34,83
28-C-005	1,1647	12 976,26	46,73
28-C-006	1,1619	10 241,84	36,98

Fuente: CORDÓN BRACAMONTE, Luis Miguel. *Evaluación y comparación de la resistencia de los prismas de bloques de mampostería llenos y huecos.* p. 103.

2.1.1.2. Ladrillo tipo superblock

Se presenta para los prismas de ladrillo tipo superblock sus principales características físicas en la tabla XV, y las cargas y esfuerzos últimos a compresión a los 28 días en la tabla XVI. Este tipo de ladrillo presenta medidas físicas similares a los bloques de concreto.

Tabla XV. **Características físicas de prismas a compresión vacíos a 28 días**

Prisma	Largo (cm)	Alto (cm)	Ancho (cm)
1	39,20	58,00	13,90
2	39,00	59,00	13,80
3	39,00	58,00	13,90

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVI. **Cargas y esfuerzos últimos en prismas a compresión vacíos a 28 días**

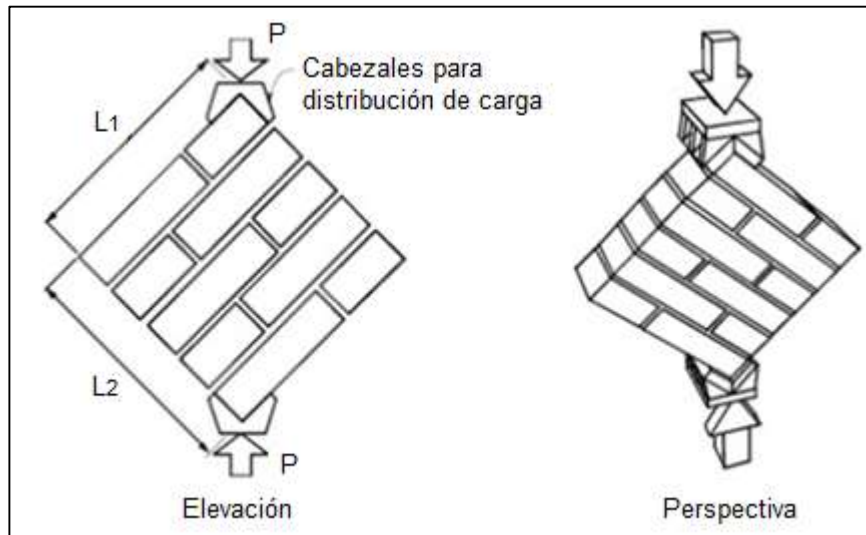
Prisma	Factor de corrección	Carga última (kg)	Esfuerzo último (kg/cm ²)
1	1,1598	19 056,26	40,56
2	1,1647	14 972,78	32,40
3	1,1598	17 787,66	35,91

Fuente: elaboración propia.

2.2. Ensayo a tensión diagonal

La norma utilizada en Guatemala para el ensayo a corte en prismas de mampostería, es ASTM E 519 – 02: Método Estándar de Ensayo a Tensión Diagonal (Corte) Mampostería. Cubre la determinación de la tensión diagonal o fuerza cortante en prismas, a compresión a lo largo de una de las diagonales (figura 8), causando una falla de tensión diagonal. Indica los procedimientos para la construcción, ensayo, y cálculos para la determinación del esfuerzo a tensión diagonal de la mampostería.

Figura 8. **Ensayo a tensión diagonal**



Fuente: Fundación ICA. *Edificaciones de mampostería para vivienda*. p. 112.

La falla en los prismas de tensión diagonal puede darse en las unidades, el mortero o ambos, como se muestra en la figura 9. En el primer modo de falla, el agrietamiento diagonal atraviesa las unidades de mampostería. Se presenta cuando la resistencia a la tensión de las unidades es menor que la resistencia de adherencia del mortero con las unidades.

El segundo modo de falla corresponde al agrietamiento que se produce en las juntas y que se presenta cuando la resistencia de las unidades es mayor en relación con la resistencia de adherencia del mortero. Este tipo de falla es común en mamposterías elaboradas con piezas refractarias.

El modo de falla mixto se presenta cuando el esfuerzo resistente a la tensión de las unidades es similar a la resistencia de adherencia entre las

unidades y mortero. El agrietamiento diagonal se da en las unidades como en el mortero.

Figura 9. **Modos de falla de ensayos a tensión diagonal**



Fuente: área de Prefabricados. Sección de Estructuras. Facultad de Ingeniería. USAC.

2.2.1. Resultados de los ensayos

Los resultados que se presentan a continuación se obtuvieron de ensayos realizados en la Sección de Estructuras del Centro de Investigaciones de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

2.2.1.1. Bloques de concreto

Se presenta para los prismas de bloques de concreto ensayados a corte, las principales características físicas en la tabla XVII. La carga y esfuerzo último a los 28 días se indican en la tabla XVIII, con el factor de corrección correspondiente.

Tabla XVII. **Características físicas de prismas a corte vacíos a 28 días**

Prisma	Peso (kg)	Largo (cm)	Alto (cm)	Ancho (cm)	Diagonal (cm)
28-Co-002	44,61	59,30	58,70	13,90	81,60
28-Co-003	45,23	59,90	58,50	14,00	82,50

Fuente: CORDÓN BRACAMONTE, Luis Miguel. *Evaluación y comparación de la resistencia de los prismas de bloques de mampostería llenos y huecos.* p. 112.

Tabla XVIII. **Cargas y esfuerzos de corte en prismas vacíos a 28 días**

Prisma	Carga (kg)	Área de corte (cm ²)	Esfuerzo de corte (kg/cm ²)
28-Co-002	2 529,60	580,96	4,35
28-Co-003	3 455,82	591,59	5,84

Fuente: CORDÓN BRACAMONTE, Luis Miguel. *Evaluación y comparación de la resistencia de los prismas de bloques de mampostería llenos y huecos.* p. 113.

2.2.1.2. Ladrillo tipo superblock

Se presenta para los prismas de ladrillo tipo superblock ensayados a corte, las principales características físicas en la tabla XIX, y las cargas y esfuerzos últimos a corte a los 28 días en la tabla XX.

Tabla XIX. **Características físicas de prismas a corte vacíos a 28 días**

Prisma	Largo (cm)	Alto (cm)	Ancho (cm)	Diagonal (cm)
1	58,90	57,70	13,80	80,50
2	59,00	57,20	13,90	80,00

Fuente: elaboración propia.

Tabla XX. **Cargas y esfuerzos de corte en prismas vacíos a 28 días**

Prisma	Carga (kg)	Área de corte (cm²)	Esfuerzo de corte (kg/cm²)
1	4 675,14	1 110,90	4,21
2	4 878,40	1 112,00	4,39

Fuente: elaboración propia.

2.2.2. Análisis de resultados

Se presenta a continuación el análisis de resultados para los prismas ensayados a compresión y tensión diagonal, comparando los esfuerzos últimos que resistieron los prismas al ser sometidos a estas cargas.

2.2.2.1. Ensayo a compresión

Para los prismas de bloques de concreto (tabla XIV), se muestra que la mayor carga última que resistió el prisma designado como 28-C-005, es de 12 976,26 kilogramos, la cual corresponde a un esfuerzo último de 46,73 kilogramos por centímetro cuadrado. La menor carga última fue de 9 647,45 kilogramos, que resistió el prisma 28-C-003, y corresponde a un esfuerzo último de 34,83 kilogramos por centímetro cuadrado. La carga última promedio para los prismas ensayados es 10 955,18 kilogramos y el esfuerzo último promedio a compresión de 39,51 kilogramos por centímetro cuadrado.

Para los prismas de ladrillo tipo superblock (tabla XVI), se muestra que la mayor carga última que resistió el prisma 1, es de 19 056,26 kilogramos, la cual corresponde a un esfuerzo último de 40,56 kilogramos por centímetro cuadrado.

La menor carga última fue de 14 972,78 kilogramos que resistió el prisma 2, y corresponde a un esfuerzo último de 32,40 kilogramos por centímetro cuadrado. La carga última promedio para los prismas ensayados es 17 272,23 kilogramos y el esfuerzo último promedio a compresión de 36,29 kilogramos por centímetro cuadrado.

Por lo tanto, se observa que los prismas de ladrillo tipo superblock resisten mayores cargas de compresión, pero menores esfuerzos últimos que los prismas de bloques de concreto.

2.2.2.2. Ensayo a tensión diagonal

Los prismas de bloques de concreto (tabla XVIII) presentan una carga última promedio de 2 992,71 kilogramos y un esfuerzo último promedio de 5,10 kilogramos por centímetro cuadrado. En el caso de los prismas de ladrillo tipo superblock (tabla XX), se presenta una carga última promedio de 4 776,77 kilogramos y un esfuerzo último de 4,3 kilogramos por centímetro cuadrado. Por lo tanto, los prismas de ladrillo tipo superblock resisten mayores cargas de corte pero menores esfuerzos últimos.

3. DISEÑO ESTRUCTURAL DE MAMPOSTERÍA REFORZADA EN ZONAS SÍSMICAS

3.1. Aspectos a considerar en el diseño de estructuras de mampostería en zonas sísmicas

Durante años, las edificaciones de mampostería han seguido procesos constructivos empíricos, que han propiciado la inestabilidad de las estructuras durante eventos sísmicos. Se ha observado que este comportamiento se debe a mala calidad de los materiales, configuraciones estructurales ineficientes, falta de refuerzo y otros factores que afectan su integridad. Por lo que deben considerarse estos aspectos para el diseño de mampostería a partir de las especificaciones de las normas.

3.1.1. Normatividad

En Guatemala, las especificaciones y normas utilizadas para el diseño de viviendas de mampostería son las del Instituto de Fomento de Hipotecas Aseguradas (FHA) y Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica (AGIES), respectivamente. Éstas indican valores mínimos de refuerzo para elementos de mampostería reforzada que conforman la estructura. También se han adaptado códigos internacionales como International Building Code (IBC), Uniform Building Code (UBC), American Society of Civil Engineers (ASCE) y otras normas para la consideración del análisis estructural ante un evento sísmico.

3.1.2. Calidad de los materiales

Los materiales deben ser ensayados en base a las normas de la Comisión Guatemalteca de Normas (COGUANOR) y American Standard Testing Materials (ASTM), comúnmente usadas en el país, para la determinación de las propiedades físicas y mecánicas.

En el capítulo 1, se presenta una recopilación de las especificaciones con las cuales deben cumplir los materiales empleados para construcciones de mampostería según las normas correspondientes.

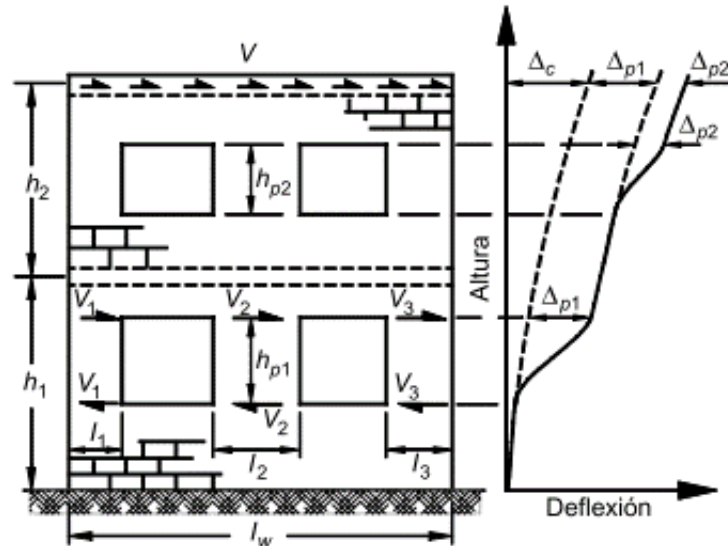
3.1.3. Influencia de las aberturas en los muros

Las aberturas en los muros de las viviendas, puertas y ventanas, son esenciales para su adecuado funcionamiento. Su presencia influye en la rigidez lateral de estructura y en la distribución de las fuerzas cortantes.

3.1.3.1. Rigidez lateral de la estructura

Las aberturas en los muros de las edificaciones disminuyen su rigidez lateral, propiciando mayores desplazamientos laterales. Para una vivienda de dos niveles con aberturas en sus muros, los desplazamientos que se generan se muestran en la figura 10. Este efecto debe considerarse en el diseño y construcción de la vivienda.

Figura 10. **Desplazamientos en una estructura de mampostería con aberturas debido a fuerzas laterales**



Fuente: Fundación ICA. *Edificaciones de mampostería para vivienda*. p. 179.

Para la figura anterior, el desplazamiento total de la estructura corresponde al desplazamiento del muro sin aberturas, Δ_c , más las deflexiones producidas en los muros, Δ_{p1} y Δ_{p2} de los niveles 1 y 2, respectivamente.

3.1.3.2. Distribución de fuerzas cortantes

Las aberturas en los muros disminuyen el área transversal para resistir fuerzas horizontales, produciendo un incremento de esfuerzos cortantes. Por tal razón, es necesario determinar la fuerza que actúa en cada muro para verificar si la sección la resiste.

Las deformaciones por flexión no deben ser despreciables para los casos en los que el ancho de los muros de la edificación sea igual o menor a su altura.

Al despreciarlas, se crean variaciones en la rigidez lateral de los muros, y en la distribución de fuerzas laterales que debe resistir cada uno de ellos.

Es importante crear un confinamiento adecuado en las aberturas cuadradas o rectangulares, debido a la concentración de esfuerzos de tensión que se crean en las esquinas de estas.

3.1.4. Importancia de la configuración estructural

La configuración estructural de la edificación es un aspecto importante que se debe considerar en el diseño. Comprende la distribución de muros, la configuración en planta y la continuidad en elevación de los muros.

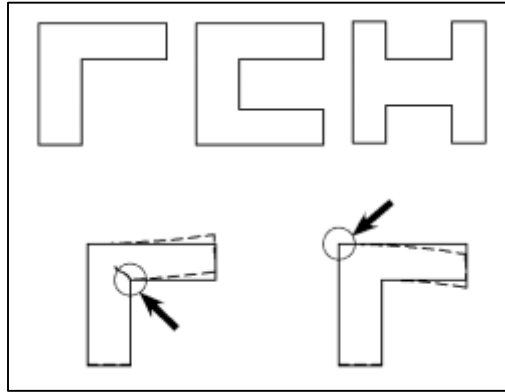
3.1.4.1. Densidad de muros

Para una adecuada distribución y densidad de muros en una edificación se debe considerar diferentes aspectos, como la zona sísmica en la que se localiza la estructura, alturas límites, plantas simétricas y buena rigidez torsional. También se debe verificar que la densidad de muros sea suficiente en ambas direcciones ortogonales para proporcionar una resistencia lateral suficiente a la edificación.

3.1.4.2. Configuración en planta

La configuración en planta debe ser lo más simple, simétrica y regular posible. Debe evitarse formas complejas e irregulares como L, T, C, H o triangulares, que incrementan los efectos de torsión (figura 11). Se recomienda el uso de formas rectangulares, donde el lado largo no debe ser mayor a tres veces el lado corto.

Figura 11. **Plantas irregulares en edificios de mampostería**

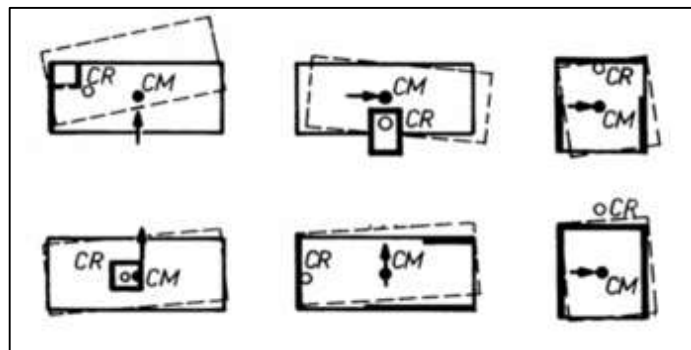


Fuente: Fundación ICA. *Edificaciones de mampostería para vivienda*. p. 183.

3.1.4.3. **Distribución simétrica de muros en planta**

La distribución de muros en planta debe guardar simetría en dos direcciones ortogonales. Una distribución asimétrica de muros conlleva a efectos de torsión, incrementando las fuerzas cortantes y las deformaciones que actúan sobre cada muro durante un evento sísmico (figura 12).

Figura 12. **Distribución asimétrica de muros en planta**

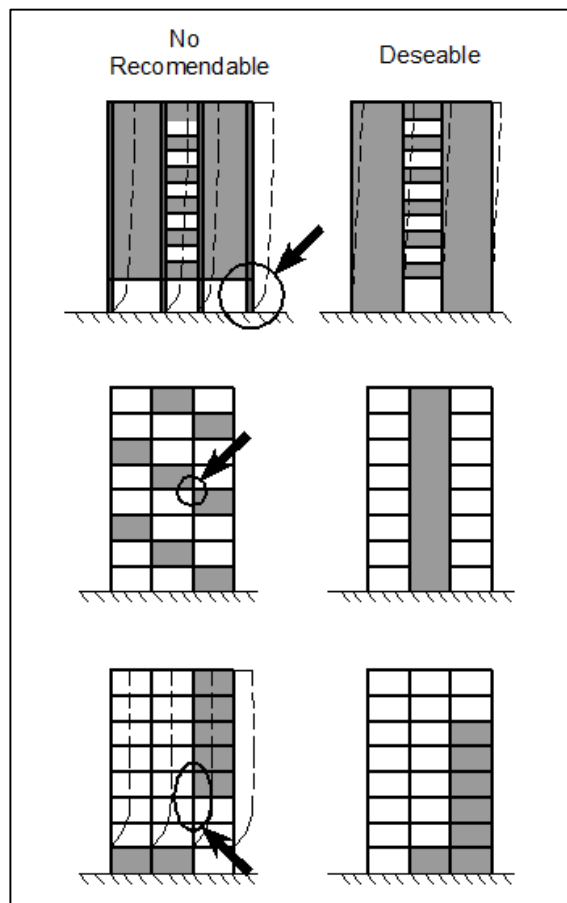


Fuente: Fundación ICA. *Edificaciones de mampostería para vivienda*. p. 183.

3.1.4.4. Continuidad de muros en elevación

Se debe evitar la concentración o ausencia de muros en un solo nivel. La continuidad de los muros en elevación permite que las cargas aplicadas se transmitan de forma directa hasta el suelo, como muestra la figura 13. En viviendas de dos niveles, los muros que cargan el techo deben continuar en el primer nivel hasta la cimentación. Las discontinuidades en elevación producen la formación de piso suave.

Figura 13. Continuidad de muros en elevación

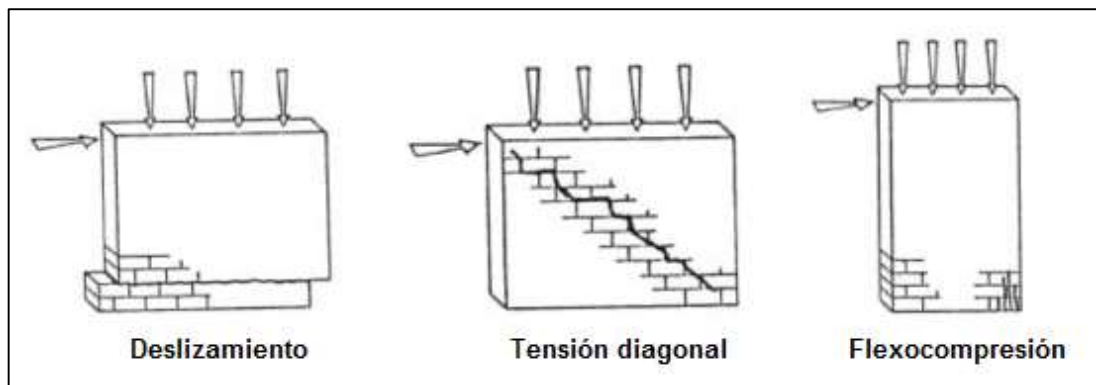


Fuente: Fundación ICA. *Edificaciones de mampostería para vivienda*. p. 184.

3.2. Modos de falla en muros de mampostería

Los muros de mampostería en una vivienda están sometidos a cargas axiales y laterales principalmente. Los esfuerzos que generan estas cargas presentan diferentes modos de falla en los muros. Éstos pueden ser por deslizamiento, tensión diagonal y flexocompresión (figura 14).

Figura 14. Modos de falla en muros de mampostería



Fuente: Fundación ICA. *Edificaciones de mampostería para vivienda*. p. 127.

La falla por deslizamiento o flexión se presenta para esfuerzos normales de compresión bajos, y una débil adherencia del mortero con las unidades, propiciando esfuerzos cortantes en las juntas horizontales.

La falla por tensión diagonal se presenta para esfuerzos normales de compresión moderados formando un agrietamiento diagonal sobre las unidades de mampostería.

La falla por compresión se da para cargas axiales grandes que representan esfuerzos normales altos, comparados con los esfuerzos de corte.

3.3. Procedimiento de diseño de mampostería reforzada

Para el diseño de estructuras de mampostería reforzada, se consideran los siguientes métodos: esfuerzos de trabajo, por resistencia y empírico.

El procedimiento que se presenta considera el método de diseño por esfuerzos de trabajo en mampostería, con las siguientes suposiciones de UBC 1997 (sección 21-17):

- Las secciones planas antes de la flexión permanecen planas después de la misma.
- El esfuerzo es proporcional a la deformación, el cual es proporcional a la distancia desde el eje neutro.
- El módulo de elasticidad es constante a través del miembro.
- Los elementos de mampostería se combinan para formar un miembro homogéneo.
- La mampostería no sostiene esfuerzos a la tensión.
- El largo del elemento es grande comparado con su profundidad.
- El elemento estructural es recto y con sección transversal uniforme.
- La tensión en el acero es homogénea alrededor del centro de gravedad de las varillas.
- Los momentos y las fuerzas, externos e internos, están en equilibrio.

3.3.1. Análisis de cargas

Las principales cargas que actúan en una estructura de mampostería consisten en cargas verticales y horizontales. Las primeras están dadas por las cargas muertas, peso propio de la estructura y otros elementos que permanecen fijos, y las cargas vivas, fuerzas variables en magnitud y duración.

En una vivienda las cargas vivas corresponden al peso de los habitantes y elementos no fijos. Para viviendas, se analizan principalmente las cargas de sismo (fuerza lateral) que se generan por movimiento en la corteza de la tierra.

3.3.2. Centro de masa

El centro de masa corresponde al punto en el cual se concentra el peso de la estructura. Se determina a partir de los pesos de los muros y la losa (w) que conforman la vivienda, por la distancia del centro geométrico a un punto de referencia para cada uno de ellos, en el eje x o y .

$$CM_{\text{muro/losa}} = \frac{\sum(w_{\text{muro/losa}} * x/y)}{\sum W_{\text{muro/losa}}}$$

El centro de masa del sistema muro-losa se determina con la siguiente ecuación, para x y y :

$$CM_{\text{muro-losa}} = \frac{\sum W_{\text{muros}} * CM_{\text{muro}} + \sum W_{\text{losa}} * CM_{\text{losa}}}{\sum W_{\text{muros}} + \sum W_{\text{losa}}}$$

3.3.3. Centro de rigidez

El centro de rigidez es el punto central de los elementos verticales de un sistema que resiste a las fuerzas laterales. Se determina a partir de las rigideces de los muros y la distancia del centro geométrico a un punto de referencia, x o y .

La rigidez lateral de los muros, considerados empotrados o voladizo, se determina como el inverso de las deformaciones de corte y flexión que se

presentan en el muro respecto a la fuerza lateral del mismo, presentándose la siguiente ecuación simplificada:

$$k = \frac{EBL}{H \left[\left(\frac{H}{L} \right)^2 + 3 \right]}$$

Donde:

k = rigidez del muro empotrado o en voladizo

E = módulo de elasticidad de la unidad de mampostería

B = dimensión del muro perpendicular a la dirección del sentido en consideración

L = dimensión del muro paralelo a la dirección del sentido en consideración

H = altura del muro

El centro de rigidez, CR, para cada eje está dado por la siguiente ecuación:

$$CR_x = \frac{\Sigma(k_y * x)}{\Sigma k_y} \quad CR_y = \frac{\Sigma(k_x * y)}{\Sigma k_x}$$

3.3.4. Excentricidad real y excentricidad de diseño

La excentricidad real es la distancia entre el centro de masa y el centro de rigidez del sistema. Debe ser menor al 10 por ciento de la dimensión de la estructura perpendicular a la dirección del sentido en consideración, B .

$$e_{\text{real}} = |CM - CR|$$

$$e_{\text{real}} \leq 10\%B$$

Cuando la excentricidad real no cumple con la condición anterior, debe considerarse modificar la configuración estructural de la vivienda para reducir la excentricidad de la misma.

La excentricidad de diseño se determina como la excentricidad real más un incremento de 5 por ciento de la dimensión de la estructura perpendicular a la dirección del sentido en consideración.

$$e_{\text{diseño}} = e_{\text{real}} + 5\%B$$

3.3.5. Corte basal

El UBC 1997 (Sección 1630.2) proporciona el método simplificado para el cálculo de corte basal de una estructura. Se indica inicialmente los criterios o factores que se deben considerar para el mismo.

3.3.5.1. Selección de criterios

La selección de los criterios para el corte basal depende de diferentes características del lugar y de la estructura. Algunos se especifican especialmente para estructuras de mampostería o albañilería. Los criterios se indican en la tabla XXI a la tabla XXIX.

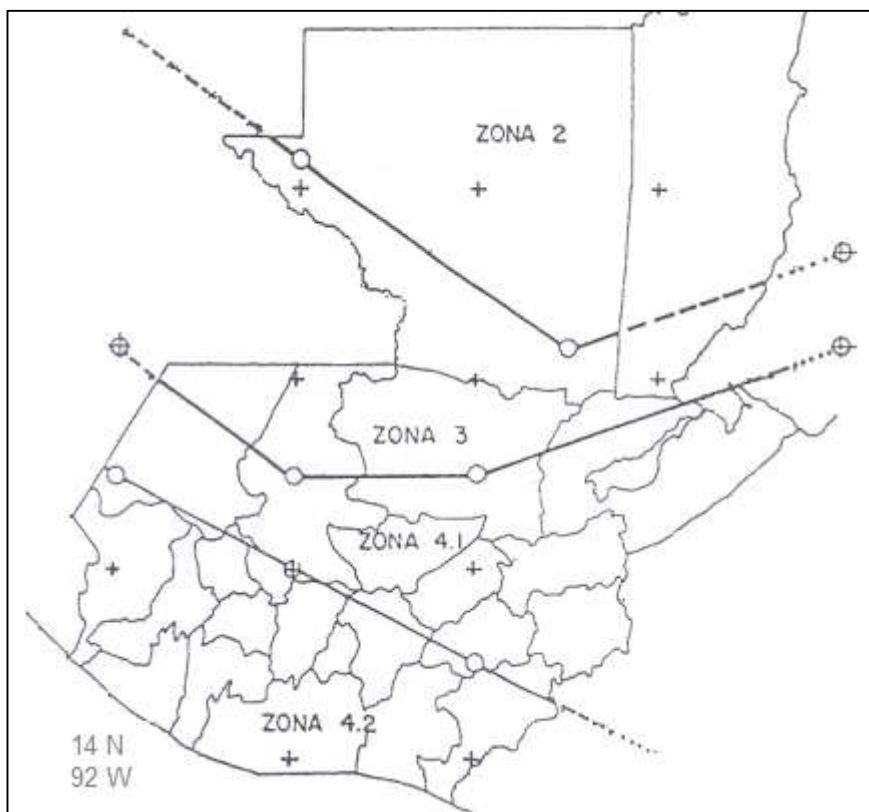
Tabla XXI. **Factor de zona sísmica Z**

Zona	1	2A	2B	3	4
Z	0,075	0,15	0,20	0,30	0,40

Fuente: Uniform Building Code, 1997. Capítulo 16.

Para determinar la zona sísmica en el país se presenta la figura 15 como guía, donde se muestra cuatro zonas sísmicas, asignándose a la mitad del nororiente del país el nivel más bajo. Las tres zonas adicionales aumentan en intensidad conforme se acercan al océano Pacífico.

Figura 15. **Mapa de zonas sísmicas de Guatemala**



Fuente: SANTANA, Guillermo. *Evaluación de Código Sísmico*. p. 2.

Tabla XXII. Tipo de perfil de suelos

Tipo de perfil de suelos	Nombre del perfil de suelos / Descripción genérica	Propiedades de suelo promedio para los 30 m. (100 ft) superiores del perfil del suelo		
		Velocidad de onda cortante, \bar{v}_s pies/segundo (m/s)	Ensayo estándar de penetración, \bar{N} [o \bar{N}_{CH} para capas de suelo sin cohesión] (golpes por pie)	Resistencia al cortante sin desagüe, psf (kPa)
S_A	Roca dura	> 5 000 (1 500)	-----	-----
S_B	Roca	2 500 a 5 000 (760 a 1 500)		
S_C	Suelo muy denso y roca blanda	1 200 a 2 500 (360 a 760)	> 50	> 2 000 (100)
S_D	Perfil de suelo rígido	600 a 1 200 (180 a 360)	15 a 50	1 000 a 2 000 (50 a 100)
S_E	Perfil de suelo sólido	< 600 (180)	< 50	< 1 000 (50)
S_F	Suelo que requiere evaluación específica del lugar.			

Fuente: Uniform Building Code, 1997. Capítulo 16.

Tabla XXIII. Categoría de destino

Categoría de tenencia	Destino o funciones de la estructura	Factor de importancia sísmica, I
Estructuras para destino estándar	Todas las estructuras que contienen destinos o funciones no indicadas en las Categorías 1, 2 ó 3.	1,00

Fuente: Uniform Building Code, 1997. Capítulo 16.

Tabla XXIV. **Tipo de lugar de origen del sismo**

Tipo de lugar de origen del sismo	Descripción a la fuente del sismo	Definición a la fuente del sismo	
		Magnitud del momento máximo, M	Proporción de deslizamiento, SR (mm/año)
A	Fallas que pueden producir eventos de gran magnitud y que tienen una alta relación de actividad sísmica.	$M \geq 7,0$	$SR \geq 5$
B	Otras fallas además de los tipos A y C.	$M \geq 7,0$ $M < 7,0$ $M \geq 6,5$	$SR < 5$ $SR > 2$ $SR < 2$
C	Fallas que no pueden producir eventos de gran magnitud y que tienen una relación de actividad sísmica relativamente baja.	$M < 6,5$	$SR \leq 2$

Fuente: Uniform Building Code, 1997. Capítulo 16.

Tabla XXV. **Factor de cercanía a la fuente Na**

Tipo de lugar de origen del sismo	Distancia más próxima a la fuente del sismo conocida			
	≤ 2 km	5 km	10 km	≥ 15 km
A	2,0	1,6	1,2	1,0
B	1,6	1,2	1,0	1,0
C	1,0	1,0	1,0	1,0

Fuente: Uniform Building Code, 1997. Capítulo 16.

Tabla XXVI. **Factor de cercanía a la fuente N_v**

Tipo de lugar de origen del sismo	Distancia más próxima a la fuente del sismo conocida			
	≤ 2 km	5 km	10 km	≥ 15 km
A	2,0	1,6	1,2	1,0
B	1,6	1,2	1,0	1,0
C	1,0	1,0	1,0	1,0

Fuente: Uniform Building Code, 1997. Capítulo 16.

Tabla XXVII. **Coefficiente de sismicidad C_a**

Tipo de perfil de suelo	Factor de zona sísmica, Z				
	$Z=0,075$	$Z=0,15$	$Z=0,2$	$Z=0,3$	$Z=0,4$
S_A	0,06	0,12	0,16	0,24	$0,32N_a$
S_B	0,08	0,15	0,20	0,30	$0,40N_a$
S_C	0,09	0,18	0,24	0,33	$0,40N_a$
S_D	0,12	0,22	0,28	0,36	$0,44N_a$
S_E	0,19	0,30	0,34	0,36	$0,36N_a$
S_F	Se deben realizar investigaciones geotécnicas y análisis de respuesta dinámica específicos del lugar para determinar los coeficientes de sismicidad para este tipo de perfil de suelo.				

Fuente: Uniform Building Code (UBC), 1997. Capítulo 16.

Cuando no se conocen las propiedades del suelo en suficiente detalle para determinar el tipo de perfil de suelo, se debe emplear el tipo S_D .

Tabla XXVIII. **Coefficiente de sismicidad Cv**

Tipo de perfil de suelo	Factor de zona sísmica, Z				
	Z=0,075	Z=0,15	Z=0,2	Z=0,3	Z=0,4
S_A	0,06	0,12	0,16	0,24	0,32 N_v
S_B	0,08	0,15	0,20	0,30	0,40 N_v
S_C	0,13	0,25	0,32	0,45	0,56 N_v
S_D	0,18	0,32	0,40	0,54	0,64 N_v
S_E	0,26	0,50	0,64	0,84	0,96 N_v
S_F	Se deben realizar investigaciones geotécnicas y análisis de respuesta dinámica específicos del lugar para determinar los coeficientes de sismicidad para este tipo de perfil de suelo.				

Fuente: Uniform Building Code, 1997. Capítulo 16.

Tabla XXIX. **Sistema estructural**

Sistema estructural básico	Descripción de los sistemas resistentes a las fuerzas laterales	R	Altura límite para las zonas sísmicas 3 y 4 (ft)
			x304,8 para mm
Sistema de muros de carga	Muros de cortante a. Hormigón b. Albañilería	4,5	160

Fuente: Uniform Building Code, 1997. Capítulo 16.

3.3.5.2. Período de la estructura

El período de la estructura puede aproximarse por medio de la siguiente expresión, donde el valor de C_t corresponde a 0,0488 para el sistema métrico y 0,020 para el sistema inglés, el cual está dado para edificaciones de mampostería.

$$T = C_t(h_n)^{3/4}$$

3.3.5.3. Esfuerzo de corte basal para diseño

El esfuerzo de corte basal de diseño se encuentra en función del peso total de la estructura y de los criterios mencionados anteriormente. Se determina para una dirección específica en base a la siguiente expresión:

$$V = \frac{C_v I}{RT} W$$

Pero no debe exceder:

$$V = \frac{2,5C_a I}{R} W$$

Y no debe ser menor de:

$$V = 0,11C_a I W$$

Para la zona sísmica 4, el refuerzo de corte basal total no ser menor de lo siguiente:

$$V = \frac{0,8N_v I}{R} W$$

3.3.5.4. Distribución vertical de fuerzas

La fuerza total que se presenta en la estructura debido al sismo, se distribuye sobre la altura de la vivienda para cada nivel, considerándose desde la base del mismo. Se determina con las siguientes ecuaciones.

$$V = F_t + \sum_{i=1}^n F_i$$

La fuerza concentrada F_t en la parte superior, que es adicional a F_i debe determinarse de la expresión:

$$F_t = 0,07TV$$

F_t no debe exceder de $0,25V$ y puede considerarse cero cuando T es 0,7 segundos o menor. La parte restante del esfuerzo de corte basal debe distribuirse sobre la altura de la estructura, de acuerdo con la siguiente expresión:

$$F_x = \frac{(V - F_t)w_x h_x}{\sum_{i=1}^n w_i h_i}$$

w_x y h_x corresponden al peso total y la altura total de la estructura, respectivamente. w_i y h_i corresponden al peso y la altura del nivel i .

3.3.5.5. Carga lateral por muro

Una aproximación de las fuerzas cortantes en cada muro puede determinarse a partir de la fuerza de piso que actúa en cada nivel, V . Se determina por medio de la siguiente expresión, donde k_i es la rigidez lateral de cada muro considerando tanto deformaciones de corte como deformaciones de flexión.

$$V_i = \frac{k_i}{\sum k_i} V$$

3.3.6. Incremento de carga por torsión

La torsión consiste en un giro del centro de masa alrededor del centro de rigidez. Para lograr torsiones mínimas, la excentricidad debe ser cero o muy pequeña a partir de un diseño simétrico de la estructura. El momento torsional se determina como el producto de la excentricidad por el cortante sísmico que actúa en el nivel. Se debe considerar la dirección del sismo.

$$T = 100\%F_x e_y + 30\%F_y e_x$$

El incremento de carga por torsión está dado por la siguiente ecuación:

$$\Delta V = \frac{T d_i k_i}{J}$$

Donde:

ΔV = incremento de carga por torsión del sistema

T = momento de torsión del sistema

d_i = distancia entre centro geométrico de cada muro y el centro de rigidez del sistema

k_i = rigidez lateral de cada muro

J = momento polar equivalente de inercia

El momento polar equivalente de inercia se determina a partir de la suma en el eje x y y del producto de la rigidez de cada muro por la distancia entre el centro geométrico del muro y el centro de rigidez del sistema.

$$J = \Sigma(k_{iy} * d_{ix}^2 + k_{ix} * d_{iy}^2)$$

3.3.7. Carga total por sismo

La excentricidad que se presenta en la estructura genera una torsión, la cual crea un incremento de carga en cada muro. La carga total por sismo corresponde a la suma de la carga por sismo (V_i) y el incremento de la carga por torsión (ΔV).

$$V_T = V_i + \Delta V$$

3.3.8. Refuerzo por muro

Se utiliza acero de refuerzo para resistir las cargas que son aplicadas a los muros y que estos no son capaz de soportar por sí solos. Los muros de mampostería resisten principalmente cargas axiales por su propio peso. Sin embargo, ante fuerzas laterales se producen esfuerzos de corte que generan el colapso de la estructura.

3.3.8.1. Propiedades físicas del muro

Las propiedades físicas del muro están dadas por el área (A_n) y el módulo de la sección (S_n). Estas propiedades consideran la longitud (L) y el espesor efectivo (b), según la dirección donde es aplicada la acción.

$$A_n = L * b$$

$$S_n = \frac{b * L^2}{6}$$

3.3.8.2. Esfuerzos actuantes y resistentes

En los muros de las viviendas se generan esfuerzos de compresión, flexión y corte debido a las solicitaciones a las cuales son sometidos. Se determinan a partir de las expresiones que se presentan a continuación. En base a la relación altura/longitud del muro se determina los esfuerzos que puede resistir, según UBC 1997.

3.3.8.2.1. Esfuerzo de compresión actuante

El esfuerzo de compresión se genera cuando se aplica una carga sobre una superficie perpendicular a esta. Se determina como la relación entre la suma del peso del muro (P) más el peso que llega del nivel superior (P_s), y el área del muro (A_n).

$$f_a = \frac{P + P_s}{A_n}$$

3.3.8.3. Esfuerzo de flexión actuante

El esfuerzo de flexión actuante se debe a las cargas de tensión que se generan por el sismo. Se determina por la relación entre el momento actuante y el módulo de sección del muro. El momento actuante es el producto de la altura del muro por el corte total de sismo.

$$f_b = \frac{M}{S_n} = \frac{H * V_T}{S_n}$$

3.3.8.3.1. Esfuerzo de corte actuante

El esfuerzo de corte actuante se presenta debido a las fuerzas laterales que se generan debido al sismo. Se determina como la relación del corte total de sismo entre el producto del espesor efectivo por la longitud del muro.

$$f_v = \frac{V_T}{b * L}$$

3.3.8.3.2. Esfuerzos resistentes de los muros

Para determinar los esfuerzos resistentes de los muros de mampostería reforzada, se presentan dos condiciones de diseño, según el esfuerzo de flexión actuante en los muros, como indica UBC 1997 (Sección 2107.2.8):

- El esfuerzo a flexión no actúa

Cuando $f_v > F_v$ el corte lo debe resistir el acero, por lo que se provee acero de refuerzo para resistir todo el cortante. El refuerzo de corte actuante no debe exceder a:

$$f_v = 3\sqrt{f'_m} \leq 150 \text{ psi}$$

De acuerdo a la condición anterior, el mínimo valor de acero de refuerzo será dado por:

$$A_v = \frac{V * S}{d * F_s}$$

Donde:

A_v = área de refuerzo

V = fuerza de corte

S = espaciamiento del acero de refuerzo

d = distancia del extremo a compresión hasta el centroide del acero a tensión

F_s = esfuerzo permisible del acero de refuerzo

Cuando el muro falla por corte se presenta una diagonal de 45 grados, por lo cual el espaciamiento máximo del refuerzo horizontal de corte no debe exceder de $d/2$ o 48 pulgadas (1,20 metros), donde rige el menor.

También se debe proporcionar acero de refuerzo vertical (según ASCE), que no debe ser menor a $1/3$ del acero horizontal (A_{sh}) y su máxima separación es de 8 pies (2,5 metros).

- Existe esfuerzo de flexión

El esfuerzo de flexión se determina como $F_b \leq \frac{1}{3} f'_m$ según UBC 1997 (Sección 2107.2.8) y $F_b \geq f_b$. Cuando el esfuerzo de corte actuante siempre es menor que el resistente, $f_v \leq F_v$, se presentan las siguientes condiciones para diseñar el acero de refuerzo a corte complementario según UBC 1997 (sección 2107.2.9):

- Si la relación de momentos o su equivalente: $H/L < 1$

$$F_v = \frac{1}{3} \left(4 - \frac{M}{vd} \right) \sqrt{f'_m} \leq 80 - 45 \left(\frac{M}{vd} \right) \text{ psi}$$

- Si la relación de momentos o su equivalente: $H/L \sim 1$

$$F_V = 35 \text{ psi para } f'_m \geq 1500 \text{ psi ó } 105 \text{ kg/cm}^2$$

- Si la relación de momentos o su equivalente: $H/L \geq 1$

$$F_V = \sqrt{f'_m} \leq 35 \text{ psi}$$

En el caso que se provee de acero de refuerzo para resistir todo el esfuerzo de corte $F_v > f_v$, se presentan las siguientes condiciones para determinar el valor del esfuerzo de corte resistente:

- Si la relación de momentos o su equivalente: $H/L < 1$

$$F_V = \frac{1}{2} \left(4 - \frac{M}{Vd} \right) \sqrt{f'_m} \text{ menor o igual a } 120 - 45 \left(\frac{M}{Vd} \right) \text{ psi}$$

- Si la relación de momentos o su equivalente: $H/L \sim 1$

$$F_V = 1,5\sqrt{f'_m} \leq 75 \text{ psi}$$

- Si la relación de momentos o su equivalente: $H/L \geq 1$

$$F_V = 1,5\sqrt{f'_m} \leq 75 \text{ psi}$$

4. ANÁLISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL DE UNA VIVIENDA UNIFAMILIAR DE DOS NIVELES, CON DIFERENTE UNIDAD DE MAMPOSTERÍA POR NIVEL

4.1. Viviendas de dos niveles

Para el diseño de las viviendas unifamiliares se presentan los datos de las unidades de mampostería en la tabla XXX, y la altura y cargas de cada nivel en la tabla XXXI. Las plantas de cada nivel se presentan en las figura 16 y figura 17.

Tabla XXX. Datos de las unidades de mampostería

Dato	Ladrillo superblock	Bloque de concreto
Dimensiones	14 x 19 x 39 cm	14 x 19 x 39 cm
Peso/unidad	7,80 kg	10 kg
Unidades/m ²	12,5	12,5
Resistencia a compresión de la mampostería (f'_m)	60 kg/cm ²	35 kg/cm ²
Fluencia del acero (f_y)	2 810 kg/cm ²	2 810 kg/cm ²

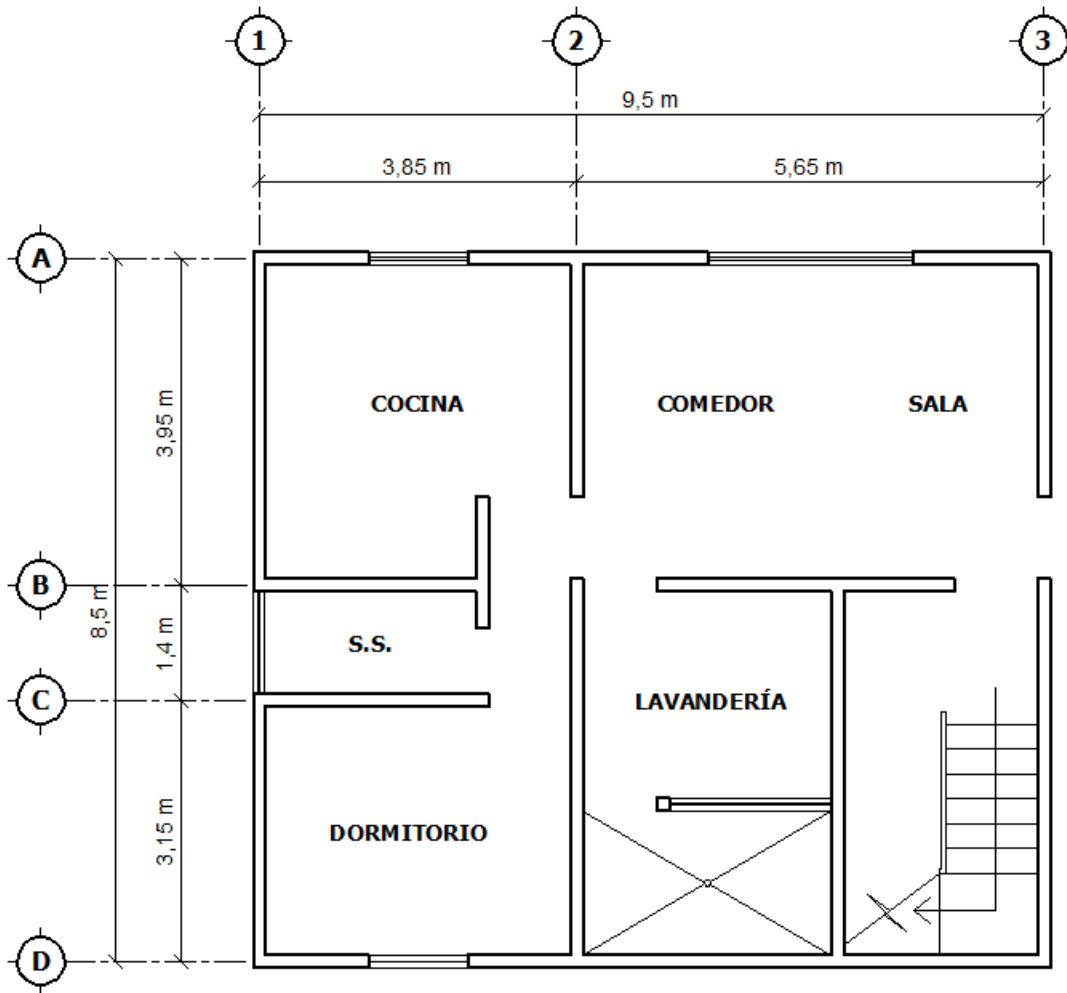
Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXI. Datos de los niveles de la vivienda

Dato	Primer nivel	Segundo nivel
Altura	3,2 m	2,6 m
Carga viva (CV)	200 kg/m ²	100 kg/m ²
Sobrecarga (SC)	40 kg/m ²	30 kg/m ²

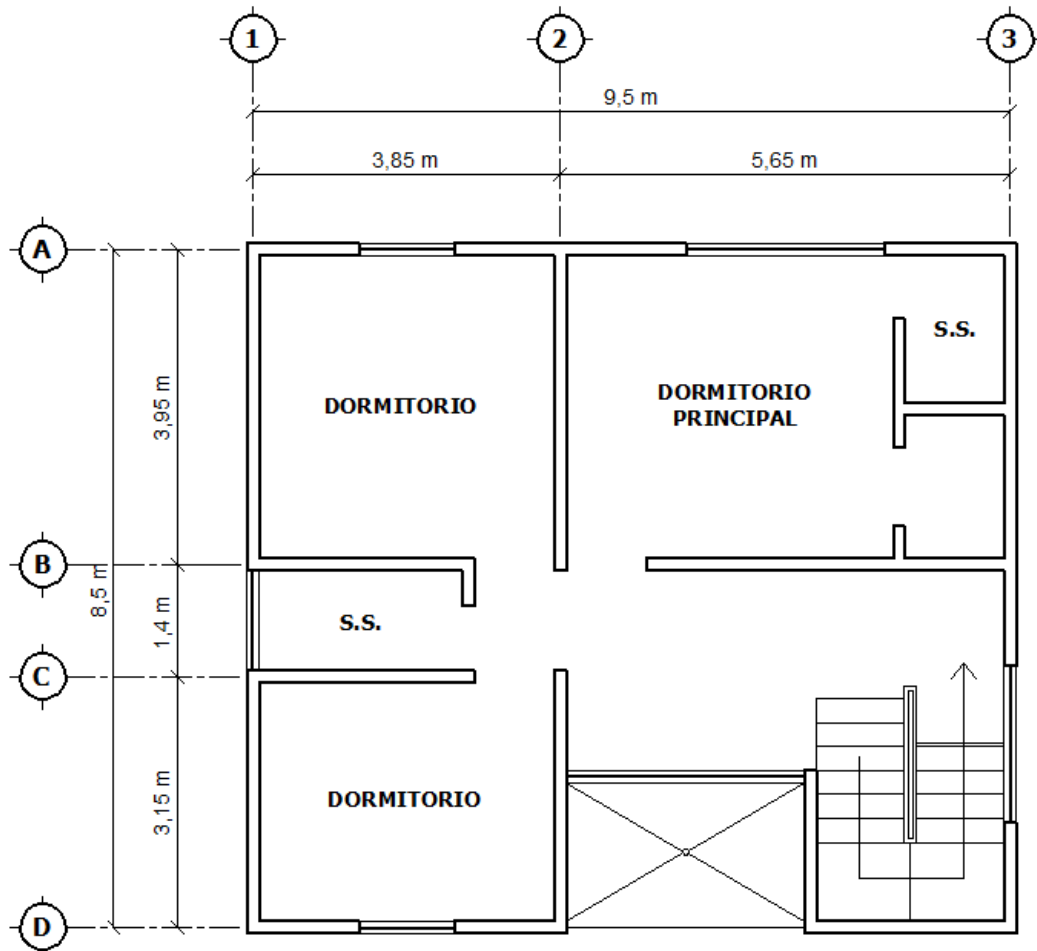
Fuente: elaboración propia.

Figura 16. **Planta primer nivel**



Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD 2013.

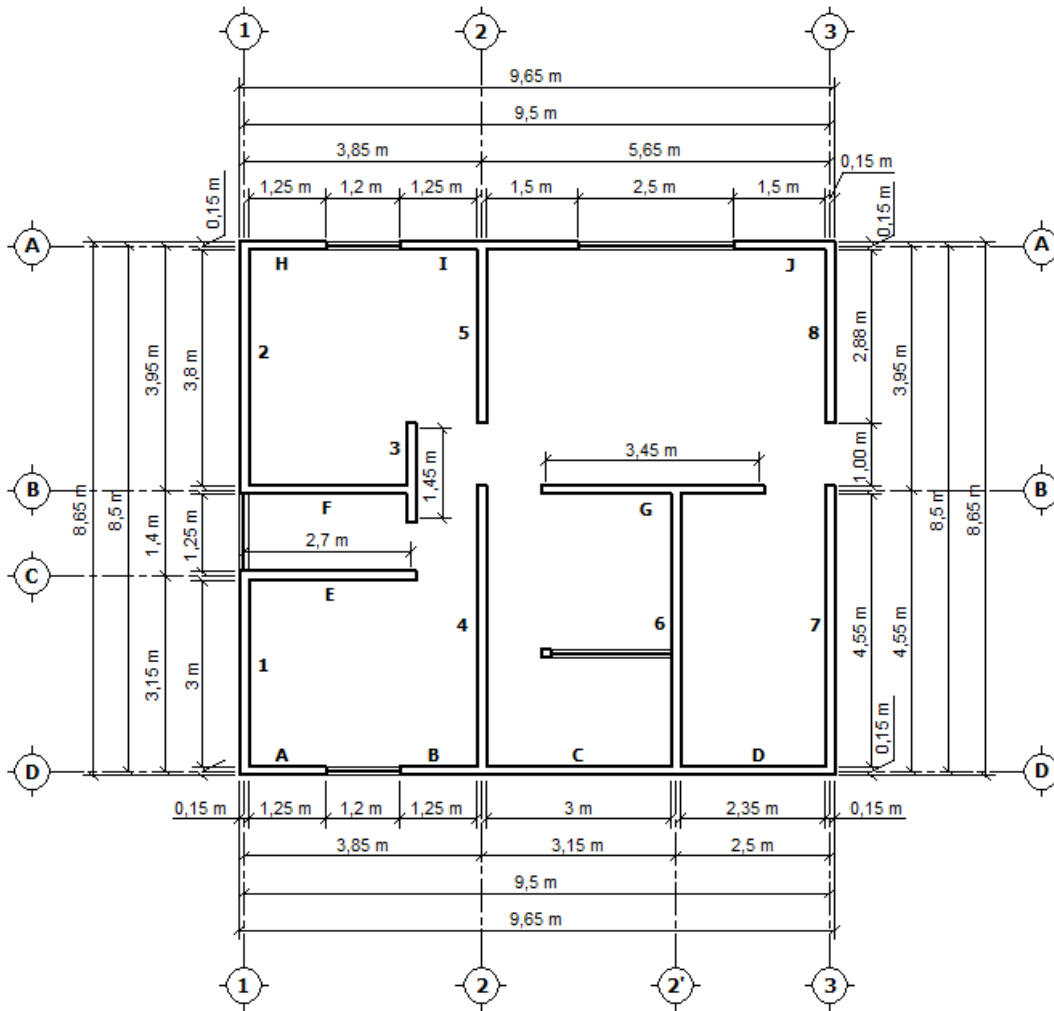
Figura 17. **Planta segundo nivel**



Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD 2013.

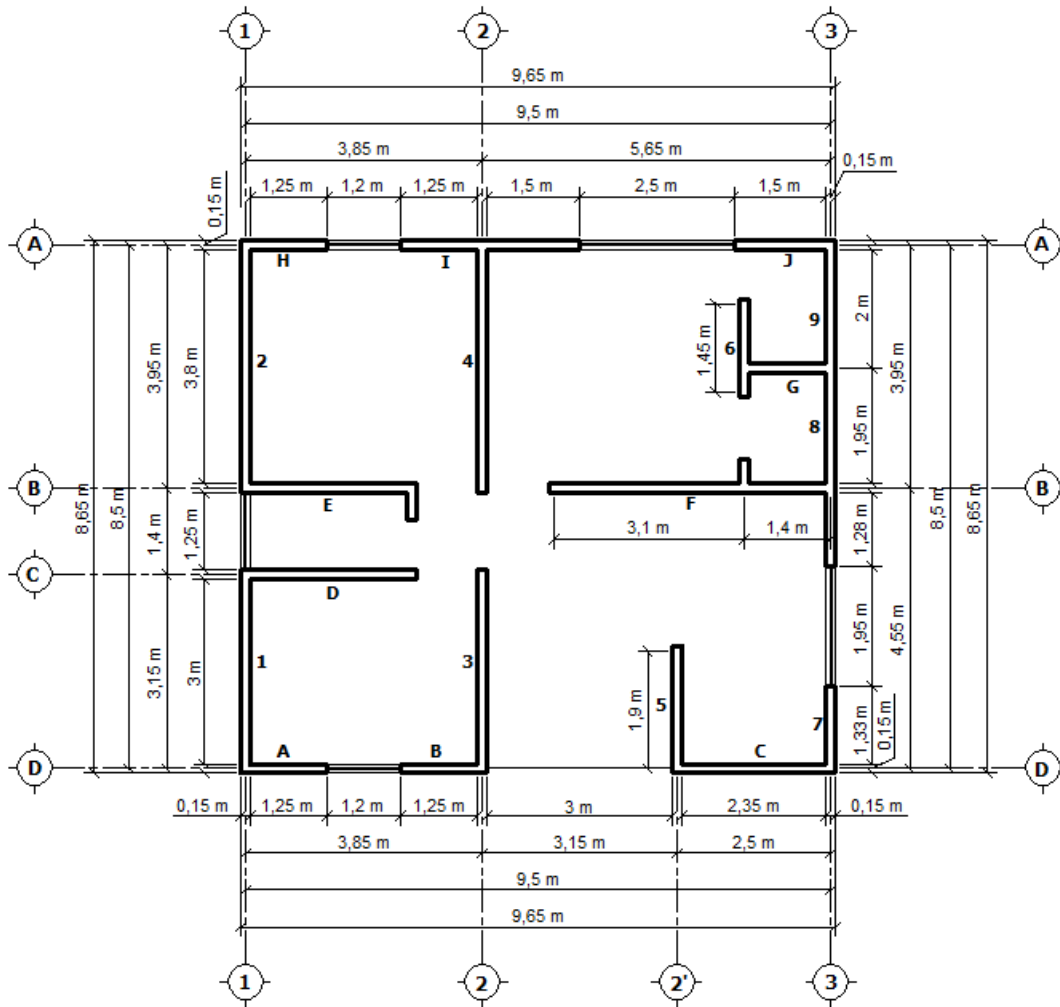
Para la identificación de muros se denota con letras los correspondientes al eje x y con números los que corresponden al eje y , como se muestra en la figura 18 y figura 19.

Figura 18. **Planta acotada primer nivel e identificación de muros**



Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD 2013.

Figura 19. Planta acotada segundo nivel e identificación de muros



Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD 2013.

4.2. Primer caso: ladrillo tipo superblock en el primer nivel y bloque de concreto en el segundo nivel

Para la determinación del centro de masa y centro de rigidez de cada nivel, se indica la longitud de cada muro y su centro geométrico en el eje x y y . Las coordenadas están medidas a partir de la esquina inferior izquierda del nivel.

4.2.1. Centro de masa

El centro de masa se encuentra en función del peso de los muros y losa, y su centro geométrico. El peso lineal de los muros se determina por medio de la siguiente expresión, según la unidad de mampostería:

$$W[\text{kg/m}] = \frac{\text{Peso [kg]}}{\text{unidad}} * \frac{\text{No. unidades}}{\text{m}^2} * \text{Altura del muro}$$

Los pesos lineales para las unidades de mampostería son:

$$W_{\text{Ladrillo super block}} = 7,80 \frac{\text{kg}}{\text{unidad}} * 12,5 \frac{\text{unidades}}{\text{m}^2} * 3,2 \text{ m}$$

$$W_{\text{Ladrillo super block}} = \mathbf{312,2 \text{ kg/m}}$$

$$W_{\text{Bloque de concreto}} = 10 \frac{\text{kg}}{\text{unidad}} * 12,5 \frac{\text{unidades}}{\text{m}^2} * 2,6 \text{ m}$$

$$W_{\text{Bloque de concreto}} = \mathbf{325 \text{ kg/m}}$$

Por lo tanto, el peso de cada muro corresponde al producto del peso lineal de la unidad de mampostería por la longitud del muro.

$$w \text{ [kg]} = W_{\text{unidad de mampostería}} * \text{Longitud}_{\text{muro}}$$

Para el muro A, en cada nivel se tiene una longitud de 1,32 metros por lo que el peso del muro para el primer nivel (ladrillo tipo superblock) es:

$$w = 312,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}} * 1,32 \text{ m} = 413,61 \text{ kg}$$

Para el segundo nivel (bloque de concreto) es:

$$w = 325 \frac{\text{kg}}{\text{m}} * 1,32 \text{ m} = 430,63 \text{ kg}$$

Para determinar el espesor de la losa (t), se emplea el ambiente con mayor área en la vivienda (en este caso la sala), como se especifica en el Método 3 del ACI:

$$t = \frac{2 * (\text{Largo} + \text{Ancho})}{180} = \frac{2 * (5,65 \text{ m} + 4,1 \text{ m})}{180} = 0,108 \text{ m}$$

El espesor de la losa corresponde a 10,8 centímetros, sin embargo para fines constructivos se define un espesor de losa para entepiso y techo de 11 centímetros.

El peso de cada losa se determina por medio del área de las mismas, el peso propio de la losa y la sobrecarga (SC).

$$w_i = \text{Área} * (t * \text{Peso específico} + \text{SC})$$

Para la losa 1 de la figura 20, el área es de 17,518 metros cuadrados, el peso específico del concreto es de 2 400 kilogramos por metro cúbico y se considera una sobrecarga de 40 kilogramos por metro cuadrado para el primer nivel.

$$w_{\text{losa 1}} = 17,518 \text{ m}^2 * \left(0,11 \text{ m} * 2\,400 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} + 40 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \right) = 5\,325,32 \text{ kg}$$

Para el segundo nivel se considera una sobrecarga de 30 kilogramos por metro cuadrado.

$$w_{\text{losa 1}} = 17,518 \text{ m}^2 * \left(0,11 \text{ m} * 2\,400 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} + 30 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \right) = 5\,150,15 \text{ kg}$$

De esta forma se procede a determinar el peso de las losas que conforman el entrepiso y el techo, del primer nivel y segundo nivel, respectivamente.

4.2.1.1. Primer nivel

Para la determinación del centro de masa de los muros con ladrillo tipo superblock, se presentan los datos de la tabla XXXII. El peso lineal de la unidad de mampostería para los muros de este nivel es 312,2 kilogramos por metro.

Tabla XXXII. Centro de masa de muros primer nivel

Muro	Longitud (m)	Peso w_i (kg)	x (m)	y (m)	$w_i * x$ (kg·m)	$w_i * y$ (kg·m)
A	1,325	413,612	0,668	0,000	276,293	0,000
B	1,325	413,612	3,198	0,000	1 322,730	0,000
C	3,150	983,303	5,435	0,000	5 344,252	0,000
D	2,500	780,399	8,260	0,000	6 446,098	0,000
E	2,785	869,365	1,393	3,160	1 211,025	2 747,193
F	2,710	845,953	1,318	4,560	1 114,966	3 857,545
G	3,600	1 123,775	6,635	4,560	7 456,247	5 124,414
H	1,325	413,612	0,668	8,510	276,293	3 519,835
I	2,900	905,263	3,985	8,510	3 607,474	7 703,789
J	1,575	491,652	8,723	8,510	4 288,676	4 183,955
1	3,160	986,425	0,000	1,580	0,000	1 558,551
2	3,950	1 233,031	0,000	6,535	0,000	8 057,857
3	1,600	499,456	2,710	4,835	1 353,525	2 414,868
4	4,631	1 445,612	3,860	2,319	5 580,061	3 352,373
5	2,875	897,459	3,860	7,072	3 464,192	6 346,831
6	4,553	1 421,263	7,010	2,195	9 963,055	3 119,673
7	4,625	1 443,734	9,510	2,313	13 729,955	3 339,368
8	2,875	897,459	9,510	7,063	8 534,837	6 338,754
		16 064,987			73 969,677	61 665,004

Fuente: elaboración propia.

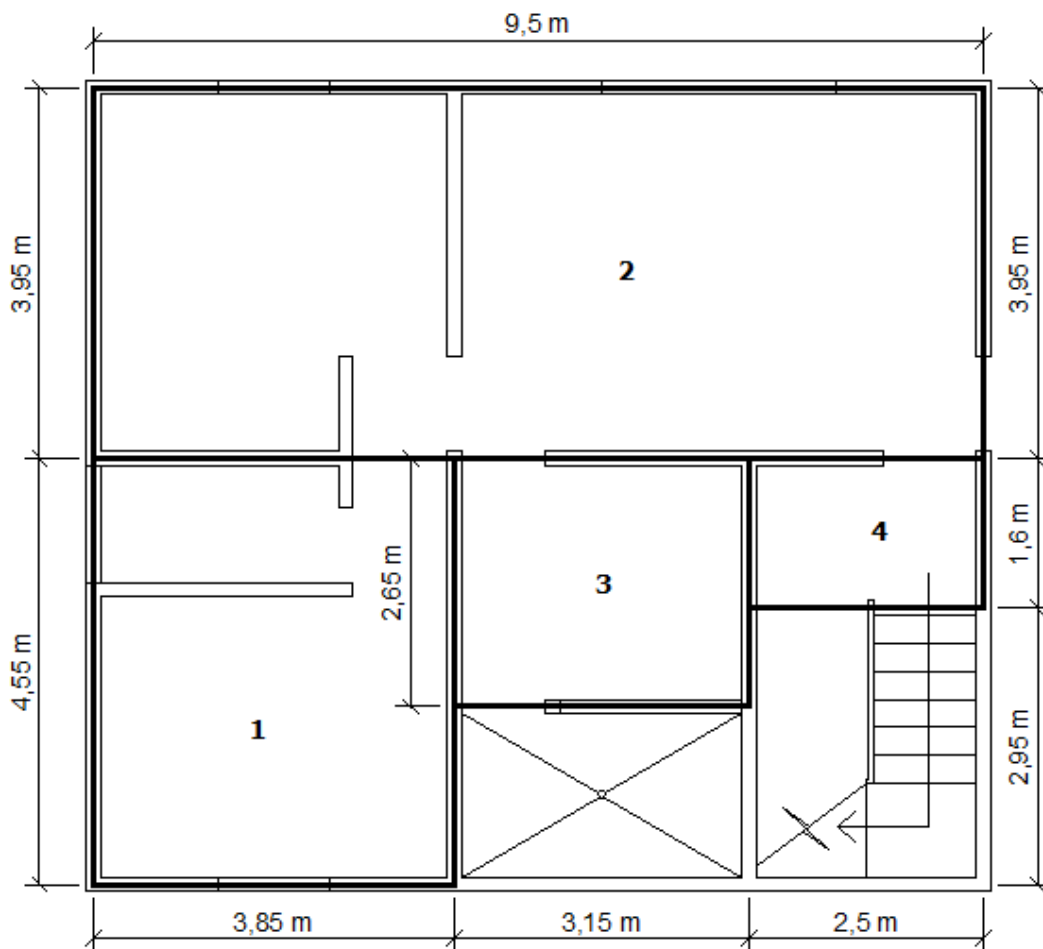
A partir de las sumatorias anteriores, el centro de masa de muros es:

$$CM_{\text{muro } x} = \frac{73\,969,677 \text{ kg} \cdot \text{m}}{16\,064,987 \text{ kg}} = 4,604 \text{ m}$$

$$CM_{\text{muro } y} = \frac{61\,665,004 \text{ kg} \cdot \text{m}}{16\,064,987 \text{ kg}} = 3,838 \text{ m}$$

Para el centro de masa de losa, se procedió a dividir ésta en áreas (figura 20) para determinar los pesos y el centro geométrico para cada uno como se muestra en la tabla XXXIII.

Figura 20. **Identificación de áreas de losa primer nivel**



Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD 2013.

Tabla XXXIII. Centro de masa de losa primer nivel

Losa	Área (m ²)	Peso w_i (kg)	x (m)	y (m)	$w_i * x$ (kg·m)	$w_i * y$ (kg·m)
1	17,518	5 325,320	1,925	2,275	10 251,241	12 115,103
2	37,525	11 407,600	4,750	6,525	54 186,100	74 434,590
3	8,348	2 537,640	5,425	3,225	13 766,697	8 183,889
4	4,000	1 216,000	8,250	3,750	10 032,000	4 560,000
		20 486,560			88 236,038	99 293,582

Fuente: elaboración propia.

A partir de las sumatorias anteriores, el centro de masa de losa es:

$$CM_{\text{muro } x} = \frac{88\,236,038 \text{ kg} \cdot \text{m}}{20\,486,560 \text{ kg}} = 4,307 \text{ m}$$

$$CM_{\text{muro } y} = \frac{99\,293,582 \text{ kg} \cdot \text{m}}{20\,486,560 \text{ kg}} = 4,847 \text{ m}$$

El centro de masa de muro y losa para el primer nivel es:

$$CM_x = \frac{16\,064,987 \text{ kg} * 4,604 \text{ m} + 20\,486,560 \text{ kg} * 4,307 \text{ m}}{16\,064,987 \text{ kg} + 20\,486,560 \text{ kg}} = 4,438 \text{ m}$$

$$CM_y = \frac{16\,064,997 \text{ kg} * 3,838 \text{ m} + 20\,486,560 \text{ kg} * 4,847 \text{ m}}{16\,064,987 \text{ kg} + 20\,486,560 \text{ kg}} = 4,404 \text{ m}$$

4.2.1.2. Segundo nivel

La determinación del centro de masa de los muros con bloques de concreto se presentan los datos de la tabla XXXIV. El peso lineal de la unidad de mampostería para los muros de este nivel es 325 kilogramos por metro.

Tabla XXXIV. Centro de masa de muros segundo nivel

Muro	Longitud (m)	Peso w_i (kg)	x (m)	y (m)	$w_i * x$ (kg·m)	$w_i * y$ (kg·m)
A	1,325	430,625	0,663	0,000	285,289	0,000
B	1,325	430,625	3,225	0,000	1 388,766	0,000
C	2,575	836,875	8,213	0,000	6 873,254	0,000
D	2,775	901,875	1,388	3,150	1 251,803	2 840,906
E	2,775	901,875	1,388	4,550	1 251,803	4 103,531
F	2,900	942,500	7,213	4,550	6 798,253	4 288,375
G	1,325	430,625	8,875	6,500	3 821,797	2 799,063
H	1,325	430,625	0,663	8,500	285,504	3 660,313
I	2,900	942,500	3,975	8,500	3 746,438	8 011,250
J	1,575	511,875	8,713	8,500	4 459,967	4 350,938
1	3,150	1 023,750	0,000	1,575	0,000	1 612,406
2	3,950	1 283,750	0,000	6,525	0,000	8 376,469
3	3,225	1 048,125	3,850	1,613	4 035,281	1 690,102
4	4,025	1 308,125	3,850	6,488	5 036,281	8 487,115
5	1,975	641,875	7,000	0,988	4 493,125	633,852
6	1,600	520,000	8,100	6,825	4 212,000	3 549,000
7	1,325	430,625	9,500	0,663	4 090,938	285,289
8	3,225	1 048,125	9,500	4,888	9 957,188	5 123,235
9	2,000	650,000	9,500	7,500	6 175,000	4 875,000
		14 714,375			68 162,685	64 686,842

Fuente: elaboración propia.

A partir de las sumatorias anteriores, el centro de masa de muros es:

$$CM_{\text{muro } x} = \frac{68\,162,685 \text{ kg} \cdot \text{m}}{14\,714,375 \text{ kg}} = 4,632 \text{ m}$$

$$CM_{\text{muro } y} = \frac{64\,686,842 \text{ kg} \cdot \text{m}}{14\,714,375 \text{ kg}} = 4,396 \text{ m}$$

Para el centro de masa de losa se determinan los pesos de la losa y el centro geométrico para cada uno de éstos como se presentan en la tabla XXXV. La división de la losa en áreas se presenta en la figura 21.

Tabla XXXV. **Centro de masa de losa segundo nivel**

Losa	Área (m ²)	Peso w_i (kg)	x (m)	y (m)	$w_i * x$ (kg·m)	$w_i * y$ (kg·m)
1	17,518	5 150,145	1,925	2,275	9 914,029	11 716,580
2	37,525	1 1032,350	4,750	6,525	52 403,663	71 986,084
3	8,348	2 454,165	5,425	3,225	13 313,845	7 914,682
4	11,375	3 344,250	8,250	2,275	27 590,063	7 608,169
		21 980,910			103 221,599	99 225,515

Fuente: elaboración propia.

A partir de las sumatorias anteriores, el centro de masa de losa es:

$$CM_{\text{losa } x} = \frac{103\,221,599 \text{ kg} \cdot \text{m}}{21\,980,910 \text{ kg}} = 4,696 \text{ m}$$

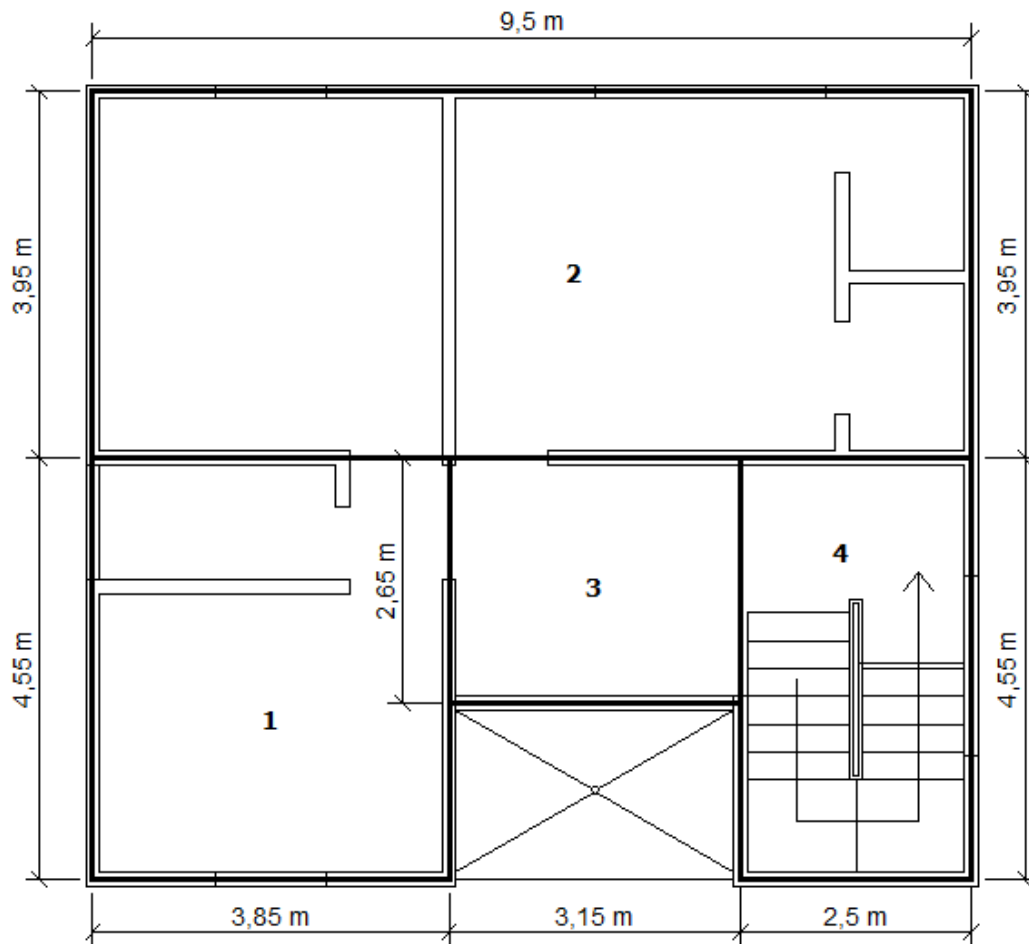
$$CM_{\text{losa } y} = \frac{99\,225,515 \text{ kg} \cdot \text{m}}{21\,980,910 \text{ kg}} = 4,514 \text{ m}$$

El centro de masa de muro y losa para el segundo nivel es:

$$CM_x = \frac{14\,714,375 \text{ kg} * 4,632 \text{ m} + 21\,980,910 \text{ kg} * 4,696 \text{ m}}{14\,714,375 \text{ kg} + 21\,980,910 \text{ kg}} = 4,670 \text{ m}$$

$$CM_y = \frac{14\,714,375 \text{ kg} * 4,396 \text{ m} + 21\,980,910 \text{ kg} * 4,514 \text{ m}}{14\,714,375 \text{ kg} + 21\,980,910 \text{ kg}} = 4,467 \text{ m}$$

Figura 21. **Identificación de áreas de losa segundo nivel**



Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD 2013.

4.2.2. Centro de rigidez

Para la rigidez lateral de los muros, se considera una altura de 3,2 metros en el primer nivel y 2,6 metros en el segundo nivel. Las dimensiones del muro dependen de la dirección en que se considera aplicada la carga de sismo.

Para el muro A del primer nivel, donde la fuerza actúa dentro del plano, la rigidez es:

$$k_x = \frac{0,14 \text{ m} * 1,325 \text{ m}}{3,2 \text{ m} \left[\left(\frac{3,2 \text{ m}}{1,325 \text{ m}} \right)^2 + 3 \right]} = 0,0066 \text{ m}$$

Para el muro A del primer nivel, donde la fuerza actúa fuera del plano, la rigidez es:

$$k_y = \frac{1,325 \text{ m} * 0,14 \text{ m}}{3,2 \text{ m} \left[\left(\frac{3,2 \text{ m}}{0,14 \text{ m}} \right)^2 + 3 \right]} = 0,0001 \text{ m}$$

Se puede notar que al considerar la fuerza fuera del plano, la rigidez podría despreciarse por presentarse valores aproximadamente cero.

4.2.2.1. Primer nivel

Para la determinación del centro de rigidez de los muros con ladrillo tipo superblock, se presentan los datos de la tabla XXXVI. Se considera una altura para los muros del primer nivel de 3,2 metros.

Tabla XXXVI. Centro de rigidez primer nivel

Muro	k_x (m)	k_y (m)	x (m)	y (m)	$k_y * x$ (m ²)	$k_x * y$ (m ²)
A	0,0066	0,0001	0,668	0,000	0,0000	0,0001
B	0,0066	0,0001	3,198	0,000	0,0004	0,0000
C	0,0342	0,0003	5,435	0,000	0,0014	0,0000
D	0,0236	0,0002	8,260	0,000	0,0017	0,0000
E	0,0282	0,0002	1,393	3,160	0,0003	0,0891
F	0,0270	0,0002	1,318	4,560	0,0003	0,1230
G	0,0416	0,0003	6,635	4,560	0,0020	0,1895
H	0,0066	0,0001	0,668	8,510	0,0001	0,0559
I	0,0301	0,0002	3,985	8,510	0,0010	0,2560
J	0,0097	0,0001	8,723	8,510	0,0011	0,0823
1	0,0003	0,0343	0,000	1,580	0,0000	0,0004
2	0,0003	0,0473	0,000	6,535	0,0000	0,0021
3	0,0001	0,0100	2,710	4,835	0,0271	0,0006
4	0,0004	0,0583	3,860	2,319	0,2249	0,0009
5	0,0002	0,0297	3,860	7,072	0,1145	0,0017
6	0,0004	0,0570	7,010	2,195	0,3996	0,0008
7	0,0004	0,0582	9,510	2,313	0,5532	0,0009
8	0,0002	0,0297	9,510	7,063	0,2822	0,0017
	0,2163	0,3263			1,6098	0,8050

Fuente: elaboración propia.

El centro de rigidez, CR, para el primer nivel es:

$$CR_x = \frac{1,6098 \text{ m}^2}{0,3263 \text{ m}} = 4,933 \text{ m}$$

$$CR_y = \frac{0,8050 \text{ m}^2}{0,2163 \text{ m}} = 3,722 \text{ m}$$

4.2.2.2. Segundo nivel

Para la determinación del centro de rigidez de los muros con ladrillo tipo superblock se presentan los datos de la tabla XXXVII. Se considera una altura para los muros del segundo nivel de 2,6 metros.

Tabla XXXVII. Centro de rigidez segundo nivel

Muro	k_x (m)	k_y (m)	x (m)	y (m)	$k_y * x$ (m ²)	$k_x * y$ (m ²)
A	0,0080	0,0002	0,700	0,075	0,0002	0,0006
B	0,0408	0,0004	1,425	3,230	0,0006	0,1319
C	0,0408	0,0004	0,000	4,630	0,0000	0,1890
D	0,0080	0,0002	0,700	8,580	0,0002	0,0688
E	0,0080	0,0002	2,600	0,075	0,0006	0,0006
F	0,0420	0,0004	4,050	8,580	0,0018	0,3601
G	0,0759	0,0007	5,000	4,630	0,0035	0,3514
H	0,0362	0,0004	7,000	0,075	0,0029	0,0027
I	0,0080	0,0002	8,250	6,580	0,0018	0,0527
J	0,0129	0,0003	8,825	8,580	0,0023	0,1103
1	0,0005	0,0442	0,075	1,500	0,0033	0,0007
2	0,0006	0,0616	0,075	6,600	0,0046	0,0039
3	0,0005	0,0476	3,925	0,024	0,1869	0,0000
4	0,0006	0,0647	3,925	4,582	0,2541	0,0028
5	0,0003	0,0184	7,075	1,100	0,1301	0,0003
6	0,0002	0,0118	8,180	6,900	0,0967	0,0017
7	0,0002	0,0056	9,575	0,775	0,0537	0,0001
8	0,0005	0,0476	9,575	4,925	0,4559	0,0024
9	0,0003	0,0172	9,575	7,575	0,1651	0,0022
	0,2843	0,3225			1,3642	1,2822

Fuente: elaboración propia.

El centro de rigidez, CR, para el segundo nivel es:

$$CR_x = \frac{1,3642 \text{ m}^2}{0,3225 \text{ m}} = 4,230 \text{ m}$$

$$CR_y = \frac{1,2822 \text{ m}^2}{0,2843 \text{ m}} = 4,511 \text{ m}$$

4.2.3. Excentricidad real y excentricidad de diseño

La excentricidad real se determina como la diferencia entre el centro de masa y el centro de rigidez del sistema. Debe ser menor al 10 por ciento de la dimensión de la estructura perpendicular a la dirección del sentido en consideración, B .

4.2.3.1. Primer nivel

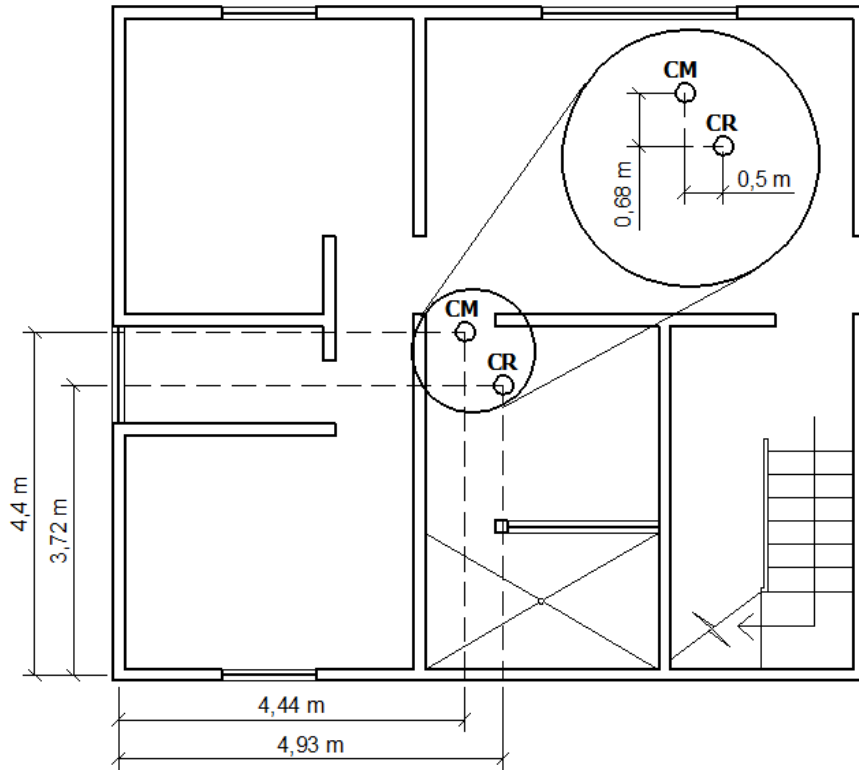
Para la excentricidad real, se tienen los siguientes datos: centro de masa en el eje x , 4,438 metros, centro de masa en el eje y , 4,404 metros; centro de rigidez en el eje x , 4,933 metros y centro de rigidez en el eje y , 3,722 metros.

$$e_{\text{real}x} = |4,438 \text{ m} - 4,933 \text{ m}| = 0,495 \text{ m}$$

$$e_{\text{real}y} = |4,404 \text{ m} - 3,722 \text{ m}| = 0,682 \text{ m}$$

En la figura 22 se muestra la excentricidad en la planta del primer nivel de la vivienda, así como la ubicación del centro de masa y centro de rigidez.

Figura 22. **Excentricidad real primer nivel**



Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD 2013.

Las excentricidades anteriores deben cumplir para $x \leq 10\% * 9,65 \text{ m}$ y para $y \leq 10\% * 8,65 \text{ m}$.

$$0,495 \text{ m} \leq 0,965 \text{ m}$$

$$0,682 \text{ m} \leq 0,865 \text{ m}$$

Las excentricidades reales cumplen con la condición anterior, por lo tanto, se procede a determinar la excentricidad de diseño, la cual considera un incremento del 5 por ciento de la dimensión de la estructura perpendicular a la dirección del sentido en consideración.

$$e_{\text{diseño}x} = 0,495 \text{ m} + 5\% * 0,965 \text{ m} = 0,978 \text{ m}$$

$$e_{\text{diseño}y} = 0,682 \text{ m} + 5\% * 0,865 \text{ m} = 1,114 \text{ m}$$

4.2.3.2. Segundo nivel

Para la excentricidad real, se tienen los siguientes datos: centro de masa en el eje x , 4,670 metros, centro de masa en el eje y , 4,467 metros; centro de rigidez en el eje x , 4,230 metros y centro de rigidez en el eje y , 4,511 metros.

$$e_{\text{real}x} = |4,670 \text{ m} - 4,230 \text{ m}| = 0,440 \text{ m}$$

$$e_{\text{real}y} = |4,467 \text{ m} - 4,511 \text{ m}| = 0,044 \text{ m}$$

En la figura 23 se muestra la excentricidad en la planta del segundo nivel de la vivienda, así como la ubicación del centro de masa y centro de rigidez.

Las excentricidades anteriores deben cumplir para $x \leq 10\% * 9,65 \text{ m}$ y para $y \leq 10\% * 8,65 \text{ m}$.

$$0,440 \text{ m} \leq 0,965 \text{ m}$$

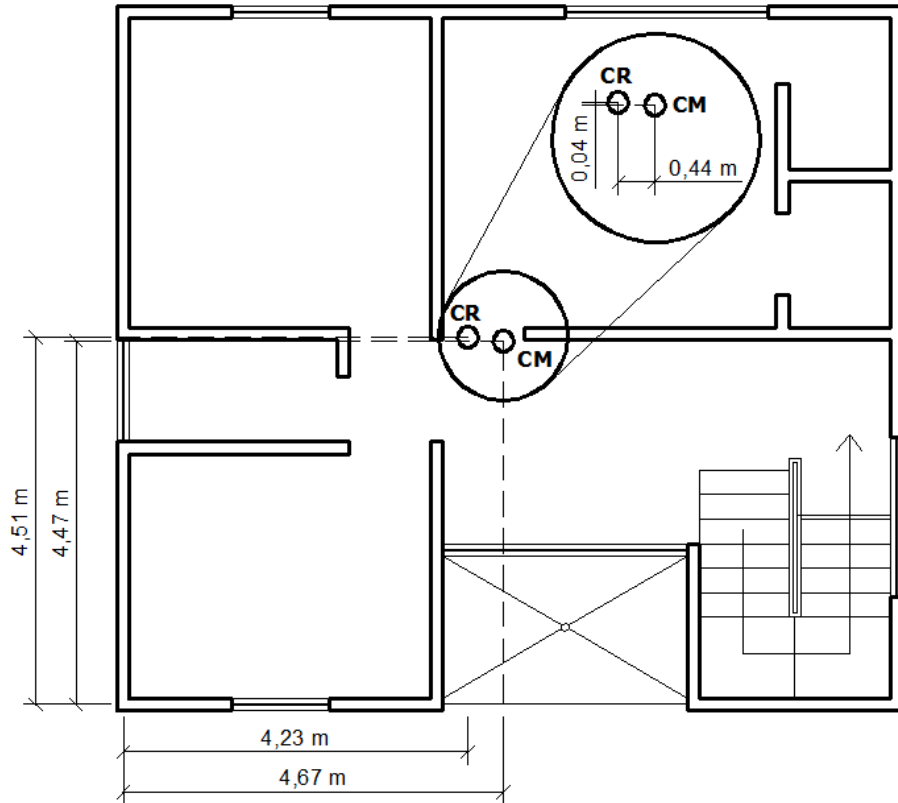
$$0,044 \text{ m} \leq 0,865 \text{ m}$$

Las excentricidades reales cumplen con la condición anterior, por lo tanto, se procede a determinar la excentricidad de diseño:

$$e_{\text{diseño}x} = 0,440 \text{ m} + 5\% * 0,965 \text{ m} = 0,923 \text{ m}$$

$$e_{\text{diseño}y} = 0,044 \text{ m} + 5\% * 0,865 \text{ m} = 0,476 \text{ m}$$

Figura 23. **Excentricidad real segundo nivel**



Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD 2013.

Por medio de las excentricidades reales de cada nivel, se recomienda verificar que la diferencia que existe entre un nivel con respecto a otro es menor al desplazamiento permitido para la vivienda, Δ , el cual corresponde al 10 por ciento de la altura total de la misma.

Se propone este chequeo debido a la diferencia de excentricidades que se presenta en cada nivel (principalmente por las distintas propiedades físicas y mecánicas de las unidades de mampostería), tanto en el plano horizontal como vertical, que incrementa el efecto de torsión y genera una junta fría entre la unión de los niveles.

Para este caso en particular, la vivienda tiene una altura total de 5,8 metros, por lo que el desplazamiento permitido corresponde al 10 por ciento de esta altura, $\Delta = 0,58$ metros. La diferencia de excentricidad real del primer nivel con respecto al segundo nivel es:

$$e_{\text{real}X} = |0,495 \text{ m} - 0,682 \text{ m}| = 0,187 \text{ m}$$

$$e_{\text{real}Y} = |0,440 \text{ m} - 0,044 \text{ m}| = 0,396 \text{ m}$$

Las diferencias anteriores son menores al desplazamiento permitido del 10 por ciento, por lo que se espera que la vivienda no sea afectada por la torsión que se produce debido al sismo. En caso de no cumplirse esta consideración, se recomienda cambiar la configuración estructural de la vivienda, la resistencia a compresión del mamposte o la altura de los muros.

Para esto es importante también verificar el peso de los niveles por medio de la especificación de UBC 1997 (tabla 16-L, Irregularidades verticales estructurales). Si la relación entre el peso del primer nivel con respecto al peso del segundo nivel es mayor o igual a 150 por ciento, existe irregularidad de peso.

$$\frac{W_{\text{primer nivel}}}{W_{\text{segundo nivel}}} \geq 1,5$$

$$\frac{36\,551,547 \text{ kg}}{36\,695,285 \text{ kg}} = 0,99$$

$$0,99 \leq 1,5$$

En este caso, no se presenta irregularidad en masa entre los niveles colindantes de la vivienda.

4.2.4. Corte basal

Para la determinación de corte basal se emplea el método simplificado del UBC 1997 (Sección 1630.2). Los criterios se indican a partir de las características del lugar y de la vivienda.

4.2.4.1. Selección de criterios

Los criterios para la vivienda se seleccionan por medio de la tabla XII a la tabla XX del capítulo 3. En este caso se considera que no se tiene un estudio detallado de las propiedades del suelo en suficiente detalle para determinar el tipo de perfil de suelo.

Zona sísmica: 4

Factor de zona sísmica Z : 0,40

Tipo de perfil de suelo: S_D

Factor de importancia sísmica I : 1,0

Tipo de lugar de origen del sismo: B

Distancia más próxima a la fuente del sismo conocida: 10 km

Factor de cercanía a la fuente N_a : 1,0

Factor de cercanía a la fuente N_v : 1,0

Coeficiente de sismicidad C_a : $0,44 * N_a = 0,44$

Coeficiente de sismicidad C_v : $0,64 * N_v = 0,64$

Sistema estructural básico (muros de carga), R : 4,5.

4.2.4.2. Período de la estructura

El período de la estructura puede aproximarse por medio de la siguiente fórmula, donde el valor de C_t corresponde a 0,0488 para el sistema métrico, el

cual está dado para edificaciones de mampostería, y el valor de h_n corresponde a la altura total de la estructura.

$$T = 0,0488(3,2 + 2,6)^{3/4} = 0,1824$$

4.2.4.3. Esfuerzo de corte basal para diseño

El corte basal se encuentra en función del peso total de la estructura, por lo cual se determinara este peso inicialmente. El peso por nivel está dado por la suma del peso de los muros y de la losa más un 25 por ciento de carga viva.

$$w_1 = 16\,064,987 + 20\,486,560 + 25\% * (200 \text{ kg/m}^2 * 67,390 \text{ m}^2)$$

$$w_{\text{primer nivel}} = 39\,921,05 \text{ kg}$$

$$w_2 = 14\,714,375 + 21\,980,910 + 25\% * (200 \text{ kg/m}^2 * 74,765 \text{ m}^2)$$

$$w_{\text{segundo nivel}} = 36\,713,98 \text{ kg}$$

$$w_{\text{Total}} = 39\,921,05 \text{ kg} + 36\,713,98 \text{ kg}$$

$$w_{\text{Total}} = 76\,635,03$$

El esfuerzo de corte basal total de diseño en una dirección específica es:

$$V = \frac{0,64 * 1,0}{4,5 * 0,182} * 76\,635,03 \text{ kg} = 59\,759,08 \text{ kg}$$

Pero no debe exceder:

$$V = \frac{2,5 * 0,44 * 1,0}{4,5} * 76\,635,03 \text{ kg} = 18\,733,01 \text{ kg}$$

Y no debe ser menor de:

$$V = 0,11 * 0,44 * 1,0 * 76\ 653,03 \text{ kg} = 3\ 709,14 \text{ kg}$$

Para la zona sísmica 4, el refuerzo de corte basal total no debe ser menor de lo siguiente:

$$V = \frac{0,8 * 0,4 * 1,0 * 1,0}{4,5} * 76\ 653,03 \text{ kg} = 5\ 449,60 \text{ kg}$$

El corte basal total de diseño no debe ser mayor a 18 733,01 kilogramos, por lo que se considerará este valor para el diseño de la vivienda.

4.2.4.4. Distribución vertical de fuerzas

La fuerza total se distribuye sobre la altura de la estructura para cada nivel considerándose desde la base del edificio, como se muestra en la siguiente ecuación. Se determinará inicialmente la sumatoria del peso de cada nivel por su respectiva altura.

$$F_x = \frac{w_x h_x}{\sum_{i=1}^n w_i h_i} * V$$

Primer nivel: $w_1 h_1 = 39\ 921,05 \text{ kg} * 3,2 \text{ m} = 127\ 747,35 \text{ kg} * \text{m}$

Segundo nivel: $w_2 h_2 = 36\ 713,98 \text{ kg} * 5,8 \text{ m} = 212\ 941,06 \text{ kg} * \text{m}$

$$\sum_{i=1}^n w_x h_x = 127\ 747,35 \text{ kg} * \text{m} + 212\ 941,06 \text{ kg} * \text{m} = 340\ 688,41 \text{ kg} * \text{m}$$

La fuerza de piso que actúa en cada nivel es:

$$F_1 = \frac{127\,747,35 \text{ kg} \cdot \text{m}}{340\,688,41 \text{ kg} \cdot \text{m}} * 18\,733,001 \text{ kg} = 7\,024,283 \text{ kg}$$

$$F_2 = \frac{212\,941,06 \text{ kg} \cdot \text{m}}{340\,688,41 \text{ kg} \cdot \text{m}} * 18\,733,001 \text{ kg} = 11\,708,723 \text{ kg}$$

Para verificar los valores anteriores, la sumatoria de la fuerza que actúa en cada nivel debe ser igual a la fuerza total:

$$V = F_1 + F_2 = 7\,024,283 \text{ kg} + 11\,708,723 \text{ kg} = 18\,733,001 \text{ kg}$$

4.2.4.5. Carga lateral por muro

Una aproximación de las fuerzas cortantes en cada muro puede determinarse a partir de la fuerza de piso que actúa en cada nivel, $V = F_x$. La carga lateral por muro se muestra en la tabla XXXVIII para cada nivel de la vivienda.

Para el muro A del primer nivel (ladrillo tipo superblock) la carga lateral es:

$$V_{Ax} = \frac{0,0066 \text{ m}}{0,2163 \text{ m}} * 7\,024,283 \text{ kg} = 213,140 \text{ kg}$$

$$V_{Ay} = \frac{0,0001 \text{ m}}{0,2163 \text{ m}} * 7\,024,283 \text{ kg} = 2,375 \text{ kg}$$

De esta forma se determina la carga lateral por muro para cada nivel, como se presenta en la tabla XXXVIII.

Tabla XXXVIII. Carga lateral por muro

Muro	Primer nivel (Ladrillo tipo super block)		Segundo nivel (Bloques de concreto)	
	Vx (kg)	Vy (kg)	Vx (kg)	Vy (kg)
A	213,140	2,375	330,154	7,868
B	213,140	2,375	1 681,519	16,017
C	1 110,021	5,646	1 681,519	16,017
D	765,795	4,481	330,154	7,868
E	915,924	4,991	330,154	7,868
F	876,232	4,857	1 728,770	16,298
G	1 349,553	6,452	3 125,997	25,290
H	213,140	2,375	1 490,105	14,893
I	976,953	5,198	330,154	7,868
J	313,946	2,823	529,419	9,273
1	8,545	739,263	19,126	1 606,550
2	10,681	1 017,382	24,226	2 237,615
3	4,326	215,254	20,082	1 728,850
4	12,522	1 254,123	25,183	2 350,809
5	7,774	638,730	12,113	667,830
6	12,311	1 227,177	10,201	429,054
7	12,506	1 252,052	7,969	203,680
8	7,774	638,730	20,082	1 728,850
9	-----	-----	11,794	626,227
Total	7 024,283	7 024,283	11 708,723	117 08,723

Fuente: elaboración propia.

4.2.5. Incremento de carga por torsión

La torsión genera un incremento de carga lateral en la estructura debido a la excentricidad que se presenta. Se deben evitar altas excentricidades por medio de una configuración estructural adecuada de la vivienda, para un efecto de torsión mínimo.

4.2.5.1. Momento torsional

El momento torsional se determina como el producto de la excentricidad de diseño por el cortante sísmico que actúa en el nivel. Se debe considerar la dirección en que actúa el sismo en la estructura.

$$T_{\text{primer nivel}} = 100\%(7\,024,283 \text{ kg})(1,114 \text{ m}) + 30\%(7\,024,283 \text{ kg})(0,978 \text{ m})$$

$$T_{\text{primer nivel}} = 9\,886,225 \text{ kg} \cdot \text{m}$$

$$T_{\text{segundo nivel}} = 100\%(11\,708,723 \text{ kg})(0,476 \text{ m}) + 30\%(11\,708,723 \text{ kg})(0,922 \text{ m})$$

$$T_{\text{primer nivel}} = 8\,817,678 \text{ kg} \cdot \text{m}$$

4.2.5.2. Momento polar equivalente de inercia

El momento polar equivalente de inercia se determina a partir de la suma en el eje x y y del producto de la rigidez de cada muro por la distancia entre el centro geométrico del muro y el centro de rigidez del sistema.

$$J = \Sigma(k_{iy} * d_{ix}^2 + k_{ix} * d_{iy}^2)$$

4.2.5.2.1. Primer nivel

El momento polar equivalente de inercia para el primer nivel se determina a partir de los datos que se muestran en la tabla XXXIX. En este caso se consideran las rigideces fuera del plano con su respectiva distancia.

Tabla XXXIX. **Momento polar equivalente de inercia primer nivel**

Muro	Rígidez de muros		Distancia al centro de rigidez		Momento polar	
	Kx (m)	Ky (m)	x (m)	y (m)	x (m ²)	y (m ²)
A	0,0066	0,0001	4,265	3,722	0,002	0,091
B	0,0066	0,0001	1,735	3,722	0,000	0,091
C	0,0342	0,0003	0,502	3,722	0,000	0,474
D	0,0236	0,0002	3,327	3,722	0,002	0,327
E	0,0282	0,0002	3,540	0,562	0,003	0,009
F	0,0270	0,0002	3,615	0,838	0,003	0,019
G	0,0416	0,0003	1,702	0,838	0,001	0,029
H	0,0066	0,0001	4,265	4,788	0,002	0,150
I	0,0301	0,0002	0,948	4,788	0,000	0,690
J	0,0097	0,0001	3,790	4,788	0,002	0,222
1	0,0003	0,0343	4,933	2,142	0,836	0,001
2	0,0003	0,0473	4,933	2,813	1,150	0,003
3	0,0001	0,0100	2,223	1,113	0,049	0,000
4	0,0004	0,0583	1,073	1,403	0,067	0,001
5	0,0002	0,0297	1,073	3,350	0,034	0,003
6	0,0004	0,0570	2,077	1,527	0,246	0,001
7	0,0004	0,0582	4,577	1,409	1,218	0,001
8	0,0002	0,0297	4,577	3,341	0,622	0,003
					4,238	2,112

Fuente: elaboración propia.

El momento polar equivalente de inercia para el primer nivel es:

$$J = 4,238 \text{ m}^2 + 2,112 \text{ m}^2 = 6,351 \text{ m}^2$$

4.2.5.2.2. Segundo nivel

El momento polar equivalente de inercia para el segundo nivel se determina a partir de los datos que se muestran en la tabla XL. En este caso se consideran las rigideces fuera del plano con su respectiva distancia.

Tabla XL. **Momento polar equivalente de inercia segundo nivel**

Muro	Rígidez de muros		Distancia al centro de rigidez		Momento polar	
	Kx	Ky	x (m)	y (m)	x (m)	y (m)
A	0,0080	0,0002	3,568	4,511	0,003	0,163
B	0,0408	0,0004	1,005	4,511	0,000	0,831
C	0,0408	0,0004	3,983	4,511	0,007	0,831
D	0,0080	0,0002	2,842	1,361	0,002	0,015
E	0,0080	0,0002	2,842	0,039	0,002	0,000
F	0,0420	0,0004	2,983	0,039	0,004	0,000
G	0,0759	0,0007	4,645	1,989	0,015	0,300
H	0,0362	0,0004	3,567	3,989	0,005	0,576
I	0,0080	0,0002	0,255	3,989	0,000	0,128
J	0,0129	0,0003	4,483	3,989	0,005	0,205
1	0,0005	0,0442	4,230	2,936	0,792	0,004
2	0,0006	0,0616	4,230	2,014	1,103	0,002
3	0,0005	0,0476	0,380	2,898	0,007	0,004
4	0,0006	0,0647	0,380	1,977	0,009	0,002
5	0,0003	0,0184	2,770	3,523	0,141	0,004
6	0,0002	0,0118	3,870	2,314	0,177	0,001
7	0,0002	0,0056	5,270	3,848	0,156	0,003
8	0,0005	0,0476	5,270	0,377	1,322	0,000
9	0,0003	0,0172	5,270	2,989	0,479	0,003
					4,229	3,071

Fuente: elaboración propia.

El momento polar equivalente de inercia para el segundo nivel es:

$$J = 4,229 \text{ m}^2 + 3,071 \text{ m}^2 = 7,300 \text{ m}^2$$

4.2.5.3. Carga por torsión

La excentricidad que se presenta en la estructura genera una torsión, la cual crea un incremento de carga en cada muro. El incremento de carga por torsión para cada muro está dado por la siguiente expresión:

$$\Delta V = \frac{T d_i k_i}{J}$$

Donde:

Primer nivel: $T = 9\,886,225 \text{ kg}\cdot\text{m}$; $J = 6,351 \text{ m}^2$

Segundo nivel: $T = 8\,817,678 \text{ kg}\cdot\text{m}$; $J = 7,300 \text{ m}^2$

4.2.5.3.1. Primer nivel

Para determinar el incremento de carga por torsión de cada muro, la torsión del nivel es 9 886,225 kilogramos por metro y un momento polar equivalente de inercia de 6,351 metros cúbicos. Para el muro A del primer nivel, la carga por torsión en cada dirección es:

$$\Delta V_x = \frac{T d_x k_y}{J}$$

$$\Delta V_x = \frac{(9\,886,225 \text{ kg}\cdot\text{m})(4,265 \text{ m})(0,0001 \text{ m})}{6,351 \text{ m}^3} = 0,733 \text{ kg}$$

$$\Delta V_y = \frac{T d_y k_x}{J}$$

$$\Delta V_y = \frac{(9\,886,225 \text{ kg} \cdot \text{m})(3,722 \text{ m})(0,0066 \text{ m})}{6,351 \text{ m}^3} = 38,027 \text{ kg}$$

De esta forma se procedió a calcular la carga por torsión para cada muro como se presenta en la tabla XLI.

Tabla XLI. **Carga por torsión primer nivel**

Muro	Rígidez de muros		Distancia al centro de rigidez		Carga por torsión	
	Kx	Ky	x (m)	y (m)	x (m)	y (m)
A	0,0066	0,0001	4,265	3,722	0,733	38,027
B	0,0066	0,0001	1,735	3,722	0,298	38,027
C	0,0342	0,0003	0,502	3,722	0,205	198,044
D	0,0236	0,0002	3,327	3,722	1,078	136,629
E	0,0282	0,0002	3,540	0,562	1,278	24,677
F	0,0270	0,0002	3,615	0,838	1,270	35,195
G	0,0416	0,0003	1,702	0,838	0,794	54,207
H	0,0066	0,0001	4,265	4,788	0,733	48,917
I	0,0301	0,0002	0,948	4,788	0,356	224,219
J	0,0097	0,0001	3,790	4,788	0,774	72,053
1	0,0003	0,0343	4,933	2,142	263,746	0,877
2	0,0003	0,0473	4,933	2,813	362,970	1,440
3	0,0001	0,0100	2,223	1,113	34,609	0,231
4	0,0004	0,0583	1,073	1,403	97,335	0,842
5	0,0002	0,0297	1,073	3,350	49,573	1,248
6	0,0004	0,0570	2,077	1,527	184,318	0,901
7	0,0004	0,0582	4,577	1,409	414,426	0,845
8	0,0002	0,0297	4,577	3,341	211,418	1,245

Fuente: elaboración propia.

4.2.5.3.2. Segundo nivel

Para determinar el incremento de carga por torsión de cada muro, la torsión del nivel es 8 817,678 kilogramos por metro y un momento polar equivalente de inercia de 7,300 metros cúbicos. Para el muro A del primer nivel, la carga por torsión en cada dirección es:

$$\Delta V_x = \frac{(8\,817,678 \text{ kg} \cdot \text{m})(3,568 \text{ m})(0,008 \text{ m})}{7,300 \text{ m}^3} = 0,934 \text{ kg}$$

$$\Delta V_y = \frac{(8\,817,678 \text{ kg} \cdot \text{m})(4,511 \text{ m})(0,0002 \text{ m})}{7,300 \text{ m}^3} = 46,673 \text{ kg}$$

De esta forma se procedió a calcular el incremento de carga por torsión para cada muro como se presenta en la tabla XLII.

Tabla XLII. **Carga por torsión segundo nivel**

Muro	Rígidez de muros		Distancia al centro de rigidez		Carga por torsión	
	Kx	Ky	x (m)	y (m)	x (m)	y (m)
A	0,008	0,0002	3,568	4,511	0,934	43,673
B	0,041	0,0004	1,005	4,511	0,536	222,432
C	0,041	0,0004	3,983	4,511	2,122	222,432
D	0,008	0,0002	2,842	1,361	0,744	13,174
E	0,008	0,0002	2,842	0,039	0,744	0,381
F	0,042	0,0004	2,983	0,039	1,617	1,993
G	0,076	0,0007	4,645	1,989	3,908	182,367
H	0,036	0,0004	3,567	3,989	1,768	174,329
I	0,008	0,0002	0,255	3,989	0,067	38,625
J	0,013	0,0003	4,483	3,989	1,383	61,937
1	0,000	0,044	4,230	2,936	226,107	1,647
2	0,001	0,062	4,230	2,014	314,924	1,431
3	0,000	0,048	0,380	2,898	21,883	1,707
4	0,001	0,065	0,380	1,977	29,756	1,460
5	0,000	0,018	2,770	3,523	61,532	1,252
6	0,000	0,012	3,870	2,314	55,233	0,692
7	0,000	0,006	5,270	3,848	35,707	0,899
8	0,000	0,048	5,270	0,377	303,082	0,222
9	0,000	0,017	5,270	2,989	109,783	1,034

Fuente: elaboración propia.

4.2.5.4. **Carga total por sismo**

La excentricidad que se presenta en la estructura genera una torsión, la cual crea un incremento de carga en cada muro. La carga total por sismo corresponde a la suma de la carga por sismo (V_i) y el incremento de la carga por torsión (ΔV).

$$V_T = V_i + \Delta V$$

4.2.5.4.1. Primer nivel

La carga total por sismo para el primer nivel se presenta en la tabla XLIII para cada muro. Se muestra que la carga lateral y el incremento por torsión fuera del plano del muro corresponden a valores no muy significativos.

Tabla XLIII. Carga total por sismo primer nivel

Muro	Carga lateral		Incremento por torsión		Carga total	
	x (kg)	y (kg)	x (kg)	y (kg)	x (m)	y (m)
A	213,140	2,375	0,733	38,027	251,167	3,107
B	213,140	2,375	0,298	38,027	251,167	2,673
C	1 110,021	5,646	0,205	198,044	1 308,065	5,850
D	765,795	4,481	1,078	136,629	902,425	5,559
E	915,924	4,991	1,278	24,677	940,600	6,269
F	876,232	4,857	1,270	35,195	911,427	6,127
G	1 349,553	6,452	0,794	54,207	1 403,760	7,246
H	213,140	2,375	0,733	48,917	262,057	3,107
I	976,953	5,198	0,356	224,219	1 201,172	5,554
J	313,946	2,823	0,774	72,053	385,999	3,596
1	8,545	739,263	263,746	0,877	9,422	1 003,009
2	10,681	1 017,382	362,970	1,440	12,121	1 380,352
3	4,326	215,254	34,609	0,231	4,557	249,863
4	12,522	1 254,123	97,335	0,842	13,365	1 351,458
5	7,774	638,730	49,573	1,248	9,022	688,303
6	12,311	1 227,177	184,318	0,901	13,213	1 411,496
7	12,506	1 252,052	414,426	0,845	13,351	1 666,478
8	7,774	638,730	211,418	1,245	9,019	850,149

Fuente: elaboración propia.

4.2.5.4.2. Segundo nivel

La carga total por sismo para el segundo nivel se presenta en la tabla XLIV para cada muro. Se muestra que la carga lateral y el incremento por torsión fuera del plano del muro corresponden a valores no muy significativos.

Tabla XLIV. **Carga total por sismo segundo nivel**

Muro	Carga lateral		Incremento por torsión		Carga total	
	x (kg)	y (kg)	x (kg)	y (kg)	x (m)	y (m)
A	330,154	7,868	0,934	43,673	373,827	8,802
B	1 681,519	16,017	0,536	222,432	1 903,952	16,552
C	1 681,519	16,017	2,122	222,432	1 903,952	18,139
D	330,154	7,868	0,744	13,174	343,328	8,612
E	330,154	7,868	0,744	0,381	330,534	8,612
F	1 728,770	16,298	1,617	1,993	1 730,763	17,915
G	3 125,997	25,290	3,908	182,367	3 308,364	29,197
H	1 490,105	14,893	1,768	174,329	1 664,434	16,660
I	330,154	7,868	0,067	38,625	368,779	7,935
J	529,419	9,273	1,383	61,937	591,356	10,656
1	19,126	1 606,550	226,107	1,647	20,773	1 832,657
2	24,226	2 237,615	314,924	1,431	25,658	2 552,539
3	20,082	1 728,850	21,883	1,707	21,789	1 750,733
4	25,183	2 350,809	29,756	1,460	26,643	2 380,565
5	12,113	667,830	61,532	1,252	13,365	729,363
6	10,201	429,054	55,233	0,692	10,893	484,288
7	7,969	203,680	35,707	0,899	8,869	239,387
8	20,082	1 728,850	303,082	0,222	20,305	2 031,932
9	11,794	626,227	109,783	1,034	12,828	736,010

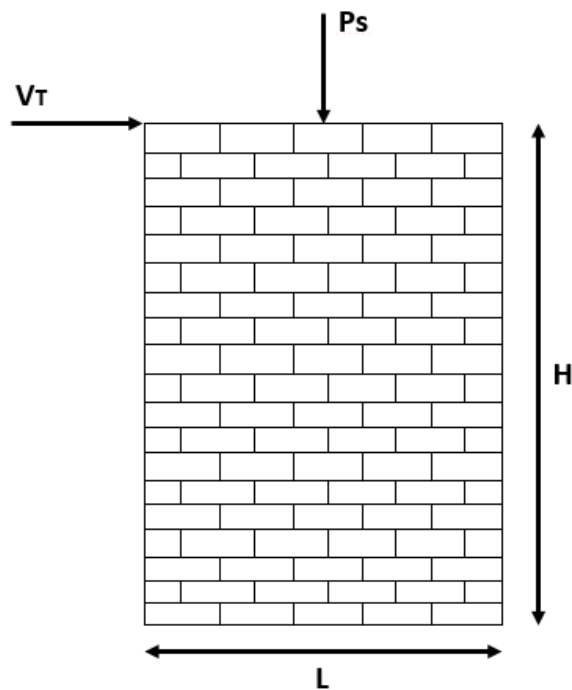
Fuente: elaboración propia.

4.2.6. Refuerzo por muro

Para determinar el refuerzo requerido por muro, se calcula inicialmente las propiedades físicas de cada uno de éstos y posteriormente, los esfuerzos que actúan debido a las solicitaciones a las cuales son sometidos y los esfuerzos admisibles.

Se realiza el procedimiento de cálculo para el muro A del primer nivel, para lo cual se determina si existe flexión:

Figura 24. Muro de mampostería



Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD 2013.

Propiedades físicas del muro:

$$\text{Área:} \quad A_n = L * b = 1,325 \text{ m} * 0,14 \text{ m} = 0,186 \text{ m}^2$$

$$\text{Módulo de sección:} \quad S_n = b * L^2 / 6 = 0,14 \text{ m} * (1,325 \text{ m})^2 / 6 = 0,030 \text{ m}^3$$

Esfuerzos actuantes:

Esfuerzo de compresión total actuante:

$$f_a = \frac{P + P_s}{A_n} = \frac{413,61 \text{ kg} + 10\,728,57 \text{ kg}}{0,186 \text{ m}^2 * 1\,000} = 60,06 \text{ Ton/m}^2$$

Esfuerzo de flexión actuante:

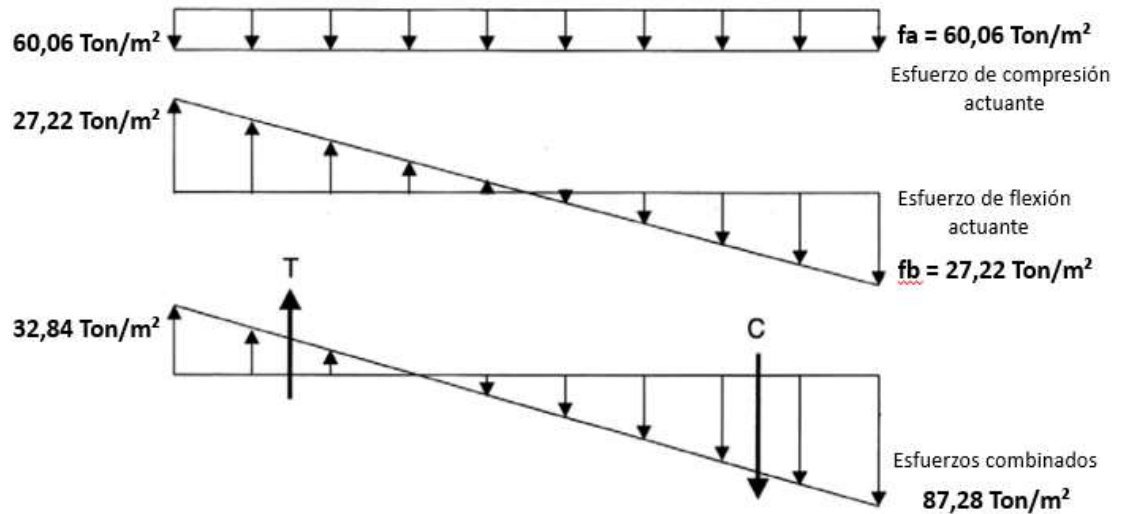
$$f_b = \frac{M}{s_n} = \frac{H * V_T}{s_n} = \frac{3,2 \text{ m} * 251,167 \text{ kg}}{0,030 \text{ m}^3 * 1\,000} = \pm 27,22 \text{ Ton/m}^2$$

En la figura 25 se puede observar el diagrama de esfuerzos correspondiente al muro A, en el que se muestra que existe efecto de flexión.

Esfuerzo de corte actuante:

$$f_v = \frac{V_T}{b * d} = \frac{251,167 \text{ kg}}{0,14 \text{ m} * 1,125 \text{ m} * 1\,000} = 1,59 \text{ Ton/m}^2$$

Figura 25. Diagrama de esfuerzos de muro A



Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD 2013.

Esfuerzos resistentes:

Se determinan a partir de la relación: $H/L = 3,2 \text{ m}/1,325 \text{ m} = 2,42$

Dado que existe esfuerzo de flexión y la relación $H/L \geq 1$, se procede a determinar los valores de los esfuerzos resistentes.

El valor de f'_m debe estar dado en el sistema inglés para determinar el esfuerzo a corte admisible.

Esfuerzo de flexión resistente:

$$F_b \leq \frac{1}{3} f'_m$$

$$F_b \leq \frac{1}{3} * 60 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_b \leq 20 \text{ kg/cm}^2 = 200 \text{ Ton/m}^2$$

Esfuerzo de corte resistente:

$$F_v = \sqrt{f'_m} \leq 35 \text{ psi}$$

$$F_v = \sqrt{853,159} \text{ psi} = 29,2 \text{ psi} \leq 35 \text{ psi}$$

$$F_v = 29,2 \text{ psi} = 20,54 \text{ Ton/m}^2$$

Finalmente, se puede observar que la flexión y corte actuantes son menores a los que resiste el muro, por lo cual no es necesario considerar refuerzo para ningún muro. La flexión y el corte serán resistidos por la mampostería.

$$F_b > f_b \text{ y } F_v > f_v$$

Sin embargo, se considerará el refuerzo mínimo que especifica el UBC 1997, donde la suma de la cuantía de acero de refuerzo horizontal, ρ_h , y vertical, ρ_v , no debe ser menor que 0,002, y ninguna de las dos cuantías debe ser menor que 0,0007.

$$\rho_{\text{mín}} = \rho_{\text{horizontal}} + \rho_{\text{vertical}} \geq 0,002$$

$$\rho_{\text{horizontal}} \text{ ó } \rho_{\text{vertical}} \leq 0,0007$$

Donde:

$$\rho_h = \frac{A_{sh}}{s_h t} ; \rho_v = \frac{A_{sv}}{s_v t}$$

Se considera para el refuerzo horizontal, una cuantía de 0,0013 con una separación vertical de 0,6 metros y para el refuerzo vertical, una cuantía de 0,0007 con una separación horizontal de 1 metro.

$$A_v = \rho_h bd$$

$$A_h = 0,0013 * 14 \text{ cm} * 60 \text{ cm} = 1,09 \text{ cm}^2$$

Se proponen 2 No. 3 @ 0,60 m

$$A_v = \rho_h bd$$

$$A_h = 0,0007 * 14 \text{ cm} * 100 \text{ cm} = 0,98 \text{ cm}^2$$

Se propone 1 No. 3 @ 1,00 m

De esta forma se procede a determinar el refuerzo para los muros de cada nivel.

4.2.6.1. Propiedades físicas del muro

Las propiedades físicas del muro están dadas por el área (A_n), el módulo de la sección (S_n), el peso propio del muro (P) y el peso que actúa sobre el mismo (P_s). Estas propiedades consideran el largo (L), espesor efectivo (b) y la altura del muro (H), según la dirección donde es aplicada la acción.

4.2.6.1.1. Primer nivel

Los muros del primer nivel tienen un ancho nominal (b) de 0,14 metros y una altura (H) de 3,2 metros. La distancia del extremo a compresión hasta el centroide de acero a tensión de los muros (d) corresponde a la longitud del muro menos 20 centímetros. Las propiedades físicas de los muros se presentan en la tabla XLV.

Tabla XLV. **Propiedades físicas de muros primer nivel**

Muro	Longitud (m)	d (m)	An (m ²)	Sn (m ³)	P (kg)	Ps (kg)
A	1,325	1,125	0,186	0,030	413,61	1 0728,57
B	1,325	1,125	0,186	0,030	413,61	9248,08
C	3,150	2,950	0,441	0,203	983,30	21 106,09
D	2,500	2,300	0,350	0,123	780,40	16 750,87
E	2,785	2,585	0,390	0,156	869,36	18 660,47
F	2,710	2,510	0,379	0,147	845,95	18 157,94
G	3,600	3,400	0,504	0,270	1 123,77	24 121,25
H	1,325	1,125	0,186	0,030	413,61	8 877,96
I	2,900	2,700	0,406	0,170	905,26	19 431,01
J	1,575	1,375	0,221	0,044	491,65	10 553,05
1	3,160	2,960	0,442	0,204	986,42	23 620,85
2	3,950	3,750	0,553	0,328	1 233,03	29 526,07
3	1,600	1,400	0,224	0,046	499,46	11 959,93
4	4,631	4,431	0,648	0,458	1 445,61	34 616,51
5	2,875	2,675	0,403	0,167	897,46	21 490,49
6	4,553	4,353	0,637	0,442	1 421,26	34 033,46
7	4,625	4,425	0,648	0,457	1 443,74	34 571,66
8	2,875	2,675	0,403	0,167	897,46	21 490,49

Fuente: elaboración propia.

4.2.6.1.2. Segundo nivel

Los muros del segundo nivel tienen un ancho nominal (b) de 0,14 metros y una altura (H) de 2,6 metros. La distancia del extremo a compresión hasta el centroide de acero a tensión de los muros (d) corresponde a la longitud del muro menos 20 centímetros. Las propiedades físicas de los muros se presentan en la tabla XLVI.

Tabla XLVI. **Propiedades físicas de muros segundo nivel**

Muro	Longitud (m)	d (m)	An (m ²)	Sn (m ³)	P (kg)	Ps (kg)
A	1,325	1,125	0,186	0,030	430,62	4 044,67
B	1,325	1,125	0,186	0,030	430,62	4 044,67
C	3,150	2,950	0,441	0,203	836,87	9 615,63
D	2,500	2,300	0,350	0,123	901,87	7 631,45
E	2,785	2,585	0,390	0,156	901,87	8 501,43
F	2,710	2,510	0,379	0,147	942,50	8 272,49
G	3,600	3,400	0,504	0,270	430,62	10 989,29
H	1,325	1,125	0,186	0,030	430,62	4 044,67
I	2,900	2,700	0,406	0,170	942,50	8 852,48
J	1,575	1,375	0,221	0,044	511,87	4 807,81
1	3,160	2,960	0,442	0,204	1 023,75	1 0761,32
2	3,950	3,750	0,553	0,328	1 283,75	1 3451,65
3	1,600	1,400	0,224	0,046	1 048,12	5 448,76
4	4,631	4,431	0,648	0,458	1 308,12	15 770,78
5	2,875	2,675	0,403	0,167	641,87	9 790,757
6	4,553	4,353	0,637	0,442	520,00	15 505,15
7	4,625	4,425	0,648	0,457	430,62	15 750,34
8	2,875	2,675	0,403	0,167	1 048,12	9 790,75
9	2,000	1,800	0,280	0,076	650,00	6 810,96

Fuente: elaboración propia.

4.2.6.2. **Esfuerzos actuantes y resistentes**

En los muros de las viviendas se generan esfuerzos de compresión, flexión y corte debido a las sollicitaciones a las cuales son sometidos. Estos se determinan a partir de las expresiones del capítulo 3, así como la determinación de los esfuerzos resistentes según el esfuerzo de flexión actuante y la relación altura/longitud del muro.

4.2.6.2.1. Primer nivel

A partir de las propiedades físicas de los muros se procede a determinar los esfuerzos actuantes y resistentes, como se presenta en la tabla XLVII. Los esfuerzos resistentes se determinan según el esfuerzo de flexión actuante y la relación altura/longitud del muro.

Tabla XLVII. **Esfuerzos actuantes y resistentes primer nivel**

Muro	fa (Ton/m ²)	fb (Ton/m ²)	fv (Ton/m ²)	Fb (Ton/m ²)	Relación H/L	Fv (Ton/m ²)
A	60,07	27,22	1,59	200,00	2,42	20,54
B	52,08	27,22	1,59	200,00	2,42	20,54
C	50,09	20,61	3,17	200,00	1,02	20,54
D	50,09	23,40	2,80	200,00	1,28	20,54
E	50,09	19,30	2,60	200,00	1,15	20,54
F	50,09	19,84	2,59	200,00	1,18	20,54
G	50,09	16,65	2,95	200,00	0,89	21,30
H	50,09	28,40	1,66	200,00	2,42	20,54
I	50,09	22,60	3,18	200,00	1,10	20,54
J	50,09	28,00	2,01	200,00	2,03	20,54
1	55,62	15,70	2,42	200,00	1,01	20,54
2	55,62	13,46	2,63	200,00	0,81	21,84
3	55,62	17,48	1,27	200,00	2,00	20,54
4	55,62	9,44	2,18	200,00	0,69	22,66
5	55,62	13,19	1,84	200,00	1,11	20,54
6	55,62	10,22	2,32	200,00	0,70	22,58
7	55,62	11,67	2,69	200,00	0,69	22,65
8	55,62	16,29	2,27	200,00	1,11	20,54

Fuente: elaboración propia.

4.2.6.2.2. Segundo nivel

Los esfuerzos resistentes se determinan según el esfuerzo de flexión actuante y la relación altura/longitud del muro. Los esfuerzos actuantes y resistentes se presentan en la tabla XLVIII.

Tabla XLVIII. **Esfuerzos actuantes y resistentes segundo nivel**

Muro	fa (Ton/m ²)	fb (Ton/m ²)	fv (Ton/m ²)	Fb (Ton/m ²)	Relación H/L	Fv (Ton/m ²)
A	24,13	32,91	2,02	116,67	1,96	15,69
B	24,13	167,63	10,26	116,67	1,96	15,69
C	23,70	24,38	4,32	116,67	0,83	16,60
D	24,38	7,23	0,98	116,67	1,04	15,69
E	24,12	5,51	0,85	116,67	0,93	16,04
F	24,29	30,61	4,56	116,67	0,96	15,90
G	22,66	31,89	6,56	116,67	0,72	17,14
H	24,13	146,54	8,97	116,67	1,96	15,69
I	24,13	5,64	0,91	116,67	0,90	16,23
J	24,13	34,85	2,68	116,67	1,65	15,69
1	26,64	23,31	4,14	116,67	0,82	16,62
2	26,65	20,23	4,62	116,67	0,66	17,48
3	29,00	99,53	7,82	116,67	1,63	15,69
4	26,34	13,51	3,67	116,67	0,56	17,98
5	25,92	11,36	1,81	116,67	0,90	16,19
6	25,14	2,85	0,76	116,67	0,57	17,93
7	24,99	1,36	0,37	116,67	0,56	17,98
8	26,93	31,64	5,05	116,67	0,90	16,19
9	26,65	25,31	2,63	116,67	1,30	15,69

Fuente: elaboración propia.

Se puede notar que en ambos niveles los esfuerzos actuantes son menores que los que resiste la mampostería, por lo que no se hace necesario el

refuerzo de los muros. Sin embargo, se proporcionará el refuerzo mínimo como especifica UBC 1997.

4.2.6.3. Determinación del refuerzo

La determinación del refuerzo se procede como se indica en el diseño del muro A del primer nivel. Se considera la especificación de UBC 1997, en la cual la cuantía mínima total de acero (vertical y horizontal) corresponde a 0,002.

Tabla XLIX. Refuerzo muros primer nivel

Muro	$\rho_{\text{Horizontal}}$	ρ_{Vertical}	Área de refuerzo (cm ²)		No. Varillas (No. 3)	
			A_{sh}	A_{sv}	Horizontal	Vertical
A	0,0013	0,0007	1,09	0,98	2	1
B	0,0013	0,0007	1,09	0,98	2	1
C	0,0013	0,0007	1,09	0,98	2	1
D	0,0013	0,0007	1,09	0,98	2	1
E	0,0013	0,0007	1,09	0,98	2	1
F	0,0013	0,0007	1,09	0,98	2	1
G	0,0013	0,0007	1,09	0,98	2	1
H	0,0013	0,0007	1,09	0,98	2	1
I	0,0013	0,0007	1,09	0,98	2	1
J	0,0013	0,0007	1,09	0,98	2	1
1	0,0013	0,0007	1,09	0,98	2	1
2	0,0013	0,0007	1,09	0,98	2	1
3	0,0013	0,0007	1,09	0,98	2	1
4	0,0013	0,0007	1,09	0,98	2	1
5	0,0013	0,0007	1,09	0,98	2	1
6	0,0013	0,0007	1,09	0,98	2	1
7	0,0013	0,0007	1,09	0,98	2	1
8	0,0013	0,0007	1,09	0,98	2	1

Fuente: elaboración propia.

Tabla L. Refuerzo muros segundo nivel

Muro	$\rho_{\text{Horizontal}}$	ρ_{Vertical}	Área de refuerzo (cm ²)		No. Varillas (No. 3)	
			A _{sh}	A _{sh}	Horizontal	Vertical
A	0,0013	0,0007	1,09	0,98	2	1
B	0,0013	0,0007	1,09	0,98	2	1
C	0,0013	0,0007	1,09	0,98	2	1
D	0,0013	0,0007	1,09	0,98	2	1
E	0,0013	0,0007	1,09	0,98	2	1
F	0,0013	0,0007	1,09	0,98	2	1
G	0,0013	0,0007	1,09	0,98	2	1
H	0,0013	0,0007	1,09	0,98	2	1
I	0,0013	0,0007	1,09	0,98	2	1
J	0,0013	0,0007	1,09	0,98	2	1
1	0,0013	0,0007	1,09	0,98	2	1
2	0,0013	0,0007	1,09	0,98	2	1
3	0,0013	0,0007	1,09	0,98	2	1
4	0,0013	0,0007	1,09	0,98	2	1
5	0,0013	0,0007	1,09	0,98	2	1
6	0,0013	0,0007	1,09	0,98	2	1
7	0,0013	0,0007	1,09	0,98	2	1
8	0,0013	0,0007	1,09	0,98	2	1
9	0,0013	0,0007	1,09	0,98	2	1

Fuente: elaboración propia.

4.3. Segundo caso: bloques de concreto en el primer nivel y ladrillo tipo superblock en el segundo nivel

Se considera la vivienda con las mismas dimensiones del caso anterior, así como el procedimiento de diseño, por lo que se presenta específicamente el análisis de irregularidades verticales estructurales y el análisis del refuerzo de acero.

- Irregularidad de peso (masa)

Para verificar si existe irregularidad en masa entre niveles colindantes, los pesos de cada nivel son: primer nivel 41 072,160 kilogramos y segundo nivel 33 463,998 kilogramos. Existe irregularidad en masa entre niveles colindantes cuando la masa efectiva de cualquier piso es mayor del 150 por ciento de la masa efectiva de un piso colindante, según la especificación de UBC 1997 (tabla 16-L, Irregularidades verticales estructurales).

$$\frac{W_{\text{primer nivel}}}{W_{\text{segundo nivel}}} \geq 1,5$$

$$\frac{41\,072,160\text{ kg}}{33\,463,998\text{ kg}} = 1,23$$

$$1,23 \leq 1,5$$

En este caso, no se presenta irregularidad en masa entre los niveles colindantes de la vivienda.

- Excentricidades reales

Por medio de las excentricidades reales de cada nivel, se recomienda verificar que la diferencia que existe entre un nivel con respecto a otro es menor al desplazamiento permitido para la vivienda, Δ , el cual corresponde al 10 por ciento de la altura total de la misma.

Para este caso en particular, la vivienda tiene una altura total de 5,8 metros, por lo que el desplazamiento permitido corresponde al 10 por ciento de

esta altura, $\Delta = 0,58$ metros. La diferencia de excentricidad real del primer nivel con respecto al segundo nivel es:

$$e_{\text{real}X} = |0,477 \text{ m} - 0,444 \text{ m}| = 0,003 \text{ m}$$

$$e_{\text{real}Y} = |0,611 \text{ m} - 0,037 \text{ m}| = 0,574 \text{ m}$$

Las diferencias anteriores son menores al desplazamiento permitido, por lo que se espera que la vivienda no sea afectada por la torsión que se produce debido al sismo. En caso de no cumplirse esta consideración, se recomienda cambiar la configuración estructural de la vivienda, la resistencia a compresión del mamposte o la altura de los muros.

4.3.1. Propiedades físicas del muro

Las propiedades físicas del muro están dadas por el área (A_n), el módulo de sección (S_n), el peso propio del muro (P) y el peso que actúa sobre el mismo (P_s). Los muros del primer nivel tienen un ancho nominal de 0,14 metros y una altura de 3,2 metros. Las propiedades físicas de los muros del primer nivel se muestran en la tabla LI.

Los muros del segundo nivel tienen un ancho nominal de 0,14 metros y una altura de 2,6 metros. Las propiedades físicas de los muros del segundo nivel se presentan en la tabla LII.

Tabla LI. **Propiedades físicas de muros primer nivel**

Muro	Longitud (m)	d (m)	An (m²)	Sn (m³)	P (kg)	Ps (kg)
A	1,325	1,125	0,186	0,030	336,05	4 044,67
B	1,325	1,125	0,186	0,030	336,05	4 044,67
C	3,150	2,950	0,441	0,203	653,09	9 615,63
D	2,500	2,300	0,350	0,123	703,82	7 631,45
E	2,785	2,585	0,390	0,156	703,82	8 501,43
F	2,710	2,510	0,379	0,147	735,52	8 272,49
G	3,600	3,400	0,504	0,270	336,05	10 989,29
H	1,325	1,125	0,186	0,030	336,05	4 044,67
I	2,900	2,700	0,406	0,170	735,52	8 852,48
J	1,575	1,375	0,221	0,044	399,46	4 807,81
1	3,160	2,960	0,442	0,204	798,93	10 761,32
2	3,950	3,750	0,553	0,328	1 001,83	13 451,65
3	1,600	1,400	0,224	0,046	817,95	5 448,76
4	4,631	4,431	0,648	0,458	1 020,86	15 770,78
5	2,875	2,675	0,403	0,167	500,91	9 790,75
6	4,553	4,353	0,637	0,442	405,80	15 505,15
7	4,625	4,425	0,648	0,457	336,05	15 750,34
8	2,875	2,675	0,403	0,167	817,95	9 790,75
9	2,000	1,800	0,280	0,076	507,26	6 810,96

Fuente: elaboración propia.

Tabla LII. **Propiedades físicas de muros segundo nivel**

Muro	Longitud (m)	d (m)	An (m ²)	Sn (m ³)	P (kg)	Ps (kg)
A	1,325	1,125	0,186	0,030	336,05	4 044,67
B	1,325	1,125	0,186	0,030	336,05	4 044,67
C	3,150	2,950	0,441	0,203	653,09	9 615,63
D	2,500	2,300	0,350	0,123	703,82	7 631,45
E	2,785	2,585	0,390	0,156	703,82	8 501,43
F	2,710	2,510	0,379	0,147	735,52	8 272,49
G	3,600	3,400	0,504	0,270	336,05	10 989,29
H	1,325	1,125	0,186	0,030	336,05	4 044,67
I	2,900	2,700	0,406	0,170	735,52	8 852,48
J	1,575	1,375	0,221	0,044	399,46	4 807,81
1	3,160	2,960	0,442	0,204	798,93	10 761,32
2	3,950	3,750	0,553	0,328	1 001,83	13 451,65
3	1,600	1,400	0,224	0,046	817,95	5 448,76
4	4,631	4,431	0,648	0,458	1 020,86	15 770,78
5	2,875	2,675	0,403	0,167	500,91	9 790,75
6	4,553	4,353	0,637	0,442	405,80	15 505,15
7	4,625	4,425	0,648	0,457	336,05	15 750,34
8	2,875	2,675	0,403	0,167	817,95	9 790,75
9	2,000	1,800	0,280	0,076	507,26	6 810,96

Fuente: elaboración propia.

4.3.1.1. **Esfuerzos actuantes y resistentes**

En los muros de las viviendas se generan esfuerzos de compresión, flexión y corte debido a las sollicitaciones a las cuales son sometidos. Se determinan a partir de las expresiones del capítulo 3, así como la determinación de los esfuerzos resistentes según el esfuerzo de flexión actuante y la relación altura/longitud del muro.

Los esfuerzos actuantes y resistentes en los muros del primer nivel se presentan en la tabla XLVII.

Tabla LIII. **Esfuerzos actuantes y resistentes primer nivel**

Muro	fa (Ton/m ²)	fb (Ton/m ²)	fv (Ton/m ²)	Fb (Ton/m ²)	Relación H/L	Fv (psi)
A	58,30	30,97	1,81	200,00	2,42	20,54
B	50,32	30,97	1,81	200,00	2,42	20,54
C	48,32	23,46	3,60	200,00	1,02	20,54
D	48,32	26,62	3,19	200,00	1,28	20,54
E	48,32	22,10	2,98	200,00	1,15	20,54
F	48,32	22,70	2,97	200,00	1,18	20,54
G	48,32	19,06	3,37	200,00	0,89	21,30
H	48,32	32,26	1,89	200,00	2,42	20,54
I	48,32	25,67	3,61	200,00	1,10	20,54
J	48,32	31,81	2,28	200,00	2,03	20,54
1	53,58	17,77	2,74	200,00	1,01	20,54
2	53,58	15,24	2,98	200,00	0,81	21,84
3	53,58	19,91	1,45	200,00	2,00	20,54
4	53,58	10,78	2,49	200,00	0,69	22,66
5	53,58	15,07	2,10	200,00	1,11	20,54
6	53,58	11,64	2,64	200,00	0,70	22,58
7	53,58	13,22	3,05	200,00	0,69	22,65
8	53,58	18,45	2,57	200,00	1,11	20,54

Fuente: elaboración propia.

Los esfuerzos actuantes y resistentes en los muros del segundo nivel se presentan en la tabla LIV.

Tabla LIV. **Esfuerzos actuantes y resistentes segundo nivel**

Muro	fa (Ton/m²)	fb (Ton/m²)	fv (Ton/m²)	Fb (Ton/m²)	Relación H/L	Fv (Ton/m²)
A	23,62	30,88	1,89	116,67	1,96	15,69
B	23,62	157,28	9,63	116,67	1,96	15,69
C	23,29	22,87	4,05	116,67	0,83	16,60
D	23,82	6,79	0,92	116,67	1,04	15,69
E	23,61	5,18	0,80	116,67	0,93	16,04
F	23,74	28,75	4,28	116,67	0,96	15,90
G	22,47	29,94	6,16	116,67	0,72	17,14
H	23,62	137,51	8,42	116,67	1,96	15,69
I	23,62	5,29	0,85	116,67	0,90	16,23
J	23,62	32,70	2,52	116,67	1,65	15,69
1	26,13	21,87	3,89	116,67	0,82	16,62
2	26,14	18,98	4,33	116,67	0,66	17,48
3	27,98	93,46	7,34	116,67	1,63	15,69
4	25,90	12,69	3,45	116,67	0,56	17,98
5	25,57	10,66	1,70	116,67	0,90	16,19
6	24,96	2,67	0,71	116,67	0,57	17,93
7	24,84	1,28	0,35	116,67	0,56	17,98
8	26,36	29,68	4,74	116,67	0,90	16,19
9	26,14	23,74	2,47	116,67	1,30	15,69

Fuente: elaboración propia.

Se puede observar que en ambos niveles, los esfuerzos actuantes son menores a los que resiste la mampostería, por lo que no se hace necesario el refuerzo de los muros. Sin embargo, se proporcionará el refuerzo mínimo como especifica UBC 1997.

4.3.1.2. Determinación del refuerzo

La determinación del refuerzo se procede como se indica en el diseño del muro A del primer nivel, correspondiente al primer caso. Se considera la especificación de UBC 1997, en la cual la cuantía mínima total de acero (vertical y horizontal) corresponde a 0,002.

Tabla LV. Refuerzo muros primer nivel

Muro	$\rho_{\text{Horizontal}}$	ρ_{Vertical}	Área de refuerzo (cm ²)		No. Varillas (No. 3)	
			A _{sh}	A _{sv}	Horizontal	Vertical
A	0,0013	0,0007	1,09	0,98	2	1
B	0,0013	0,0007	1,09	0,98	2	1
C	0,0013	0,0007	1,09	0,98	2	1
D	0,0013	0,0007	1,09	0,98	2	1
E	0,0013	0,0007	1,09	0,98	2	1
F	0,0013	0,0007	1,09	0,98	2	1
G	0,0013	0,0007	1,09	0,98	2	1
H	0,0013	0,0007	1,09	0,98	2	1
I	0,0013	0,0007	1,09	0,98	2	1
J	0,0013	0,0007	1,09	0,98	2	1
1	0,0013	0,0007	1,09	0,98	2	1
2	0,0013	0,0007	1,09	0,98	2	1
3	0,0013	0,0007	1,09	0,98	2	1
4	0,0013	0,0007	1,09	0,98	2	1
5	0,0013	0,0007	1,09	0,98	2	1
6	0,0013	0,0007	1,09	0,98	2	1
7	0,0013	0,0007	1,09	0,98	2	1
8	0,0013	0,0007	1,09	0,98	2	1

Fuente: elaboración propia.

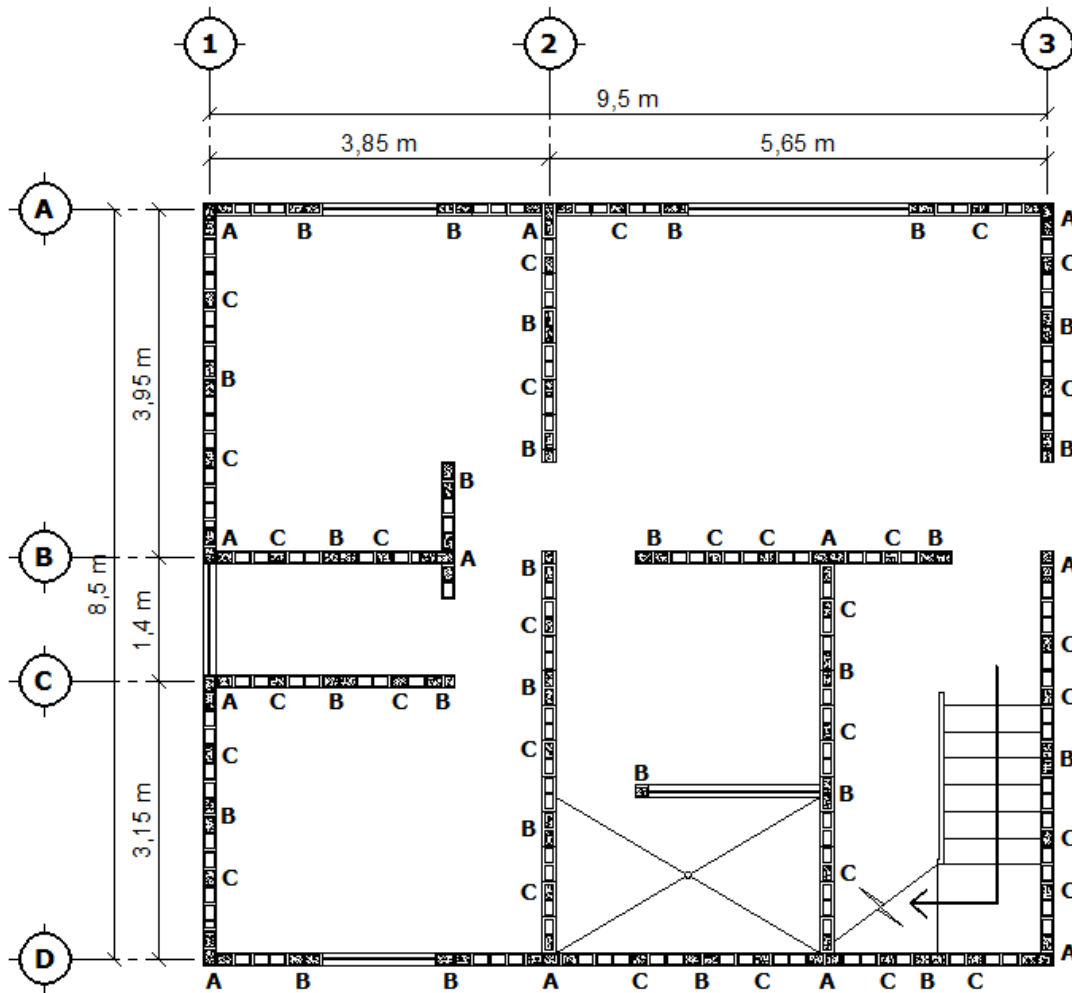
Tabla LVI. Refuerzo muros segundo nivel

Muro	$\rho_{\text{Horizontal}}$	ρ_{Vertical}	Área de refuerzo (cm ²)		No. Varillas (No. 3)	
			A_{sh}	A_{sh}	Horizontal	Vertical
A	0,0013	0,0007	1,09	0,98	2	1
B	0,0013	0,0007	1,09	0,98	2	1
C	0,0013	0,0007	1,09	0,98	2	1
D	0,0013	0,0007	1,09	0,98	2	1
E	0,0013	0,0007	1,09	0,98	2	1
F	0,0013	0,0007	1,09	0,98	2	1
G	0,0013	0,0007	1,09	0,98	2	1
H	0,0013	0,0007	1,09	0,98	2	1
I	0,0013	0,0007	1,09	0,98	2	1
J	0,0013	0,0007	1,09	0,98	2	1
1	0,0013	0,0007	1,09	0,98	2	1
2	0,0013	0,0007	1,09	0,98	2	1
3	0,0013	0,0007	1,09	0,98	2	1
4	0,0013	0,0007	1,09	0,98	2	1
5	0,0013	0,0007	1,09	0,98	2	1
6	0,0013	0,0007	1,09	0,98	2	1
7	0,0013	0,0007	1,09	0,98	2	1
8	0,0013	0,0007	1,09	0,98	2	1
9	0,0013	0,0007	1,09	0,98	2	1

Fuente: elaboración propia.

Los detalles de armado vertical y horizontal se presentan en las siguientes figuras para las viviendas analizadas.

Figura 26. Refuerzo mínimo vertical primer nivel



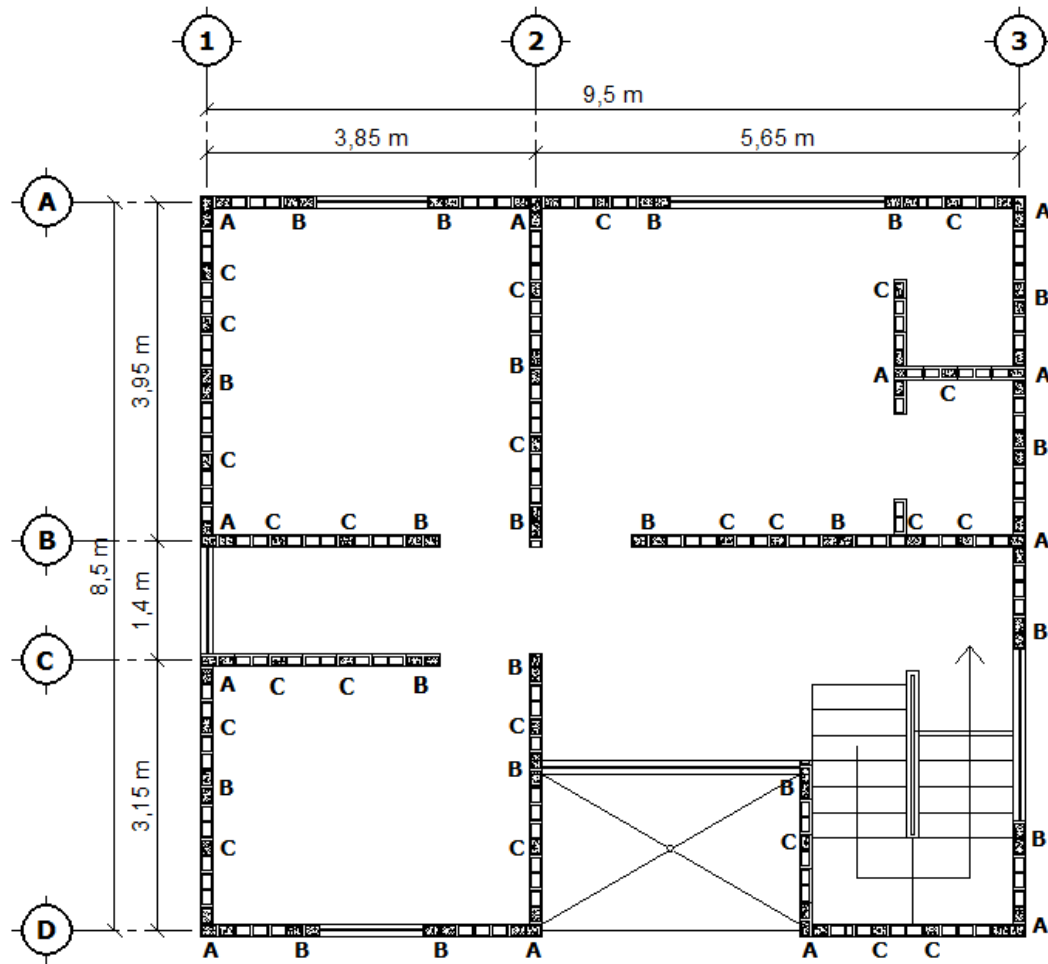
Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD 2013.

Tipo A: 4 varillas N°. 3

Tipo B: 2 varillas N°. 3

Tipo C: 1 varilla N°. 3

Figura 27. Refuerzo mínimo vertical segundo nivel



Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD 2013.

Tipo A: 4 varillas N°. 3

Tipo B: 2 varillas N°. 3

Tipo C: 1 varilla N°. 3

Figura 28. **Detalles de armado de refuerzo vertical**



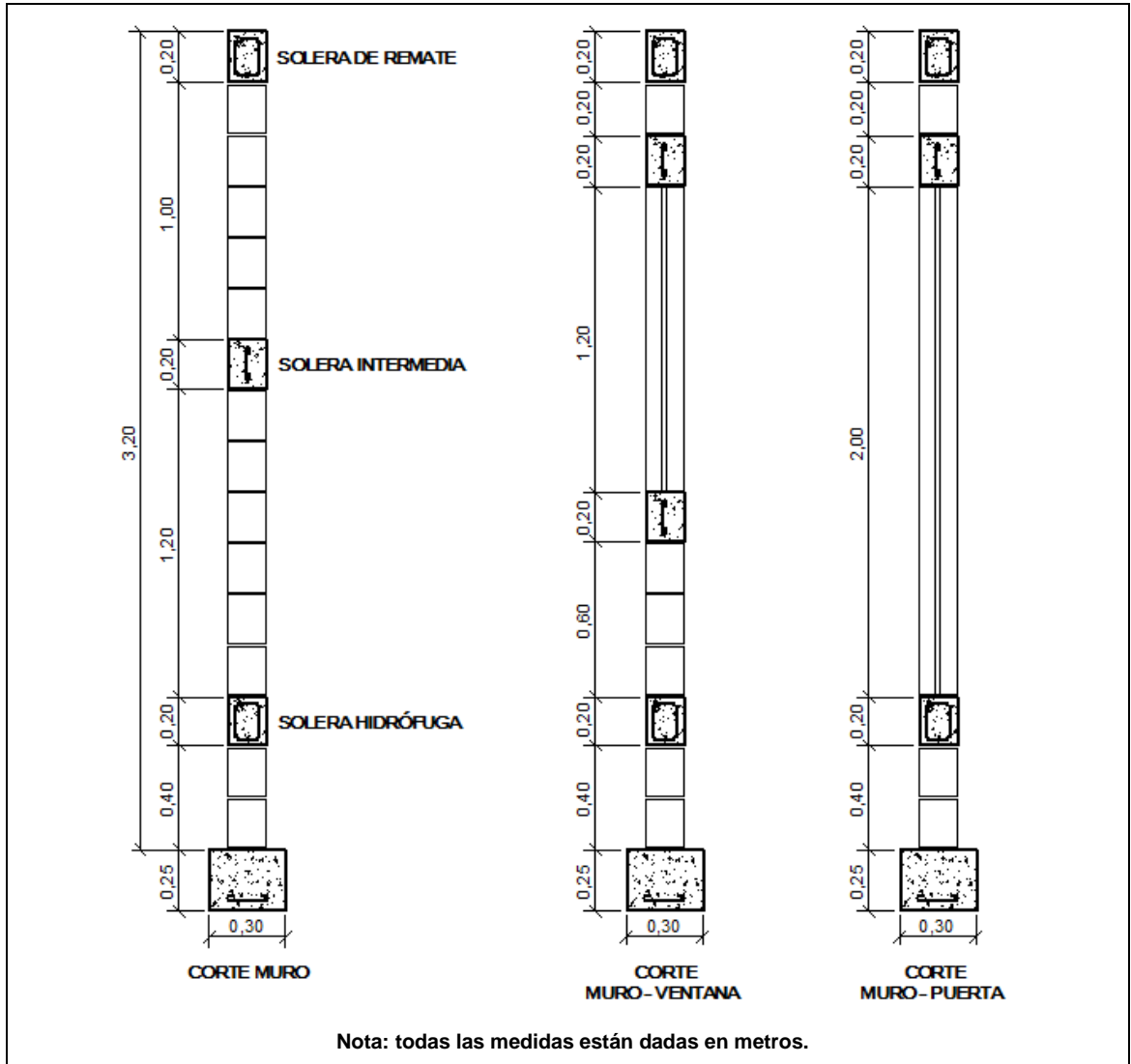
Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD 2013.

Figura 29. **Detalle soleras**



Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD 2013.

Figura 30. Refuerzo horizontal en muros



Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD 2013.

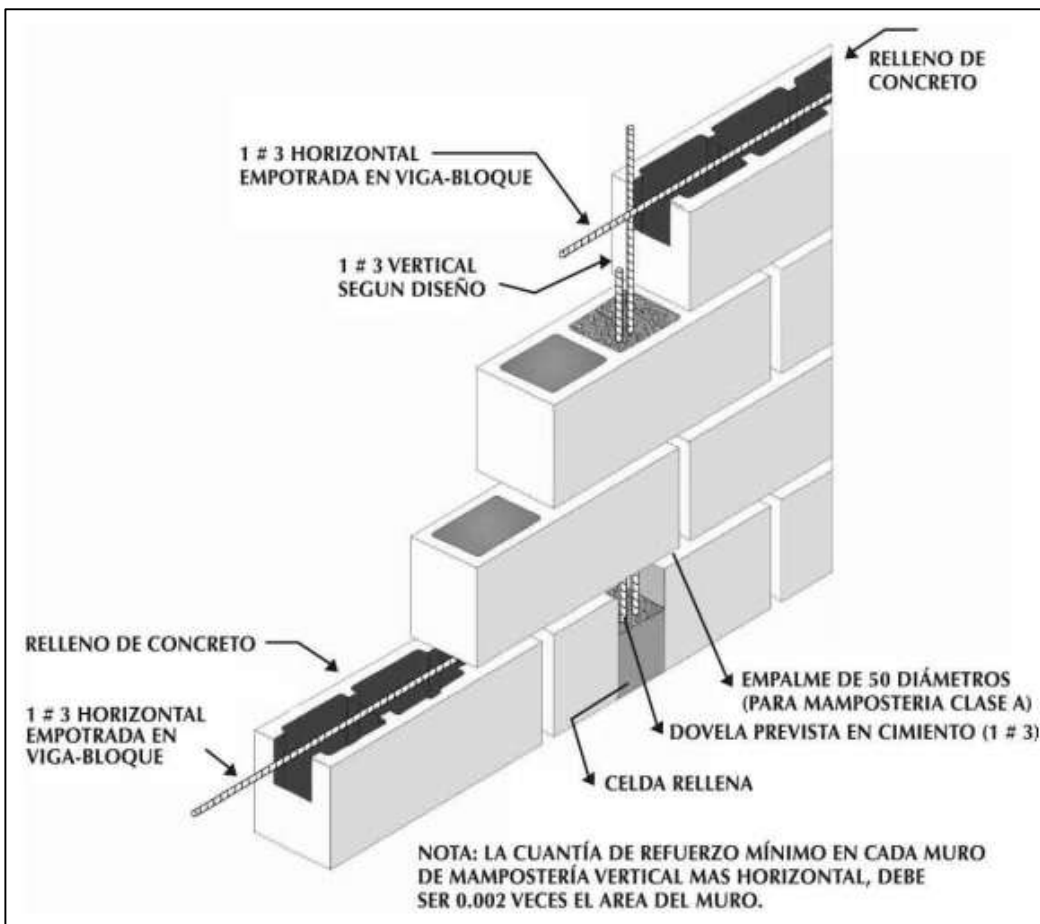
4.4. Detalles constructivos

Se presentan otras recomendaciones para los detalles constructivos de mampostería reforzada de códigos y normas, para armadura horizontal, vertical, ganchos y otros.

4.4.1. Colocación armadura horizontal

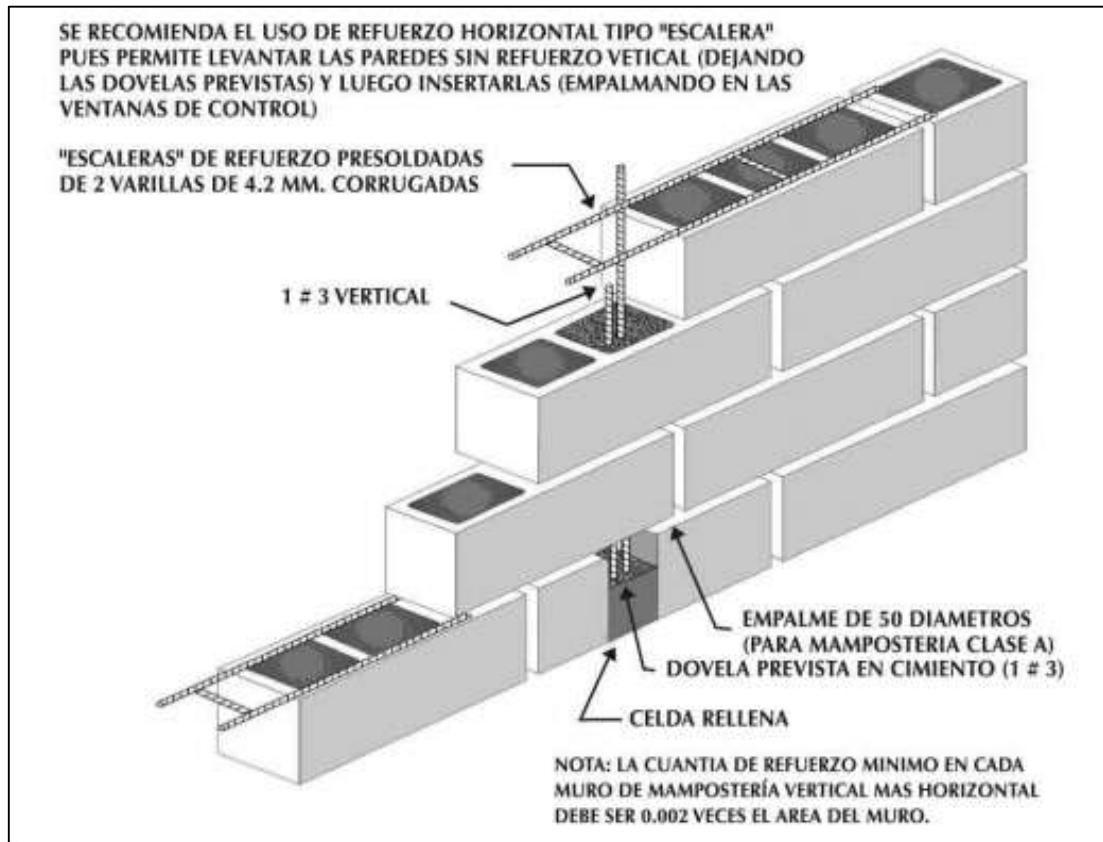
Se recomienda colocar la armadura horizontal cada 3 o 4 hiladas dependiendo del diseño. La armadura puede colocarse de la siguiente forma para bloques especiales con ranura, considerando el refuerzo mínimo de los muros.

Figura 31. **Detalle de colocación de varilla horizontal en bloques especiales con ranura**



Fuente: CCYC. *Manual de construcción con bloques de concreto.* p. 8.

Figura 32. **Detalle de colocación de varilla horizontal**



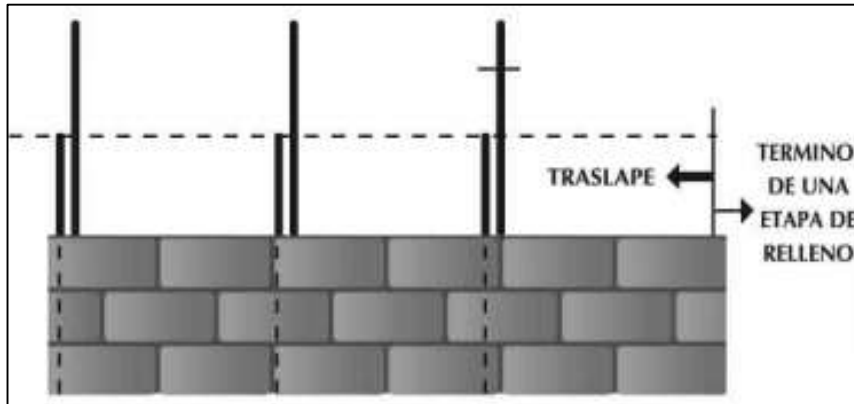
Fuente: CCYC. *Manual de construcción con bloques de concreto*. p. 9.

4.4.2. **Colocación de armadura vertical**

Las armaduras verticales llegan a una altura, a la cual es necesario proceder al traslape de las varillas, como se muestra en la figura 29.

Para traslape de varillas, UBC 1997 (sección 2107.2.2.6), la longitud no debe ser menor de $30d_v$ ni $40d_v$ a tensión.

Figura 33. **Detalles del anclaje de armadura vertical**

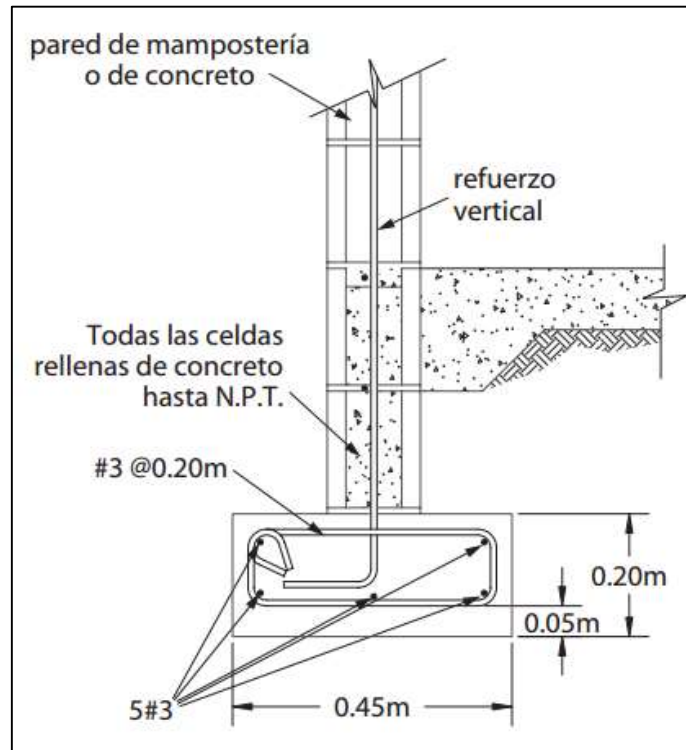


Fuente: CCYC. *Manual de construcción con bloques de concreto*. p. 10.

4.4.3. **Otros detalles**

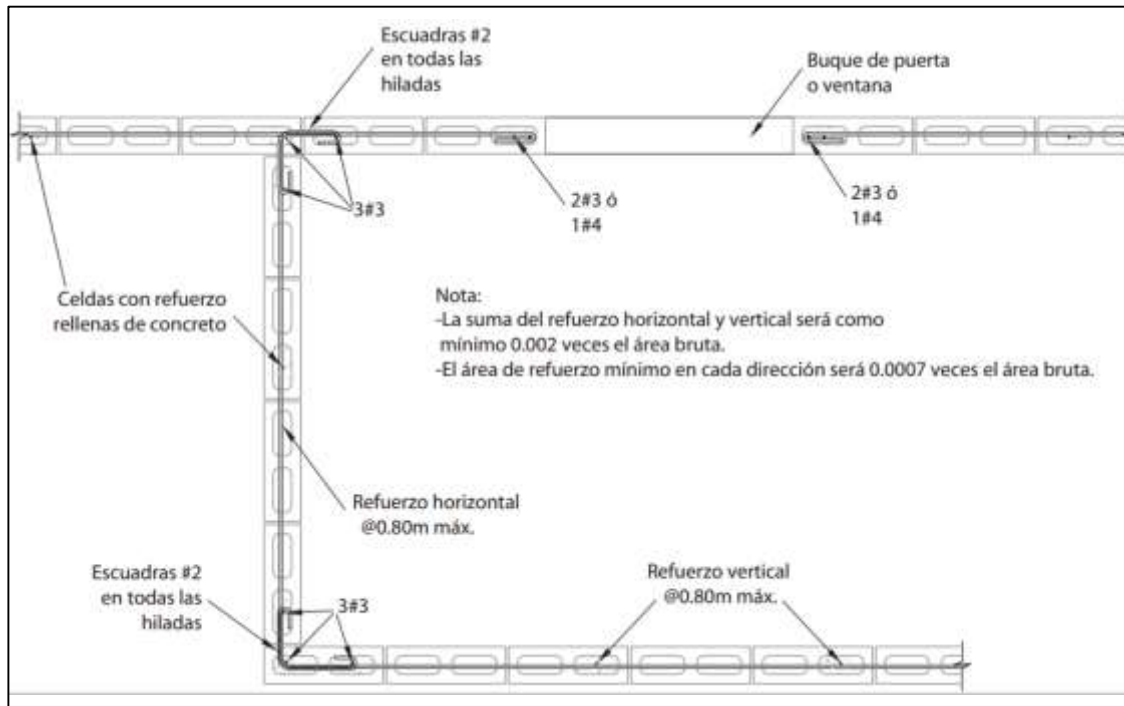
Los cimientos y elevación de pared con mampostería integral deben cumplir con las recomendaciones mínimas que especifican las normas. Es importante considerar un diseño de la cimentación según las características del lugar de la vivienda.

Figura 34. **Cimentación para casa de dos niveles**



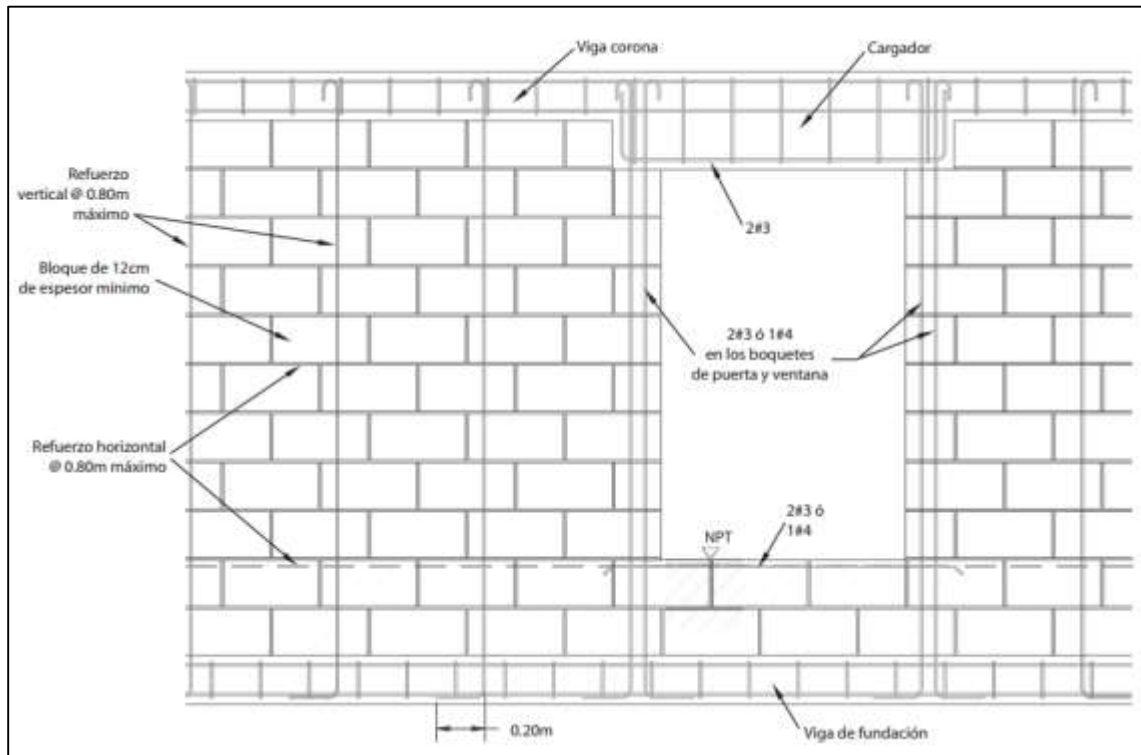
Fuente: CCYC. *Manual de construcción con bloques de concreto*. p. 13.

Figura 35. Sección de pared de mampostería con refuerzo integral



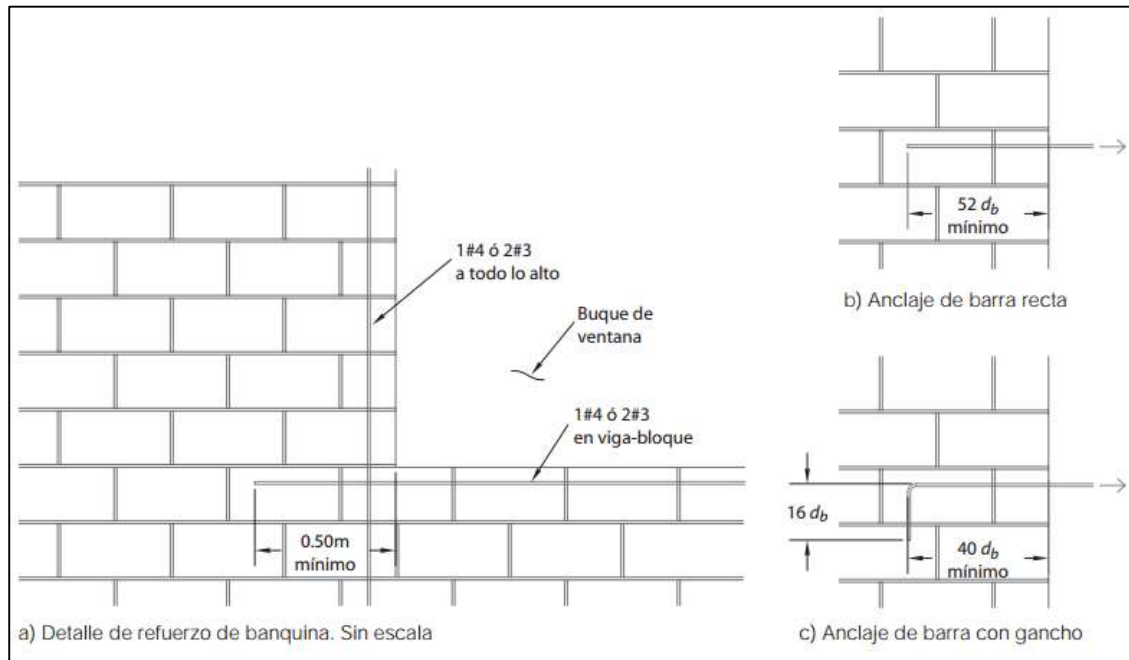
Fuente: CCYC. *Manual de construcción con bloques de concreto*. p. 14.

Figura 36. Elevación de pared de mampostería con refuerzo integral



Fuente: CCYC. *Manual de construcción con bloques de concreto*. p. 14.

Figura 37. **Detalle de anclaje de refuerzo en viga bloque**

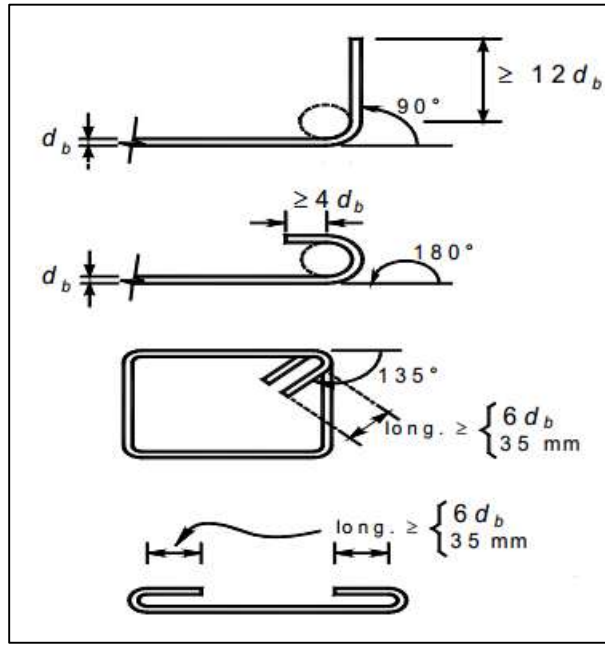


Fuente: CCYC. *Manual de construcción con bloques de concreto*. p. 14.

El UBC 1997 (sección 2107.2.2.5) estipula para los ganchos del refuerzo vertical y horizontal:

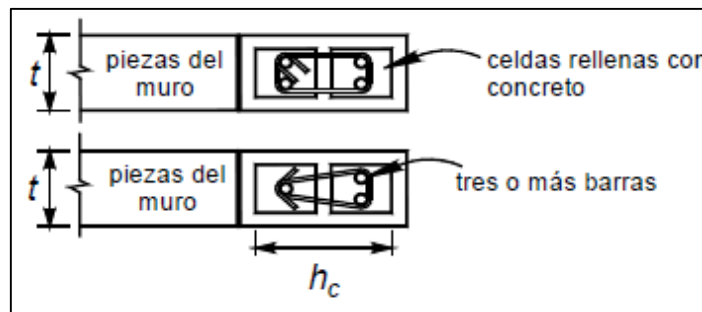
- Ganchos 180 grados, más una extensión de $4d_v$ como mínimo, pero no menor de 63 milímetros.
- Ganchos 90 grados, más una extensión de $12d_v$, como mínimo.
- Sólo para el anclaje de estribos y amarras de 90 grados ó 135 grados, más una extensión de $6d_v$ como mínimo, pero no menor de 63 milímetros.

Figura 38. **Doblecce del refuerzo**



Fuente: *Normas técnicas complementaria para diseño y construcción de estructuras de mampostería*. p. 30.

Figura 39. **Doblecce del refuerzo**



Fuente: *Normas técnicas complementaria para diseño y construcción de estructuras de mampostería*. p. 30.

CONCLUSIONES

1. Los materiales empleados en las construcciones de mampostería deben cumplir con las propiedades físicas y mecánicas que recomiendan las normas aceptadas en el medio, como AGIES, ASTM y COGUANOR, para garantizar su calidad.
2. Los prismas de ladrillo tipo superblock resisten mayores cargas últimas a compresión y corte que los prismas de bloques de concreto. Sin embargo, los ladrillos presentan menor resistencia a esfuerzos últimos a compresión y corte que los bloques de concreto, debido al área neta de las unidades consideradas.
3. Para lograr un comportamiento adecuado de la estructura ante un evento sísmico, es importante considerar en el diseño las normas vigentes, la calidad de los materiales, la influencia de las aberturas en los muros y la configuración estructural.
4. Las viviendas comparadas, donde un nivel es de ladrillo y el segundo nivel de block de concreto y viceversa, demuestran la existencia de diferente comportamiento entre uno y otro nivel debido a la rigidez de los diferentes materiales utilizados.
5. Cuando se presentan excentricidades superiores al límite permitido por las normas estructurales, se produce una torsión adicional en el segundo nivel, la cual genera una junta fría por encima de la losa-viga de corona

del primer nivel y el muro del segundo nivel, que afecta la base en el sustento entre niveles.

6. En las viviendas con diferente unidad de mampostería por nivel (ladrillo tipo superblock y bloques de concreto), se determinó que no es necesario el refuerzo de acero, debido a que el mamposte es capaz de resistir los esfuerzos actuantes por las longitudes libres entre muros paralelos y longitudinales.
7. El diseño realizado muestra que las viviendas unifamiliares, con diferente unidad de mampostería por nivel (ladrillo tipo superblock y bloques de concreto) presentan un comportamiento sismo resistente.

RECOMENDACIONES

1. Se debe verificar la calidad de los materiales por medio de los ensayos que estipulan las normas aceptadas en el medio para determinar las características y propiedades mecánicas, que influyen en la construcción y calidad de la mampostería.
2. En caso de realizar ampliaciones en una vivienda, como un segundo nivel, se debe inspeccionar y analizar la construcción de la vivienda actual para elaborar el diseño de la nueva vivienda de dos niveles, especialmente si se considera diferente unidad de mampostería para el nivel superior.
3. Durante la inspección de la obra se debe poner atención a los anclajes en la unión de los niveles debido a la junta fría que puede generarse por encima de la losa-viga de corona del primer nivel y el muro del segundo nivel.
4. En el caso en que el diseño de mampostería demuestre no necesitar refuerzo de acero se debe de proveer la cuantía mínima en ambos sentidos.
5. En proyectos de viviendas reforzadas interiormente, es importante la supervisión por parte del ingeniero para verificar el proceso de construcción, desde la calidad de los materiales, la colocación del refuerzo hasta los acabados finales.

BIBLIOGRAFÍA

1. American Society for Testing and Materials. *Standard Specification for Mortar for Unit Masonry*. ASTM C270-03b. Estados Unidos: Book of standards, 2004.
2. Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica. *Normas de seguridad estructural de edificios y obras de infraestructura para la República de Guatemala*. Guatemala: AGIES, 2010.
3. BRAVO TREJOS, Eddy. *Manual de Construcción con bloques de concreto*. 2a ed. Costa Rica: ICCYC, 2007. 14 p.
4. Comisión Guatemalteca de Normas. *Barras de acero para hormigón (concreto) armado*. NGO 36011. Guatemala: COGUANOR, 1984.
5. _____. *Ladrillos de barro cocido. Especificaciones*. NGO 41022. Guatemala: COGUANOR, 1982.
6. _____. *Método de ensayo. Determinación de la resistencia a la compresión de prismas de mampostería*. NGO 41051. Guatemala: COGUANOR, 2010.
7. _____. *Bloques huecos de concreto para muros. Especificaciones*. NGO 41054. Guatemala: COGUANOR, 2010.

8. CORDÓN BRACAMONTE, Luis Miguel. *Evaluación y comparación de la resistencia de los prismas de bloques de mampostería llenos y huecos*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2013. 283 p.
9. CORZO ÁVILA, Mario Rodolfo. *Notas mampostericas de una sabandija*. 2a ed. Guatemala, 2008. 132 p.
10. FLORIÁN RAMÍREZ, Elida Yesenia. *Recomendaciones para el diseño en mampostería de viviendas mínimas, menores a 50 m²*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2009. 182 p.
11. Fundación ICA. *Edificaciones de mampostería para vivienda*. 3a. ed. México, 2003. 316 p.
12. *Normas técnicas complementarias para diseño y construcción de estructuras de mampostería*. México. 70 p.
13. International Conference of Building Officials. *Uniform Building Code*. Estados Unidos, 1997.

ANEXOS

Anexo 1. Ensayo de prisma a compresión



Fuente: área de Prefabricados. Sección de Estructuras. Facultad de Ingeniería. USAC.

Anexo 2. Falla en prisma de mampostería



Fuente: área de Prefabricados. Sección de Estructuras. Facultad de Ingeniería. USAC.

Anexo 3. **Falla lateral en prismas de compresión**



Fuente: área de Prefabricados. Sección de Estructuras. Facultad de Ingeniería. USAC.

Anexo 4. **Ensayo de prisma a corte**



Fuente: área de Prefabricados. Sección de Estructuras. Facultad de Ingeniería. USAC.

Anexo 5. Falla por tensión diagonal



Fuente: área de Prefabricados. Sección de Estructuras. Facultad de Ingeniería. USAC.

Anexo 6. Falla por tensión diagonal



Fuente: área de Prefabricados. Sección de Estructuras. Facultad de Ingeniería. USAC.

Anexo 7. **Ensayo de prisma a corte**



Fuente: área de Prefabricados. Sección de Estructuras. Facultad de Ingeniería. USAC.

Anexo 8. **Falla por corte en juntas**



Fuente: área de Prefabricados. Sección de Estructuras. Facultad de Ingeniería. USAC.

Anexo 9. **Falla mixta**



Fuente: área de Prefabricados. Sección de Estructuras. Facultad de Ingeniería. USAC.

Anexo 9. **Falla mixta**



Fuente: área de Prefabricados. Sección de Estructuras. Facultad de Ingeniería. USAC.

