



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIAPAS

FACULTAD DE INGENIERÍA



CAMPUS I

**ANÁLISIS COMPARATIVO SISMO RESISTENTE DE LAS
EDIFICACIONES DE MAMPOSTERÍA EN LA CIUDAD DE
CINTALAPA DE FIGUEROA, CHIAPAS.**

**TESIS QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN INGENIERÍA CON FORMACIÓN EN CONSTRUCCIÓN**

PRESENTA:

ING. JOSÉ DANIEL LUNA MACÍAS (C061065)

DIRECTOR DE TESIS:

DR. EBER ALBERTO GODÍNEZ DOMÍNGUEZ

TUXTLA GUTIÉRREZ, CHIAPAS; MAYO DE 2021.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIAPAS
FACULTAD DE INGENIERÍA C-I



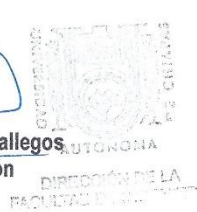
Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.
A 31 de mayo del 2021
Oficio. FI. 01/719/2021

C. José Daniel Luna Macías
Maestría en Ingeniería con formación en Construcción
Presente.

Por este medio comunico a usted, que se autoriza la impresión de su trabajo de tesis denominado:
"Análisis comparativo sismo resistente de las edificaciones de mampostería en la ciudad de Cintalapa de Figueroa, Chiapas", para que pueda continuar con los trámites de titulación para la obtención del Grado de la Maestría en Ingeniería con formación en Construcción.

Sin otro particular, reciba un cordial saludo.

Atentamente.
"Por la conciencia de la necesidad de servir"


Dr. José Alonso Figueroa Gallegos
Encargado de Dirección


C. c. p. Dra. Daisy Escobar Castillejos. Coordinadora de Investigación y Posgrado. - F.I.
Archivo Minutario.
JAFG/DEC/topg*

Tels. (961) 617-80-00 ext. 1560. (961) 615-03-22. www.ingenieria.unach.mx

Rolando Ralierón Domínguez Km 1084 Sin Número Tarón Tuxtla Gutiérrez Chiapas México C.P. 290600 www.unach.mx



Código: FO-113-09-05

Revisión: 0

CARTA DE AUTORIZACIÓN PARA LA PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DE LA TESIS DE TÍTULO Y/O GRADO.

El (la) suscrito (a) JOSÉ DANIEL LUNA MACÍAS,
Autor (a) de la tesis bajo el título de “ ANÁLISIS COMPARATIVO SISMO RESISTENTE DE
EDIFICACIONES DE MAMPOSTERÍA EN LA CIUDAD DE CINTALAPA DE FIGUEROA,
”

presentada y aprobada en el año 20 21 como requisito para obtener el título o grado de MAESTRO EN INGENIERÍA CON FORMACIÓN EN CONSTRUCCIÓN, autorizo a la Dirección del Sistema de Bibliotecas Universidad Autónoma de Chiapas (SIBI-UNACH), a que realice la difusión de la creación intelectual mencionada, con fines académicos para que contribuya a la divulgación del conocimiento científico, tecnológico y de innovación que se produce en la Universidad, mediante la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

- Consulta del trabajo de título o de grado a través de la Biblioteca Digital de Tesis (BIDITE) del Sistema de Bibliotecas de la Universidad Autónoma de Chiapas (SIBI-UNACH) que incluye tesis de pregrado de todos los programas educativos de la Universidad, así como de los posgrados no registrados ni reconocidos en el Programa Nacional de Posgrados de Calidad del CONACYT.
- En el caso de tratarse de tesis de maestría y/o doctorado de programas educativos que sí se encuentren registrados y reconocidos en el Programa Nacional de Posgrados de Calidad (PNPC) del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), podrán consultarse en el Repositorio Institucional de la Universidad Autónoma de Chiapas (RIUNACH).

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas; a los 18 días del mes de NOVIEMBRE del año 20 21 .

JOSÉ DANIEL LUNA MACÍAS

Nombre y firma del Tesista o Tesistas

DEDICATORIA

Posiblemente en este momento no entiendas mis palabras, pero para cuando seas capaz, quiero que te des cuenta de lo que significas para mí. Eres la razón de que me levante cada día a esforzarme por el presente y el mañana, eres mi principal motivación.

Como en todos mis logros, en este has estado presente.

Muchas gracias hijo.

AGRADECIMIENTOS

Me gustaría agradecer a cada una de las personas que estuvieron a mi lado en el transcurso de la maestría, pero desafortunadamente la tesis completa no me alcanzaría para hacerlo.

Primeramente, quiero agradecer a **DIOS** por haberme ayudado en la culminación de esta investigación.

Le agradezco a mi **INSTITUCIÓN** y a mis **MAESTROS** por sus esfuerzos y el conocimiento compartido, que fue de mucha ayuda para culminar mis estudios con éxito.

A MIS PADRES por haberme forjado como la persona que soy en la actualidad; muchos de mis logros se los debo a ustedes entre los que se incluye éste. Me formaron con reglas y con algunas libertades, pero al final de cuentas, me motivaron constantemente para alcanzar mis anhelos.

A MI ESPOSA, porque tu ayuda ha sido fundamental, has estado conmigo incluso en los momentos más turbulentos, este proyecto no fue fácil, pero estuviste motivándome y ayudándome hasta donde tus alcances lo permitían, incluso más que eso. Te lo agradezco muchísimo, amor.

A MIS HERMANOS, Luis Fernando y Ana María por acompañarme durante todo este arduo camino y compartir conmigo alegrías y fracasos.

FAMILIA, AMIGOS Y PERSONAS ESPECIALES EN MI VIDA, este logro también es de ustedes, he logrado concluir con éxito un proyecto que en un principio podría parecer una tarea interminable, quisiera dedicar mi tesis a ustedes, personas de bien, seres que ofrecen amor, bienestar y los finos deleites de la vida.

RESUMEN

La presente investigación, muestra resultados de análisis comparativos entre edificaciones de mampostería, construidas empíricamente, contra edificaciones diseñadas en base a la normativa de construcción vigente.

La mampostería sigue siendo el material predominante en la vivienda unifamiliar y, además, su uso se está extendiendo a edificios de cada vez mayor altura, sobre todo por la densificación de la población en los grandes centros urbanos.

Debido al incremento en las magnitudes de los sismos registrados en los últimos años, y a los incontables daños a los inmuebles provocado por eso, es de vital importancia que las estructuras estén diseñadas y construidas con los códigos de diseños necesarios para garantizar la seguridad de la estructura y de sus ocupantes.

Para la ejecución de este proyecto de investigación se emplearon diferentes códigos normativos, las cuales indicaron los procedimientos a realizar y las medidas necesarias para hacerlo posible. Entre los trabajos realizados se encuentran los levantamientos físicos de viviendas en el municipio de Cintalapa de Figueroa, las cuales se digitalizaron en un software y sirvieron de comparativa contra los diseños realizados en base a la normativa.

ABSTRACT

The present investigation shows results of comparative analysis between empirically built masonry buildings against buildings designed based on current construction regulations.

Masonry continues to be the predominant material in single-family homes and, in addition, its use is spreading to buildings of increasing height, especially due to the densification of the population in large urban centers.

Due to the increase in the magnitudes of earthquakes registered in recent years, and the countless damage to buildings caused by that, it is vitally important that structures are designed and built with the necessary design codes to guarantee the safety of the structure. and its occupants.

For the execution of this research project, different normative codes were used, which indicated the procedures to be carried out and the necessary measures to make it possible. Among the works carried out are the physical surveys of houses in the municipality of Cintalapa de Figueroa, which were digitized in software and served as a comparison against the designs made based on the regulations.

ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA	4
AGRADECIMIENTOS	5
RESUMEN	6
ABSTRACT	7
CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN	19
1.1. INTRODUCCIÓN	20
1.2. OBJETIVOS	22
1.2.1. OBJETIVO GENERAL	22
1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	22
1.3. HIPÓTESIS	22
1.4. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN	22
1.5. METODOLOGÍA	23
CAPITULO 2. ANTECEDENTES	25
2.1. ESTADO DEL ARTE	26
2.2. ANTECEDENTES HISTÓRICOS	29
2.3. LA MAMPOSTERÍA CONTEMPORÁNEA	39
2.4. COMPORTAMIENTO GENERAL DE MUROS DE MAMPOSTERÍA CONFINADA ANTE CARGAS COPLANARES	61
2.5. CLASIFICACIÓN DE LAS ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERÍA	67
CAPITULO 3. MATERIALES PARA MAMPOSTERÍA	69
3.1. PIEZAS	70
3.1.1. TIPOS DE PIEZAS	70
3.1.2. RESISTENCIA A COMPRESIÓN	71
3.2. CEMENTANTES	73

3.2.1.	CEMENTO HIDRÁULICO.....	73
3.2.2.	CEMENTO DE ALBAÑILERÍA.....	73
3.2.3.	CAL HIDRATADA	73
3.3.	AGREGADOS PÉTREOS	73
3.4.	AGUA DE MEZCLADO	73
3.5.	MORTERO.....	74
3.5.1.	RESISTENCIA A COMPRESIÓN	74
3.5.2.	CLASIFICACIÓN	75
3.5.3.	MORTERO PARA PEGAR PIEZAS	75
3.6.	ADITIVOS.....	76
3.7.	ACERO DE REFUERZO.....	76
3.8.	MAMPOSTERÍA.....	77
3.8.1.	RESISTENCIA A COMPRESIÓN	77
3.8.2.	RESISTENCIA A COMPRESIÓN DIAGONAL.....	81
3.8.3.	RESISTENCIA AL APLASTAMIENTO	84
3.8.4.	RESISTENCIA A Tensión.....	84
3.8.5.	MODULO DE ELASTICIDAD.....	84
3.8.6.	MODULO DE CORTANTE	85
CAPITULO 4.	DESARROLLO DEL TEMA.....	87
4.1.	CLASIFICACIÓN DE LAS VIVIENDAS.....	88
4.1.1.	POBLACIÓN Y TAMAÑO DE LA MUESTRA	88
4.1.2.	CLASIFICACIÓN POR NIVELES CONSTRUIDOS	91
4.1.3.	CLASIFICACIÓN POR TIPO DE MATERIAL	92
4.1.4.	CLASIFICACIÓN POR TAMAÑO DEL TERRENO	93

4.2. DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS MATERIALES	94
4.2.1. CONCRETO	95
4.2.2. ACERO DE REFUERZO	97
4.2.3. MAMPOSTERÍA Y MORTERO.....	98
4.3. MODELO MATEMÁTICO PARA EL ANÁLISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL, USANDO LAS CARACTERÍSTICAS REALES DE LA VIVIENDA.	100
4.3.1. INTRODUCCIÓN.....	100
4.3.2. MATERIALES	101
4.3.3. GEOMETRÍA	101
4.3.4. CARGAS Y ACCIONES CONSIDERADAS	102
4.3.5. COMBINACIONES DE CARGAS	110
4.3.6. ESTADOS LIMITE DE DISEÑO	112
4.3.7. ANÁLISIS ESTRUCTURAL	115
4.4. FORMA MODAL EN AMBAS DIRECCIONES	127
4.5. CORTANTE BASAL	130
4.6. PARTICIPACIÓN MODAL DE MASAS	131
4.7. DESPLAZAMIENTO VERTICAL Y HORIZONTAL.....	132
4.7.1. DISEÑO ESTRUCTURAL.....	138
4.8. DISEÑO A COMPRESIÓN.....	139
4.9. DISEÑO A FLEXOCOMPRESIÓN	143
4.10. DISEÑO A CORTANTE	147
4.10.1. FUERZA CORTANTE RESISTIDA POR LA MAMPOSTERÍA	148
4.10.2. FUERZA CORTANTE RESISTIDO POR EL ACERO DE REFUERZO HORIZONTAL	148

4.10.3. FUERZA CORTANTE RESISTIDA POR MALLA DE ALAMBRE SOLDADO RECUBIERTA DE MORTERO	150
CAPITULO 5. RESULTADOS OBTENIDOS	157
5.1. RESULTADOS OBTENIDOS	158
CAPITULO 6. CONCLUSIONES	163
6.1. CONCLUSIONES.....	164
CAPITULO 7. REFERENCIAS	166
7.1. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	167
CAPITULO 8. ANEXOS.....	169
8.1. ANEXOS	170

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Gran Zigurat o templo de pirámide escalonada en la antigua ciudad sumeria de Ur.) (<i>fuentes: Google Imágenes</i>).	31
Figura 2.2. Pirámides de Giza, Keops, Kefrén y Micerino (<i>fuentes: Google Imágenes</i>).....	32
Figura 2.3. El coliseo Romano (<i>fuentes: Google Imágenes</i>).	33
Figura 2.4. El faro de Eddystone (<i>fuentes: Google Imágenes</i>).....	34
Figura 2.5. Bóveda maya “en saledizo” (<i>fuentes: Google Imágenes</i>).....	35
Figura 2.6. Vieja casa del Estado. Boston, Massachusetts (<i>Fuentes: Google Imágenes</i>).....	36
Figura 2.7. Iglesia de Sanint Jean de Montmartre en París. Primera edificación de mampostería reforzada de manera semejante a la actual (<i>fuentes: Google Imágenes</i>).....	39
Figura 2.8. Interior de la Iglesia Episcopal de Cristo en la Ciudad de México. (<i>fuentes: Arq. Carlos Mijares Bracho</i>) (<i>fuentes: Google Imágenes</i>).....	39
Figura 2.9. Edificio de vivienda multifamiliar en la Ciudad de México (<i>fuentes: Google Imágenes</i>).	40
Figura 2.10. Conjunto habitacional en Bogotá, Colombia (<i>fuentes: Google Imágenes</i>).....	40
Figura 2.11. Sistema constructivo de mampostería confinada (<i>fuentes: NTC-DCEM, 2020</i>).....	43
Figura 2.12. Sistema constructivo de mampostería reforzada interiormente (<i>fuentes: NTC-DCEM, 2020</i>).....	44
Figura 2.13. Muro de dos hojas, muy utilizado en Estados Unidos y Canadá. (cavity wall, en inglés) (<i>fuentes: SMIE, 2019</i>).....	45
Figura 2.14. Edificios altos en Colombia, estructurados con muros de mampostería y muros de concreto reforzado (<i>fuentes: Google Imágenes</i>).....	47

Figura 2.15. Sistema constructivo desarrollado en Perú, de unidades apilables de mampostería (<i>fuentes: SMIE, 2019</i>).....	48
Figura 2.16. Edificio de 17 niveles de mampostería reforzada interiormente en Northridge, Estados Unidos, sin reporte de daños estructurales después del sismo de 1994 (<i>fuentes: Google Imágenes</i>).....	51
Figura 2.17. Modo de falla por flexión en un muro corto ($h/l > 4/3$) (<i>fuentes: SMIE, 2019</i>)	63
Figura 2.18. Modo de falla por cortante o tensión diagonal a través de las piezas (<i>fuentes: SMIE, 2019</i>).	64
Figura 2.19. Modo de falla por cortante o tensión diagonal siguiendo las juntas de mortero (<i>fuentes: SMIE, 2019</i>).....	64
Figura 2.20. Modo de falla por compresión diagonal (<i>fuentes: SMIE, 2019</i>).	65
Figura 2.21. Modo de falla por deslizamiento (<i>fuentes: SMIE, 2019</i>).	65
Figura 2.22. Modo de falla por compresión de la mampostería (<i>fuentes: SMIE, 2019</i>).....	66
Figura 2.23. Diagrama de interacción adimensional momento-carga axial (<i>fuentes: SMIE, 2019</i>).	67
Figura 3.1. Piezas (<i>fuentes: NTC-DCEM, 2020</i>).....	71
Figura 3.2. Pila para prueba en compresión (<i>fuentes: NTC-DCEM, 2020</i>).....	78
Figura 3.3. Murete para prueba en compresión diagonal (<i>fuentes: NTC-DCEM, 2020</i>).....	82
Figura 4.1. Promedio de ocupantes en viviendas particulares habitadas (<i>fuentes: INEGI</i>).	90
Figura 4.2. Clasificación de las viviendas por número de niveles.....	92
Figura 4.3. Clasificación de las viviendas por tipo de material.....	93
Figura 4.4. Clasificación de las viviendas por superficie.	94
Figura 4.5. Regionalización sísmica de la República Mexicana.....	105

Figura 4.6. Concentrado de espectros de diseño.....	110
Figura 4.7. Planta estructural de la vivienda estructurada de acuerdo a las condiciones reales con que fue construida (PLANTA BAJA)	118
Figura 4.8. Planta estructural de la vivienda estructurada de acuerdo a las condiciones reales con que fue construida (PLANTA ALTA)	119
Figura 4.9. Planta estructural de la vivienda estructurada de acuerdo a las NTC-DCEM 2020 (PLANTA BAJA)	120
Figura 4.10. Planta estructural de la vivienda estructurada de acuerdo a las NTC-DCEM 2020 (PLANTA ALTA)	121
Figura 4.11. Representación gráfica de la vivienda estructurada de acuerdo a las condiciones reales con que fue construida (PLANTA ALTA)	122
Figura 4.12. Representación gráfica de la vivienda estructurada de acuerdo a las condiciones reales con que fue construida (PLANTA ALTA)	122
Figura 4.13. Representación gráfica de la vivienda estructurada de acuerdo a las condiciones reales con que fue construida (PLANTA BAJA)	123
Figura 4.14. Representación gráfica de la vivienda estructurada de acuerdo a las condiciones reales con que fue construida (PLANTA ALTA)	123
Figura 4.15. Representación gráfica de la vivienda estructurada de acuerdo a las NTC-DCEM 2020 (PLANTA BAJA).....	124
Figura 4.16. Representación gráfica de la vivienda estructurada de acuerdo a las NTC-DCEM 2020 (PLANTA BAJA).....	124
Figura 4.17. Representación gráfica de la vivienda estructurada de acuerdo a las NTC-DCEM 2020 (PLANTA ALTA).....	125
Figura 4.18. Representación gráfica de la vivienda estructurada de acuerdo a las NTC-DCEM 2020 (PLANTA ALTA).....	125
Figura 4.19. Modelo matemático tridimensional de la vivienda estructurada de acuerdo a las condiciones reales con que fue construida en ETABS.....	126

Figura 4.20. Modelo matemático tridimensional de la vivienda estructurada de acuerdo a las NTC-DCEM 2020 en ETABS	126
Figura 4.21. Primera forma modal de la vivienda real con $T=0.152$ s	127
Figura 4.22. Segunda forma modal de la vivienda real con $T=0.133$ s.....	127
Figura 4.23. Tercera forma modal de la vivienda real con $T=0.108$ s.....	128
Figura 4.24. Primera forma modal de la vivienda según normativa con $T=0.084$ s	128
Figura 4.25. Segunda forma modal de la vivienda según normativa con $T=0.077$ S	129
Figura 4.26. Tercera forma modal de la vivienda según normativa con $T=0.059$ s	129
Figura 4.27. Desplazamiento vertical en losas de la vivienda real (PLANTA ALTA).	137
Figura 4.28. Desplazamiento vertical en losas de la vivienda real (PLANTA BAJA).	137
Figura 4.29. Desplazamiento vertical en losas de la vivienda según normativa (PLANTA ALTA).....	138
Figura 4.30. Desplazamiento vertical en losas de la vivienda según normativa (PLANTA BAJA).....	138

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1. Peso volumétrico neto mínimo de piezas, en estado seco (<i>fuelle</i> : NTC-DCEM, 2020).....	70
Tabla 3.2. Valores mínimos permitidos de $f'p$ y fp (<i>fuelle</i> : NTC-DCEM, 2020). 73	
Tabla 3.3. Proporcionamiento, en volumen, recomendados para mortero dosificado en obra (<i>fuelle</i> : NTC-DCEM, 2020).	76
Tabla 3.4. Factores correctivos para las resistencias de pilas con diferentes relaciones altura a espesor (<i>fuelle</i> : NTC-DCEM, 2020).....	78
Tabla 3.5. Resistencia a compresión para diseño de la mampostería de piezas de concreto, $f'm$, sobre área bruta (<i>fuelle</i> : NTC-DCEM, 2020).....	79
Tabla 3.6. Resistencia a compresión para diseño de la mampostería de piezas de arcilla, $f'm$, sobre área bruta (<i>fuelle</i> : NTC-DCEM, 2020).	80
Tabla 3.7. Resistencia de diseño a compresión de la mampostería, fm' , para algunos tipos de piezas, sobre área bruta (<i>fuelle</i> : NTC-DCEM, 2020).....	81
Tabla 3.8. Resistencia de diseño a compresión diagonal para algunos tipos de mampostería, sobre área bruta (<i>fuelle</i> : NTC-DCEM, 2020).....	83
Tabla 4.1. Archivo histórico de la población de la cabecera municipal de Cintalapa de Figueroa, Chiapas (<i>fuelle</i> : INEGI).	88
Tabla 4.2. Nivel de confianza asociado a un valor Z (<i>fuelle</i> : www.questionpro.com).....	91
Tabla 4.3. Dosificación del concreto de $f'c=150\text{ kg/cm}^2$ de acuerdo al fabricante.	95
Tabla 4.4. Dosificación del concreto de $f'c=150\text{ kg/cm}^2$ de acuerdo a investigación en la zona.	96
Tabla 4.5. Propiedades físicas del concreto de $f'c=150\text{ kg/cm}^2$	96
Tabla 4.6. Dosificación del concreto de $f'c=200\text{ kg/cm}^2$ de acuerdo al fabricante.	96

Tabla 4.7. Dosificación del concreto de $f'_c=200$ kg/cm ² de acuerdo a investigación en la zona.	97
Tabla 4.8. Propiedades físicas del concreto de $f'_c=200$ kg/cm ²	97
Tabla 4.9. Propiedades físicas del acero de refuerzo.....	98
Tabla 4.10. Propiedades físicas de la mampostería.	100
Tabla 4.11. Dimensiones de los elementos estructurales de la vivienda real..	102
Tabla 4.12. Dimensiones de los elementos estructurales de la vivienda de acuerdo a normativa	102
Tabla 4.13. Cargas gravitacionales para losa de entrepiso	103
Tabla 4.14. Cargas gravitacionales para losa de azotea.....	103
Tabla 4.15. Cargas vivas para losa de entrepiso	104
Tabla 4.16. Cargas vivas para losa de azotea	104
Tabla 4.17. Cargas vivas para comunicación para peatones.	104
Tabla 4.18. Valores de los periodos característicos y exponentes que controlan las ramas descendentes de los espectros de diseño transparente regional...	105
Tabla 4.19. Valores de amortiguamiento estructural.....	106
Tabla 4.20. Factores que modifican el espectro de diseño transparente regional.	109
Tabla 4.21. Factores de comportamiento sísmico y distorsiones límite para estructuras de mampostería.	114
Tabla 4.22. Desplazamiento horizontal máximo en el eje X de la vivienda real.	134
Tabla 4.23. Desplazamiento horizontal máximo en el eje Y de la vivienda real.	134
Tabla 4.24. Desplazamiento horizontal máximo en el eje X de la vivienda según normativa.	135

Tabla 4.25. Desplazamiento horizontal máximo en el eje Y de la vivienda según normativa.	136
Tabla 4.26. Notación y valores usados en el diseño a compresión.	140
Tabla 4.27. Cálculos de la revisión a compresión de la mampostería de la vivienda real.	141
Tabla 4.28. Cálculos del diseño a compresión de la mampostería de la vivienda según normativa.	142
Tabla 4.29. Definición y referencia de los valores usados en el diseño a compresión.	143
Tabla 4.30. Notación y valores usados en el diseño a flexocompresión.	144
Tabla 4.31. Cálculos de la revisión a flexocompresión de la mampostería de la vivienda real.	145
Tabla 4.32. Cálculo del diseño a flexocompresión de la mampostería de la vivienda según normativa.	146
Tabla 4.33. Definición y referencia de los valores usados en el diseño a flexocompresión.	147
Tabla 4.34. Notación y valores usados en el diseño a cortante.	151
Tabla 4.35. Datos para el refuerzo horizontal.	152
Tabla 4.36. Datos y condiciones para el refuerzo horizontal.	153
Tabla 4.37. Cálculos de la revisión a cortante de la mampostería de la vivienda real.	154
Tabla 4.38. Cálculos del diseño a cortante de la mampostería de la vivienda según normativa.	155
Tabla 4.39. Definición y referencia de los valores usados en el diseño a cortante.	156

CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1. INTRODUCCIÓN

En general, las enseñanzas que han dejado los movimientos sísmicos indican que en los países donde se diseña de acuerdo con una buena normativa sismorresistente, donde la construcción es sometida a una supervisión estricta y donde el sismo de diseño es representativo de la amenaza sísmica real de la zona, el daño sobre la infraestructura es marginal en comparación con el observado en sitios donde no se han dado estas circunstancias.

Desde una perspectiva histórica, un código por sí solo no puede garantizar la seguridad contra el daño excesivo, puesto que los códigos son reglamentos que establecen requisitos MÍNIMOS, los que a su vez experimentan actualizaciones continuas de acuerdo con los avances tecnológicos y las enseñanzas que dejan las investigaciones y los estudios de los efectos causados por terremotos, que no son más que pruebas de laboratorio a escala real. La ductilidad y redundancia estructural han resultado ser los medios más efectivos para proporcionar seguridad contra el colapso, especialmente si los movimientos resultan más severos que los anticipados por el diseño.

El daño severo o colapso de muchas estructuras durante sismos importantes es, por lo general, consecuencia directa de la falla de un solo elemento o serie de elementos con ductilidad o resistencia insuficiente.

A causa de sismos fuertes es común que se presenten daños estructurales las estructuras de mampostería, con base en los resultados de investigaciones experimentales y en el comportamiento observado en estructuras reales que fueron sometidas a sismos, se han identificado los siguientes tres modos de falla en muros de mampostería confinada, los cuales dependen de la calidad de los materiales, de la relación de aspecto del muro, de las condiciones de borde en la interfase mampostería-castillos, de la magnitud y el tipo de las cargas actuantes y, finalmente, de la cuantía de refuerzo en los castillos confinantes, los cuales son: falla por flexión, falla por cortante o tensión diagonal y falla por deslizamiento.

En las losas se pueden presentar grietas longitudinales a lo largo de la placa debido a la excesiva demanda por flexión que en ciertas circunstancias puede imponer el sismo. Este tipo de daños se han visto reiteradamente en muchas edificaciones de mampostería sometidas a movimientos sísmicos fuertes y moderados.

El proyecto de investigación surge con el firme propósito de cuantificar el tipo de daño estructural, con el modo de fallo y la capacidad resistente de una estructura bajo unas condiciones probables de sismo, la vulnerabilidad sísmica cuantifica el riesgo debido únicamente a las características de la estructura. El peligro sísmico es la magnitud que cuantifica el riesgo debido a la zona geográfica sobre la cual se emplaza la estructura. Tanto la vulnerabilidad sísmica de una estructura, como el peligro sísmico asociado a su emplazamiento, así como el daño sísmico potencial, contribuyen a cuantificar el riesgo sísmico asociado a un conjunto.

En sus características físicas presentarán una vulnerabilidad sísmica equivalente, pero un peligro sísmico que dependerá de acuerdo al lugar del emplazamiento. Se debe tener en cuenta que la vulnerabilidad sísmica de una estructura es una propiedad intrínseca a la misma, y, además, es independiente de la peligrosidad del lugar ya que se ha observado en sismos anteriores que edificaciones de un tipo estructural similar sufren daños diferentes, teniendo en cuenta que se encuentran en la misma zona sísmica. En otras palabras, una estructura puede ser vulnerable, pero no estar en riesgo si no se encuentra en un lugar con un determinado peligro sísmico o amenaza sísmica.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar, analizar y comparar la resistencia estructural en las edificaciones de mampostería, ante la ocurrencia de un sismo, en la ciudad de Cintalapa de Figueroa, Chiapas.

1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Clasificar las viviendas de acuerdo a las características propias de su construcción.
- Determinar los elementos mecánicos de los materiales con los que están construidas las viviendas.
- Analizar el comportamiento de las viviendas por medio del uso de un software especializado.
- Comparar los resultados con los datos obtenidos de viviendas diseñadas de acuerdo al reglamento de construcción y sus respectivas normas complementarias.

1.3. HIPÓTESIS

Diseñar casas conforme a la reglamentación y normativas actuales garantizan un mejor comportamiento sísmico, aumentando la seguridad estructural de las viviendas.

1.4. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

1. ¿Puede una casa resistir un sismo considerable, aun cuando esta se haya construido sin las recomendaciones indicadas en las normativas?
2. ¿Cuánto más puede resistir una vivienda construida siguiendo la reglamentación vigente a una que no?

3. ¿Cuáles son las consecuencias de no construir una vivienda atendiendo a las normativas aplicables?

1.5. METODOLOGÍA

Para la estructuración de la metodología de esta investigación y con el fin de desarrollar de manera óptima los objetivos antes mencionados, el proyecto constituye las siguientes etapas:

- **CLASIFICACIÓN DE LAS VIVIENDAS:** Hacer una clasificación de las viviendas en el municipio de Cintalapa de Figueroa, Chiapas, agrupándolas por: número de niveles, material del que está construido, tamaño del terreno y tipo de cimentación usada.
- **DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS MATERIALES:** una vez identificado el tipo de material con el que están construidas las casa en el municipio de Cintalapa de Figueroa, Chiapas, se continua con la determinación de los elementos mecánicos de cada uno de ellos, como lo son: los mampuestos (ladrillos, tabicones o block), morteros, concretos, muretes y pilas.
- **MODELO MATEMÁTICO PARA EL ANÁLISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL, USANDO LAS CARACTERÍSTICAS REALES DE LA VIVIENDA:** con el uso de un software especializado para el análisis y diseño estructural, se determinarán los elementos mecánicos de la estructura, mediante el uso del análisis por elementos finitos, con el fin de determinar el comportamiento del inmueble ante la ocurrencia de un sismo, en función a las características reales de las viviendas tipo en el municipio de Cintalapa de Figueroa, Chiapas.
- **MODELO MATEMÁTICO PARA EL ANÁLISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL, MEDIANTE EL USO DE LOS REQUERIMIENTOS MÍNIMOS INDICADOS EN LA NORMATIVA:** una vez determinado el comportamiento de las estructuras modelada con las características reales de la vivienda, se realizará una

contraparte de la misma estructura, solo que esta vez, tomando en cuenta todas las recomendaciones indicadas en las normativas y reglamentos de construcción, para comparar y concluir de acuerdo a los resultados obtenidos.

CAPITULO 2. ANTECEDENTES

2.1. ESTADO DEL ARTE

Las construcciones de mampostería han estado presentes desde que comenzó el sedentarismo de la humanidad, ya que, para protegerse de las inclemencias del tiempo, el hombre creó refugios artificiales cuyas técnicas constructivas fueron evolucionando con el paso del tiempo. (Hernandez, 2019, p.7).

Se considera que las primeras construcciones de mampostería fueron hechas con ramas de árboles chapeadas con lodo, técnica similar al denominado bajareque que se utiliza, afortunadamente, cada vez menos en la república mexicana. Posteriormente, el hombre pasó a protegerse con construcciones de piedra y techos de troncos, ramas y hojas, pasando después a crear piedras artificiales y desarrollar sistemas de techo más elaborados. (Hernandez, 2019, p.7).

Un aspecto importante relacionado con las construcciones de mampostería, es su reglamentación. Esto se ve reflejado en el código de Hammurabi en la antigua Mesopotamia, el cual es un compendio de diversas leyes que abarcan distintos aspectos de la sociedad de aquel tiempo. En lo referente a las construcciones, marca penalidades para aquellos constructores que hicieron mal su trabajo, llegando incluso a dictar la muerte del constructor si el propietario perdía la vida como consecuencia del derrumbe de la construcción. (Hernandez, 2019, p.7).

En México, las construcciones de mampostería son un aspecto importante tanto desde el punto de vista económico como social, ya que cerca del noventa por ciento de los habitantes del país viven o trabajan dentro de una construcción de mampostería. Entonces, cualquier mal comportamiento de estas estructuras puede poner en peligro la vida de sus residentes o causar la pérdida de su patrimonio, lo cual, desde el punto de vista social, es inaceptable. Esto, aun cuando las construcciones hayan sido diseñadas con los requerimientos que exige la normatividad; sin embargo, aceptemos que es casi imposible diseñar una construcción, de cualquier tipo, para que nunca falle o tenga daños. (Hernandez, 2019, p.7).

Desde el punto de vista económico, la construcción de estructuras de mampostería representaba, hasta hace unos años, aproximadamente 50% de la actividad constructora del país, principalmente por la construcción de viviendas de interés social que implementaron diversos organismos estatales y federales, empezando desde las 10,000 viviendas anuales a principios de los años sesenta del siglo XX, hasta el millón de viviendas anuales en los últimos años. (Hernandez, 2019, p.7).

Lo anterior, a excepción del gobierno que comenzó en el año 2012, el cual detuvo prácticamente la construcción de viviendas durante dos años, creando una fuerte crisis en la industria de la construcción, para dar lugar a lo que ahora se denominan “acciones de vivienda”, que pueden ser: la remodelación de construcciones existentes, la compra de vivienda de segunda mano o la compra de vivienda nueva. (Hernandez, 2019, p.7).

No obstante que la vivienda ya no se construye de forma masiva. Ahora constructores particulares hacen la oferta de la misma, perdiéndose de cierta manera el control sobre su seguridad. Esto se hizo evidente durante el sismo del 19 de septiembre del 2017, con el colapso de algunas edificaciones de mampostería de cinco y seis niveles, relativamente nuevas. En cambio, grandes unidades habitacionales construidas en los años 70's y posteriores del siglo pasado, soportaron prácticamente sin daño los efectos de los sismos de 1985 y 2017. ¿Dónde estuvo el problema? (Hernandez, 2019, p.8).

No se tiene conocimiento hasta el momento de los dictámenes oficiales de las causas que llevaron a estas construcciones a colapsar, pero a la vista de la experiencia de los que los que nos dedicamos al diseño estructural, dichas fallas fueron una combinación del uso de materiales y detalles que no cumplían con las normas técnicas y del mal uso y deficiente detallado de la “planta baja flexible”, como suele denominarse en nuestro medio. (Hernandez, 2019, p.8).

De lo comentado en el párrafo anterior, es evidente que la falta de cumplimiento de la normatividad es una fuente segura del comportamiento deficiente de las estructuras, pero también es importante que dicha normatividad prevea, en lo posible, las condiciones que puedan llevar una estructura a presentar un comportamiento

deficiente. En este sentido, las normas de mampostería han tratado siempre de estar un paso adelante, y por eso se hacen modificaciones, ligeras o de fondo, para asegurar que tengan un buen comportamiento. (Hernandez, 2019, p.8).

Los primeros lineamientos para construcciones de mampostería se dieron en el reglamento aparecido en el año de 1966; mientras que la Norma Técnica para el Diseño y Construcción de Estructuras de mampostería (NTCM), aparecería en el reglamento de 1977 como resultado de las investigaciones teórico experimentales realizadas a partir de 1957 en el instituto de ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México y que continúan hasta la fecha. (Hernandez, 2019, p.8).

En los reglamentos posteriores emitidos por las autoridades: el de emergencia, puesto en vigor después del sismo de 1985 (en el que, por cierto, se comportaron muy bien las edificaciones de mampostería diseñadas con las NTC de 1977), así como en las NTCM de 1987 y 1993 (vigente hasta el 2004), se hicieron ligeros cambios al criterio de diseño con el objetivo de mejorar el comportamiento de las estructuras de mampostería, buscando principalmente darles cierta capacidad de deformación. Las NTCM del año 2004 fueron un parteaguas, ya que se modificó el criterio de diseño y se impusieron límites a la deformabilidad que debía tener una construcción de mampostería. (Hernandez, 2019, p.8).

En las NTCM anteriores al 2004, la resistencia de los muros se calculaba con base en la resistencia de mampostería (V_{MR}) y se permitía un ligero incremento cuando los muros se reforzaban con acero horizontal entre las juntas de mortero. En las NTCM 2004, la resistencia se calcula como la suma de lo que resiste la mampostería V_{MR} , más lo que resiste el acero fluyendo (V_s); la crítica a este criterio es que no hay un límite con respecto a la resistencia a cortante de la mampostería, tal como se hace en concreto, donde la contribución máxima del acero a cortante en muros es 1.35 veces la del concreto. En cuanto a la deformabilidad, los valores asignados a los diferentes sistemas constructivos de muros eran bastante restrictivos, tal que en la práctica estos valores no respetaban y, de querer hacerlo, resultaba en una cantidad muy grande de muros de concreto. (Hernandez, 2019, p.8).

En las normas emitidas el 15 de diciembre del 2017 se trataron de subsanar los aspectos mencionados en el párrafo anterior y se complementaron los requisitos para el diseño, por lo que, al aplicarlas, hay que observar las adecuaciones hechas se compaginan con la realidad de la práctica profesional. (Hernandez, 2019, p.8).

Siempre se ha estado consciente de que el análisis y diseño de una estructura de mampostería es más complicada que el de las estructuras a base de marcos de concreto o acero, de ahí la importancia de las contribuciones que las diferentes sociedades dedicadas al diseño estructural hacen mediante la organización de congresos, simposios, cursos, publicaciones y conferencias, entre otros. (Hernandez, 2019, p.8).

2.2. ANTECEDENTES HISTÓRICOS

La mampostería es uno de los materiales de construcción con mayor diversidad de usos tanto en el pasado como en el presente. Es quizá el más antiguo que se mantiene en uso generalizado alrededor del mundo en la actualidad. Fue sin duda el más importante material de construcción hasta el advenimiento del concreto reforzado y del acero estructural, hace aproximadamente una centuria. Los componentes utilizados a través del tiempo como sus elementos constitutivos han sido muchos y muy variados: desde la piedra simple en la prehistoria, los bloques de mármol usados en las majestuosas obras arquitectónicas del Renacimiento, hasta las unidades industrializadas de arcilla y de concreto y las piezas refractarias en la época contemporánea. (Treviño, 2019, p.19).

Es un hecho conocido que, desde tiempos prehistóricos, los hombres del Paleolítico Inferior se refugiaban en cavernas y que, a falta de ellas, improvisaban cobijos subterráneos. En el paso del Paleolítico Inferior al Paleolítico Superior aparece el Homo Sapiens, que abandona las cavernas para habitar refugios artificiales, como cobertizos y chozas, que construía con los materiales que tenía disponibles, tales como ramaje, hojas de plantas, juncos, cañas y piedras. Fue al apilar las piedras cuando se inventó lo que hoy conocemos como mampostería. (De mampuesto, derivación de mano y puesto; latín: *manus*, mano, y *positura*, asiento; de *ponere*,

poner. Sufijo: eria, trabajo artesanal. [Piedra que se coloca con la mano.] (Treviño, 2019, p.19).

El siguiente paso en el proceso de desarrollo de la mampostería fue seguramente el uso del mortero de arcilla y agua, lo cual permitió asentar con más facilidad y a mayor altura las piedras naturales irregulares. Esto ocurrió probablemente durante la revolución del Neolítico, periodo en el que, al intensificarse el desarrollo de la agricultura y la ganadería, se pasa del nomadismo al sedentarismo, aunque no definitivo todavía, y se establecen las relaciones de vecindad para la atención de los intereses comunes, surgiendo así las primeras aldeas (Sandström, 1970, citado por Treviño, 2019, p.19).

La unidad o pieza de mampostería manufacturada por el hombre a partir de una masa de lodo y secada al sol para sustituir a la piedra natural, debió ocurrir en lugares donde ésta no podía encontrarse. El testimonio más antiguo del cual se tiene conocimiento proviene de las ruinas de Jericó y consiste en una pieza de barro en forma de una hogaza alargada rústica de pan, de unos quince kilogramos de peso, hecha a mano y secada al sol, correspondiente al Neolítico Inferior. Estas unidades de barro, hechas a mano y secadas al sol, y el mortero de barro para su acomodo, fueron el "estado del arte" de la mampostería en el umbral de la historia, la cual comenzó con la invención de la escritura hace seis milenios, aproximadamente (Gallegos & Casabonne, 2005, citado por Treviño, 2019, p.19).

Fueron los sumerios el primer pueblo civilizado de Mesopotamia quienes, obligados por la ausencia de piedras en su medio ambiente, crearon el molde y los adobes, los que, al ser prismáticos, dieron libertad a la forma de colocarlos y pegarlos, posibilitando las construcciones a escala monumental. Tiempo después, aproximadamente tres milenios a.C., el adobe fue llevado al horno en la ciudad de Ur, perteneciente a la cultura sumeria, para fabricar lo que ahora se denomina ladrillo de arcilla o cerámico, el cual era pegado con un mortero de arena y betún o alquitrán (figura 2.1) (Treviño, 2019, p.19).



Figura 2.1. Gran Zigurat o templo de pirámide escalonada en la antigua ciudad sumeria de Ur.) (fuente: Google Imágenes).

Por la misma época, pero en otras civilizaciones, se efectuaban construcciones de mampostería aprovechando la materia prima existente en la región, como fue el caso de Egipto, donde se prefirió la roca de las montañas a lo largo del río Nilo para la construcción de las pirámides y templos mientras que en las construcciones comunes usaron generalmente el adobe y muy raramente el ladrillo cerámico (fig. 2.2) Treviño, 2019, p.20)



Figura 2.2. Pirámides de Giza, Keops, Kefrén y Micerino (*fuentes: Google Imágenes*).

En Grecia poseían grandes yacimientos de mármoles, por lo que adoptaron una arquitectura de lujo, usando este material para revestir la mampostería de piedra caliza pegada con mortero de cal. En otras culturas del mundo también se utilizaba la mampostería, como es el caso de la gran muralla china y de las mezquitas y minaretes árabes (Sandstrom, 1979; Gallegos & Casabonne, 2005, citado por Treviño, 2019, p.20).

En Roma predominó el uso de la piedra caliza, tufa volcánica, travertino y ladrillos de arcilla cocida con tecnología sumeria. Los romanos descubrieron las propiedades aglomerantes de la puzolana (polvo o “arena” de Pozzuoli, golfo de Nápoles) mezclada con cal, e inventaron lo que hoy se conoce como concreto u hormigón, al combinarlas con agregados gruesos y agua. Además, desarrollaron nuevas tecnologías para construcción de paredes, arcos, bóvedas, cupulas y lucernarios de mampostería (Pannell, 1964, citado por Treviño, 2019, p.20) (figura 2.3).



Figura 2.3. El coliseo Romano (fuente: Google Imágenes).

La mampostería de ladrillo fue una de las artes que logro sobrevivir exitosamente después de la caída de roma por el ataque de los barbaros en el siglo V, difundiéndose desde el norte de Italia hacia el noroeste de Alemania y a los países bajos, en los que se desarrollaron estilos arquitectónicos propis de gran belleza, a través de la utilización del ladrillo. Para el siglo XIV, la mampostería de ladrillo ya había cruzado el mar del norte y se había introducido en Gran Bretaña, donde la existencia de muchas regiones arcillosas alentó el empleo del ladrillo, y supero en algunos casos a la madera, principalmente para los muros exteriores de las edificaciones (Pannell, 1964, citado por Treviño, 2019, p.20).

Asimismo, la mampostería fue muy importante en Europa occidental para controlar los incendios que con frecuencia destruían sus ciudades medievales (Gallegos & Casabonne, 2005). Tal fue el caso de Londres, que dejo de ser una ciudad de madera para transformarse en una de mampostería, al ser reconstruida después del voraz incendio que sufrió por espacio de seis días, y que la dejo convertida en cenizas a mediados del siglo XVII (Sandstrom, 1970, citado por Treviño, 2019, p.21).

En contraste con lo anterior, en Europa desaparecieron los morteros y el concreto de cemento puzolánico después de la caída de Roma deteniéndose su avance por varias centurias. Durante ese tiempo todos los morteros se fabricaron con cal, hasta que la tecnología del cemento romano fue redescubierta en el siglo XVIII por John Smeaton en Inglaterra, quien, después de numerosas pruebas, seleccionó la puzolana italiana de Civitavecchia mezclada con piedra caliza de Aberthaw, para la reconstrucción del Faro de Eddystone (Pannell, 1964, citado por Treviño, 2019, p.21) (figura 2.4).

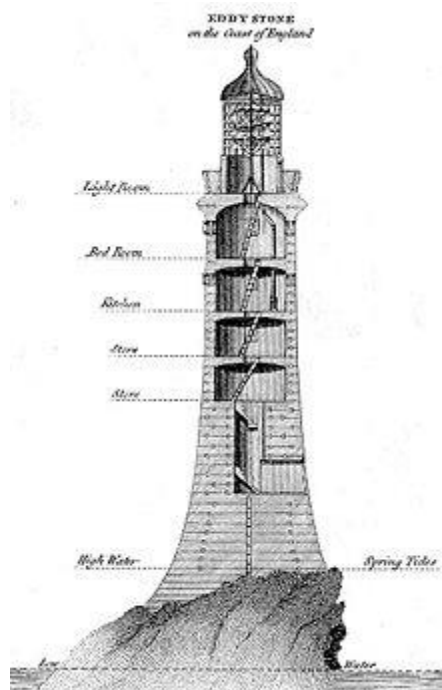


Figura 2.4. El faro de Eddystone (fuente: Google Imágenes).

Por su parte, las culturas mesoamericanas lograron desarrollos extraordinarios en la construcción basada fundamentalmente en la mampostería de piedras naturales y artificiales. Son testimonio de lo anterior las sorprendentes edificaciones que todavía permanecen y asombran a propios y extraños. Descubrieron la actividad puzolánica de diferentes materiales, como el nejayote, las cenizas volcánicas y las arcillas calcinadas y finamente molidas (Treviño, 2019, p.21)

Algunas culturas, como los mayas y los totonacas, dominaron la tecnología del concreto en forma similar pero independiente a la desarrollada por los romanos (Gallegos & Ramírez, 2003, citado por Treviño, 2019, p.21).

En el aspecto estructural, la arquitectura maya se basa en tres elementos: las piedras, los cementantes y los soportes. Además, desarrollaron la bóveda "en saledizo" o arco falso, cuya silueta semeja la del arco ojival, la cual es uno de sus rasgos distintivos (figura 2.5). Merece mencionarse la tecnología de mampostería de ladrillo de arcilla cocida muy semejante a la usada en la actualidad desarrollada por los mayas en Comalcalco, ante la carencia de yacimientos de piedra cercanos a dicho lugar (Gallegos & Ramírez, 2003, citado por Treviño, 2019, p.21).



Figura 2.5. Bóveda maya "en saledizo" (fuente: Google Imágenes).

La mampostería de ladrillo llegó al nuevo mundo traída por los europeos, aunque como se mencionó, esta tecnología ya había sido utilizada por los mayas de Comalcalco. En México la mayoría de las grandes edificaciones civiles y religiosas de la época colonial se encuentran todavía en uso y se caracterizan por el uso extensivo de arcos, bóvedas

y cúpulas, además de paredes y soportes, observándose en algunos casos una fusión de procedimientos aztecas y europeos. En Perú, el ladrillo no se fabricó localmente, sino que se llevó como lastre de los barcos, que en su viaje de regreso trasladarían el botín a España, por lo que la construcción de adobe y caña predominó hasta el primer tercio del siglo XX (Treviño, 2019, p.21).

En las colonias estadounidenses se produjeron grandes cantidades de ladrillo de arcilla cocida, de fabricación artesanal, empleando la misma tecnología que había sido inventada por los sumerios; y con obreros holandeses (los mejores de la colonia) edificaron lo que actualmente es la parte antigua de muchas de sus ciudades (Gallegos, 1991, citado por Treviño, 2019, p.22) (figura 2.6).



Figura 2.6. Vieja casa del Estado. Boston, Massachusetts (Fuente: Google Imágenes).

Con la Revolución Industrial (que comenzó en Inglaterra), en los siglos XVIII y XIX se extendió la aplicación de la mampostería de piedras artificiales con los siguientes avances:

- a) el perfeccionamiento de los hornos y su complementación con maquinaria auxiliar, como molinos, trituradoras, mezcladoras, extrusoras y prensas, hasta lograr la producción continua;
- b) la gradual implantación de métodos científicos en sustitución de los métodos empíricos para la fabricación de las piezas de arcilla cocida, y
- c) la invención y patente del cemento Portland, por Joseph Aspdin en 1824 (Straub, 1964, citado por Treviño, 2019, p.23).

A partir de entonces, el paso del tiempo trajo consigo la evolución e innovación tanto en los componentes como en los sistemas constructivos con mampostería. Merecen señalarse los siguientes acontecimientos:

- a) La construcción en 1825, por Marc Isambard Brunell, de la que se conoce como la primera obra de mampostería reforzada: dos accesos verticales al túnel bajo el río Támesis de 15 m de diámetro, 20 m de profundidad, con paredes de mampostería de 75 cm de espesor, reforzadas verticalmente con pernos de hierro forjado y horizontalmente con anillos metálicos.
- b) La invención y patente del bloque de concreto por Gibbs en 1850.
- c) La invención y patente del ladrillo silicocalcáreo por Michaelis en 1866.
- d) La invención del concreto reforzado por T. Hyatt en 1850, W.B. Wilkinson en 1854, J.L. Lambot en 1855 y F. Coignet en 1861, que culminó con las patentes obtenidas por Joseph Monier a partir de 1867.
- e) e) La incorporación de alambres verticales dentro de las perforaciones de los ladrillos y de alambres horizontales embebidos en el mortero de las juntas de los muros exteriores, de 12 cm de espesor, en la iglesia Saint Jean de

Montmartre de París por Anatole de Baudot (figura 2.7), quien adaptó la patente de mortero reforzado obtenida por Paul Cottancin en 1889, creando así la mampostería reforzada, semejante a la que usamos en la actualidad.

- f) La creación de la mampostería confinada por ingenieros italianos, después de la destrucción de la totalidad de las viviendas construidas con mampostería no reforzada por el sismo de 1908 en la ciudad de Messina, en la isla de Sicilia, el cual causó más de 70,000 muertes.
- g) El inicio del estudio racional de la mampostería en los Estados Unidos en 1913; y en la India en 1920, que sentaron las bases para el desarrollo y la investigación moderna sobre la mampostería estructural (Straub, 1964; Pannell, 1964; Kirby, Withington, Darling & Kilgour, 1990; Flores y Jiménez, 1985, citados por Blondet, Mayes, Kelly, Villablanca & Klingner, 1989, citado por Treviño, 2019, p.23).



Figura 2.7. Iglesia de Sanint Jean de Montmartre en París. Primera edificación de mampostería reforzada de manera semejante a la actual (*fuentes: Google Imágenes*).

2.3. LA MAMPOSTERÍA CONTEMPORÁNEA

Generalidades. En la actualidad se define a la mampostería como un material estructural compuesto, integrado por piezas de origen pétreo, naturales o artificiales, unidas entre sí por un mortero aglutinante. Aunque todavía se dan algunas aplicaciones en arcos, bóvedas y cúpulas (figura 2.8), el muro de piedras artificiales prismáticas es, por mucho, el elemento preponderante en la práctica contemporánea de la mampostería (figuras 2.9 y 2.10) (Treviño, 2019, p.23).

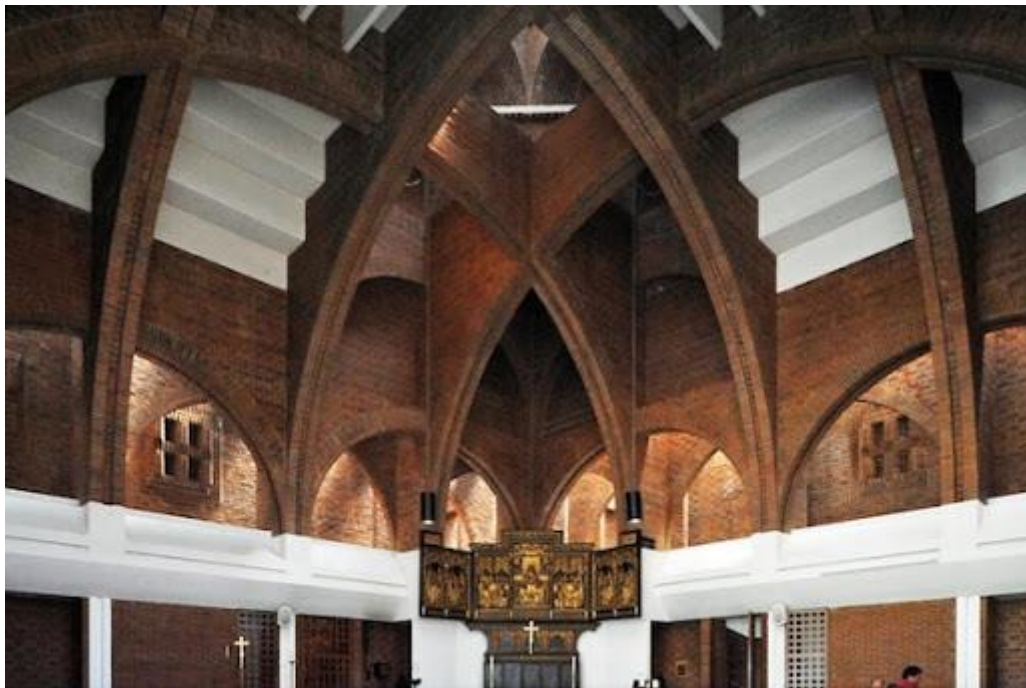


Figura 2.8. Interior de la Iglesia Episcopal de Cristo en la Ciudad de México. (*fuentes: Arq. Carlos Mijares Bracho*) (*fuentes: Google Imágenes*).



Figura 2.9. Edificio de vivienda multifamiliar en la Ciudad de México (*fuentes:* Google Imágenes).

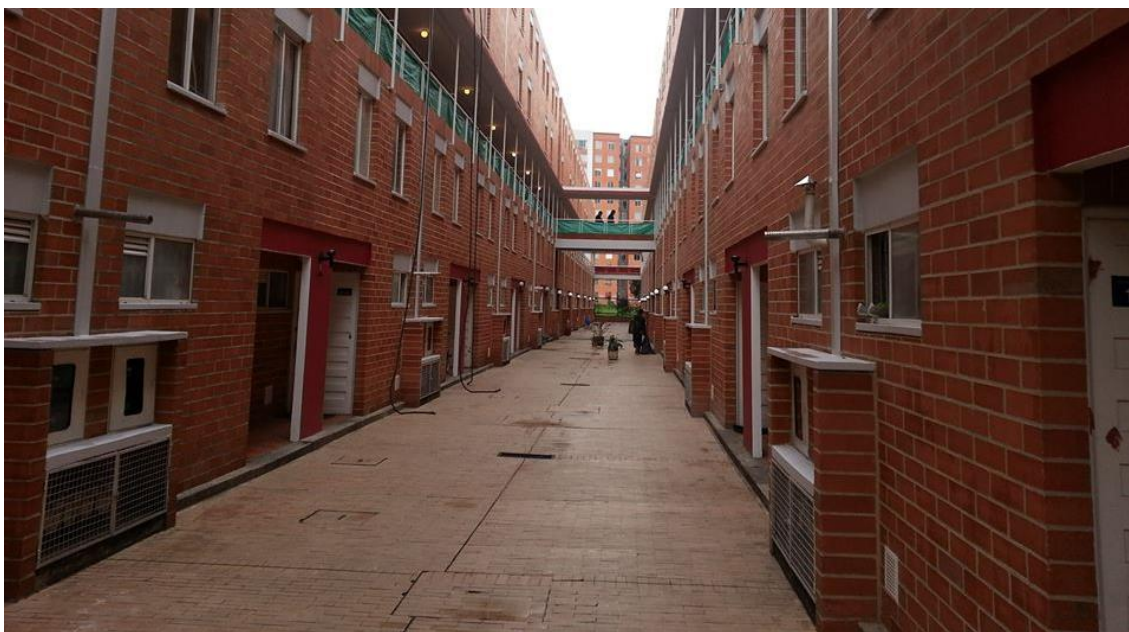


Figura 2.10. Conjunto habitacional en Bogotá, Colombia (*fuentes:* Google Imágenes).

Desde el punto de vista de su función estructural, los muros se clasifican en:

- a) de carga, cargadores o portantes;
- b) no cargadores o no portantes, y
- c) muros diafragma (San Bartolomé A., 1994, citado por Treviño, 2019, p.23).

Se entiende por muros no cargadores o no portantes aquellos que no soportan carga vertical, tales como las bardas, los pretils, los parapetos y los muros divisorios. Las solicitaciones para las que se dimensionan estos muros, son básicamente perpendiculares a su plano, como las inducidas por viento o sismo. Los muros de carga, cargadores o portantes son los que se emplean como elementos estructurales para soportar todo tipo de solicitaciones, verticales y horizontales, tanto contenidas en su plano como perpendiculares a él. Los muros diafragma son los que se colocan dentro de los vanos de estructuras esqueléticas, de concreto reforzado y de acero estructural, con el objetivo de resistir las fuerzas horizontales e incrementar su rigidez lateral (Treviño, 2019, p.24).

Por su propia naturaleza, la mampostería es débil a esfuerzos de tensión, ante los cuales exhibe un comportamiento frágil, caracterizado por una rápida degradación de resistencia y rigidez. Afortunadamente, este comportamiento es susceptible de mejorarse significativamente mediante la inclusión de acero de refuerzo, lo cual es relativamente sencillo de lograr en el caso de muros de mampostería de piedras prismáticas artificiales, en los que las juntas, al seguir el contorno de los bloques o ladrillos, quedan alineadas tanto horizontal como verticalmente (Treviño, 2019, p.24).

En este caso, las juntas horizontales siempre deben ser continuas, mientras que las verticales deben ser discontinuas, para lo cual las unidades de mampostería en una hilada se colocan traslapándolas con las de las hiladas inferior y superior en una distancia usualmente igual a la mitad de la longitud de las piezas. Esta forma de colocación de las unidades se denomina "cuatrapeada" o "a tresbolillo" En ningún caso debe permitirse un traslape menor a un cuarto de la longitud de las piezas. Esto es importante en virtud de que las expresiones y procedimientos de cálculo establecidos

en la normativa, aplican sólo si las unidades se colocan en forma "cuatrapeada" (Treviño, 2019, p.24)

De esta forma, Y desde el punto de vista de la cuantía y la disposición del acero de refuerzo es posible distinguir tres tipos de sistemas constructivos a base de muros de mampostería; a saber:

a) mampostería confinada,

b) mampostería reforzada interiormente, y

c) mampostería simple o no reforzada (Tomazevic M., 1999, citado por Treviño, 2019, p.25).

En la mampostería confinada, el acero de refuerzo se concentra dentro de elementos de concreto, de sección transversal relativamente pequeña, denominados "castillos" y "dalas" de dimensiones típicamente iguales al espesor del muro, que lo rodean o confinan, y cuyas funciones primordiales son:

a) proporcionar continuidad a los muros, tanto entre sí como con las losas de entrepiso y azotea; y

b) mejorar las capacidades de resistencia, de deformación y de disipación de energía ante sollicitaciones laterales cíclicas reversibles, como las inducidas por los sismos (Treviño, 2019, p.25).

En este sistema constructivo es posible, además, incorporar refuerzo embebido en algunas de las juntas horizontales de mortero entre hiladas, incrementando aún más las capacidades de deformación y de disipación de energía (Treviño, 2019, p.25).

En el sistema de mampostería confinada, el procedimiento constructivo a seguir debe consistir en: primero, levantar los tableros de muro, y previo cimbrado, posteriormente colar los "castillos" y "dalas" de concreto reforzado que los rodean. Además, es recomendable que los bordes verticales de los tableros de muro estén "dentados" o

cuenten con conectores o con refuerzo embebido en las juntas horizontales (figura 2.11).

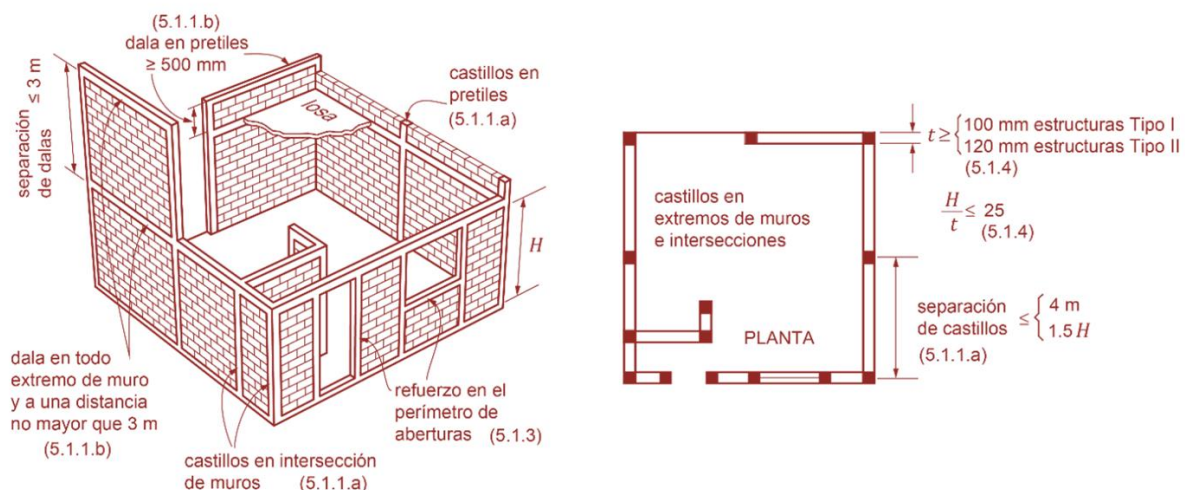


Figura 2.11. Sistema constructivo de mampostería confinada (fuente: NTC-DCEM, 2020)

En la mampostería reforzada interiormente, el acero de refuerzo se distribuye tanto en la dirección vertical como en la horizontal, colocándolo dentro de las juntas entre hiladas y dentro de las celdas de las piezas, respectivamente. Las celdas que alojan al acero de refuerzo, cuando menos, se rellenan posteriormente con concreto fluido, elaborado a base de cemento, arena y gravilla con tamaño máximo de 10 mm. En este sistema, el comportamiento resulta comparable al de muros estructurales de concreto reforzado (figura 2.12) (Treviño, 2019, p.25).

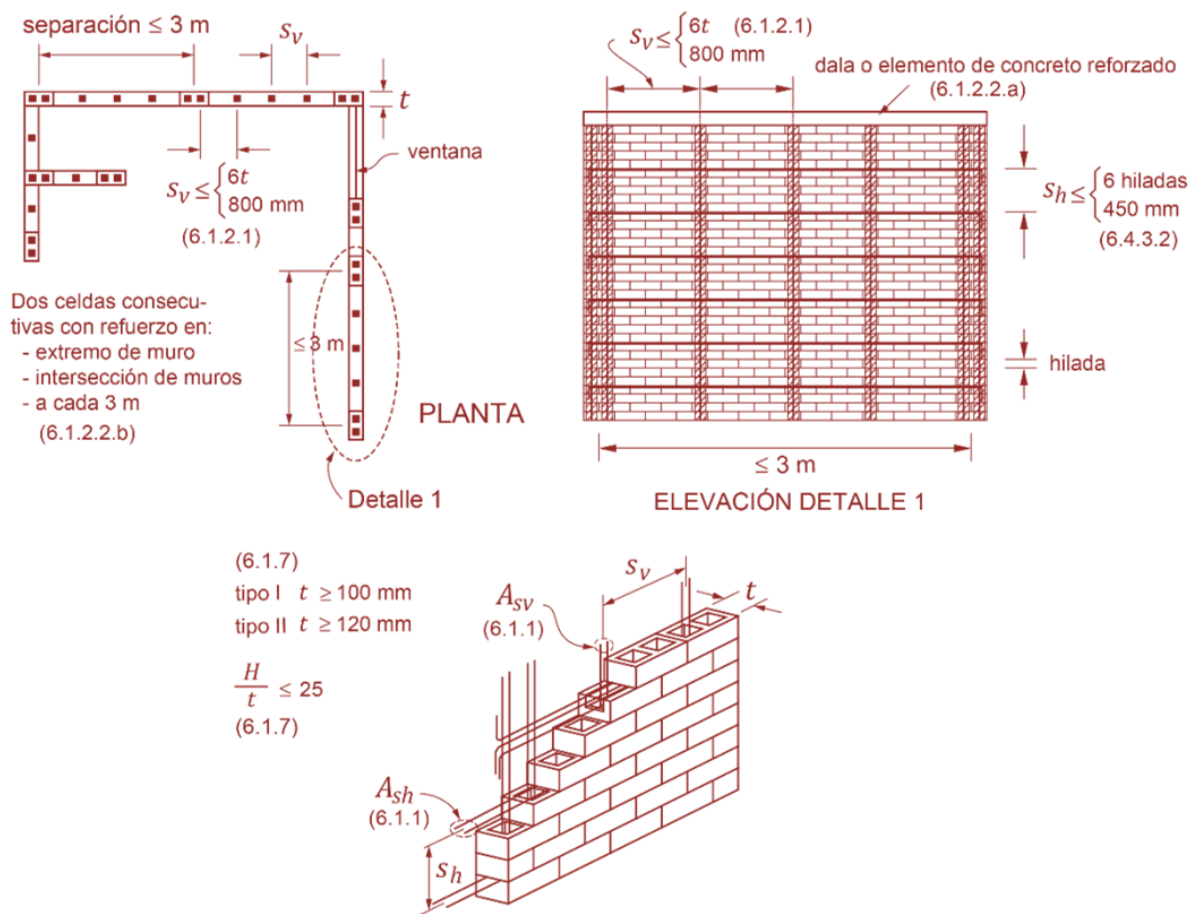


Figura 2.12. Sistema constructivo de mampostería reforzada interiormente
(fuente: NTC-DCEM, 2020)

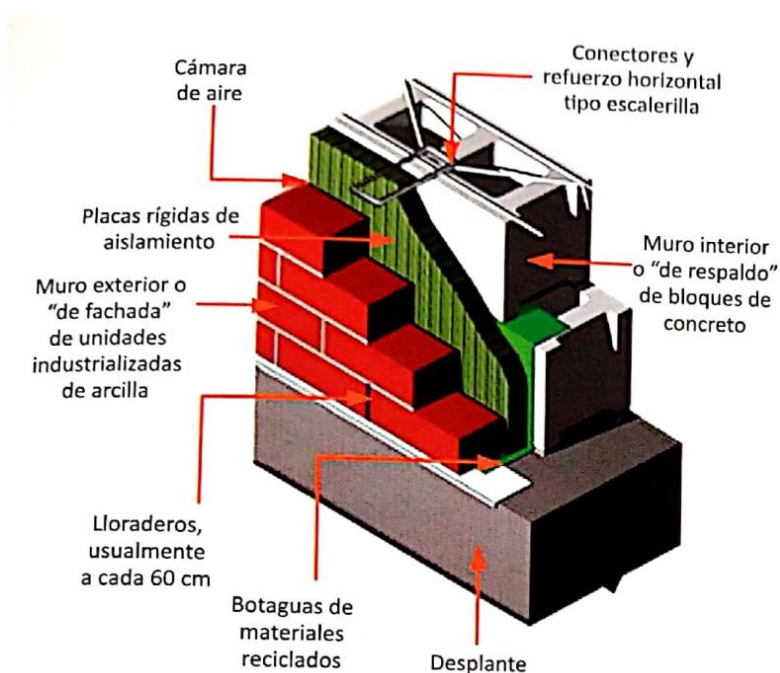
Finalmente, en la mampostería simple no se coloca refuerzo alguno (Treviño, 2019, p.26).

En Estados Unidos y Canadá, particularmente en regiones de clima muy frío y lluvias intensas, son muy comunes los muros dobles ("cavity wall"), los cuales se utilizan principalmente en las paredes exteriores para suministrar una barrera térmica y de vapor y por razones de índole arquitectónico para dotar a la edificación de fachadas estéticamente agradables (Treviño, 2019, p.26).

Estos muros dobles o de "dos hojas," están constituidos por dos muros sencillos: uno exterior o de fachada y otro interior o de respaldo, separados entre sí por una cámara

de aire cuyo espesor oscila entre 50 y 150 mm. Ambos muros (o ambas "hojas") se unen entre sí por medio de conectores comerciales o de anclajes fabricados en obra. En este espacio se alojan placas rígidas de aislamiento térmico y los accesorios necesarios para drenar el agua de lluvia que pudiese ingresar a través del muro de fachada y así lograr la estanqueidad de la edificación. Se dimensionan para resistir, además de su peso propio, solamente las solicitaciones eólicas y sísmicas perpendiculares a su plano (Treviño, 2019, p.26).

El muro exterior o de fachada suele ser de unidades industrializadas de arcilla. Éste, a su vez, transfiere las solicitaciones fuera del plano al muro interior o de respaldo, el que usualmente es de bloques de concreto (figura 2.13) (Treviño, 2019, p.26).



**Figura 2.13. Muro de dos hojas, muy utilizado en Estados Unidos y Canadá.
(cavity wall, en inglés) (fuente: SMIE, 2019).**

En México, la mampostería confinada es el sistema más empleado en la construcción de viviendas unifamiliares y de edificios multifamiliares de baja y mediana altura (cuatro a cinco niveles), en los que el requerimiento de dividir el área disponible en espacios

relativamente pequeños, conduce a una buena densidad de muros (Treviño, 2019, p.26).

Asimismo, es también el sistema más empleado en la construcción de suntuosas residencias, inclusive de gran sofisticación arquitectónica (Treviño, 2019, p.26).

En los casos en que los muros sean revestidos con aplanados, éstos se ignoran en lo que respecta a su comportamiento estructural, con excepción de recubrimientos diseñados específicamente para ese fin, como aplanados de mortero de buena resistencia reforzados con mallas de acero (Treviño, 2019, p.26).

De manera semejante, el sistema constructivo de mampostería confinada es ampliamente utilizado en la mayoría de los países latinoamericanos y también, aunque en menor medida en algunos países de Asia y Europa, existiendo, desde luego, algunas particularidades de uso que varían de país a país, las cuales señalamos a continuación (Treviño, 2019, p.26).

En Colombia se utilizan tantos ladrillos macizos de arcilla cocida de fabricación artesanal, como unidades sólidas y huecas de fabricación industrial. En todas las ciudades importantes de ese país se fabrican bloques huecos de concreto; sin embargo, el ladrillón macizo de concreto no se utiliza (Treviño, 2019, p.27).

En la ciudad de Bogotá se usa además el ladrillo silicocalcáreo, El sistema constructivo que predomina para edificaciones de mediana altura, es el de mampostería confinada, que se empezó a utilizar en la década de los años treinta del siglo pasado. La mampostería simple se usa en edificaciones no mayores de dos pisos y en regiones de bajo riesgo sísmico. Para el caso de edificios altos, con más de diez pisos, se usa la mampostería reforzada interiormente, la cual fue introducida a ese país en los años setenta del siglo pasado (García & Yamin, 1994, citado por Treviño, 2019, p.27).

En años recientes se han construido edificios en zonas de alto y mediano riesgo sísmico, hasta de 45 y 60 m de altura, respectivamente, de mampostería reforzada interiormente "totalmente inyectada": conformada por unidades de arcilla y morteros de

pega de alta resistencia, así como en combinación con muros de concreto reforzado (Arango-Tobón, 2005, 2011, citado por Treviño, 2019, p.27) (figura 2.14).

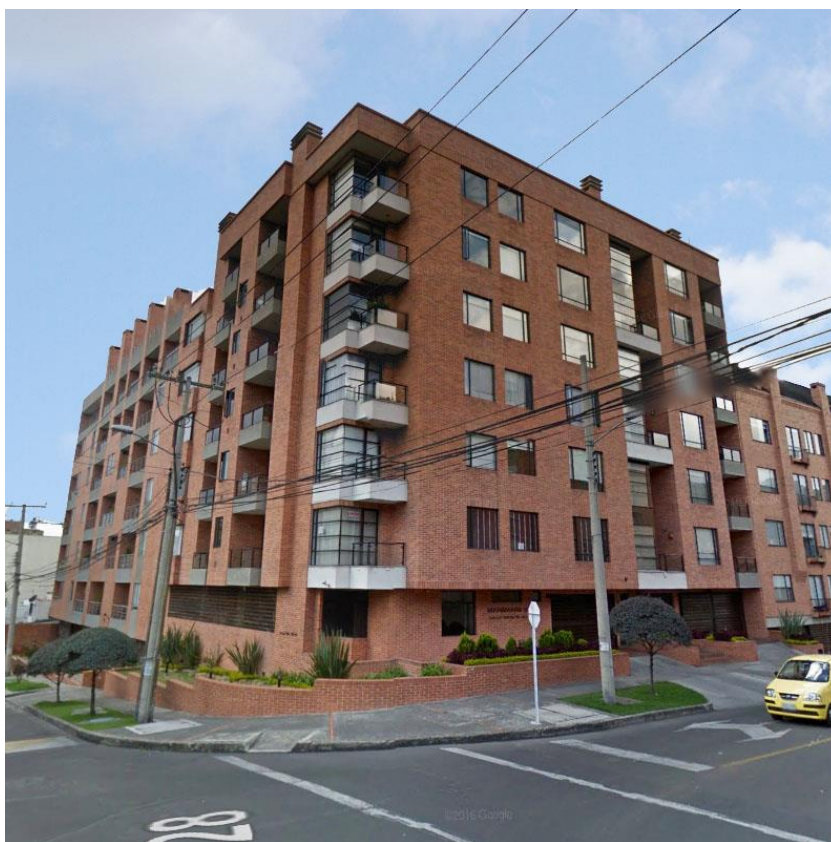


Figura 2.14. Edificios altos en Colombia, estructurados con muros de mampostería y muros de concreto reforzado (fuente: Google Imágenes).

En Perú, la mampostería confinada como sistema constructivo se utiliza desde la década de los años cuarenta del siglo pasado. En cuanto a las piezas, predomina el uso de ladrillos de fabricación industrial, de arcilla o silicocalcáreos, sólidos o multiperforados con no más de 25% de área de huecos. También se usan ladrillos de concreto, en cantidades menores. En general, los bloques de concreto no se utilizan. A partir de la década de los ochenta del siglo pasado se ha venido popularizando el uso de mampostería reforzada interiormente de manera similar a como se usa en Estados Unidos, excepto que, en lugar de bloques de concreto, se usan ladrillos huecos de cerámica o silicocalcáreos. También en los últimos años se ha desarrollado un sistema constructivo de mampostería reforzada interiormente utilizando unidades

apilables de diseño especial, sin mortero de pega, con alvéolos verticales y canales horizontales, donde se coloca refuerzo en ambas direcciones y se rellenan de concreto fluido (Gallegos, Masonry in Perú, 1994; Gallegos & Casabonne, 2005, citado por Treviño, 2019, p.27) (figura 2.15).

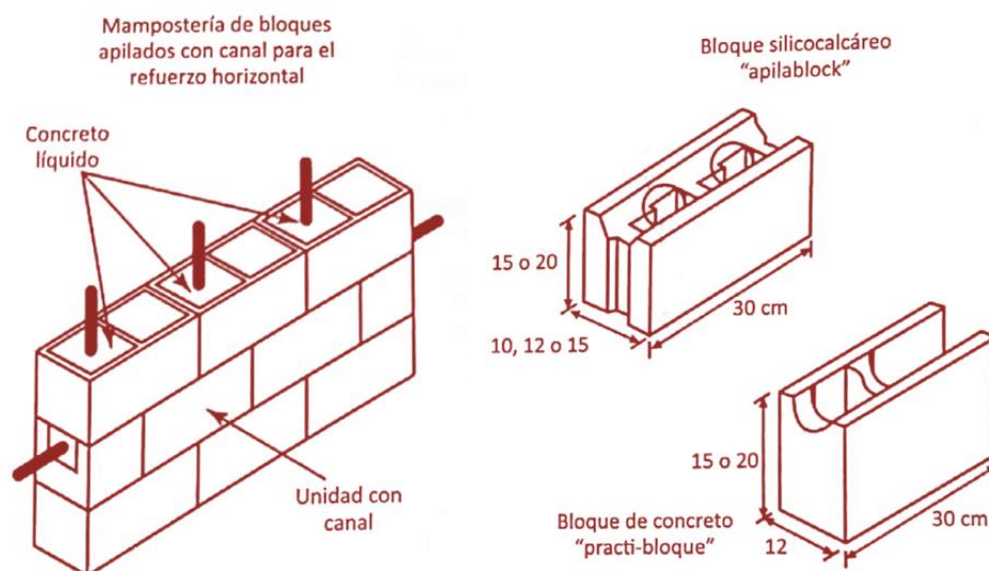


Figura 2.15. Sistema constructivo desarrollado en Perú, de unidades apilables de mampostería (fuente: SMIE, 2019).

En Venezuela predomina la mampostería confinada de bloques de concreto (Castilla, 1998, citado por Treviño, 2019, p.28), y en menor proporción se ha venido utilizando también la mampostería reforzada interiormente, tanto con bloques de concreto pegados con mortero, como con unidades apilables de junta seca, de manera semejante al sistema desarrollado en Perú (Casabonne, 1994). En Ecuador se utiliza mayormente la mampostería confinada de bloques de concreto (Vaca, 1991, citado por Treviño, 2019, p.28).

En Cuba, hasta la década de los sesenta del siglo pasado se utilizó la mampostería simple de ladrillos de barro cocido de fabricación artesanal para viviendas de uno y dos niveles. A partir de los años setenta del siglo XX, la mayoría de las piezas que se utilizan son de producción industrializada, principalmente ladrillos huecos de arcilla y bloques huecos de concreto. Para edificaciones de vivienda multifamiliar hasta de

cinco pisos de altura, predominan los sistemas constructivos a base de elementos prefabricados de concreto reforzado, con muros de relleno de mampostería simple (De las Cuevas, 2001; Ruiz-Alejo, 2005; Navarro-Campos, 2007, citado por Treviño, 2019, p.28).

En Chile y Argentina predomina el uso de la mampostería confinada de ladrillos macizos de arcilla cocida, de fabricación artesanal, aunque también se utilizan bloques huecos industrializados de arcilla y de concreto. En los casos de mampostería reforzada interiormente, su utilización es prácticamente igual que en Estados Unidos cuando las unidades son bloques de concreto, pero se dan algunas diferencias cuando se usan piezas huecas de arcilla (Hidalgo, 1994; Casabonne, 1994; Decanini, Payer & Ochat, 1991, citado por Treviño, 2019, p.28).

En Honduras, en proyectos estatales de vivienda predomina el uso de mampostería simple de bloque de concreto y de arcilla, usándose en algunos casos la mampostería confinada (Zúñiga, 1991). En las zonas urbanas de la República Dominicana predomina el uso de bloques huecos de concreto, mientras que el ladrillo cocido de arcilla se usa muy poco (O'Reilly, 1991, citado por Treviño, 2019, p.28).

En las zonas urbanas de El Salvador, el sector formal de la construcción utiliza tanto la mampostería confinada como la reforzada interiormente (Hernández-Flores, 1991). En Nicaragua, la mampostería confinada de ladrillo rojo cocido de arcilla, y de ladrillos y bloques huecos de concreto, es el sistema más utilizado después de los sistemas constructivos tradicionales de “taquezal” y de madera (Suazo & González, 1991, citado por Treviño, 2019, p.28).

Costa Rica es la excepción a todo lo anterior, ya que, aunque por muchos años el sistema constructivo más popular fue el de mampostería confinada de unidades de arcilla sólidas y huecas, a partir de la segunda mitad del siglo pasado los bloques huecos de concreto fueron ganando posición en el mercado, de tal forma que en la actualidad son prácticamente las unidades piezas que se utilizan, tanto para fines no estructurales como estructurales, en las modalidades de mampostería reforzada

interiormente y mampostería mixta, es decir, reforzada interiormente y confinada a la vez (Bermúdez, 1994; Gamboa, 1997, citado por Treviño, 2019, p.29).

La mampostería confinada, como sistema constructivo para edificaciones de vivienda de baja y mediana altura, también se emplea en algunos países europeos y asiáticos, como Eslovenia, Italia, Serbia, Portugal, Grecia, Irán, Argelia, Marruecos, Indonesia, Pakistán y China, en los que se utilizan tanto unidades de arcilla de fabricación artesanal e industrial, como piezas de concreto sólidas y huecas, según se infiere de lo señalado por algunos investigadores en sus publicaciones (EERI/IAEE, 20210, citado por Treviño, 2019, p.29).

Por otra parte, la mampostería reforzada interiormente es la única opción utilizada en países como Estados Unidos, Canadá, Nueva Zelanda y Japón, en los que ya se tienen prácticas bien establecidas para su eficiente y confiable construcción. Por excepción, en algunos casos de edificios altos, puede ser necesario el uso de muros dobles de mampostería reforzada interiormente, unidos entre sí mediante conectores (Treviño, 2019, p.29).

En la figura 2.16 se muestra el caso de un edificio de 17 pisos construido en Estados Unidos con mampostería de este tipo, en el cual no se reportaron daños estructurales después del sismo de Northridge en 1994 (Klingner R., 2004, citado por Treviño, 2019, p.29).

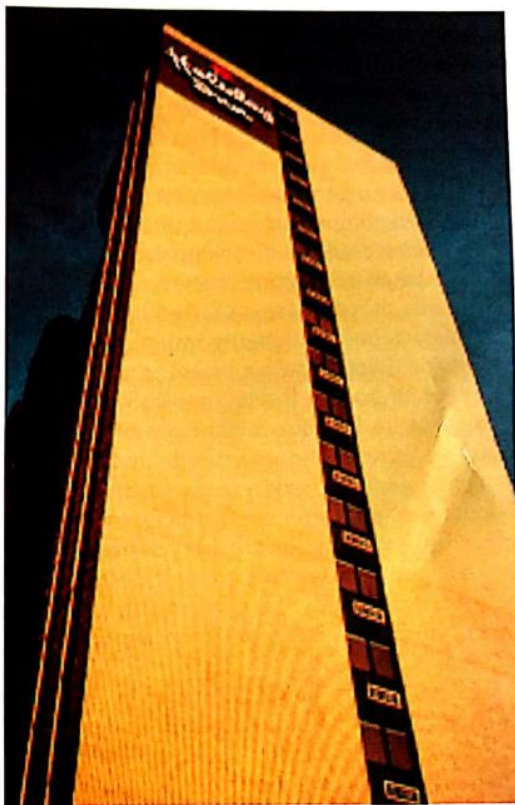


Figura 2.16. Edificio de 17 niveles de mampostería reforzada interiormente en Northridge, Estados Unidos, sin reporte de daños estructurales después del sismo de 1994 (fuente: Google Imágenes).

En México, sin embargo, la mampostería reforzada interiormente no ha cobrado auge, ya que "no se ha podido implantar una práctica local para su correcta ejecución". Prueba de ello es que "en diversos casos en que se ha aplicado, se ha encontrado que el refuerzo no se había colocado en la cantidad y posición adecuadas y que el colado de los huecos interiores se había efectuado de manera defectuosa" (Meli R., 1994). A 24 años de distancia de la cita inmediata anterior, la situación ahí descrita continúa prevaleciendo, aunque en menor medida, dado que, sin duda, se han establecido mejoras significativas en la práctica constructiva de este sistema (Treviño, 2019, p.29).

El uso de la mampostería reforzada interiormente en América Central y del Sur, varía de país a país, pero en todos los casos solamente se utilizan muros sencillos o de una hoja. El uso estructural de muros dobles en América Latina es una verdadera

excepción, y cuando llegan a utilizarse, se hace únicamente con propósitos arquitectónicos, de aislamiento y de estanqueidad, es decir, semejantes a los muros de dos hojas (cavity wall), ya descritos en párrafos anteriores (Treviño, 2019, p.29).

El buen comportamiento ante sollicitaciones sísmicas observado en diversos países del mundo en la mampostería correctamente reforzada y construida, así como los casos de fallas y colapsos de edificaciones, claramente imputables tanto a errores de diseño como a malas prácticas constructivas, dieron un fuerte impulso a partir de la década de los años cincuenta del siglo pasado a extensos programas de investigación, principalmente de carácter experimental, en afán por determinar tipos y configuraciones, así como procedimientos para su análisis y diseño racionales; sin embargo, fue a partir de la década de los ochenta del siglo XX, que cobraron mayor importancia tanto en países latinoamericanos como europeos y asiáticos (Treviño, 2019, p.30).

Es pertinente hacer notar que la evolución que ha traído el paulatino paso del tiempo en la mampostería, se ha dado en el utillaje o herramientas y en los componentes que la conforman (piezas y mortero), no así en la forma de colocación, que sigue siendo a mano, por lo que el factor humano continúa siendo un elemento fundamental en la calidad del producto terminado. Esta realidad, aunada al hecho de que el desarrollo de la mampostería ha seguido diferentes rutas en cada país, o inclusive dentro de un mismo país, dio como resultado que actualmente exista una gran diversidad de materiales y procedimientos constructivos, lo cual hace muy difícil su comparación entre regiones de un solo país, y aún más entre un país y otro (Treviño, 2019, p.30).

Es por ello que los trabajos experimentales realizados por los diferentes investigadores alrededor del mundo, en su afán por caracterizar el comportamiento de la mampostería confinada para las condiciones particulares imperantes en sus propios países, reportan el estudio de las mismas variables en forma repetitiva, aparentemente redundante; a saber: el tipo y la calidad de las piezas o unidades de mampostería, así como del mortero de pega; el tipo, calidad y disposición del acero de refuerzo; el tipo de carga (monótona o cíclica) y sus características de aplicación; las dimensiones y relación de aspecto de los muros; la magnitud del esfuerzo vertical; el grado de acoplamiento entre

muros y la influencia de aberturas de diferente tamaño, entre otras (Treviño, 2019, p.30).

El caso de México. En nuestro país, en la década de los sesenta del siglo pasado (después de los sismos de 1957) se emprendió un extenso programa de investigación sobre mampostería en el Instituto y en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México, el cual ha continuado casi ininterrumpidamente hasta la fecha (Treviño, 2019, p.30).

Este programa comenzó con el ensayo a compresión axial de 47 muros de mampostería de ladrillo de barro recocido, de ladrillo silicocalcáreo y de bloques huecos de concreto y de barro recocido (Esteva, 1961), y con el ensayo de 28 muros diafragma de mampostería de ladrillo de barro recocido, de bloque hueco de concreto y de ladrillo de concreto ligero como relleno de los vanos de marcos rígidos de concreto reforzado, sometidos a distorsiones laterales cíclicas controladas (Esteva, 1966, citado por Treviño, 2019, p.30).

En una segunda etapa se estudiaron la ductilidad y la disipación de energía, y la variación de estas propiedades con la repetición de ciclos de carga, mediante:

- a) el ensayo de 18 muros de mampostería de bloque hueco de concreto y de ladrillo hueco de barro recocido, sometidos a carga lateral alternada (Meli, Zeevaert & Esteva, 1968, citado por Treviño, 2019, p.30); y
- b) el ensayo de 46 muros de mampostería confinada de bloque hueco de concreto y de ladrillo de barro recocido macizo y hueco, sometidos a cargas laterales monotónicamente crecientes y alternadas (Meli & Salgado, 1969, citado por Treviño, 2019, p.30).

También se llevó a cabo el ensayo a compresión axial de 26 muros de mampostería de bloque de concreto, de ladrillo de barro recocido macizo y hueco y de ladrillo ligero fabricado con arena de tepetate, cemento Portland y asfalto (Madinaveitia & Rodríguez, 1970, citado por Treviño, 2019, p.30), y el ensayo de 36 muros de mampostería de ladrillo de barro macizo y hueco y de bloque hueco de concreto,

sometidos a cargas verticales excéntricas (Madinaveitia, 1971, citado por Treviño, 2019, p.30).

La siguiente etapa tuvo como propósito conocer las propiedades de los materiales componentes de la mampostería, así como las del conjunto, y sus modos de falla ante sollicitaciones básicas, y definir ensayos sencillos para determinar propiedades índices que pudiesen asociarse con el comportamiento de los muros. En esta etapa se realizó el estudio estadístico de las propiedades mecánicas de siete tipos de piezas de mampostería producidas en la Ciudad de México (Meli & Hernández, 1971), y el estudio estadístico de pilas a compresión axial, de muretes a compresión diagonal y de tercias a cortante por las juntas, fabricados con esos siete tipos de piezas (Meli & Reyes, 1971, citado por Treviño, 2019, p.31).

En otra etapa se estudió la relación distorsión-agrietamiento mediante el ensayo de 20 muros y 200 muretes de mampostería de ladrillo de barro macizo y hueco y de ladrillo silicocalcáreo, sometidos a compresión diagonal (Meli & Hernández, 1975). Poco después se ensayaron 15 muros de mampostería de bloque de concreto y de ladrillo hueco de barro recocido, confinada y reforzada interiormente, sometidos a carga lateral alternada (Hernández & Meli, 1976), y muros de mampostería de bloque de concreto de junta seca, unida con aplanados de mortero de fibra de vidrio (Hernández O., 1977, citado por Treviño, 2019, p.31).

Las etapas descritas culminaron con la presentación (en forma global) de los resultados recogidos en los distintos estudios realizados, conjuntamente con algunas observaciones de los efectos en las estructuras causados por sismos que ocurrieron en esa época, y con recomendaciones sobre el diseño sísmico de estructuras a base de muros de mampostería (Meli R., 1979, citado por Treviño, 2019, p.31)

En la década de los ochenta se realizaron estudios con el objetivo principal de proponer recomendaciones para mejorar el comportamiento de muros de mampostería de adobe ante sollicitaciones sísmicas, material con el que están construidas la mayoría de las viviendas en las áreas rurales y poblaciones pequeñas de nuestro país (Bazán,

Padilla & Meli, 1980; Hernandez, Meli, Padilla & Valencia, 1981, citado por Treviño, 2019, p.31).

En esa misma época, se introdujeron al mercado nacional varillas de acero laminadas en frío y armazones electrosoldados prefabricados con ellas, tanto para reforzar los castillos y dadas, como para incorporar refuerzo en las juntas horizontales. Para estudiar el efecto de la utilización de esos productos como refuerzo de los elementos confinantes, se llevó a cabo el ensayo de cuatro muros de mampostería de ladrillo macizo de barro recocido, reforzados con acero de grados 42 y 50 (Hernandez & Guzmán, 1987; Hernandez O., 1991, citado por Treviño, 2019, p.31).

Posteriormente, con el objetivo de encontrar modalidades de refuerzo distintas de las convencionales, que pudiesen redundar en mejoras a la resistencia y a la capacidad de deformación, se ensayaron nueve muros construidos con ladrillo industrializado de barro multiperforado, utilizando varillas y alambres de acero de grados 42 y 60, dispuestos en diferentes configuraciones y combinaciones (Hernández & Guzmán, 1996; Hernandez O., 1998; Hernández & Basilio, 2000, citado por Treviño, 2019, p.31).

A fines de la década de los noventa, se ensayaron tres muros de mampostería confinada de barro macizo recocido, a escala 1:3, sometiéndolos a una excitación armónica en mesa vibradora, con el objetivo de estudiar la influencia de la relación de aspecto y la efectividad de aplanados de mortero reforzados con malla electrosoldada, como técnica para rehabilitación estructural (Alcocer, Muria & Pena, 1999; Alcocer & Muria-Vila, 2000, citado por Treviño, 2019, p.31).

Debido a las consecuencias catastróficas de los sismos de septiembre de 1985, surgieron iniciativas para fundar un organismo especializado que estudiara los aspectos técnicos de la prevención de desastres:

a) el gobierno federal publicó, el 6 de mayo de 1986, ocho meses después de los sismos, el decreto por el cual se estableció el Sistema Nacional de Protección Civil;

b) la Universidad Nacional Autónoma de México decidió estimular a personal académico para que se dedicara a actividades de investigación en materia de prevención de desastres, y

c) el gobierno de Japón ofreció apoyo a nuestro país en lo relativo a la prevención de desastres sísmicos (Treviño, 2019, p.31).

Las tres iniciativas mencionadas, concurrieron en la creación, el 19 de septiembre de 1988, del Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) con carácter de órgano administrativo desconcentrado, jerárquicamente subordinado a la Secretaría de Gobernación. La Universidad Nacional Autónoma de México proporcionó el terreno para su construcción, y gracias a las aportaciones del gobierno japonés, tanto de índole económico como técnico, se construyeron las actuales instalaciones, que fueron inauguradas el 11 de mayo de 1990 (Treviño, 2019, p.32).

Sin duda, la creación y el desarrollo del CENAPRED fueron posibles, en gran parte, por el apoyo del gobierno de Japón. En el inicio de sus operaciones, se suscribió un convenio de cooperación técnica Japón-México que comprendió:

a) el envío al CENAPRED de una misión de expertos japoneses para la planeación y la ejecución de proyectos conjuntos;

b) la capacitación en Japón del personal mexicano, y

c) la donación de equipo de laboratorio, entre otros (Treviño, 2019, p.32).

A partir de su creación, el CENAPRED sumó a las investigaciones del Instituto y de la Facultad de Ingeniería de la UNAM, el programa que se lleva a cabo desde entonces sobre seguridad sísmica de la vivienda económica (Alcocer & Meli, 1995; Alcocer S., 1996). La parte experimental de este programa incluye el ensayo de componentes y sistemas estructurales de mampostería confinada, a escala natural, para estudiar su comportamiento ante sollicitaciones sísmicas (Alcocer, Sánchez & Meli, 1993; Alcocer, Meli, Sánchez & Flores, 1994; Alcocer, Sánchez, Vázquez & Díaz, 1994; Álvarez &

Alcocer, 1994; Alcocer, Aguilar & Cano, 1995; Alcocer, Zepeda & Ojeda, 1997; Flores & Alcocer, 1998, citado por Treviño, 2019, p.32).

Desde el comienzo de este siglo y hasta la fecha, los trabajos de investigación, tanto de carácter experimental como analítico, en torno a las estructuras de mampostería, han continuado con ímpetu renovado no sólo por los académicos del II-UNAM y del CENAPRED, sino también por académicos de la UAM y por destacados profesionales de la práctica. Como testimonio de ello sin pretender ser exhaustivos, baste citar aquí so lamente algunos de los trabajos más representativos:

a) Los estudios consistentes en la construcción el ensayo en mesa vibradora de modelos y tridimensionales a escala reducida, representativos de las viviendas de mampostería confinada, unifamiliares y multifamiliares, más comunes en el país, con la finalidad de proponer una metodología de diseño basada en los desplazamientos de la estructura, asociados a diferentes niveles de desempeño (Alcocer, Arias & Vázquez, 2004; Arias, Alcocer & Vázquez, 2004; Barragán, Arias, Vázquez & Alcocer, 2005; Arias, 2005; Barragán, 2005; Vázquez, 2005, citado por Treviño, 2019, p.32).

b) Los ensayos de muros con aberturas, con y sin refuerzo en su perímetro (Flores, Mendoza & Reyes, 2004); los ensayos de los mismos muros rehabilitados (Flores, Mendoza & Reyes, 2004; Flores & Mendoza, 2007); los ensayos de muros a compresión pura (García, Flores & Reyes, 2004; León, Flores & Reyes, 2004); y los ensayos de muros con refuerzo interior para el estudio del traslape de las barras alojadas en las celdas (Flores & Mendoza, 2010, citado por Treviño, 2019, p.32).

c) Los ensayos de mampostería rellena y el proyecto de un prototipo de edificio de cinco niveles para vivienda multifamiliar económica (Pérez-Gómez & Jean, 2000); el estudio paramétrico encaminado a revalorar el factor de área efectiva establecido en las NTC-DCEM (2004) cuando se utiliza el método simplificado de análisis (Tena-Colunga, Pérez & Cano, 2002); el estudio del impacto de los errores constructivos en el desempeño de las edificaciones de mampostería ante sollicitaciones sísmicas (Rodríguez, Rangel & Jean, 2008); y el estudio para la evaluación de la aplicación del análisis modal espectral en combinación el modelo de la columna ancha, en un

prototipo de vivienda de dos niveles de mampostería reforzada interiormente (Martínez, Miranda, Pérez-Gómez, & Pérez-Pérez, 2008, citado por Treviño, 2019, p.32).

d) Los ensayos cíclicos de dos muros de mampostería de la modalidad "combinada y confinada" que se emplea actualmente en algunas zonas sísmicas de México (Tena-Colunga, Juárez-Ángeles & Salinas-Vallejo, 2009); el estudio encaminado a sentar las bases para el diseño de edificios altos de mampostería confinada en la Ciudad de México (Espinosa, Terán, Zúñiga & Jean, 2012); la propuesta de actualización de los valores índice estipulados en las NTC-DCM (2004) de la resistencia a la compresión de mamposterías de piezas de concreto sólidas fabricadas con la materia prima de mayor uso en el Valle de México (Tena-Colunga, Liga, Pérez & González, 2016); y la propuesta de adaptación del método simplificado de las NTC-DCM (2004) para el diseño de estructuras con base en muros de carga aisladas sísmicamente (Tena-Colunga, 2016, citado por Treviño, 2019, p.33).

e) El proyecto emprendido por la Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural con el objetivo fundamental de brindar recomendaciones para el análisis estático y dinámico de estructuras de mampostería confinada orientadas a sugerir a los ingenieros de la práctica, modelos basados en la teoría elástica lineal, de tal forma que los resultados sean congruentes con la normatividad vigente (Treviño, 2019, p.33).

Este proyecto incluyó la revisión de los métodos para el modelado y el análisis de estructuras de mampostería de uso común en la práctica profesional, y su comparación y calibración contra los resultados de un programa de investigación experimental que consistió en el ensayo ante carga lateral cíclica de una serie de diez muros de mampostería confinada contruidos con piezas multiperforadas de arcilla industrializada (Treviño, 2019, p.33).

Dicha serie se conformó por siete muros cerrados con relaciones de aspecto $0.27 \leq H/L \leq 2.1$, todos de 250 cm de altura y 12 cm muros con abertura en forma de ventana y un espécimen constituido por dos muros perpendiculares entre sí, con sección

transversal en planta en forma de "T" (Pérez-Gavilán, Flores & Olalde, 2008; Pérez-Gavilán, Flores & Cruz, 2009, citado por Treviño, 2019, p.33).

Aportaciones benéficas para la sociedad. De los conocimientos del material y de su comportamiento estructural adquiridos a partir de los trabajos de investigación que se iniciaron desde principios de la década de los años sesenta del siglo pasado bajo el impulso eximio y sostenido del doctor Roberto Meli Piralla, tanto como investigador en el Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México, como coordinador de investigación y director general del Centro Nacional para la Prevención de Desastres, y con la incorporación de nuevas generaciones de profesionales, se derivaron aportaciones muy significativas que han redundado en beneficio de la sociedad en general, al poder contar con viviendas y edificaciones cada vez más confiables y seguras (Treviño, 2019, p.33).

En este orden de ideas, destacan las sucesivas versiones de la normativa mexicana que han sido referentes a escala mundial en esta materia:

- a) las disposiciones relativas a las edificaciones de mampostería incluidas en el capítulo XXVI del Reglamento de Construcciones y Servicios Urbanos del Distrito Federal de 1966 (Treviño, 2019, p.33);
- b) la edición de las primeras Normas Técnicas Complementarias al Reglamento de 1976 y sus actualizaciones subsecuentes de 1985, 1987, 1989, 1995 y 2004 (Alcocer y otros, 2003; RCDF, 2004; NTC-DCEM, 2004, citado por Treviño, 2019, p.33), y
- c) la última versión con vigencia efectiva a partir del 15 de diciembre de 2017 (NTC-DCEM, 2017, citado por Treviño, 2019, p.33).

De particular relevancia ha sido la publicación (por la Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural (de la guía para el análisis de estructuras de mampostería y del libro análisis de estructuras de mampostería, ambos como resultado del trabajo del Comité de Mampostería, bajo la presidencia del doctor Juan José Pérez-Gavilán Escalante (SMIE, 2012; SMIE, 2015, citado por Treviño, 2019, p.33).

Otras entidades federativas. Dentro de este contexto, a partir de los últimos años del siglo pasado, se han realizado trabajos de investigación experimental y analítica en otras instituciones y en otros estados de la República (Treviño, 2019, p.34).

Sin afán de ser exhaustivos, mencionaremos algunos de ellos:

a) Colima: Tejeda y Silva (2002); Cárdenas, Licea & Orduña (2009); Sánchez y otros (2010); Valencia, Meneses, Sánchez y Orduña (2016);

b) Chiapas: Ruiz-Sibaja y Aguilar (2006); González, Aguilar & Gómez (2008);

c) Guerrero: Chavelas, Sánchez y Arroyo (2002); Ortega y Arroyo (2008);

d) Jalisco: Urzúa-Pineda (1999); Escobedo y Urzúa-Pineda (2002); Hernández y Urzúa-Pineda (2002), y

e) Estado de México: Torres (2007); Vera, Morales, Albíter y Miranda (1998); Ramírez y Carreón (2002); Tena-Colunga, Juárez y Salinas (2009).

También se realizan trabajos de investigación experimental y analítica en:

a) Michoacán: Alarcón-Chaires & Alcocer (1997); Ruiz, Terán & Zúñiga (2010); Cruz-Díaz y García (2012);

b) Nuevo León: Treviño y otros (2004); Treviño y otros (2014);

c) Puebla: De Gante y otros (2002);

d) Querétaro: Arroyo, Cabrera y Muñoz (2002);

e) Sinaloa: Quiñones y otros (2008); Quiñones y otros (2010), y

f) Yucatán: Varela y otros (2008); Varela, Moreno y Fernández (2012); Navarrete, Varela y Fernández (2014); Fernández, Solís y Varela (2016).

2.4. COMPORTAMIENTO GENERAL DE MUROS DE MAMPOSTERÍA CONFINADA ANTE CARGAS COPLANARES

El comportamiento mecánico de la mampostería confinada difiere significativamente de la mampostería simple. Como se mencionó con anterioridad, el confinamiento se logra mediante elementos de concreto reforzado de sección transversal pequeña, denominados "castillos" y "dalas", los cuales, si son colocados adecuadamente, dan origen a la formación de tableros ligados entre sí en una forma que resulta muy efectiva. Este confinamiento se traduce en un excelente desempeño del sistema, principalmente cuando es solicitado por fuerzas horizontales de gran magnitud, como las inducidas en regiones de alta sismicidad. Lo anterior ha sido confirmado, al observar las siguientes características típicas de su comportamiento estructural (Jean & Cesin, 2000, citado por Treviño, 2019, p.35):

- a) La estabilidad ante cargas gravitacionales (principalmente después de ocurrir los agrietamientos diagonales inducidos por cargas horizontales o asentamientos diferenciales), depende del confinamiento. Para distorsiones altas, en las que la mampostería está sumamente dañada, la función del confinamiento es mantener y garantizar la capacidad de carga vertical.
- b) La contribución del confinamiento para resistir la carga horizontal en el plano del muro que genera el agrietamiento diagonal, es insignificante; sin embargo, una vez que éste ocurre, la evolución del deterioro es controlada por el confinamiento.
- c) El refuerzo transversal de los castillos, en forma de estribos o cercos con separaciones y en áreas adecuadas, contribuye a la generación de lazos histeréticos estables, con buena capacidad de deformación, así como de disipación de energía.
- d) El desempeño posterior al agrietamiento depende de la resistencia de los elementos confinantes, los cuales mantienen una buena resistencia y rigidez del muro, aun para altos niveles de distorsión.

e) Para distorsiones similares, los muros confinados con castillos exteriores exhiben un mejor comportamiento, en términos de nivel de daño y de degradación de resistencia y de rigidez, que los confinados con castillos ahogados dentro de las celdas de las unidades.

f) La incorporación de refuerzo embebido en las juntas horizontales de mortero entre hiladas, aporta mejoras significativas en el desempeño estructural de los muros confinados, principalmente ante solicitaciones sísmicas, tales como incrementos de la resistencia a cortante, de la capacidad de deformación y de la disipación de energía; y disminución de la anchura y distribución más uniforme de las grietas.

Con base en los resultados de investigaciones experimentales y en el comportamiento observado en estructuras reales que fueron sometidas a sismos, se han identificado los siguientes tres modos de falla en muros de mampostería confinada, los cuales dependen de la calidad de los materiales, de la relación de aspecto del muro, de las condiciones de borde en la interfase mampostería-castillos, de la magnitud y el tipo de las cargas actuantes y, finalmente, de la cuantía de refuerzo en los castillos confinantes (Gallegos & Casabonne, 2005; Paulay & Priestley, 1992; Alcocer S., 1997, citado por Treviño, 2019, p.35):

Falla por flexión, que puede ocurrir en muros cortos (con relación de aspecto $h/l > 4/3$, aproximadamente) en los que se presentan esfuerzos altos en los castillos de confinamiento, que producen fluencia del acero de refuerzo vertical en el extremo de tensión, así como el aplastamiento de la mampostería en el extremo opuesto a compresión (figura 2.17).

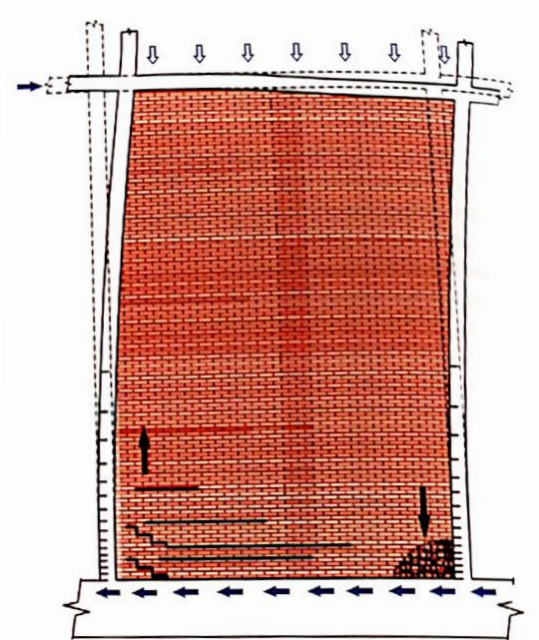


Figura 2.17. Modo de falla por flexión en un muro corto ($h/l > 4/3$) (fuente: SMIE, 2019)

Falla por cortante o tensión diagonal, que se caracteriza por el agrietamiento diagonal a través de las piezas (figura 2.18), o siguiendo las juntas de mortero (figura 2.19), o ambas, y ocurre cuando los esfuerzos principales de tensión diagonal exceden la resistencia de la mampostería.

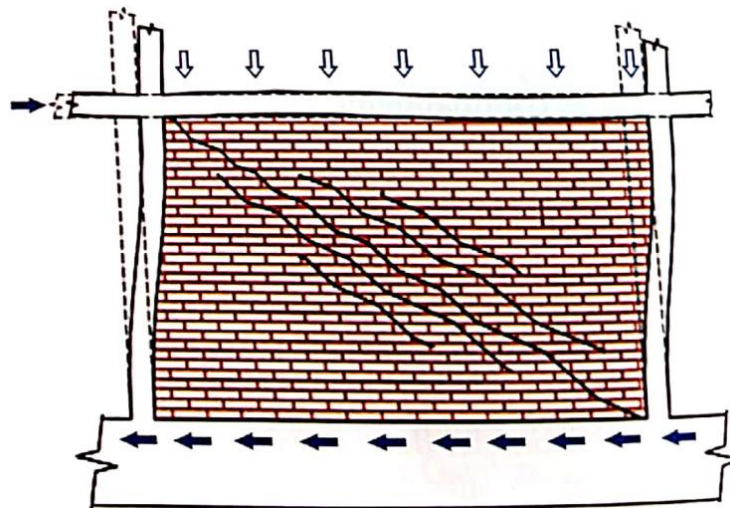


Figura 2.18. Modo de falla por cortante o tensión diagonal a través de las piezas
(fuente: SMIE, 2019).

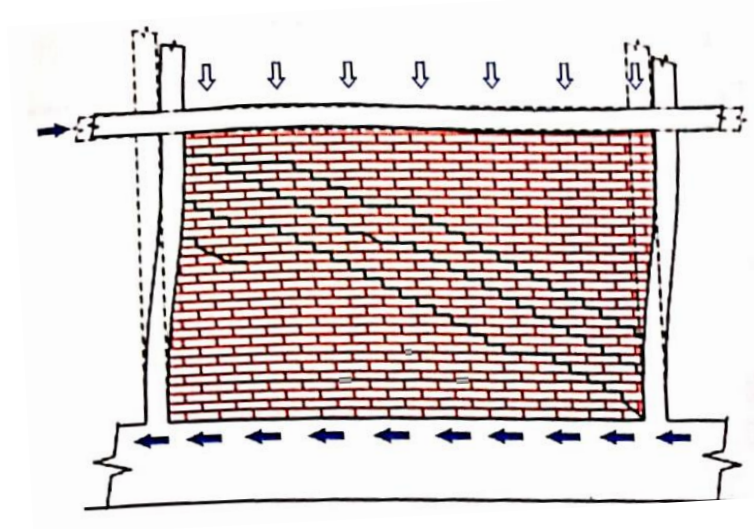


Figura 2.19. Modo de falla por cortante o tensión diagonal siguiendo las juntas de mortero
(fuente: SMIE, 2019).

Una variante de este modo es la falla por compresión diagonal, que se produce por el efecto de puntal que genera grandes esfuerzos de compresión en las esquinas del tablero, lo cual puede conducir al aplastamiento de las piezas cuando éstas son de baja calidad, o cuando se usan unidades multiperforadas, o son huecas de pared delgada. También puede ocurrir cuando los muros fueron reforzados a lo largo de las juntas horizontales, o con mallas embebidas en los aplanados con cuantías altas, generalmente mayores a 0,2%, o bien cuando la carga horizontal se combina con una carga vertical alta (figura 2.20).

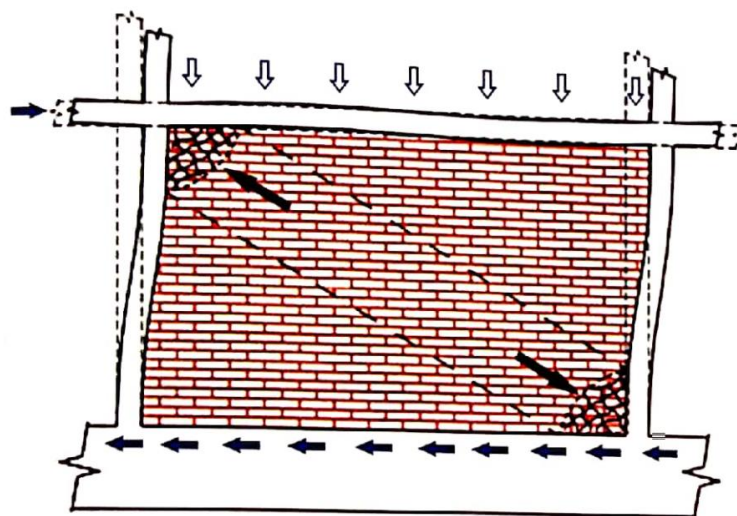


Figura 2.20. Modo de falla por compresión diagonal (fuente: SMIE, 2019).

Falla por deslizamiento, que se produce a lo largo de las juntas horizontales de mortero como consecuencia de una falla de adherencia, por cizallamiento, en la junta, esto es, a bajos niveles de carga vertical (figura 2.21).

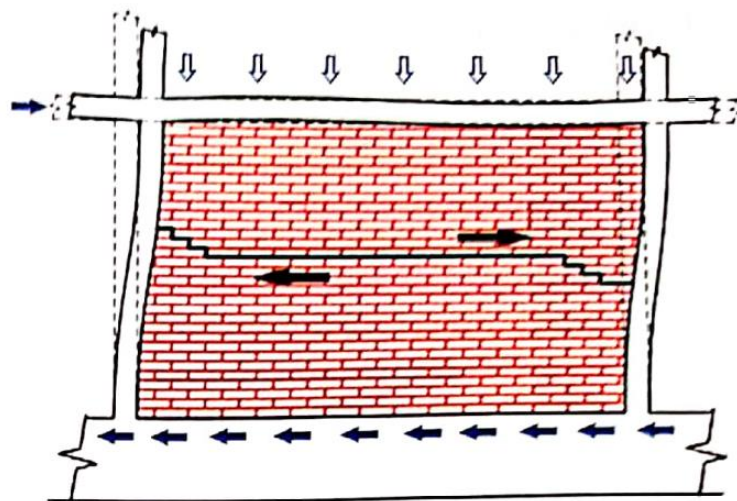


Figura 2.21. Modo de falla por deslizamiento (fuente: SMIE, 2019).

En el caso, no muy frecuente, de muros de mampostería confinada sometidos en forma predominante a cargas axiales, la falla puede ocurrir por pandeo o inestabilidad

perpendicular a su plano, o por aplastamiento si se alcanza la resistencia a compresión de la mampostería (figura 2.22).

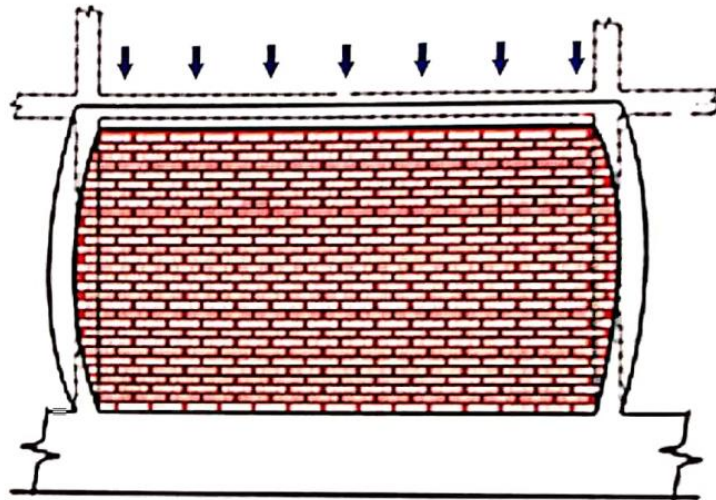


Figura 2.22. Modo de falla por compresión de la mampostería (*fuentes*: SMIE, 2019).

Tomazevic (1996) ha desarrollado diagramas de interacción, los cuales permiten predecir el modo de falla que ocurrirá, para distintas combinaciones de carga vertical y de momento flexionante (figura 2.23).

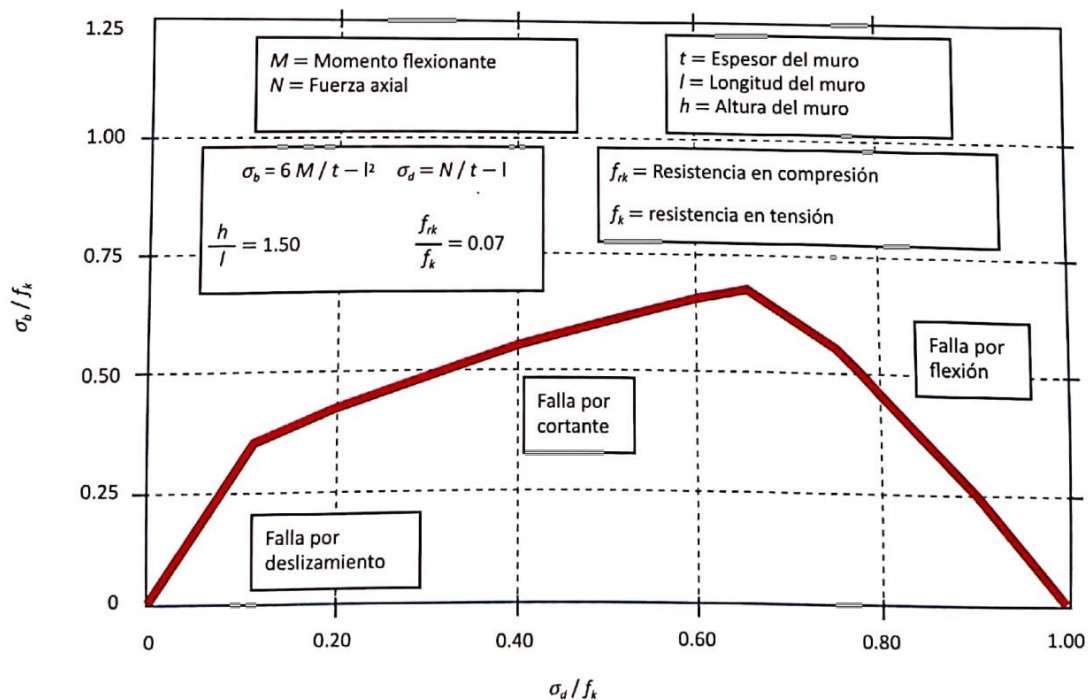


Figura 2.23. Diagrama de interacción adimensional momento-carga axial
(fuente: SMIE, 2019).

2.5. CLASIFICACIÓN DE LAS ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERÍA

Para efectos de las normas técnicas una estructura de mampostería se clasificará como estructura Tipo I si cumple simultáneamente con los requisitos siguientes (NTC-DCEM, 2020):

- a) tiene una superficie construida no mayor que 250 m²;
- b) tiene hasta dos niveles, incluyendo niveles de estacionamiento;
- c) la estructura es de los siguientes géneros: habitación unifamiliar o plurifamiliar, servicios, industria, infraestructura o agrícola, pecuario y forestal;
- d) si es de género habitacional plurifamiliar, no deberá haber más de diez viviendas en el predio, incluyendo a las existentes; y

e) las estructuras del grupo A, de acuerdo con la clasificación de las estructuras de las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo, no podrán ser del Tipo I.

Una estructura que no cumpla los requisitos para ser Tipo I se clasificará como estructura Tipo II (NTC-DCEM, 2020)

CAPITULO 3. MATERIALES PARA MAMPOSTERÍA

3.1. PIEZAS

3.1.1. TIPOS DE PIEZAS

Las piezas usadas en los elementos estructurales de mampostería deberán cumplir con la norma mexicana NMX-C-404-ONNCCE, y con la resistencia mínima a compresión para diseño indicada en la tabla 3.2. Los diferentes tipos de pieza a los cuales se refieren estas Normas están definidos en la citada norma mexicana. Los bloques deben cumplir con la dimensión modular que se indica en la figura 3.1.

El peso volumétrico neto mínimo de las piezas, en estado seco, será el indicado en la tabla 3.1

TIPO DE PIEZA	(kg/cm^2)
TABIQUE MACIZO DE ARCILLA ARTESANAL	1300
TABIQUE HUECO DE ARCILLA EXTRUIDA O PRENSADA	1700
BLOQUE DE CONCRETO	1700
TABIQUE MACIZO DE CONCRETO (TABICÓN)	1500

Tabla 3.1. Peso volumétrico neto mínimo de piezas, en estado seco (*fuentes:* NTC-DCEM, 2020).

PIEZAS MACIZAS

Para fines de aplicación del Capítulo 4 de las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo y de estas Normas, se considerarán como piezas macizas aquellas que tienen en su sección transversal más desfavorable un área neta de por lo menos 75 por ciento del área bruta, y cuyas paredes exteriores tienen espesores no menores que 20 mm.

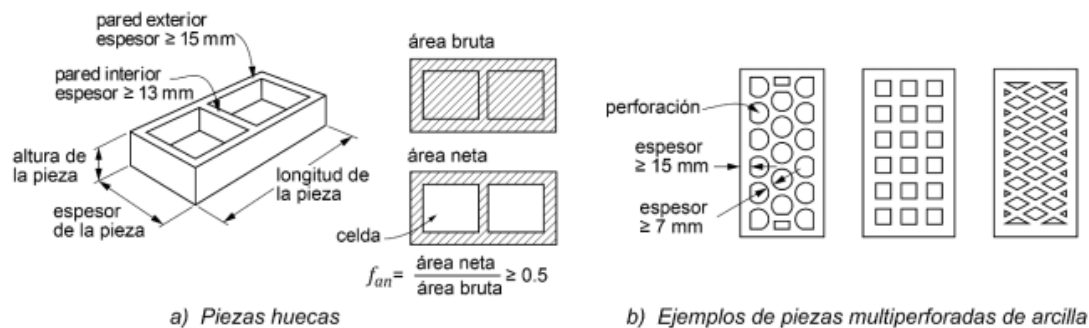


Figura 3.1. Piezas (fuente: NTC-DCEM, 2020).

PIEZAS HUECAS

Las piezas huecas a que hacen referencia estas Normas y el Capítulo 4 de las Normas Técnicas Complementarias para el Diseño por Sismo son las que tienen, en su sección transversal más desfavorable, un área neta de por lo menos 50 por ciento del área bruta; además, el espesor de sus paredes exteriores no es menor que 15 mm (figura 3.1). Para piezas huecas con dos hasta cuatro celdas, el espesor mínimo de las paredes interiores deberá ser de 13 mm. Para piezas multiperforadas, cuyas perforaciones sean de las mismas dimensiones y con distribución uniforme, el espesor mínimo de las paredes interiores será de 7 mm para piezas de arcilla y 10 mm para piezas de concreto. Se entiende como piezas multiperforadas aquéllas con más de siete perforaciones o alvéolos (figura 3.1). Se deberá cumplir, además, con los requisitos para el espesor de las paredes exteriores e interiores indicados en la **NMX-C-404-ONNCCE** para piezas huecas y multiperforadas.

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

3.1.2. RESISTENCIA A COMPRESIÓN

La resistencia a compresión se determinará, para cada tipo de pieza, de acuerdo con el ensaye especificado en la norma **NMX-C-036-ONNCCE**. La resistencia de diseño se determinará con base en la información estadística existente sobre el producto o a

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

$$f'_p = \frac{\bar{f}_p}{1+2.5c_p} \quad (3.1)$$

donde:

$\bar{f}_p$ resistencia media a compresión de las piezas, referida al área bruta; y

c_p coeficiente de variación de la resistencia a compresión de las piezas, que en ningún caso será menor que 0.1.

En caso de no contar con el número de ensayos requerido, el valor de c_p no se tomará menor que 0.20 para piezas provenientes de plantas mecanizadas que evidencien un sistema de control de calidad como el requerido en la norma **NMX-C-404-ONNCCE**, ni que 0.30 para piezas de fabricación mecanizada, pero que no cuenten con un sistema de control de calidad, ni que 0.35 para piezas de producción artesanal. El sistema de control de calidad se refiere a los diversos procedimientos documentados de la línea de producción de interés, incluyendo los ensayos rutinarios y sus registros.

Las resistencias de diseño f'_p y la resistencia media $\bar{f}_p$ a compresión de las piezas no deberá ser menor que las indicadas en la tabla 3.2.

TIPO DE PIEZA Y MATERIAL	f'_p (kg/cm ²)	$\overline{f_p}$ (kg/cm ²)
TABIQUE MACIZO DE ARCILLA ARTESANAL	60	90
TABIQUE MACIZO O MULTIPERFORADO DE ARCILLA O DE CONCRETO	100	150
TABIQUE HUECO DE ARCILLA O DE CONCRETO	60	90
BLOQUE MACIZO O MULTIPERFORADO DE ARCILLA O DE CONCRETO	100	150
BLOQUE HUECO DE ARCILLA O DE CONCRETO	60	90

Tabla 3.2. Valores mínimos permitidos de f'_p y $\overline{f_p}$ (fuente: NTC-DCEM, 2020).

3.2. CEMENTANTES

3.2.1. CEMENTO HIDRÁULICO

En la elaboración del concreto y morteros se empleará cualquier tipo de cemento hidráulico que cumpla con los requisitos especificados en la norma **NMX-C-414-ONNCCE**.

3.2.2. CEMENTO DE ALBAÑILERÍA

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

3.2.3. CAL HIDRATADA

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

3.3. AGREGADOS PÉTREOS

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

3.4. AGUA DE MEZCLADO

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

3.5. MORTERO

El mortero para pegar piezas cuyo objetivo sea construir muros estructurales debe cumplir con los requisitos que establece la norma mexicana **NMX-C-486-ONNCCE**.

3.5.1. RESISTENCIA A COMPRESIÓN

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

La resistencia a compresión del concreto de relleno se determinará del ensaye de cilindros elaborados, curados y probados de acuerdo con las normas **NMX-C-159-ONNCCE** y **NMX-C-083-ONNCCE**.

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

En caso de mortero, se obtendrán, como mínimo, tres muestras, cada una de, al menos, tres probetas cubicas. Las nueve probetas se ensayarán siguiendo la norma **NMX-C-061-ONNCCE**.

En caso de concreto de relleno, se obtendrán, al menos, tres probetas cilíndricas. Las probetas se elaborarán, curaran y probaran de acuerdo con las normas antes citadas.

La resistencia de diseño será:

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

Donde:

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

c_j coeficiente de variación de la resistencia a compresión del mortero o del concreto de relleno, que se tomara igual a 0.10 cuando su producción sea industrializada de tipo seco o premezclado, o igual a 0.20 en el caso de ser dosificado y elaborado en obra.

3.5.2. CLASIFICACIÓN

Los morteros se clasificarán por su resistencia de diseño a compresión, f_j' , en los siguientes tipos:

Tipo I con resistencia a compresión mayor o igual que 125 kg/cm²

Tipo II con resistencia a compresión menor que la del Tipo I y mayor o igual que 75 kg/cm²

Para el control de la resistencia en obra se utilizará la resistencia media de acuerdo con lo indicado en la NMX-C-486-ONNCCE.

3.5.3. MORTERO PARA PEGAR PIEZAS

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

- a) Su resistencia a compresión será por lo menos de 75 kg/cm².
- b) Siempre deberán contener cemento hidráulico Portland en la cantidad mínima indicada en la tabla 3.3.
- c) El volumen de arena no será mayor que tres veces la suma de los cementantes y se medirá en estado suelto.
- d) Se empleará la mínima cantidad de agua que dé como resultado un mortero fácilmente trabajable.
- e) Si el mortero incluye cemento de albañilería, la cantidad máxima de éste, a usar en combinación con cemento, será la indicada en la tabla 3.3

TIPO DE MORTERO	PARTES DE CEMENTO HIDRÁULICO	PARTES DE CEMENTO DE ALBAÑILERIA	PARTES DE CAL HIDRATADA	PARTES DE ARENA
I	1	-----	0 a 1/4	3
	1	1/2	-----	4 1/2
II	1	-----	0 a 1/2	4 1/2
	1	1	-----	6

Tabla 3.3. Proporcionamiento, en volumen, recomendados para mortero dosificado en obra (*fuentes:* NTC-DCM, 2020).

NOTA:

- los proporcionamientos incluidos en esta tabla son solo indicativos, por lo que el mortero deberá cumplir con la resistencia a compresión de diseño establecido en las normas, independientemente de la dosificación que se utilice.
- El volumen de arena se medirá en estado suelto

3.6. ADITIVOS

En la elaboración de concretos, morteros de relleno y concretos de relleno se podrán usar aditivos que mejoren sus propiedades y que cumplan con los requisitos especificados en la norma NMX-C-255-ONNCCE. No deberán usarse aditivos que aceleren el fraguado.

3.7. ACERO DE REFUERZO

El refuerzo que se emplee en castillos o dalas, elementos colocados en el interior del muro y/o en el exterior del muro, estará constituido por barras corrugadas, por malla de acero, por alambres corrugados laminados en frío, o por armaduras soldadas por resistencia eléctrica de alambre de acero para castillos y dalas. Las barras corrugadas deben cumplir con las normas NMX-C-407-ONNCCE, NMX-B-457-CANACERO y NMX-B-506-CANACERO; los alambres laminados en frío deben cumplir con la norma NMX-B-072-CANACERO o NMX-B-253-CANACERO; la malla de alambre soldado debe cumplir con la norma NMX-B-290-CANACERO; y las

armaduras de alambre soldado para castillos y dadas deben cumplir con la norma NMX-B-456-CANACERO.

Se admitirá el uso de barras lisas, como el alambón, únicamente en estribos, en mallas de alambre soldado o en conectores. El alambón debe cumplir con la norma NMX-B-365-CANACERO y contar con un esfuerzo de fluencia mínimo, f_y , de 2,100 kg/cm². El diámetro mínimo del alambón para ser usado en estribos es de 5.5 mm. Se podrán utilizar otros tipos de acero siempre y cuando se demuestre, a satisfacción de la Administración, su eficiencia como refuerzo estructural.

El módulo de elasticidad del acero de refuerzo ordinario, E_s , se supondrá igual a 2×10^6 kg/cm².

Para diseño se considerará el esfuerzo de fluencia mínimo, f_y , establecido en las normas citadas

3.8. MAMPOSTERÍA

3.8.1. RESISTENCIA A COMPRESIÓN

La resistencia a compresión para diseño de la mampostería, f'_m , sobre área bruta, se determinará con alguno de los tres procedimientos indicados en los incisos a), b) o c). El valor de la resistencia en esta Norma está referido a 28 días. Si se considera que el muro recibirá las acciones de diseño antes de este lapso, se deberá evaluar la resistencia para el tiempo estimado según el inciso a)

a) Ensayes de pilas construidas con las piezas y morteros que se emplearán en la obra.

Las pilas (figura 3.2) estarán formadas por lo menos con tres piezas sobrepuestas. La relación altura a espesor de la pila estará comprendida entre dos y seis; las pilas se ensayarán a la edad de 28 días. En la elaboración, curado, transporte, almacenamiento, cabeceado y procedimiento de ensaye de los especímenes se

seguirá la norma mexicana NMX-C-464-ONNCCE, salvo lo que se indique en este inciso y que difiera de dicha norma.

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

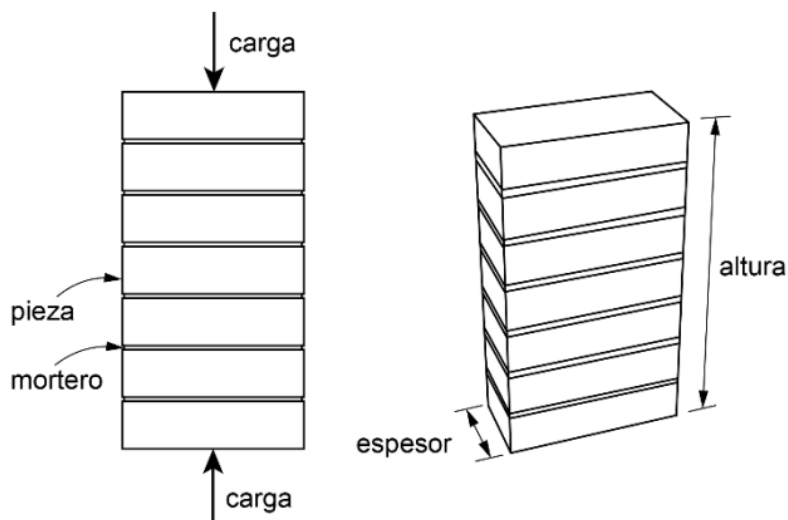


Figura 3.2. Pila para prueba en compresión (fuente: NTC-DCEM, 2020).

FACTORES CORRECTIVOS PARA LAS RESISTENCIAS DE PILAS CON DIFERENTES RELACIONES ALTURA A ESPESOR					
RELACION ALTURA A ESPESOR DE LA PILA	2	3	4	5	6
FACTOR CORRECTIVO	0.75	0.9	1	1.05	1.06

Tabla 3.4. Factores correctivos para las resistencias de pilas con diferentes relaciones altura a espesor (fuente: NTC-DCEM, 2020).

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

La resistencia a compresión para diseño se calculará como:

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

donde:

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

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

b) A partir de la resistencia de diseño de las piezas y el mortero

Para bloques con $f_p' \geq 60 \text{ kg/cm}^2$ y para tabiques y tabicones con $f_p' \geq 100 \text{ kg/cm}^2$ se podrá emplear como resistencia de diseño a compresión la que indica la tabla 3.5.

$f_p' (\text{kg/cm}^2)^1$	$f_m' (\text{kg/cm}^2)$	
	MORTERO I	MORTERO II
60 ²	25	20
75 ²	40	35
100	50	45
150	75	60
200	100	90

Tabla 3.5. Resistencia a compresión para diseño de la mampostería de piezas de concreto, f_m' , sobre área bruta (fuente: NTC-DCEM, 2020).

NOTA:

¹ Para valores intermedios de f_p' se interpolara linealmente para un mismo tipo de mortero.

² Solo para el caso de piezas huecas.

$f'_p \text{ (kg/cm}^2\text{)}^1$	$f'_m \text{ (kg/cm}^2\text{)}$	
	MORTERO I	MORTERO II
60	20	20
75	30	30
100	40	40
150	60	60
200	80	70
≥ 300	120	90

Tabla 3.6. Resistencia a compresión para diseño de la mampostería de piezas de arcilla, f'_m , sobre área bruta (fuente: NTC-DCM, 2020).

NOTA:

¹ Para valores intermedios de f'_p se interpolara linealmente para un mismo tipo de mortero.

Para piezas de arcilla, la resistencia a compresión para diseño de la mampostería se podrá obtener de la tabla 3.6.

Para hacer uso de los valores de resistencia de diseño, f'_m dados por las tablas 3.5 y 3.6 de este inciso, se deberán cumplir los requisitos siguientes:

1. las piezas deberán cumplir los requisitos de la sección 3.1 y el mortero los de la sección 3.5;
2. la relación altura a espesor de las piezas no debe ser menor que 0.5;
3. la mampostería deberá tener espesores de junta horizontal comprendidos entre 10 y 12 mm si las piezas son de fabricación mecanizada, o entre 10 y 15 mm si son de fabricación artesanal. Estos espesores deben permitir la dimensión modular en mampostería a base de bloques; y
4. la resistencia a compresión de las piezas, f'_p , se debe obtener a partir de los ensayos indicados en la sección 3.1.2.

Para otros casos, la resistencia de la mampostería se obtendrá de acuerdo con el inciso a).

c) Resistencia de la mampostería para edificaciones Tipo I

Para el diseño de edificaciones de mampostería Tipo I (sección 2.6) podrán emplearse los valores de f'_m que se presentan en la tabla 3.7, en donde el mortero debe satisfacer los requisitos de la sección 3.5.

Para hacer uso de los valores de resistencia de diseño, f'_m , dados en la tabla 3.7 se deberán cumplir los apartados 1, 2 y 3 de la sección 3.8.1 inciso b). Para otros casos se deberá determinar la resistencia de acuerdo a la sección 3.8.1 inciso a)

TIPO DE PIEZA	f'_m (kg/cm ²)
TABIQUE MACIZO DE ARCILLA ARTESANAL	15
TABIQUE DE ARCILLA EXTRUIDO	20
BLOQUE DE CONCRETO	15
TABIQUE DE CONCRETO (TABICÓN)	15

Tabla 3.7. Resistencia de diseño a compresión de la mampostería, f'_m , para algunos tipos de piezas, sobre área bruta (fuente: NTC-DCEM, 2020).

3.8.2. RESISTENCIA A COMPRESIÓN DIAGONAL

La resistencia de diseño a compresión diagonal de la mampostería v_m' , para diseño, se determinará con alguno de los dos procedimientos indicados en los incisos a) y b). El valor de la resistencia en esta Norma está referido a 28 días. Si se considera que el muro recibirá las acciones de diseño antes de este lapso, se deberá evaluar la resistencia para el tiempo estimado según como se indica:

- a) Ensayes de muretes contruidos con las piezas y morteros que se emplearán en la obra

Los muretes (figura 3.3) tendrán una longitud de al menos una vez y media la longitud de la pieza y el número de hiladas necesario para que la altura sea aproximadamente igual a la longitud. Los muretes se ensayarán sometiénolos a una carga de

compresión monótona a lo largo de su diagonal y el esfuerzo cortante medio se determinará dividiendo la carga máxima entre el área bruta del murete medida sobre la misma diagonal

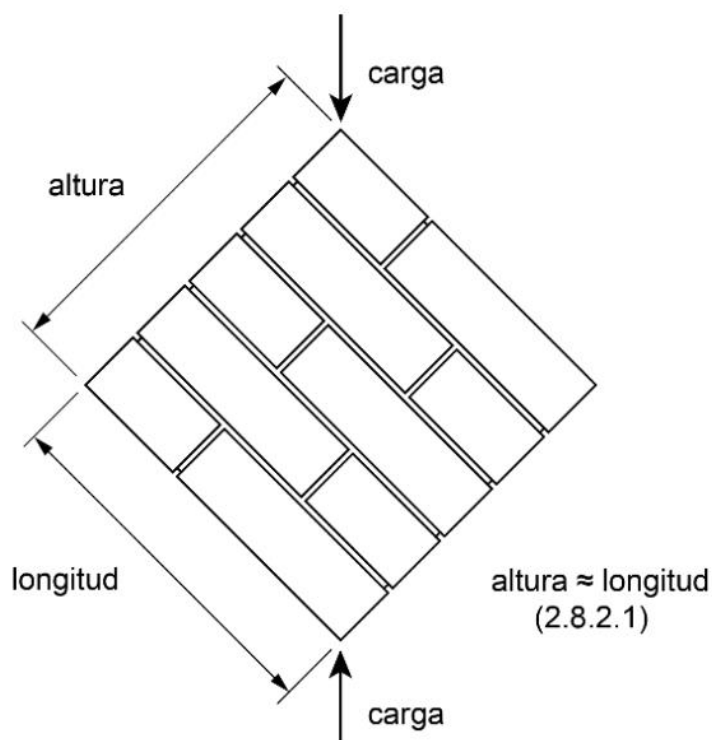


Figura 3.3. Murete para prueba en compresión diagonal (fuente: NTC-DCM, 2020).

Los muretes se ensayarán a la edad de 28 días. En la elaboración, curado, transporte, almacenamiento, cabeceado y procedimiento de ensaye de los especímenes se seguirá la norma mexicana NMX-C-464-ONNCCE salvo lo que se indique en este inciso y que difiera de dicha norma.

La determinación se hará en un mínimo de nueve muretes contruidos con piezas provenientes de por lo menos tres lotes diferentes del mismo producto. Cada murete debe usar piezas del mismo lote. La resistencia a compresión diagonal para diseño, $\nu m'$, será igual a:

$$v'_m = \frac{\overline{v_m}}{1+2.5c_v} \quad (3.4)$$

donde:

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

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

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

a) Resistencia a compresión diagonal para diseño de edificaciones Tipo I

Para edificaciones de mampostería Tipo I se podrán emplear los valores de v_m' que se presentan en la tabla 3.8, en donde el mortero debe satisfacer la sección 3.5.

Para hacer uso de los valores de resistencia para diseño, v_m' , de este inciso se deberán cumplir los apartados 1, 2 y 3 del inciso b) de la sección 3.8.1. Para otros casos se deberá determinar la resistencia de acuerdo con el inciso a) de la sección 3.8.1.

TIPO DE PIEZA	$v'_m \text{ (kg/cm}^2\text{)}$
TABIQUE MACIZO DE ARCILLA ARTESANAL	2
TABIQUE DE ARCILLA EXTRUIDO	2
BLOQUE DE CONCRETO	2
TABIQUE DE CONCRETO (TABICÓN)	2

Tabla 3.8. Resistencia de diseño a compresión diagonal para algunos tipos de mampostería, sobre área bruta (fuente: NTC-DCM, 2020).

3.8.3. RESISTENCIA AL APLASTAMIENTO

Cuando una carga concentrada se transmite directamente a la mampostería, el esfuerzo de contacto no excederá de $0.6f'_m$

3.8.4. RESISTENCIA A Tensión

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

3.8.5. MODULO DE ELASTICIDAD

El módulo de elasticidad de la mampostería, E_m , se determinará con alguno de los procedimientos indicados en los incisos 3.8.5.1 y 3.8.5.2.

a) Ensayes de pilas construidas con las piezas y morteros que se emplearán en la obra

Se ensayarán pilas del tipo, a la edad y en la cantidad indicados en el inciso a) de la sección 3.8.1. El módulo de elasticidad para cargas de corta duración se determinará según lo especificado en la norma mexicana NMX-C-464-ONNCCE.

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

b) Determinación a partir de la resistencia de diseño a compresión de la mampostería

a) Para mampostería de tabiques y bloques de concreto:

$$E_m = 800f'_m$$

Ecuación 3.5. Módulo de elasticidad para cargas de corta duración (concreto)

$$E_m = 350f'_m$$

Ecuación 3.6. Módulo de elasticidad para cargas sostenidas (concreto)

b) Para mampostería de tabique de arcilla y otras piezas, excepto las de concreto:

$$E_m = 600f'_m$$

Ecuación 3.7. Módulo de elasticidad para cargas de corta duración (arcilla y otros)

$$E_m = 350f'_m$$

Ecuación 3.8. Módulo de elasticidad para cargas de corta duración (arcilla y otros)

3.8.6. MODULO DE CORTANTE

El módulo de cortante de la mampostería, G_m , se determinará con alguno de los procedimientos indicados en los incisos 3.8.6.1 y 3.8.6.2. Se aplicará lo estipulado en el inciso 3.8.6.2 si el módulo de elasticidad se determinó según el inciso 3.8.5.2.

Para efectos de considerar G_m en el análisis utilizando un programa de cómputo comercial, cuando $G_m/E_m < 1/3$, se utilizará un valor del módulo de Poisson igual a $\nu = 0.25$ y se reducirá el área de cortante por un factor igual a $G_m/(0.4E_m)$.

a) Ensayes de muretes contruidos con las piezas y morteros que se emplearán en la obra

Se ensayarán muretes del tipo, a la edad y en la cantidad señalados en el inciso a) de la sección 3.8.2. El módulo de cortante se determinará según lo especificado en la norma mexicana NMX-C-464-ONNCCE.

b) Determinación a partir del módulo de elasticidad de la mampostería

Si se opta por usar el inciso 3.8.5.2 para determinar el módulo de elasticidad de la mampostería, el módulo de cortante de la mampostería se tomará como:

$$G_m = 0.2E_m$$

Ecuación 3.8. Módulo de cortante de la mampostería.

Para utilizar este valor en el análisis de la estructura usando programas comerciales deberán aplicarse los lineamientos descritos en el inciso 3.8.6 y en el Apéndice Normativo B de las Normas Técnicas Complementarias para el Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería (NTC-DCM).

CAPITULO 4. DESARROLLO DEL TEMA

4.1. CLASIFICACIÓN DE LAS VIVIENDAS

4.1.1. POBLACIÓN Y TAMAÑO DE LA MUESTRA

El tamaño de la muestra en una investigación es importante para que la investigación tenga validez estadísticamente y sea representativa del universo de estudio. En ese sentido, la estadística proporciona los elementos necesarios para realizar una investigación, y exige una muestra dada para poder inferir hacia la población estadística.

La estadística proporciona el cálculo necesario del número mínimo de elementos de ese universo estadístico con el cual se debe contar.

Es por ello que en esta investigación se aplicara ese mismo criterio, tomando como fuente de información los datos obtenidos desde la página oficial del INEGI, que son los que se muestran en la tabla 5.1.

EVENTO CENSAL	FUENTE	TOTAL DE HABITANTES	HOMBRES	MUJERES
1900	CENSO	2848	1367	1481
1910	CENSO	1768	786	982
1921	CENSO	4747	2306	2441
1930	CENSO	4640	2174	2466
1940	CENSO	5043	2405	2638
1950	CENSO	6837	3207	3630
1960	CENSO	8150	3848	4302
1970	CENSO	12036	-	-
1980	CENSO	14273	-	-
1990	CENSO	29303	14275	15028
1995	CONTEO	32069	15521	16548
2000	CENSO	32745	15787	16958
2005	CONTEO	39804	19150	20654
2010	CENSO	42467	20350	22117

Tabla 4.1. Archivo histórico de la población de la cabecera municipal de Cintalapa de Figueroa, Chiapas (fuente: INEGI).

Según lo mostrado en la tabla 5.1, la población al 2010 en la cabecera municipal de Cintalapa de Figueroa, Chiapas, hay un total de 42, 467 habitantes, pero el dato que

necesitamos es para el año 2020, es decir, necesitaremos hacer una proyección de la población usando el método aritmético con la siguiente ecuación:

$$Pd = Pa + r.t \quad (4.1)$$

Donde:

Pd = Población de diseño (hab.)

Pa = Población actual (hab.) = 42, 467

r = Tasa de crecimiento (hab./año) = 405

t = Período de diseño (años) = 10

dando como resultado una población de proyecto al 2020 de 46, 517 habitantes. Una vez obtenido este valor, debemos de considerar la cantidad de personas que habitan en una vivienda, y de acuerdo con los datos del INEGI, son los que se muestran a continuación:

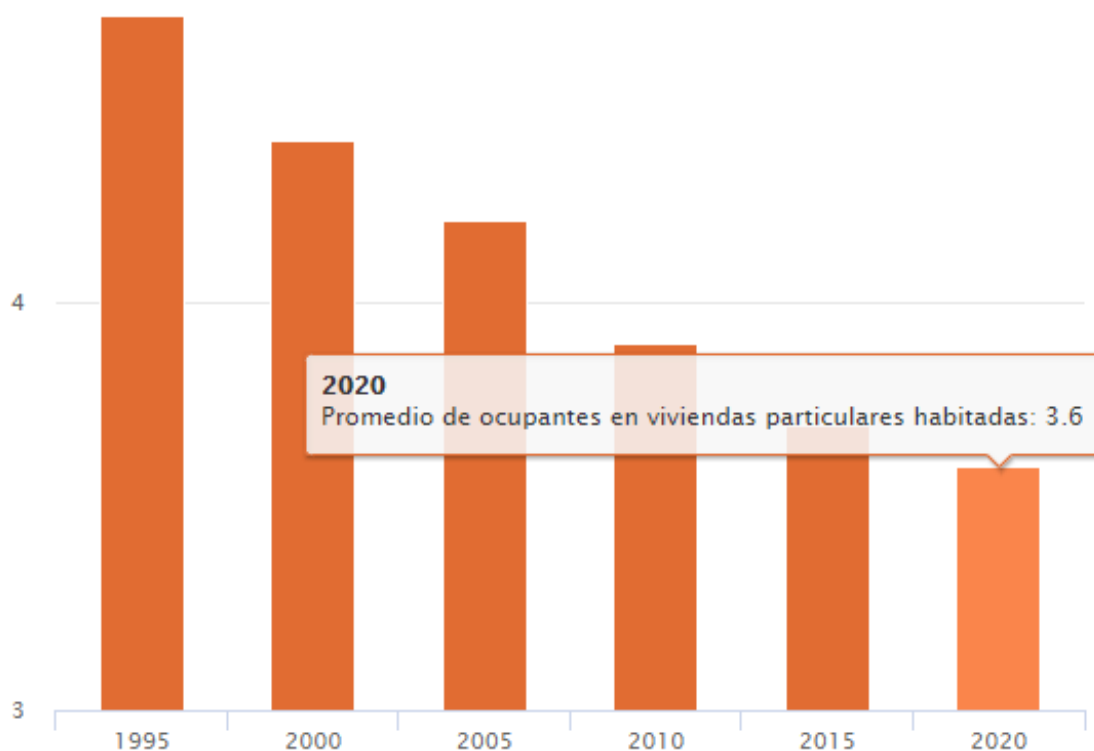


Figura 4.1. Promedio de ocupantes en viviendas particulares habitadas (fuente: INEGI).

Haciendo una operación aritmética sencilla, dividiendo la población entre el promedio de habitantes por vivienda, tenemos un total de 12, 922 viviendas en la cabecera municipal.

Una vez haciendo estos cálculos previos, ya podemos aplicar la ecuación estadística para encontrar el tamaño de la muestra representativa de nuestro universo.

$$n = \frac{N * Z_{\alpha}^2 * p * q}{e^2 * (N - 1) + Z_{\alpha}^2 * p * q} \quad (4.2)$$

Donde:

n Tamaño de muestra buscado

N Tamaño de la Población o Universo

Z Parámetro estadístico que depende el Nivel de Confianza (NC)

e Error de estimación máximo aceptado

p Probabilidad de que ocurra el evento estudiado (éxito)

q $(1 - p)$ = Probabilidad de que no ocurra el evento estudiado

Donde para cada nivel de confianza, le corresponde una cantidad asociada a Z , como se muestra en la tabla siguiente.

NIVEL DE CONFIANZA	Z
99.7%	3
99.0%	2.58
98.0%	2.33
96.0%	2.05
95.0%	1.96
90.0%	1.645
80.0%	1.28

Tabla 4.2. Nivel de confianza asociado a un valor Z (fuente: www.questionpro.com)

De acuerdo a las condiciones locales y a las necesidades de la investigación, se llegó a la conclusión de que los datos a considerar en la ecuación son los siguientes:

N: 12922; Z: 80% = 1.28; e: 4.5%; p: 50%; q: 50%.

Sustituyendo los valores en la ecuación 4.2 tenemos un valor de 199.17 viviendas, redondeando el valor nos queda que se tiene que encuestar al menos **200 viviendas** distribuidas aleatoriamente en la cabecera municipal.

La información que se recabara es la siguiente: Numero de niveles de la vivienda, material con el que este hecho, superficie del terreno, tipo de terreno y cimentación.

4.1.2. CLASIFICACIÓN POR NIVELES CONSTRUIDOS

En relación con lo anterior, se hizo el muestreo en varias colonias de la cabecera municipal, de tal manera que la información recabada sea lo más representativa posible, en cuanto a la clasificación por los niveles de las viviendas en la cabecera, hay una enorme diferencia entre el más popular y los demás, teniendo como primer lugar a viviendas construidas de un solo nivel con un 66%, continuando con un 33.5% en casas con 2 niveles, y solo un 0.5% de las casas registradas son de 3 niveles.

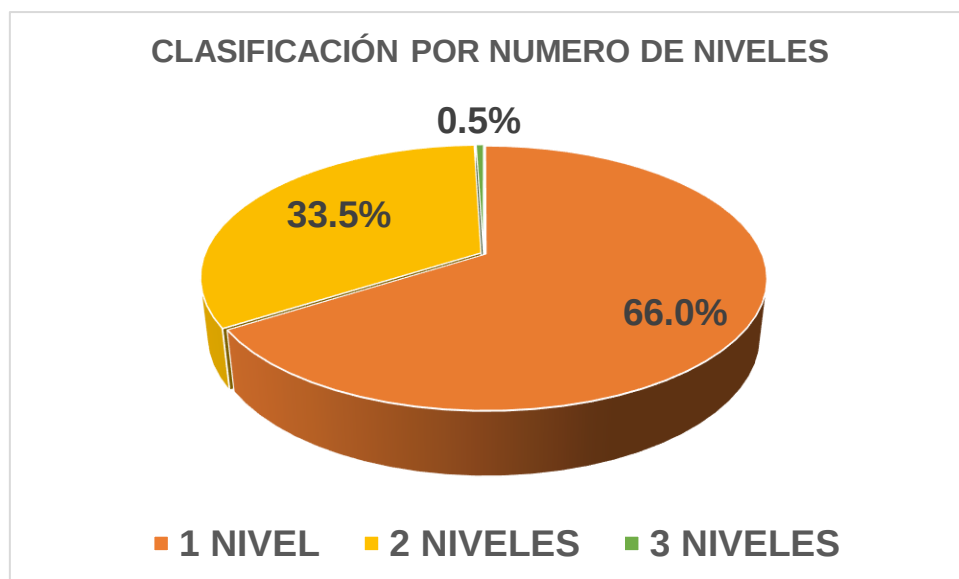


Figura 4.2. Clasificación de las viviendas por número de niveles.

4.1.3. CLASIFICACIÓN POR TIPO DE MATERIAL

Continuando con el análisis estadístico de las viviendas levantadas, tenemos la clasificación por el tipo de material con el que fue construido, tomando en consideración los 3 tipos de materiales más comunes para las viviendas, las cuales son: block, ladrillo y adobe, del cual el 59.5% están hechas de block, el 28% son de ladrillo y un sorprendente 12.5% de las casas, están hechas de adobe. Este último dato es preocupante, ya que el adobe es un material con muy bajo índice en seguridad estructural, es de los 3, el material menos confiable para una vivienda, pero dadas las circunstancias económicas y sociales de la región, es muy común su uso. También hay que mencionar que del 100% de las casas hechas de block, la mayoría están elaboradas con block macizo y solo un 10% con block hueco.

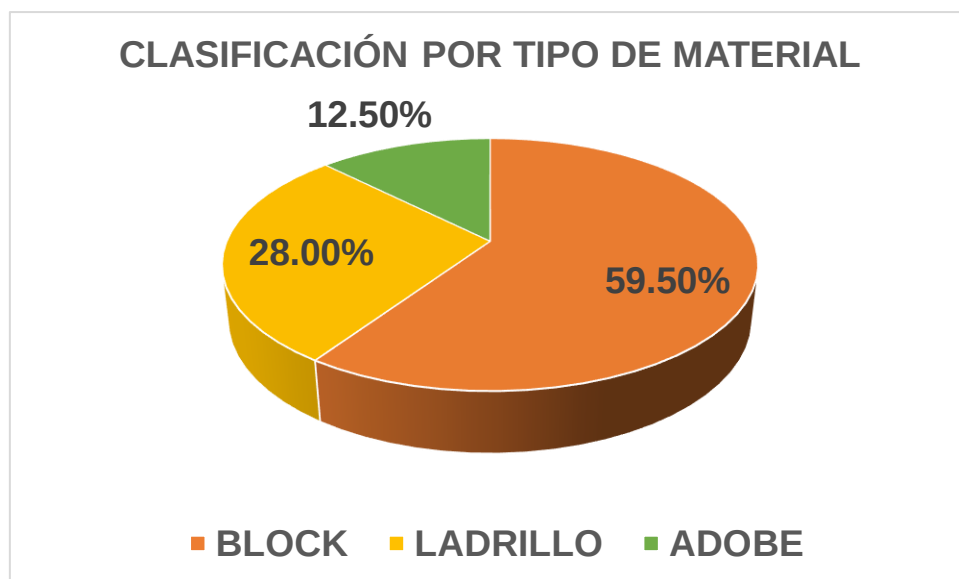


Figura 4.3. Clasificación de las viviendas por tipo de material.

4.1.4. CLASIFICACIÓN POR TAMAÑO DEL TERRENO

Otro dato interesante para poder tomar una decisión en cuanto a que características debe de tener la casa promedio en el municipio y que sea representativa en la investigación, es la superficie en la que esta desplantada la vivienda, recordando que, entre otros factores, la superficie es un indicador para determinar si la vivienda es una estructura Tipo 1 o Tipo 2. Como las dimensiones de las casas varían mucho entre ancho y largo, se hizo la clasificación, primeramente, por medio del tamaño de su superficie, para posteriormente determinar las dimensiones con las que se puede obtener la superficie más común entre los intervalos de la clasificación.

Según los datos de la figura 4.4, un 52.5% de las viviendas tienen entre 1 a 99 m² de superficie, el 42% de las casas encuestadas tienen una superficie que oscila entre los 100 a los 199 m², y, por último, solo un 5.5% tiene un área de 200 a 300 m².

Dentro de cada intervalo, se seleccionaron las áreas más comunes, de esa manera, determinar las dimensiones de esa superficie. En el primer intervalo que es de 1 a 99 m², la superficie más popular es la de 80 m², en el segundo intervalo que está entre los 100 y 199 m², el área más común es la de 120 m², y para el ultimo intervalo, comprendido entre los 200 y 300 m², la más común fue de 300 m², en resumen las 3

superficies más comunes de cada intervalo fueron la de 80, 120 y 300 m², respectivamente, tomando como referencia esas áreas, tenemos que las dimensiones con las que podemos obtener esos resultados son los siguientes: **8 x 10 m, 10 x 12 m, y 15 x 20 m**, siendo la primer medida el ancho y la segunda la profundidad.

En este sentido, se pudo determinar las áreas de mayor influencia en la región, dato que nos será muy útil para el posterior calculo.

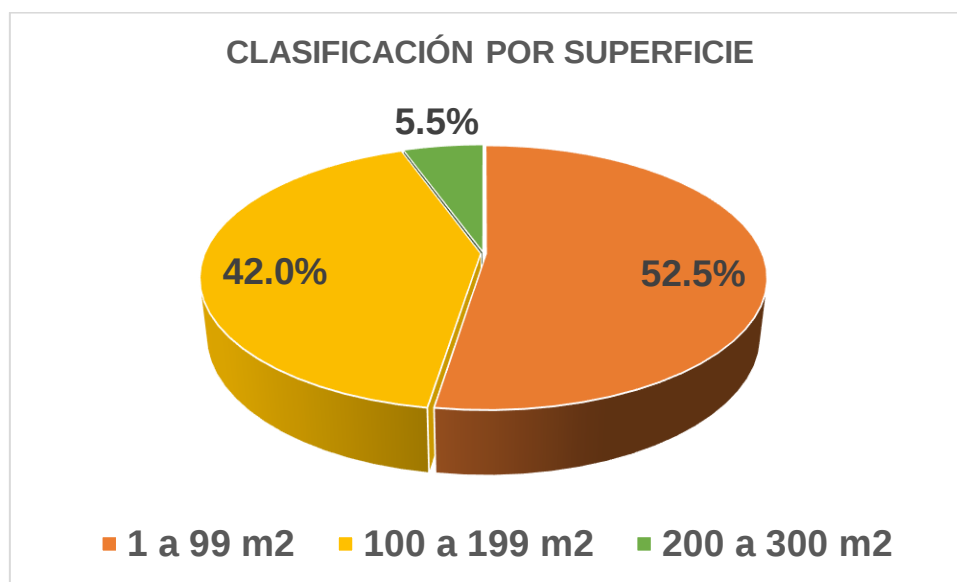


Figura 4.4. Clasificación de las viviendas por superficie.

4.2. DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS MATERIALES

El proceso para la determinación de los elementos mecánicos y propiedades físicas de los materiales usados en las estructuras de mampostería, es muy complejo, se requiere de los equipos de laboratorio necesarios para lograrlo y suficiente material disponible para poder fabricar las muestras, tal y como está indicado en el capítulo 3

de esta investigación y en el capítulo 2 de las Normas Técnicas Complementarias para el Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería.

Es por ello que las consideraciones tomadas en este apartado son de carácter aproximado y en base a investigaciones de campo, utilizando herramientas como la interpolación basándonos en datos indicados en la normativa, y que en cada uno de las secciones se explicara el método de obtención.

4.2.1. CONCRETO

De acuerdo a las declaraciones de los trabajadores de la construcción, en la cabecera municipal, muchos tienen sus propias técnicas y conocimientos que han adquirido a lo largo de los años, esa experiencia es la que aplican al construir, en su mayoría viviendas, acá en el municipio. Es por ello que, tomando en cuenta las recomendaciones del fabricante y de datos de laboratorio de otras empresas en la zona, se puede tener cierta aproximación en la dosificación del concreto, asociada a una resistencia a la compresión específica.

En resumen, un concreto con una resistencia a la compresión $f'_c = 150 \text{ kg/cm}^2$, se logra con una dosificación de cemento, arena, grava y agua de la siguiente manera:

CONCEPTO	CRUZ AZUL	MOCTEZUMA	TOLTECA
CEMENTO (BULTO)	1.00	1.00	1.00
ARENA (BOTE)	5.50	5.50	5.50
GRAVA (BOTE)	6.75	6.50	6.50
AGUA (BOTE)	2.25	2.00	2.50

Tabla 4.3. Dosificación del concreto de $f'_c=150 \text{ kg/cm}^2$ de acuerdo al fabricante.

Y según los trabajadores de la construcción encuestados, desde cabos de obra y oficiales albañiles, nos dieron estas dosificaciones:

CONCEPTO	TRABAJADOR 1	TRABAJADOR 2	TRABAJADOR 3
CEMENTO (BULTO)	1.00	1.00	1.00
ARENA (BOTE)	7.00	6.00	7.00
GRAVA (BOTE)	5.00	5.00	6.00
AGUA (BOTE)	2.00	3.00	2.50

Tabla 4.4. Dosificación del concreto de $f'c=150$ kg/cm² de acuerdo a investigación en la zona.

Aquí hay que tomar en cuenta muchos factores, se sabe que para determinar la capacidad resistente de un concreto, se tienen que hacer diferentes estudios a sus componentes, desde los agregados pétreos, hasta el cemento, entonces, las dosificaciones propuestas por el fabricante toman en cuenta valores promedios, está por demás decir, que esa sugerencia, tendrá algún grado de variación o de error, entonces hay que tomar en cuenta que lo que se hace en la realidad es muy diferente a lo indicado por el fabricante, es por ello que se tomara una resistencia menor a la que supuestamente están elaborando, así como está indicado en la tabla 4.5.

CONCEPTO	VALOR SUPUESTO	VALOR NORMATIVA
RESISTENCIA A COMPRESION (f_c) (KG/CM2)	135.00	150.00
MODULO DE ELASTICIDAD (E_c) (KG/CM2)	162,665.30	171,464.28
RELACION DE POISSON	0.20	0.20
PESO VOLUMETRICO (KG/M3)	2,400.00	2,400.00

Tabla 4.5. Propiedades físicas del concreto de $f'c=150$ kg/cm²

CONCEPTO	CRUZ AZUL	MOCTEZUMA	TOLTECA
CEMENTO (BULTO)	1.00	1.00	1.00
ARENA (BOTE)	4.25	3.50	4.00
GRAVA (BOTE)	5.25	5.00	6.00
AGUA (BOTE)	1.75	1.75	2.00

Tabla 4.6. Dosificación del concreto de $f'c=200$ kg/cm² de acuerdo al fabricante.

CONCEPTO	TRABAJADOR 1	TRABAJADOR 2	TRABAJADOR 3
CEMENTO (BULTO)	1.00	1.00	1.00
ARENA (BOTE)	5.00	5.00	5.00
GRAVA (BOTE)	5.00	5.00	6.00
AGUA (BOTE)	2.00	2.00	2.00

Tabla 4.7. Dosificación del concreto de $f'c=200 \text{ kg/cm}^2$ de acuerdo a investigación en la zona.

Se tomó la misma consideración para el concreto con una resistencia a la compresión de $f'c=200 \text{ kg/cm}^2$, ya que, de la misma manera, existieron discrepancias entre la dosificación propuesta por el fabricante, a la que usualmente trabajan en el municipio.

CONCEPTO	VALOR SUPUESTO	VALOR NORMATIVA
RESISTENCIA A COMPRESION ($f'c$) (KG/CM2)	180.00	200.00
MODULO DE ELASTICIDAD (E_c) (KG/CM2)	187,829.71	197,989.90
RELACION DE POISSON	0.20	0.20
PESO VOLUMETRICO (KG/M3)	2,400.00	2,400.00

Tabla 4.8. Propiedades físicas del concreto de $f'c=200 \text{ kg/cm}^2$

4.2.2. ACERO DE REFUERZO

Para el caso del acero de refuerzo no hay mucho que discutir, dado a la naturaleza de su fabricación, lleva consigo muchos procesos de calidad, en la cual verifican que los materiales que están listo para su venta y su utilización, cumplan con los requisitos mínimos de seguridad y de calidad, entonces para el caso de la comparación, no habrá ninguna diferencia entre lo indicado en la normativa y lo que se realiza en la región (tabla 4.9).

CONCEPTO	VALOR SUPUESTO	VALOR NORMATIVA
LIMITE DE FLUENCIA (f_y) (KG/CM2)	4,200.00	4,200.00
RESISTENCIA A LA TRACCION ULTIMA (f_u) (KG/CM2)	6,300.00	6,300.00
MODULO DE ELASTICIDAD (E_s) (KG/CM2)	2,000,000.00	2,000,000.00
PESO VOLUMETRICO (KG/M3)	7,849.05	7,849.05

Tabla 4.9. Propiedades físicas del acero de refuerzo

4.2.3. MAMPOSTERÍA Y MORTERO

Esta sección es una de las más importante de todas, ya que, debido al sistema estructural a base de muros de carga, las piezas de mampostería y demás componentes, son una pieza clave en el comportamiento y seguridad estructural de la vivienda. Se debe tener en cuenta que, para poder determinar los elementos mecánicos de la mampostería, debe analizarse primero, las propiedades de sus elementos, porque hay muchos valores que dependen de otros.

Cabe destacar que las piezas usadas en las estructuras de mampostería, comúnmente son de muy baja calidad, exceptuando algunos casos, teniendo características por debajo de lo solicitado en las NTC-DCM, es por ello que es de suma importancia hacer el análisis de acuerdo a lo que en la realidad se fabrica y no idealizar esas piezas defectuosas dentro de los límites mínimos de las normas, como diseñador es necesario tomar en consideración eso y analizar el comportamiento real que tendrá la estructura ante el uso de ese tipo de materiales.

De acuerdo con algunas investigaciones sobre la resistencia a compresión de bloques de concreto en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez (Sibaja et al, 2019), muestran una mala calidad de las piezas ensayadas. Los ensayos revelan que las piezas no cumplen con la normativa vigente, con deficiencias destacables en su peso volumétrico y en su resistencia a compresión (tanto de piezas individuales como de pilas). Además, se ha observado una gran variabilidad de los parámetros medidos entre los lotes procedentes de distintos fabricantes.

Hay que destacar que la resistencia a compresión del mortero de pega cumplió satisfactoriamente, en todos los casos, con lo que se exige en las NTCM-17 Y LA NMX-C-464-ONNCCE-2010, ya que las probetas presentaron capacidades muy por encima de 40 kg/cm², lo que indica que el mortero que sigue la práctica habitual local es de buena calidad.

Los valores de peso volumétrico son bajos y no alcanzan, en ningún caso, ni el 78% del mínimo exigido en las NTCM-17 (1700 kg/m^3). Esto, unido a lo anterior, muestra la conveniencia de mejorar el proceso de fabricación, sobre todo el sistema de compactación y vibrado, para reducir la porosidad actual. Además, para reducir o eliminar estas deficiencias, los fabricantes deberían realizar una gradación adecuada a las arenas que utilizan en la fabricación de bloque (de acuerdo con la NMX-c-077-1997-ONNCCE), con la finalidad que cumplan con la densidad que exige la normativa. (Arias Guevara et al, 2013, citado por Sibaja et al, 2019) recomiendan utilizar una proporción 1:1.5:1 de cemento-arena-grava para conseguir piezas con absorción óptima, peso volumétrico conveniente y resistencia adecuada a compresión.

Las pruebas de compresión de las piezas individuales mostraron también una resistencia de los bloques muy deficiente y diferente entre fabricantes. Los valores de resistencia de diseño a compresión están entre 6.79 y 34.97 kg/cm^2 muy por debajo de la resistencia mínima de 60 kg/cm^2 que exige la NMX-c-404-ONNCCE-2012.

El ensayo a compresión de pilas también mostró la mala calidad de los bloques para construir estructuras murarías. Los valores calculados de resistencia de diseño a compresión de las pilas son claramente insuficientes, entre 5.67 kg/cm^2 y 40.89 kg/cm^2 , y están muy por debajo del valor mínimo de 50 kg/cm^2 establecido en las NTCM-04. La buena calidad del mortero utilizado no se tradujo en un mejor comportamiento a compresión de las pilas ensayadas por lo que deben mejorarse las características de resistencia a compresión de los bloques.

Los resultados obtenidos muestran la necesidad de una regulación y control local del proceso de fabricación del bloque de concreto para mejorar la calidad del mismo y asegurar la resistencia de los muros que se fabriquen con este material, condición necesaria en el sector de la construcción local en el cual muchas de las actividades todavía son de carácter artesanal.

CONCEPTO	VALOR SUPUESTO	VALOR NORMATIVA
MATERIAL	BLOCK MACIZO	BLOCK MACIZO
RESISTENCIA A COMPRESION DE LA PIEZA (f_p) (KG/CM ²)	30.00	60.00
RESISTENCIA A COMPRESION DEL MORTERO (f_j) (KG/CM ²)	75.00	75.00
RESISTENCIA A COMPRESION DE LA MAMPOSTERÍA (f_m) (KG/CM ²)	10.00	40.00
RESISTENCIA A COMPRESIÓN DIAGONAL DE LA MAMPOSTERÍA (f_m) (KG/CM ²)	2.00	2.00
MODULO DE ELASTICIDAD (E_m) (KG/CM ²)	8,000.00	32,000.00
MODULO DE CORTANTE (G_m) (KG/CM ²)	3,200.00	12,800.00
PESO VOLUMETRICO (KG/M ³)	1,250.00	1,700.00

Tabla 4.10. Propiedades físicas de la mampostería.

4.3. MODELO MATEMÁTICO PARA EL ANÁLISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL, USANDO LAS CARACTERÍSTICAS REALES DE LA VIVIENDA.

4.3.1. INTRODUCCIÓN

El presente análisis tiene por objeto la descripción y justificación de los diferentes elementos que configuran la estructura del proyecto de investigación de la evaluación de estructuras de mampostería del tipo viviendas, utilizando las configuraciones y características de la región a estudiar.

La vivienda está situada en la ciudad de Cintalapa de Figueroa, Chiapas, ocupando una superficie de 80 m².

Este modelo matemático abarca el análisis y diseño estructural de la vivienda y a la estimación de los elementos constructivos necesarios para la realización de la estructura.

Los cálculos estructurales se han completado con el programa ETABS, y tomando esa información, se hizo la revisión y el diseño estructural de los elementos que conforman el edificio.

4.3.2. MATERIALES

Los materiales usados para este proyecto están especificados en la sección 4.2 de este capítulo, tomando en cuenta la columna correspondiente a los valores obtenidos de la región, y colocando de esa manera, esos datos en el modelo matemático elaborado en el software especializado.

4.3.3. GEOMETRÍA

Conforme a lo indicado al inicio de este capítulo, y a la previa marginación de elementos no comunes, se concluyó que la vivienda a evaluar sería las que tuviera las siguientes dimensiones: 8 x 10 m, tratando de ser lo más representativo posible con las viviendas de la región, teniendo las características siguientes:

- Sistema estructural: muros de carga con mampostería confinada
- Tipo de pieza: block macizo de concreto
- Clasificación de la estructura: Estructura Tipo 1
- Uso: habitacional
- Ancho: 8 metros
- Largo: 10 metros
- Superficie: 80 m²
- Numero de niveles: 2
- Altura de entepiso: 3 metros
- Altura total de la vivienda: 6 metros
- Tipo de suelo: II

ELEMENTO	DIMENSIONES (CM)
CASTILLO	12 X 12
DALA	12 X 20
MURO	12
LOSA	10

Tabla 4.11. Dimensiones de los elementos estructurales de la vivienda real

ELEMENTO	DIMENSIONES (CM)
CASTILLO	12 X 15
DALA	12 X 20
VIGA	12 X 30
MURO	12
LOSA	10

Tabla 4.12. Dimensiones de los elementos estructurales de la vivienda de acuerdo a normativa

4.3.4. CARGAS Y ACCIONES CONSIDERADAS

Con base a las especificaciones propuestas, las cargas de diseño son consideradas de acuerdo al destino y a las características de la estructura.

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

El peso muerto calculado de losas de concreto de peso normal coladas en el lugar se incrementará en 20 kg/m². Cuando sobre una losa colada en el lugar o precolada, se coloque una capa de mortero de peso normal, el peso calculado de esta capa se incrementará también en 20 kg/m² de manera que el incremento total será de 40 kg/m². Tratándose de losas y morteros que posean pesos volumétricos diferentes del normal, estos valores se modificarán en proporción a los pesos volumétricos.

a) CARGAS GRAVITACIONALES PERMANENTES (SOBRECARGA MUERTA)

DESCRIPCIÓN	MAGNITUD (KG/M2)
LOSETA CON FIRME	30
INSTALACIONES	25
MUROS CON APLANADO	250
PLAFÓN	30
REGLAMENTO	40
TOTAL	375

Tabla 4.13. Cargas gravitacionales para losa de entrepiso

DESCRIPCIÓN	MAGNITUD (KG/M2)
INSTALACIONES	25
PLAFÓN	30
ENTORTADO LOSA	42
REGLAMENTO	40
TOTAL	137

Tabla 4.14. Cargas gravitacionales para losa de azotea

Se considerarán cargas vivas las fuerzas que se producen por el uso y ocupación de las edificaciones y que no tienen carácter permanente. A menos que se justifiquen racionalmente otros valores, estas cargas se tomarán iguales a las especificadas en el inciso 6.1.2 de las NTC-DCEM 2020.

Las cargas especificadas no incluyen el peso de muros divisorios de mampostería o de otros materiales, ni el de muebles, equipos u objetos de peso fuera de lo común, como cajas fuertes de gran tamaño, archivos importantes, libreros pesados o cortinajes en salas de espectáculos.

Cuando se prevean tales cargas deberán cuantificarse y tomarse en cuenta en el diseño en forma independiente de la carga viva especificada. Los valores adoptados deberán justificarse en la memoria de cálculo e indicarse en los planos estructurales.

Los datos indicados en la tabla 4.13, fueron tomados en cuenta de acuerdo al destino de piso o cubierta, en este caso, al ser un nivel de entrepiso, se consideran las cargas vivas de acuerdo al uso, que es el que está indicado en la sección 4.3.4 de este capítulo.

b) CARGAS VIVAS VARIABLES

DESCRIPCIÓN	MAGNITUD (KG/M2)
CARGA VIVA MÁXIMA (CVM)	190
CARGA VIVA ACCIDENTAL (CVA)	100

Tabla 4.15. Cargas vivas para losa de entrepiso

Para el caso de la losa de azotea, se toman los valores correspondientes indicados en la tabla 6.1.1, de las NORMAS TÉCNICAS COMPLEMENTARIAS SOBRE CRITERIOS Y ACCIONES PARA EL DISEÑO ESTRUCTURAL DE LAS EDIFICACIONES (NTC-SCADEE), en el inciso i), ya que las losas no superan el 5% de la pendiente.

DESCRIPCIÓN	MAGNITUD (KG/M2)
CARGA VIVA MÁXIMA (CVM)	100
CARGA VIVA ACCIDENTAL (CVA)	70

Tabla 4.16. Cargas vivas para losa de azotea

Del mismo modo para las cargas que correspondan a las de la comunicación para peatones, como es el caso de la escalera, se deberán considerar las cargas vivas correspondientes a su clasificación.

DESCRIPCIÓN	MAGNITUD (KG/M2)
CARGA VIVA MÁXIMA (CVM)	350
CARGA VIVA ACCIDENTAL (CVA)	150

Tabla 4.17. Cargas vivas para comunicación para peatones.

c) ACCIONES DE SISMO

El diseño sísmico se realizó con base a lo indicado en el manual de obras civiles de la Comisión Federal de Electricidad del 2015 en el capítulo C.1.3. Diseño por sismo.

Por lo consiguiente, se hizo un análisis de los factores para determinar los espectros de diseño y se consideró lo siguiente:

Por la ubicación geográfica del municipio de Cintalapa de Figueroa, con coordenadas: 16.68, -93.72, se encuentra en la zona C, de la regionalización sísmica propuesta por la CFE (figura 4.5)

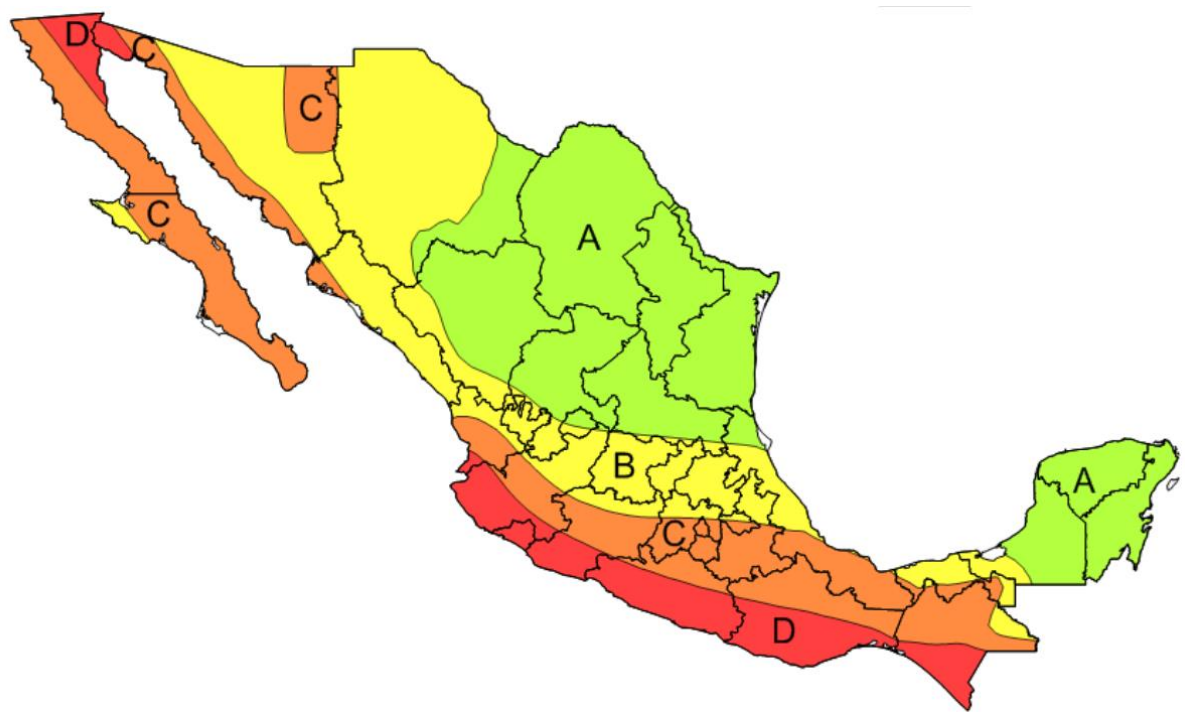


Figura 4.5. Regionalización sísmica de la República Mexicana.

Con base a una simple inspección visual, se supondrá un suelo tipo II para la región de la cabecera municipal, tomando en cuenta algunas investigaciones y sondeos en lugares cercanos a la región de estudio.

ZONA	TIPO DE TERRENO	Ta (s)	Tb (s)	Tc (s)	k	r
C	II	0.2	1.4	2	1	2/3

Tabla 4.18. Valores de los periodos característicos y exponentes que controlan las ramas descendentes de los espectros de diseño transparente regional.

Una vez creado el espectro de diseño transparente regional, se debe de modificar con algunos factores indicados en el Manual de la CFE, como son, el factor de amortiguamiento (ζ_e), el factor de comportamiento sísmico (Q), el factor reductor por sobre-resistencia (R), factor por redundancia (ρ) y el factor por irregularidad (α).

FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO.

De acuerdo a la tabla 4.17, obtenida del CDS-MDOC15, se logra apreciar los diferentes porcentajes de amortiguamiento para los correspondientes tipos de sistemas estructurales. En este caso, como se indicó en la sección 4.3.4, el sistema estructural es con muros de carga de mampostería confinada de bloques macizos de concreto, por lo tanto, se considera un 7% en el amortiguamiento.

SISTEMA ESTRUCTURAL	ζ_e (%)
Estructuras de concreto reforzado	5
Estructuras de concreto presforzado	4
Estructuras ligeras de acero de baja altura y con elementos principalmente unidos con soldadura	2
Estructuras ligeras de acero de baja altura y con elementos principalmente unidos con tornillos	3
Marcos rígidos de acero con conexiones rígidas soldadas	3
Marcos rígidos de acero con conexiones rígidas atornilladas	5
Marcos de acero arriostrados por contravientos concéntricos, excéntricos o restringidos a pandeo, o bien, rigidizados por placas de acero	4
Marcos rígidos con columnas compuestas, o bien, marcos compuestos arriostrados por contravientos, placas o muros	5
Marcos de acero o compuestos con amortiguamiento suplementario	*
Muros de concreto o de madera contrachapada, o de madera de duela	5
Muros de placas de acero	4
Muros de carga de mampostería confinada de bloques macizos de concreto	7
Muros de carga de mampostería confinada de bloques huecos de concreto	6
Muros de carga de mampostería que no cumplan las especificaciones para mampostería confinada ni para mampostería reforzada interiormente	6

Tabla 4.19. Valores de amortiguamiento estructural

FACTOR DE COMPORTAMIENTO SÍSMICO.

Para este factor, elegimos entre las diferentes opciones presentadas en el CDS-MDOC15, en la cual coincide con la descripción para un $Q = 2$, que a la letra dice:

La resistencia a fuerzas laterales es suministrada por losas planas con columnas de acero o de concreto reforzado, por marcos de acero con ductilidad reducida o provistos de contraventeo con ductilidad normal, o de concreto reforzado que no cumplan con los requisitos para ser considerados dúctiles, o muros de concreto reforzado, de placa de acero o compuestos de acero y concreto, que no cumplen en algún entrepiso lo que se especifica para los casos $Q = 4$ y $Q = 3$ o **por muros de mampostería de piezas macizas confinados por castillos, dalas, columnas o trabes de concreto reforzado o de acero que satisfacen los requisitos de los Reglamentos y Normas de Diseño Estructural Vigentes (RNDEV)**. También se usará $Q = 2$ cuando la resistencia es suministrada por elementos de concreto prefabricado o presforzado, con las excepciones que sobre el particular marcan los RNDEV, o cuando se trate de estructuras de madera con las características que se indican en los RNDEV para estructuras de madera, o de algunas estructuras de acero que se indican en las normas vigentes.

FACTOR DE REDUCCIÓN POR SOBRE-RESISTENCIA.

Se usará un factor por sobrerresistencia $R_0 = 2.5$ para los siguientes sistemas estructurales:

Marcos dúctiles de concreto reforzado o compuestos de los dos materiales diseñados con $Q = 4$, por sistemas de muros de concreto o compuestos de acero y concreto diseñados con $Q = 3$, o por marcos con muros de concreto reforzado o compuestos de acero y concreto diseñados con $Q = 3$, o **muros de mampostería de piezas macizas confinados por castillos, dalas, columnas o trabes de concreto reforzado que satisfacen los requisitos de las normas correspondientes**, o cuando se trate de estructuras de madera con las características que se indican de acuerdo a los RNDEV

FACTOR POR REDUNDANCIA.

Para cada dirección ortogonal de análisis, la redundancia de la estructuración empleada se tomará en cuenta mediante el factor por redundancia, U , de la siguiente manera:

$\rho = 1.0$, cuando se cumplan los siguientes requisitos:

En estructuras con al menos dos marcos o líneas de defensa paralelas en la dirección de análisis y que cada marco o línea de defensa disponga de al menos dos crujeas o estructuraciones equivalentes.

FACTOR POR IRREGULARIDAD.

Para que una estructura pueda considerarse regular debe satisfacer las siguientes condiciones:

1. La distribución en planta de masas, muros y otros elementos resistentes, es sensiblemente simétrica con respecto a dos ejes ortogonales. Estos elementos son sensiblemente paralelos a los ejes ortogonales principales del edificio.
2. La relación entre la altura y la dimensión menor de la base no es mayor que 2.5.
3. La relación entre largo y ancho de la base no excede de 2.5.
4. En planta no se tienen entrantes ni salientes cuya dimensión exceda 20% de la dimensión de la planta medida paralelamente a la dirección en que se considera la entrante o saliente.
5. En cada nivel se tiene un sistema de techo o piso rígido y resistente, lo que deberá justificarse con resultados de análisis de modelos simplificados del sistema de piso a utilizar.
6. No se tienen aberturas en los sistemas de techo o piso cuya dimensión exceda 20% de la dimensión de la planta medida paralelamente a la dirección en que se considera la abertura. Las áreas huecas no ocasionan asimetrías significativas ni difieren en posición de un piso a otro y el área total de aberturas no excede, en ningún nivel, 20% del área de la planta.

7. El peso de cada nivel, incluyendo la carga viva que debe considerarse para diseño sísmico, no es mayor que 110% ni menor que 70% del correspondiente al piso inmediato inferior. El último nivel de la construcción está exento de condiciones de peso mínimo.
8. Ningún piso tiene un área, delimitada por los paños exteriores de sus elementos resistentes verticales, mayor que 110% ni menor que 70% de la del piso inmediato inferior. El último piso de la construcción está exento de condiciones de área mínima. Además, el área de ningún entrepiso excede en más de 50% a la menor de los pisos inferiores.
9. En todos los pisos, todas las columnas están restringidas en dos direcciones ortogonales por diafragmas horizontales y por trabes o losas planas.
10. La rigidez y la resistencia al corte de cada entrepiso no excede en más de 50% a la del entrepiso inmediatamente inferior. El último entrepiso queda excluido de esta condición.
11. En cada entrepiso, la excentricidad torsional calculada estáticamente no excede en más de 10% su dimensión en planta, medida paralelamente a la excentricidad torsional.

Ya que la estructura a analizar cumple con todos los requisitos anteriores, se considera una estructura regular, por lo cual el factor es igual a 1.

Q	R_0	ρ	α	ζ_e (%)
2	2.5	1	1	7

Tabla 4.20. Factores que modifican el espectro de diseño transparente regional.

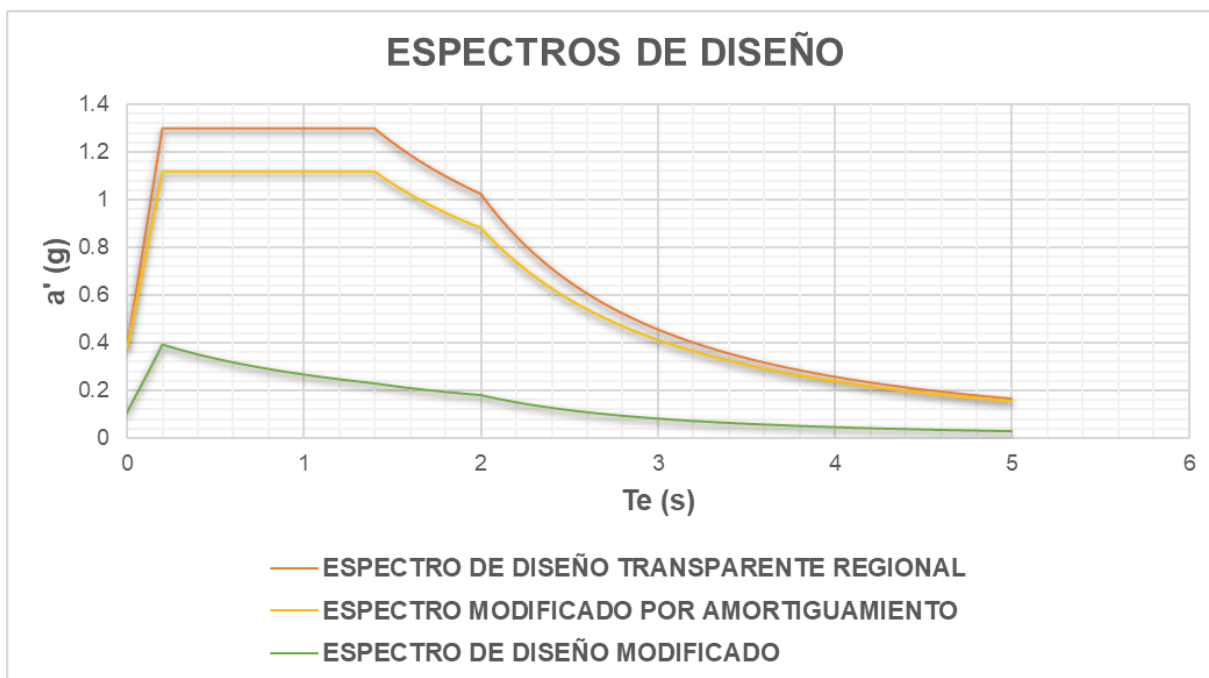


Figura 4.6. Concentrado de espectros de diseño.

4.3.5. COMBINACIONES DE CARGAS

De acuerdo a las características de la estructura, las combinaciones de carga aplicadas para la obtención de los elementos mecánicos de diseño se basan en lo establecido por el reglamento de construcciones para el distrito federal, por lo que el diseño se realizó con base en esta norma.

Al considerar la simetría de la estructura, el diseñador está de acuerdo en que las combinaciones de carga presentadas son representativas de las acciones que experimentara el inmueble bajo los efectos de sismo y cargas gravitacionales.

CARGAS GRAVITACIONALES

Para combinaciones de acciones clasificadas en el inciso 2.3.a, de las Normas Técnicas Complementarias Sobre Criterios y Acciones para el Diseño Estructural de las Edificaciones (NTC-SCADEE, 2020) se aplicará un factor de carga de 1.3 para las cargas permanentes y 1.5 para las variables.

Cargas permanentes más carga viva máxima

$$a) \text{ GRAV} = 1.3 (\text{CM} + \text{SCM}) + 1.5 (\text{CVM})$$

CARGAS ACCIDENTALES

Para combinaciones de acciones clasificadas en el inciso 2.3.b, de las NTC-SCADEE 2020, se tomará un factor de carga de 1.1 aplicado a los efectos de todas las acciones que intervengan en la combinación

Carga por sismo más cargas permanentes

$$a) \text{ CSDX1} = 1.1 (\text{CM} + \text{CVA} + \text{SCM} + \text{SDX} + 0.3 \text{SDY})$$

$$b) \text{ CSDX2} = 1.1 (\text{CM} + \text{CVA} + \text{SCM} + \text{SDX} - 0.3 \text{SDY})$$

$$c) \text{ CSDX3} = 1.1 (\text{CM} + \text{CVA} + \text{SCM} - \text{SDX} + 0.3 \text{SDY})$$

$$d) \text{ CSDY4} = 1.1 (\text{CM} + \text{CVA} + \text{SCM} - \text{SDX} - 0.3 \text{SDY})$$

$$e) \text{ CSDY5} = 1.1 (\text{CM} + \text{CVA} + \text{SCM} + 0.3 \text{SDX} + \text{SDY})$$

$$f) \text{ CSDY6} = 1.1 (\text{CM} + \text{CVA} + \text{SCM} + 0.3 \text{SDX} - \text{SDY})$$

$$g) \text{ CSDY7} = 1.1 (\text{CM} + \text{CVA} + \text{SCM} - 0.3 \text{SDX} + \text{SDY})$$

$$h) \text{ CSDY8} = 1.1 (\text{CM} + \text{CVA} + \text{SCM} - 0.3 \text{SDX} - \text{SDY})$$

CARGAS DE DESPLAZAMIENTOS

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

Cargas permanentes más carga viva máxima

$$a) \text{ SERVICIO} = 1.0 (\text{CM} + \text{SCM} + \text{CVM})$$

CARGAS PARA ANÁLISIS A CORTANTE

De acuerdo al inciso **5.4.2 FUERZA CORTANTE RESISTIDA POR LA MAMPOSTERÍA** de las Normas Técnicas Complementarias para el Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería (NTC-DCEM 2020), indica que la carga axial P se deberá tomar positiva en compresión y deberá considerar las acciones permanentes, variables con intensidad instantánea, y accidentales que conduzcan al menor valor y sin multiplicar por el factor de carga.

Cargas permanentes más carga por sismo

$$a) \quad P_X = 1.0 (CM + SCM + CVA + SDX)$$

$$b) \quad P_Y = 1.0 (CM + SCM + CVA + SDY)$$

DONDE:

CM: CARGA MUERTA

SCM: SOBRE CARGA MUERTA

CVM: CARGA VIVA MÁXIMA

CVA: CARGA VIVA ACCIDENTAL

SDX: SISMO DINÁMICO ESPECTRAL EN DIRECCIÓN X

SDY: SISMO DINÁMICO ESPECTRAL EN DIRECCIÓN Y

4.3.6. ESTADOS LIMITE DE DISEÑO

De acuerdo al reglamento de construcciones para la Ciudad de México del 2020, los estados limite se clasifican en dos grupos, a saber: estados límite de resistencia y estados límite de servicio.

Los primeros se refieren a formas de comportamiento que ponen en riesgo la estabilidad de la construcción y su capacidad para resistir nuevas aplicaciones de carga. Los segundos sirven para considerar la ocurrencia de daños económicos por

deformaciones o vibraciones excesivas o la presentación de condiciones que impidan el desarrollo adecuado de las funciones para las que se haya proyectado el inmueble.

a) ESTADO LIMITE DE RESISTENCIA

Resistencia de diseño: La resistencia de los materiales utilizada, fue indicada en el apartado de “MATERIALES” de este documento.

Condiciones de diseño: Se hace la revisión tomando en cuenta las distintas combinaciones de cargas y acciones descritas en el apartado de “CARGAS Y ACCIONES CONSIDERADAS”

b) ESTADO LIMITE DE SERVICIO

Deflexiones y desplazamientos: Los valores máximos para este estado límite, son los definidos por las normas técnicas complementarias sobre criterios y acciones para el diseño estructural de las edificaciones, así como aquellos estipulados en las normas técnicas complementarias para diseño por sismo y que se mencionan a continuación:

DESPLAZAMIENTO VERTICAL MÁXIMO AL CENTRO DE TRABES.

$$\Delta V = \frac{L}{250}$$

DONDE:

L: longitud del claro libre en mm

ΔV : desplazamiento vertical en mm

DESPLAZAMIENTO LATERAL PARA LA LIMITACIÓN DE DAÑOS A ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES

Para revisar los desplazamientos laterales debidos al sismo, se deberá revisar la tabla 4.18, obtenida de las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo.

Estructuración	Q	γ_{max}
Muros de carga de mampostería confinada de piezas macizas con refuerzo horizontal (2)	2.0	0.010
Muros de carga de mampostería confinada de piezas macizas	2.0	0.005
Muros de carga de mampostería confinada de piezas huecas con refuerzo horizontal (2)	2.0	0.008
Muros de carga de mampostería confinada de piezas huecas	1.5	0.004
Muros de carga de mampostería de piezas huecas reforzadas interiormente	1.5	0.006
Muros diafragma	(3)	(4)
Muros de carga de mampostería confinada en combinación con otro sistema estructural de concreto o acero	(3)	(4)
Muros de carga de mampostería de piezas huecas o macizas no confinados ni reforzados (5)	1.0	0.002
Mampostería de piedras naturales	1.0	0.002

Tabla 4.21. Factores de comportamiento sísmico y distorsiones límite para estructuras de mampostería.

(1) Los sistemas estructurales de mampostería deben cumplir los requisitos establecidos en las Normas Técnicas Complementarias para el Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería. La presente Tabla es válida para edificaciones de hasta 6 niveles. Para estructuras con un mayor número de niveles, se reducirá Q en 0.5, pero en ningún caso Q será menor a la unidad.

(2) Para que el sistema estructural sea considerado en esta categoría, todos los muros estructurales deben tener refuerzo horizontal.

(3) Cuando los muros sean parte de marcos o de estructuras que no puedan resistir al menos 70 por ciento de la carga lateral sin tomar en cuenta la resistencia de los muros, la ductilidad será de acuerdo con el tipo de mampostería utilizada en el muro diafragma. En caso contrario, podrá usarse el valor de Q asignado a los marcos o la estructura.

(4) Se tomará de acuerdo con el tipo de mampostería utilizada.

(5) Solo para revisión de estructuras existentes.

Tomando la información de la tabla, para efectos del desplazamiento lateral, se tomará lo correspondiente para el tipo de estructura, definida con anterioridad, el cual es el siguiente:

$$\Delta H = 0.005H > \Delta máx$$

DONDE:

ΔH : desplazamiento horizontal

H : altura de entrepiso

$\Delta máx$: desplazamiento máximo horizontal

4.3.7. ANÁLISIS ESTRUCTURAL

Para el análisis estructural se generó un modelo matemático en el programa ETABS (figura 4.21). Del análisis numérico del modelo tridimensional se determinaron las propiedades dinámicas de la estructura, revisión de desplazamientos de servicio y elementos mecánicos de vigas, losas y muros.

Las principales diferencias entre un modelo y otro son las siguientes:

1. **ELEMENTOS DE CONFINAMIENTO VERTICAL:** la diferencia es muy clara en este aspecto, ya que la vivienda, en las condiciones por cómo fue construida, tiene muchísimas deficiencias en la colocación de los castillos. De acuerdo con lo indicado en las NTC-DCEM 2020 los elementos de confinamiento vertical deben de ir en esquinas, en intersecciones, en vanos de las puertas y ventanas, como se puede observar en las vistas en planta de la distribución de los castillos en las condiciones actuales (figura 4.7 y 4.8), en comparación con lo debido a lo colocado en la misma vivienda, pero ahora, tomando en cuenta las indicaciones de la normativa (figura 4.9 y 4.10).

2. **ELEMENTOS DE CONFINAMIENTO HORIZONTAL:** Las dalas o cadenas, también juegan un papel muy importante en la rigidez global de la vivienda. En la práctica, su mala colocación se ha vuelto tan común, que el indicar lo correcto, como viene especificado en la normativa, se vuelve automáticamente en lo incorrecto, se ha normalizado tanto su mal uso que es muy difícil que las personas entiendan las recomendaciones fundamentadas de su ubicación.

Como puede observarse en las figuras 4.11, 4.12, 4.13 y 4.14, la colocación de las dalas se hacen sobre todo el desarrollo de los muros, es decir, siguiendo su estructura, en los vanos de las puertas o ventanas, las dalas hacen la función de dintel, y en el resto de la estructura, su función es prácticamente nula.

En cambio, con las recomendaciones de la normativa, las dalas realmente hacen la función de elementos confinantes, ya que, en los vanos de las ventanas, están colocadas por arriba y por debajo de ellas, y se omite la colocación en alturas menores a 3 metros, como se acostumbra a colocar, haciendo más eficiente su utilidad, es decir, colocarlo donde debe ir, y dejar de colocarlo donde no tiene ninguna función fundamental, haciendo esto más económica la ejecución de la vivienda.

3. **CALIDAD DE LOS MATERIALES:** se han publicado muchas investigaciones reportando la calidad de los materiales de la región, incluso, sin la necesidad de estos, es más que obvia la baja calidad en los materiales usados en las viviendas de mampostería, esto difiere mucho a lo indicado en la normativa, en donde los materiales tienen ciertas características mínimas para poder ser usadas en el diseño y construcción.
4. **MANO DE OBRA:** Este punto va muy de la mano con los 3 anteriores, desde el hecho en que muchas de las viviendas realizadas con autoconstrucción no tienen una supervisión de un profesional, hasta la que se encarga de fabricar algunos materiales.

En la práctica podemos encontrar de todo tipo de trabajadores, hay unos que, cegados por su arrogancia e ignorancia, se niegan a cambiar su forma de trabajar, aun haciéndoles saber el fundamento de hacer las cosas de la manera correcta, hay otros que a pesar de tener años de experiencia en la construcción, se van adaptando a las nuevas tecnologías y formas de construir, sabiendo que los cambios son para bien del ejercicio de su profesión; y por último, están los que ya tienen algunos conocimientos sobre las nuevas adaptaciones a las normativas, aquellos que se actualizan de forma personal, ese grupo de personas son pocos, pero son los más valiosos en el ámbito de la construcción.

- 5. SISTEMA DE VIGAS Y LOSAS:** Otra de las diferencias importantes entre los 2 sistemas constructivos que estamos analizando, es la formación de tableros en la losa, es decir, delimitar con vigas los tableros de la losa, para así poder determinar el peralte mínimo de la losa, para evitar deflexiones y vibraciones.

En la vivienda realizada con autoconstrucción, se observó que en muchos lugares hicieron falta vigas para delimitar los tableros, que a su vez sirven como elementos rigidizadores para la losa, evitando que se fleche y pueda existir fallas inducidas por el incorrecto proceso constructivo, por otro lado, en la vivienda estructurada en base a las normativas, los tableros estuvieron bien definidos y los resultados de las deflexiones no fueron tan significativas, en otras palabras, se encontraba dentro de los límites máximos de servicio.

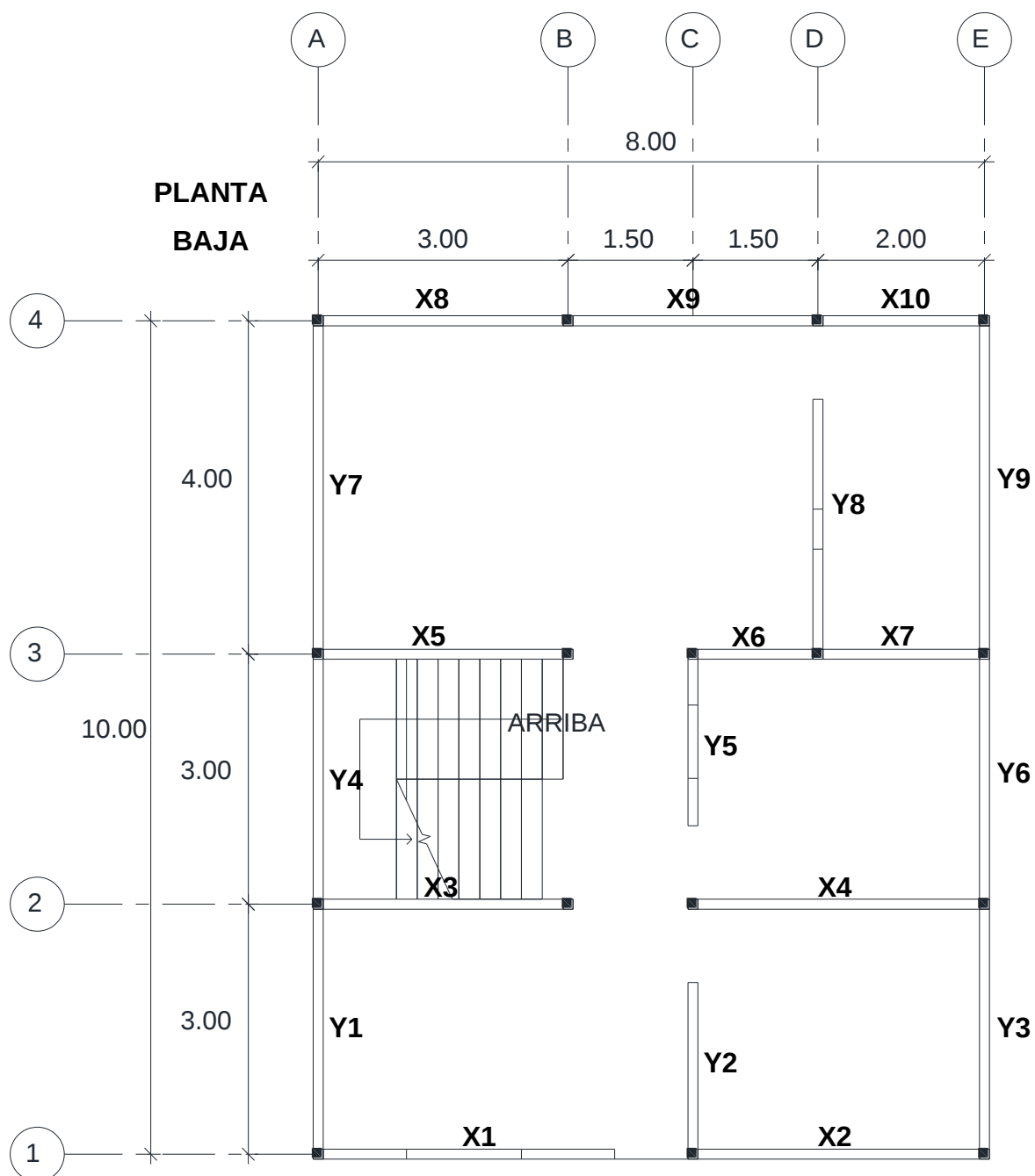


Figura 4.7. Planta estructural de la vivienda estructurada de acuerdo a las condiciones reales con que fue construida (PLANTA BAJA)

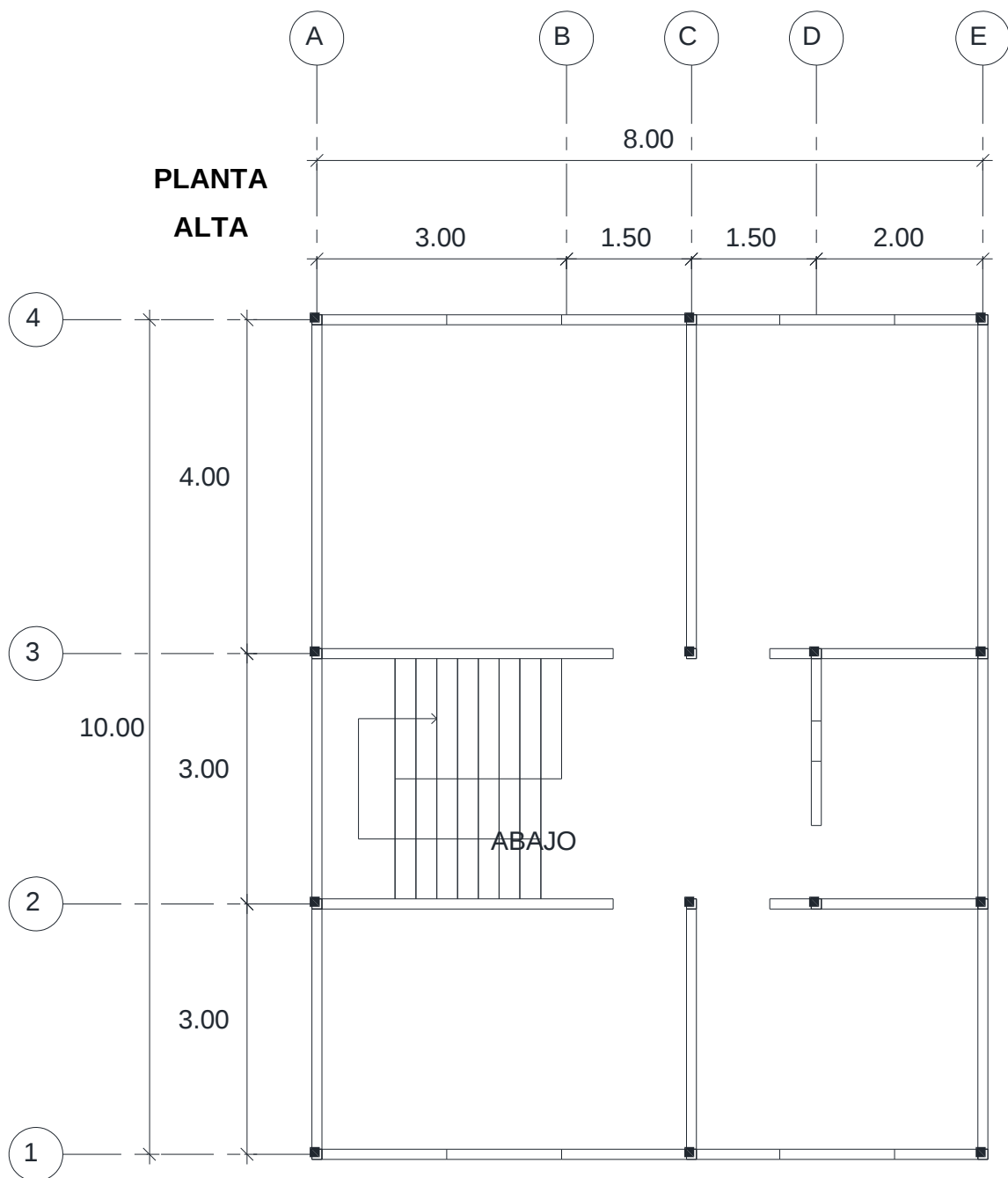


Figura 4.8. Planta estructural de la vivienda estructurada de acuerdo a las condiciones reales con que fue construida (PLANTA ALTA)

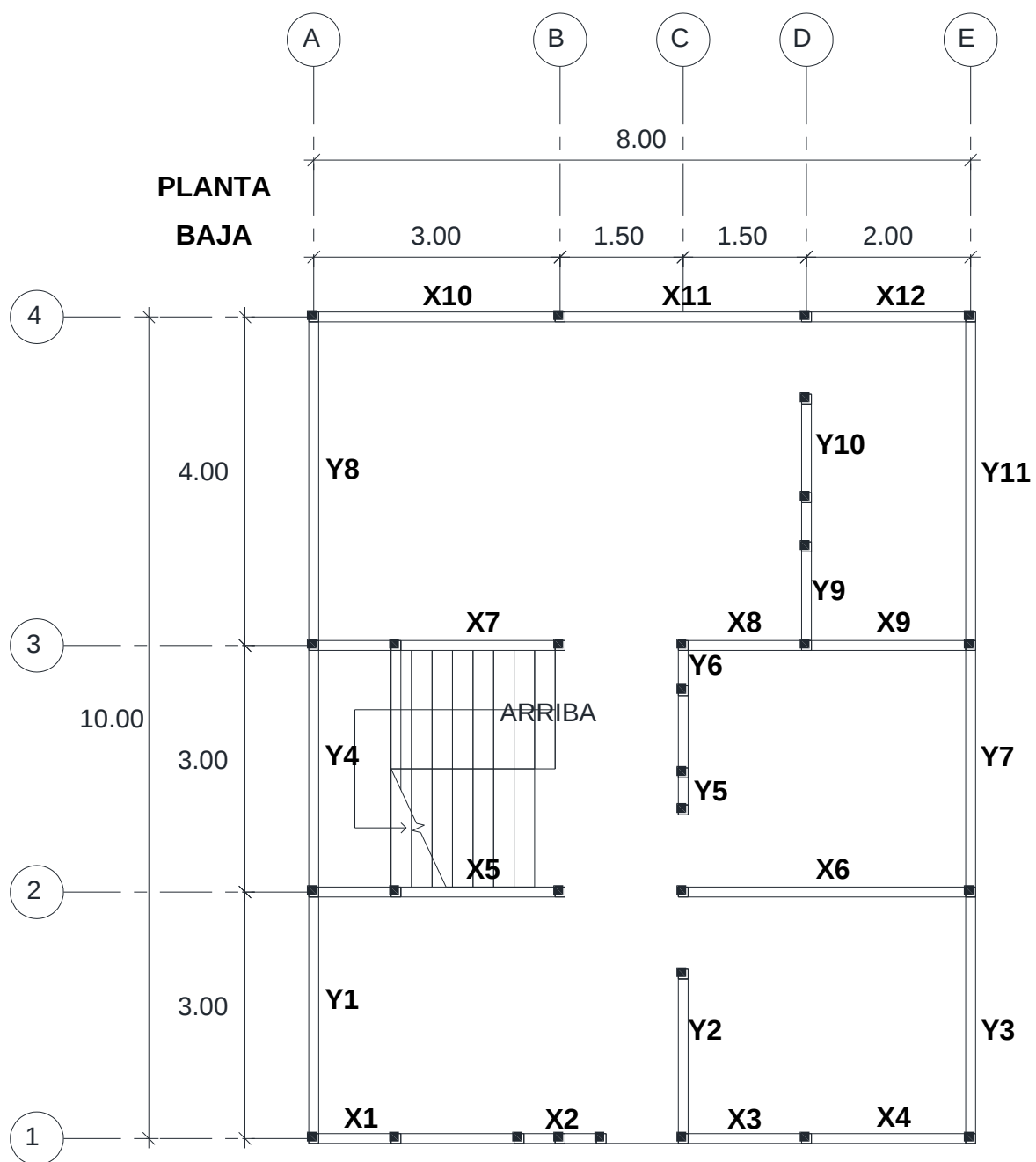


Figura 4.9. Planta estructural de la vivienda estructurada de acuerdo a las NTC-DCEM 2020 (PLANTA BAJA)

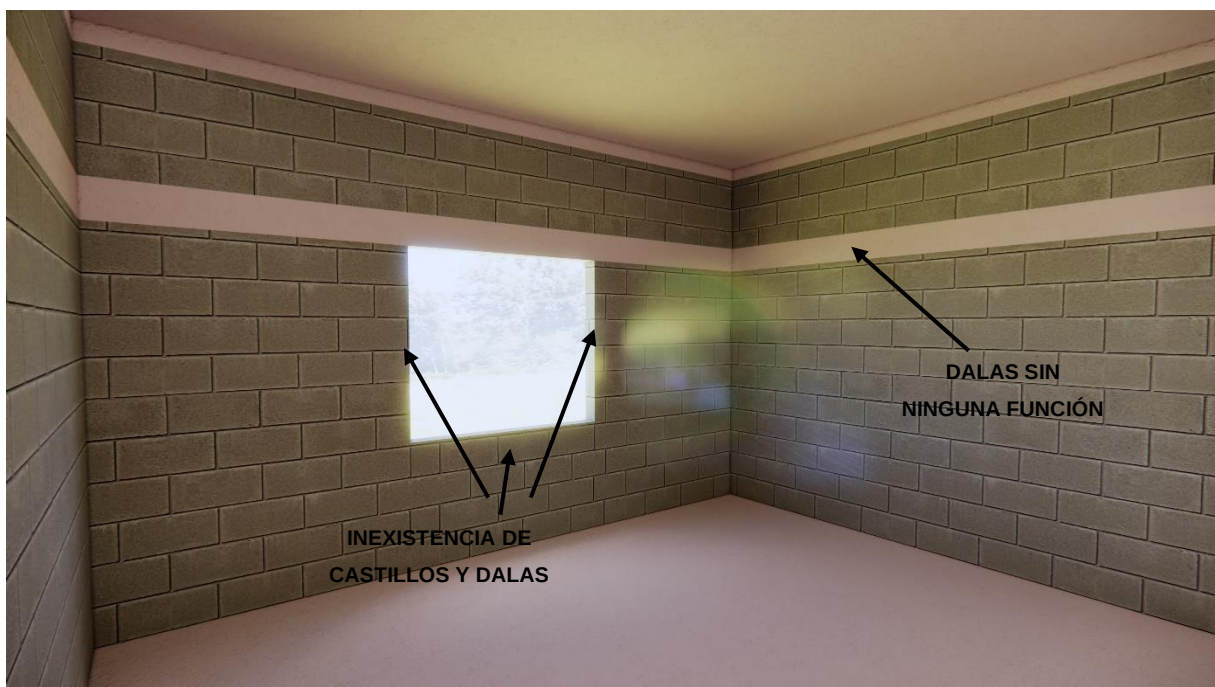


Figura 4.11. Representación gráfica de la vivienda estructurada de acuerdo a las condiciones reales con que fue construida (PLANTA ALTA)

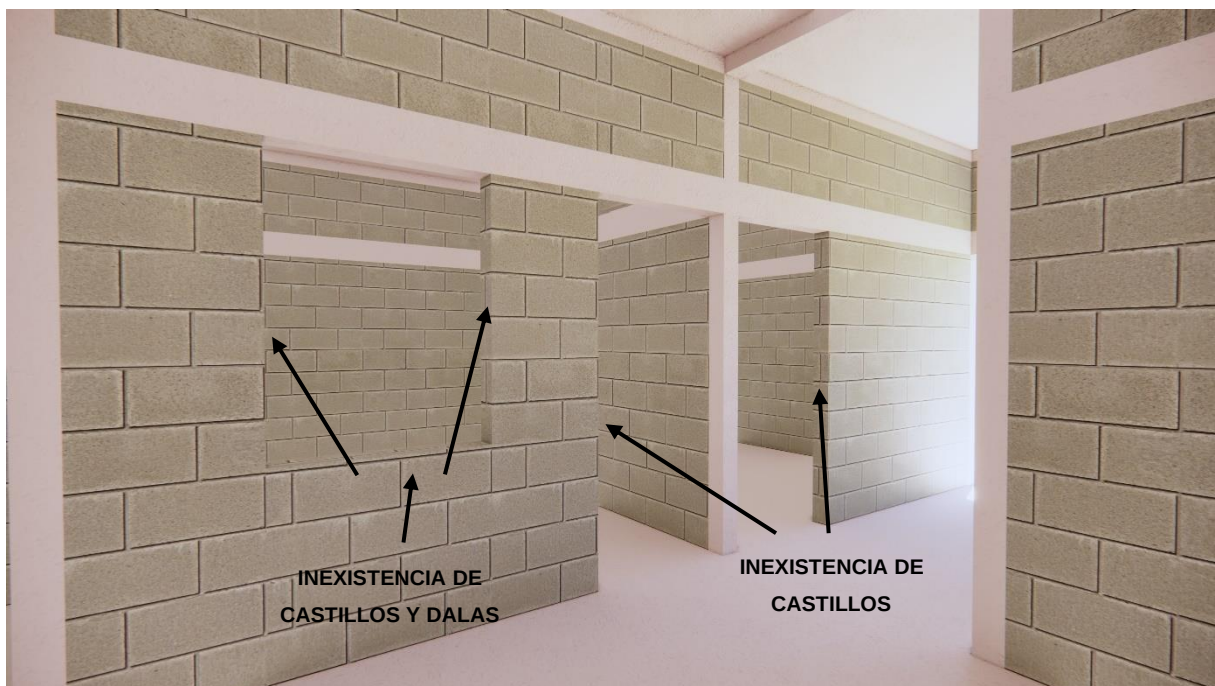


Figura 4.12. Representación gráfica de la vivienda estructurada de acuerdo a las condiciones reales con que fue construida (PLANTA ALTA)

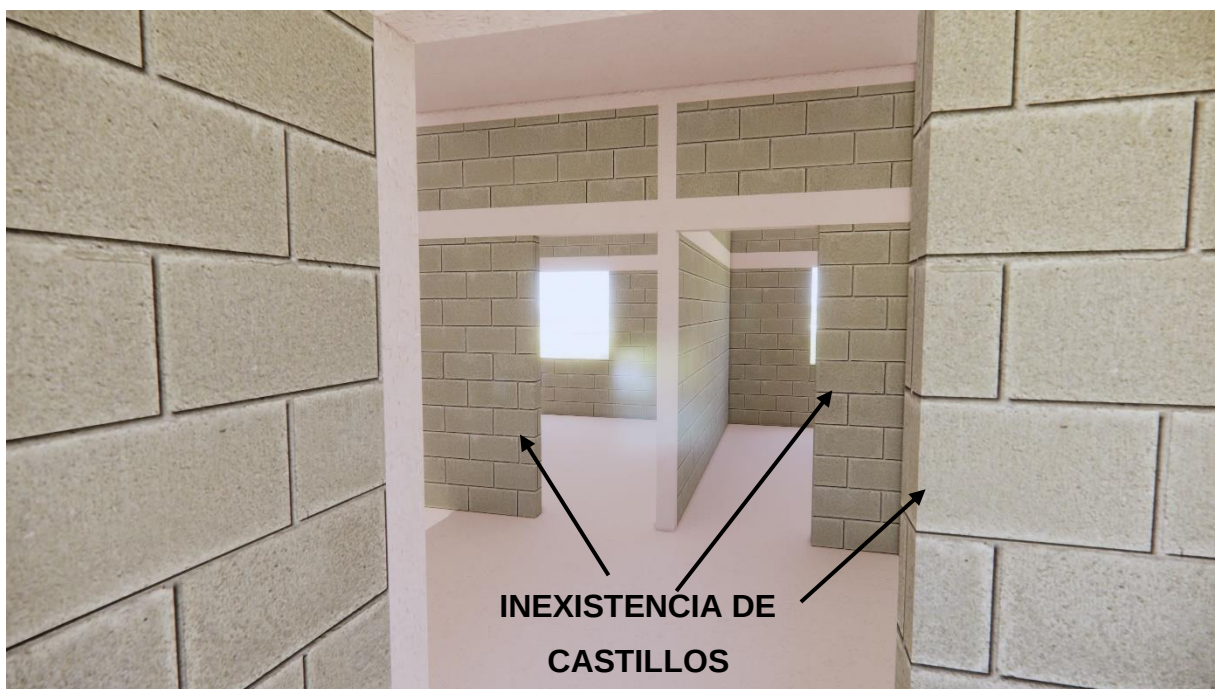


Figura 4.13. Representación gráfica de la vivienda estructurada de acuerdo a las condiciones reales con que fue construida (PLANTA BAJA)



Figura 4.14. Representación gráfica de la vivienda estructurada de acuerdo a las condiciones reales con que fue construida (PLANTA ALTA)

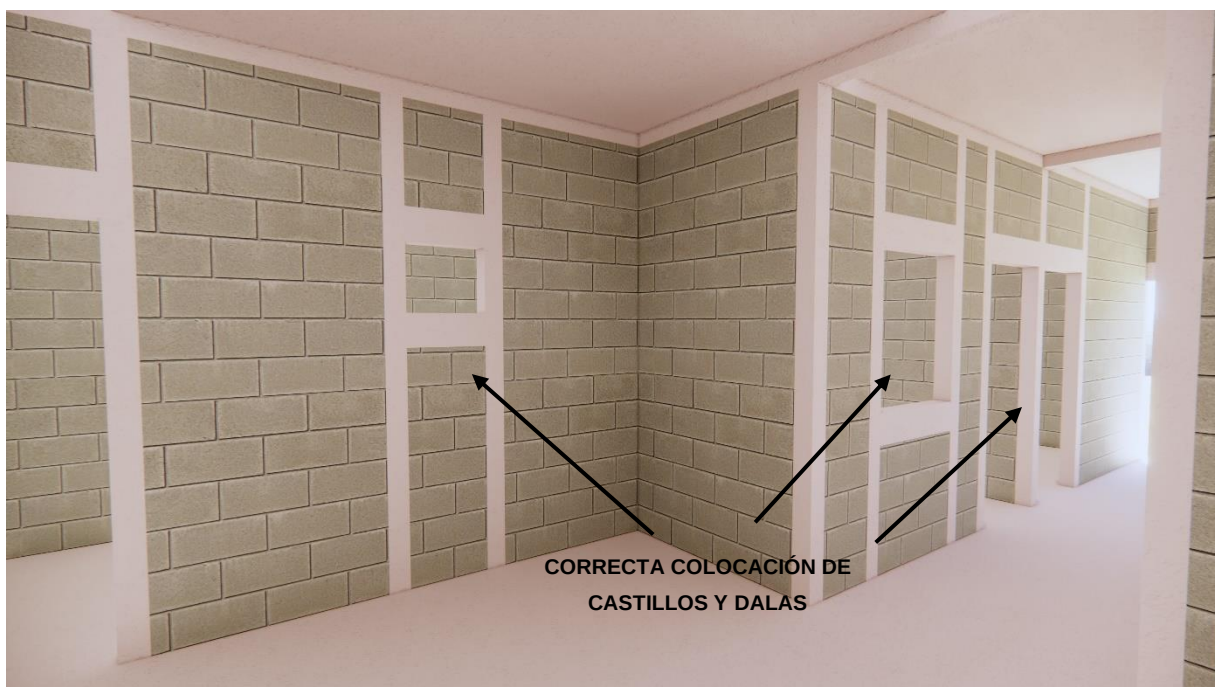


Figura 4.15. Representación gráfica de la vivienda estructurada de acuerdo a las NTC-DCM 2020 (PLANTA BAJA)



Figura 4.16. Representación gráfica de la vivienda estructurada de acuerdo a las NTC-DCM 2020 (PLANTA BAJA)



Figura 4.17. Representación gráfica de la vivienda estructurada de acuerdo a las NTC-DCEM 2020 (PLANTA ALTA)



Figura 4.18. Representación gráfica de la vivienda estructurada de acuerdo a las NTC-DCEM 2020 (PLANTA ALTA)

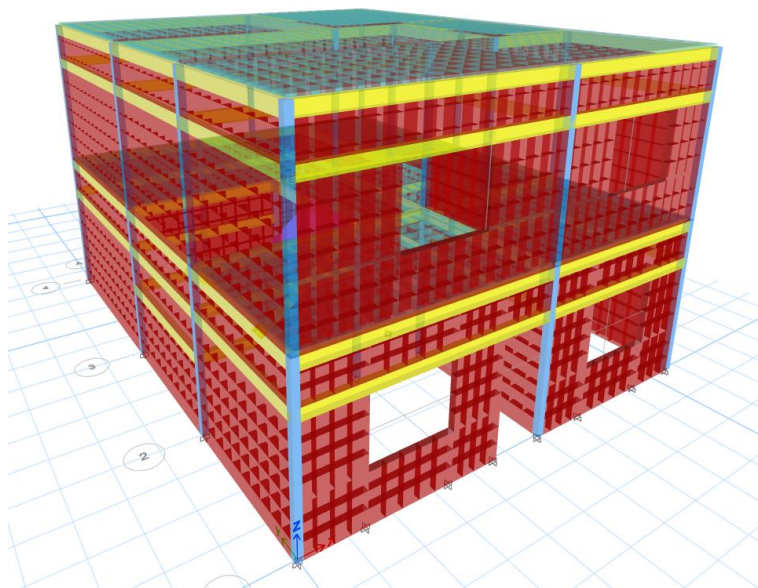


Figura 4.19. Modelo matemático tridimensional de la vivienda estructurada de acuerdo a las condiciones reales con que fue construida en ETABS

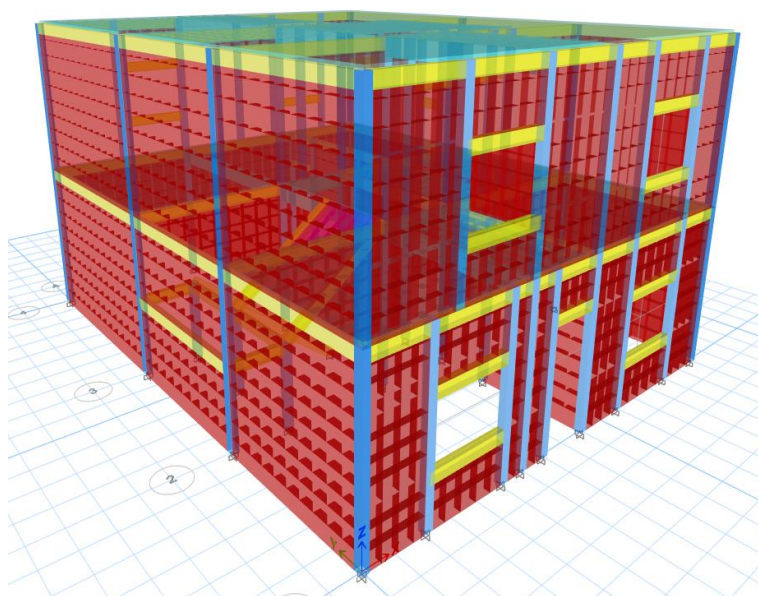


Figura 4.20. Modelo matemático tridimensional de la vivienda estructurada de acuerdo a las NTC-DCEM 2020 en ETABS

4.4. FORMA MODAL EN AMBAS DIRECCIONES

Con base en las propiedades dinámicas de la estructura se observa claramente definido los modos principales de vibrar en cada dirección ortogonal, por lo que aplica las hipótesis de análisis sísmico por el método dinámico.

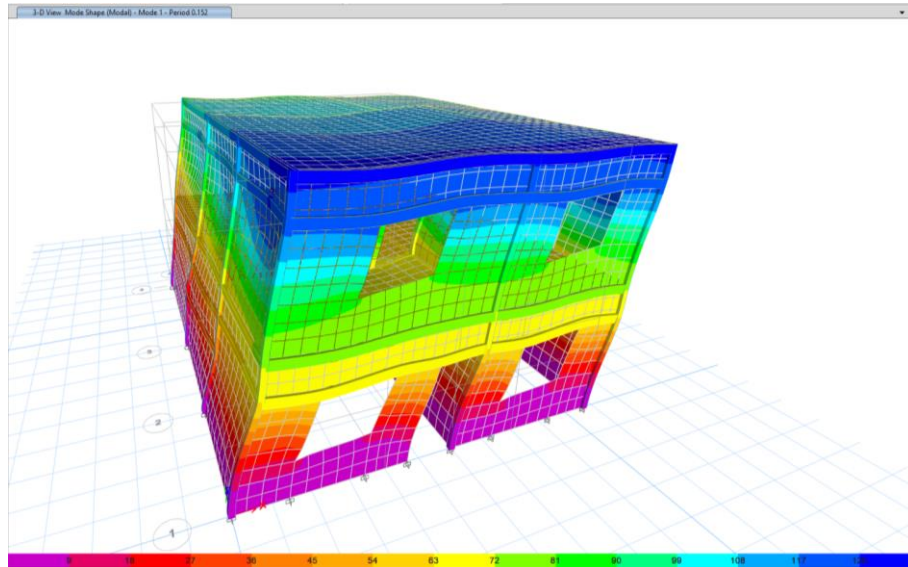


Figura 4.21. Primera forma modal de la vivienda real con $T=0.152$ s

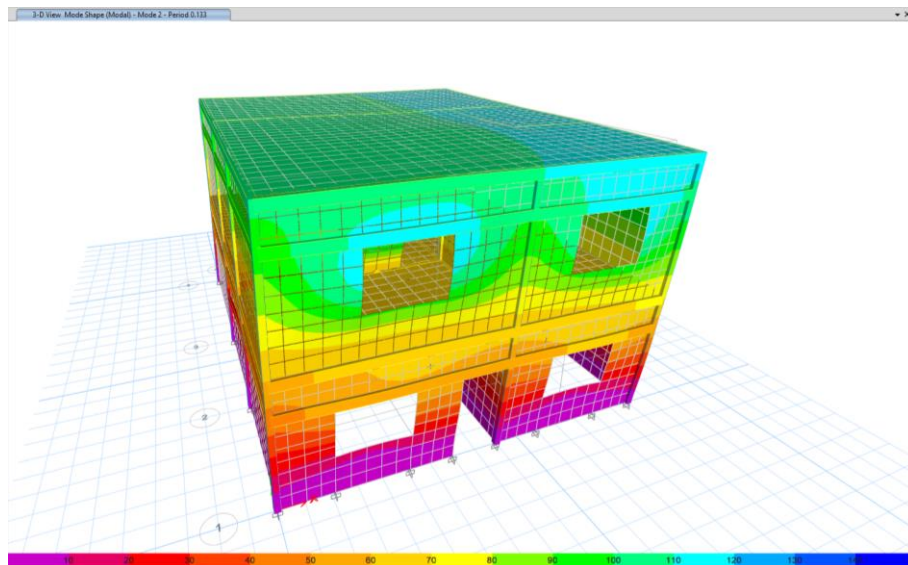


Figura 4.22. Segunda forma modal de la vivienda real con $T=0.133$ s

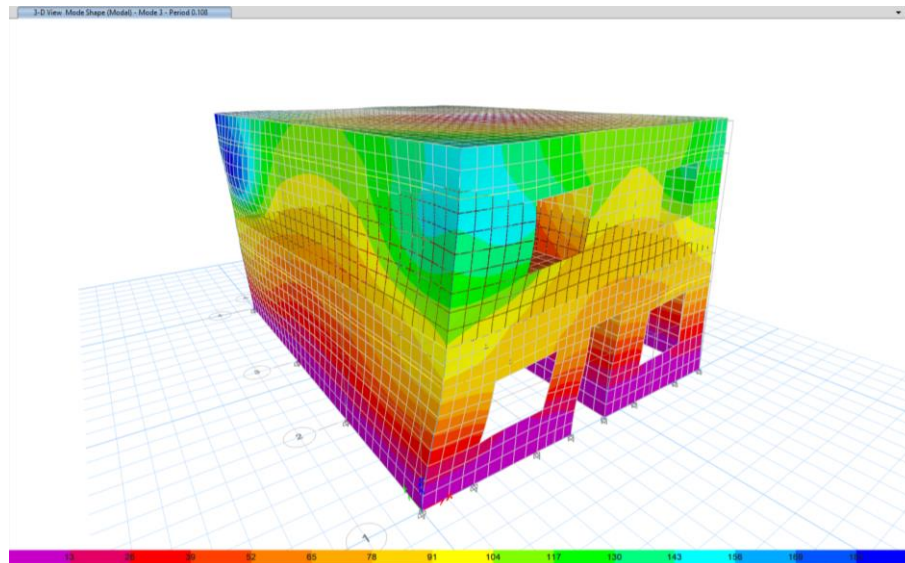


Figura 4.23. Tercera forma modal de la vivienda real con $T=0.108$ s

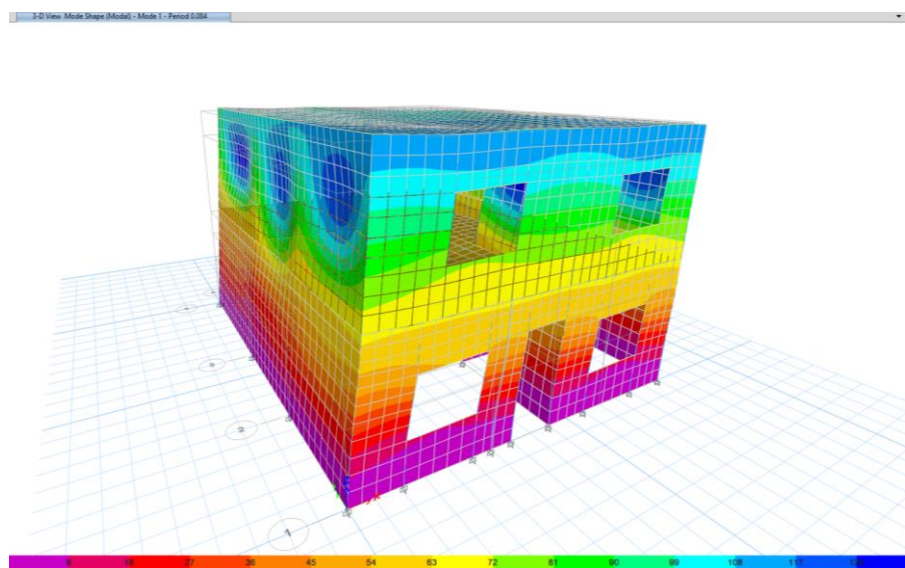


Figura 4.24. Primera forma modal de la vivienda según normativa con $T=0.084$ s

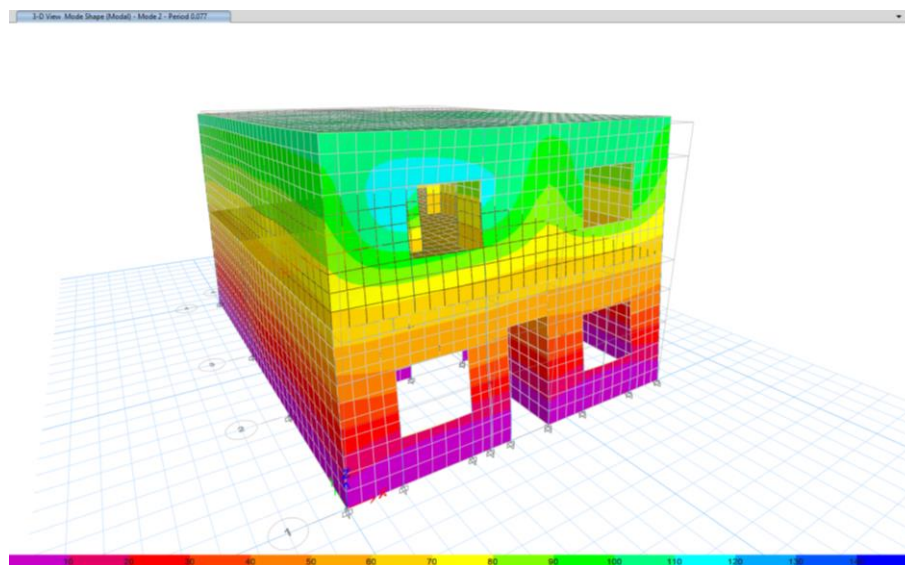


Figura 4.25. Segunda forma modal de la vivienda según normativa con $T=0.077$ s

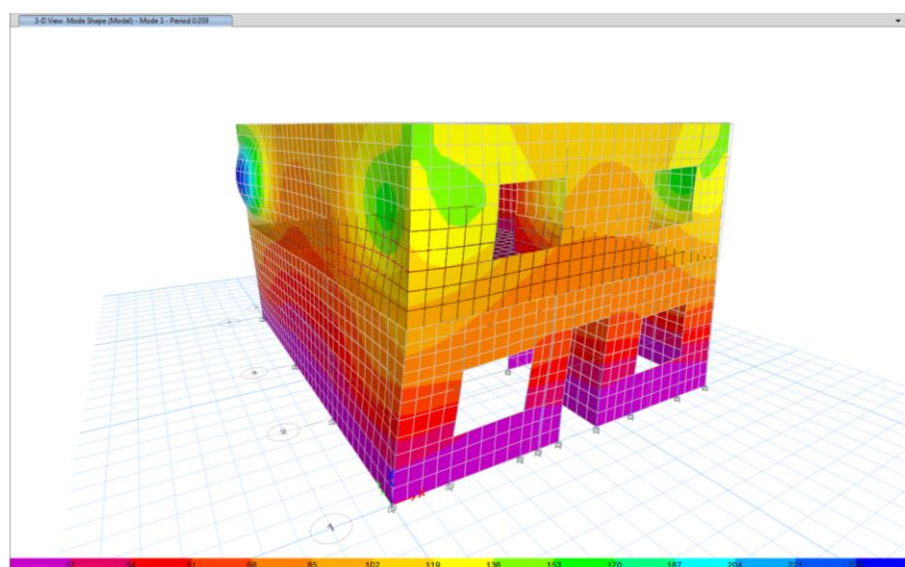


Figura 4.26. Tercera forma modal de la vivienda según normativa con $T=0.059$ s

4.5. CORTANTE BASAL

En relación al cortante basal mínimo, especificado en las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo 2020 (NTC-DS 2020), en la sección 1.7, que textualmente dice:

Si en la dirección de análisis se encuentra que la fuerza cortante basal V_o obtenida con el análisis dinámico modal especificado en la sección 6.1 es menor que $a_{min}W_o$, donde a_{min} es la aceleración como fracción de la aceleración de la gravedad para el cálculo del cortante basal mínimo de diseño, se incrementarán todas las fuerzas de diseño en una proporción tal que V_o iguale ese valor; los desplazamientos no se afectarán por esta corrección. W_o es el peso total de la estructura al nivel del desplante, y a_{min} se tomará igual a $0.04/R$ cuando $T_s < 0.5$ s o $0.06/R$ si $T_s \geq 1.0$ s, donde T_s es el periodo dominante más largo del terreno en el sitio de interés. Para valores de T_s comprendidos entre 0.5 y 1.0, a_{min} se hará variar linealmente entre $0.04/R$ y $0.06/R$ (NTC-DS 2020).

De acuerdo a lo anterior, y donde R es el factor de reducción por sobre-resistencia, indicado en la sección 4.3.4 CARGAS Y ACCIONES CONSIDERADAS, la cual tiene un valor de $R = 2.5$, y en función al tipo de terreno considerado (tipo II), el periodo dominante del estrato de terreno equivalente (T_s) tendrá un valor igual a 0.17 s (dato obtenido de PRODISIS), teniendo estos datos se harán las comparativas tomando en cuenta el peso de cada una de las estructuras, de esta forma el cortante basal mínimo quedo expresado de la siguiente manera:

REGIONAL

DATOS:

$V_{ox} = 62,455.29$ kgf (dato obtenido del modelo matemático en ETABS)

$V_{oy} = 62,475.15$ kgf (dato obtenido del modelo matemático en ETABS)

$W_o = 229,394.95$ kgf (dato obtenido del modelo matemático en ETABS)

$R = 2.5$

$$T_s = 0.17 \text{ s}$$

$$a_{min} = 0.04/R \text{ (por que } T_s < 0.5) = 0.04/2.5 = 0.016$$

$$a_{min}W_o = (0.016) (229,394.95) = 3,670.32 \text{ kgf}$$

de esta forma, y en función a la participación dinámica, se dio cumplimiento a lo indicado a la normativa (NTC-DS 2020).

NORMATIVA

$$V_{ox} = 69,463.03 \text{ kgf (dato obtenido del modelo matemático en ETABS)}$$

$$V_{oy} = 69,456.87 \text{ kgf (dato obtenido del modelo matemático en ETABS)}$$

$$W_o = 254,576.61 \text{ kgf (dato obtenido del modelo matemático en ETABS)}$$

$$R = 2.5$$

$$T_s = 0.17 \text{ s}$$

$$a_{min} = 0.04/R \text{ (por que } T_s < 0.5) = 0.04/2.5 = 0.016$$

$$a_{min}W_o = (0.016) (254,576.61) = 4,073.23 \text{ kgf}$$

De igual manera, se dio cumplimiento a lo indicado a la normativa sobre el cortante basal mínimo (NTC-DS 2020).

4.6. PARTICIPACIÓN MODAL DE MASAS

Tomando la consideración indicada en las NTC-DS 2020, en la sección 6.1 ANÁLISIS DINÁMICO MODAL, mencionando que el análisis modal deberá usar un modelo tridimensional elástico e incluir el efecto de los modos naturales que, ordenados según valores decrecientes de sus periodos de vibrar, sean necesarios para que la suma de los pesos efectivos en cada dirección de análisis sea mayor o igual a 90 por ciento del peso total de la estructura.

Revisando los resultados obtenidos del modelo matemático tridimensional, se logra observar que la participación modal de masas mínima se cumple en ambos casos

estudiados, es decir, los dos modelos cumplen con al menos el 90% de la participación modal de masas.

4.7. DESPLAZAMIENTO VERTICAL Y HORIZONTAL

En las edificaciones comunes sujetas a acciones permanentes o variables, la condición del estado límite de servicio en términos de desplazamientos se cumplirá si no se exceden los valores siguientes:

- a) Un desplazamiento vertical en el centro de trabes en el que se incluyen efectos a largo plazo, igual al claro entre 240; además, en miembros en los cuales sus desplazamientos afecten a elementos no estructurales, como muros de mampostería, que no sean capaces de soportar desplazamientos apreciables, se considerará como estado límite a un desplazamiento vertical, medido después de colocar los elementos no estructurales, igual al claro de la trabe entre 480. Para elementos en voladizo los límites anteriores se duplicarán.
- b) Un desplazamiento horizontal relativo entre dos niveles sucesivos de la estructura, igual a la altura del entrepiso dividido entre 500, para edificaciones en las cuales se hayan unido los elementos no estructurales capaces de sufrir daños bajo pequeños desplazamientos; en otros casos, el límite será igual a la altura del entrepiso dividido entre 250. Para diseño sísmico o por viento se observará lo dispuesto en las Normas correspondientes.

El desplazamiento máximo horizontal (U_x), obtenido del modelo matemático tridimensional, en el cual nos da 2 valores, un máximo positivo y un máximo negativo del eje x, por lo consiguiente tomaremos el máximo valor absoluto, en este caso será **5.08767 mm**, para el caso del eje y es de la misma manera, un máximo negativo y un máximo positivo, el cual son los que están indicados en la Tabla 4.22 y 4.23 respectivamente, se tomará el mayor valor absoluto, el cual es **3.66967 mm**.

De igual forma, para la vivienda según la normativa, se toman los valores indicados en la Tabla 4.24 y 4.25, que son los datos de los desplazamientos horizontales, y se hace lo conducente al párrafo anterior.

Para obtener los desplazamientos horizontales reales, tenemos que multiplicar los datos obtenidos en el párrafo anterior y multiplicarlos por todos los factores que afectaron al espectro de diseño transparente regional, los cuales son: el factor de amortiguamiento ($\zeta_e = 7\%$), el factor de comportamiento sísmico ($Q = 2$), el factor de reducción por sobrerresistencia ($R_o = 2.5$), el factor por redundancia ($\rho = 1$) y el factor por irregularidad ($\alpha = 1$), todos estos datos están indicados en la tabla 4.20, por lo tanto, tenemos lo siguiente:

REGIONAL

$$\Delta_{\max} = 0.005H$$

Donde:

H altura total del edificio en mm = 6,000 mm

$\Delta_{\max}$ desplazamiento máximo permisible

$$\Delta_{\max} = 0.005 (6,000 \text{ mm}) = \mathbf{30 \text{ mm}}$$

$$\Delta_{\text{real}} = (\Delta_{\text{est}}) (\zeta_e) (Q) (R_o) (\rho) (\alpha)$$

Donde:

Δ_{real} desplazamiento real

Δ_{est} desplazamiento máximo en el eje (dato obtenido con el modelo matemático, Tabla 4.22 y 4.27)

ζ_e factor de amortiguamiento

Q factor de comportamiento sísmico

R_o factor de reducción por sobrerresistencia

ρ factor por redundancia

α factor por irregularidad

$$\Delta_{\text{real}} (\text{eje x}) = (5.08767) (1.07) (2) (2.5) (1) (1) = \mathbf{27.2190 \text{ mm}}$$

$$\Delta_{\text{real}} (\text{eje y}) = (3.66967) (1.07) (2) (2.5) (1) (1) = \mathbf{19.6327 \text{ mm}}$$

Por lo tanto, aunque en el eje donde se desarrolla el periodo fundamental de la estructura, los resultados casi llegan al límite permitido, se concluye que, en ninguno de los 2 ejes, supera el desplazamiento máximo permisible.

Joint Displacements								
Story	Label	Unique Name	Output Case	Case Type	Step Type	Ux mm	Uy mm	Uz mm
Story2	2	16	COMBO 2. ACCIDENTAL X1	Combination	Min	-5.08767	-1.03086	-0.90034
Story2	12	72	COMBO 2. ACCIDENTAL X1	Combination	Max	4.97218	1.72456	0.040012

Tabla 4.22. Desplazamiento horizontal máximo en el eje X de la vivienda real.

Joint Displacements								
Story	Label	Unique Name	Output Case	Case Type	Step Type	Ux mm	Uy mm	Uz mm
Story2	84	147	COMBO 6. ACCIDENTAL Y5	Combination	Min	-1.16013	-3.66967	-0.88333
Story2	81	144	COMBO 6. ACCIDENTAL Y5	Combination	Max	1.467877	3.541272	-0.35199

Tabla 4.23. Desplazamiento horizontal máximo en el eje Y de la vivienda real.

NORMATIVA

$$\Delta_{\text{max}} = 0.005H$$

Donde:

H altura total del edificio en mm = 6,000 mm

Δ_{max} desplazamiento máximo permisible

$$\Delta_{\text{max}} = 0.005 (6,000 \text{ mm}) = \mathbf{30 \text{ mm}}$$

$$\Delta_{\text{real}} = (\Delta_{\text{est}}) (\zeta_e) (Q) (R_o) (\rho) (\alpha)$$

Donde:

Δ_{real} desplazamiento real

Δ_{est} desplazamiento máximo en el eje (dato obtenido con el modelo matemático, Tabla 4.22 y 4.27)

ζ_e factor de amortiguamiento

Q factor de comportamiento sísmico

R_o factor de reducción por sobrerresistencia

ρ factor por redundancia

α factor por irregularidad

$$\Delta_{\text{real}} (\text{eje } x) = (2.468498) (1.07) (2) (2.5) (1) (1) = \mathbf{13.2064 \text{ mm}}$$

$$\Delta_{\text{real}} (\text{eje } y) = (2.136524) (1.07) (2) (2.5) (1) (1) = \mathbf{11.4304 \text{ mm}}$$

De igual forma, se observa que los desplazamientos reales de la vivienda, estructurada de acuerdo a las normativas, tiene una mayor rigidez, que se traduce en una mayor resistencia al cortante, y por supuesto, está por demás decir, que ambos desplazamientos se encuentran dentro de los rangos permitidos.

Joint Displacements								
Story	Label	Unique Name	Output Case	Case Type	Step Type	Ux	Uy	Uz
						mm	mm	mm
Story2	1	65	COMBO 2. ACCIDENTAL X1	Combination	Max	2.468498	0.824081	0.135875
Story2	1	65	COMBO 2. ACCIDENTAL X1	Combination	Min	-2.36167	-0.802208	-0.629524

Tabla 4.24. Desplazamiento horizontal máximo en el eje X de la vivienda según normativa.

Joint Displacements								
Story	Label	Unique Name	Output Case	Case Type	Step Type	Ux	Uy	Uz
						mm	mm	mm
Story2	81	144	COMBO 6. ACCIDENTAL Y5	Combination	Max	0.873626	2.136524	-0.172242
Story2	84	147	COMBO 6. ACCIDENTAL Y5	Combination	Min	-0.540027	-2.086106	-0.547625

Tabla 4.25. Desplazamiento horizontal máximo en el eje Y de la vivienda según normativa.

Para el caso de los desplazamientos verticales, se revisa de forma visual en los resultados del modelo matemático, identificando, en este caso, que no hay vigas en puntos intermedios de la losa y se revisa el tablero con mayor deflexión en cada nivel, de esta manera podemos hacer una comparación con la deflexión máxima permisible.

En un tablero de la losa de azotea, encontramos una deflexión máxima de 3.15 mm (figura 4.27), y en un tablero de la losa de entrepiso encontramos una deflexión máxima de 4.87 mm (figura 4.28). Para la vivienda según la normativa se encontraron desplazamientos de 1.72 mm (figura 4.29) y 2.87 mm (figura 4.30), en las losas de azotea y entrepiso respectivamente, y de acuerdo a los límites establecidos, tenemos que la deflexión máxima permisible es de:

$$\text{Desplazamiento máximo permisible} = L/250 = 4000/250 = 16 \text{ mm}$$

Donde:

L Longitud máxima del tablero

Por lo tanto, los dos tableros que presentan las mayores deflexiones en cada nivel, se encuentran dentro del rango máximo establecido en las normas, tanto para la vivienda real, como la de la normativa.

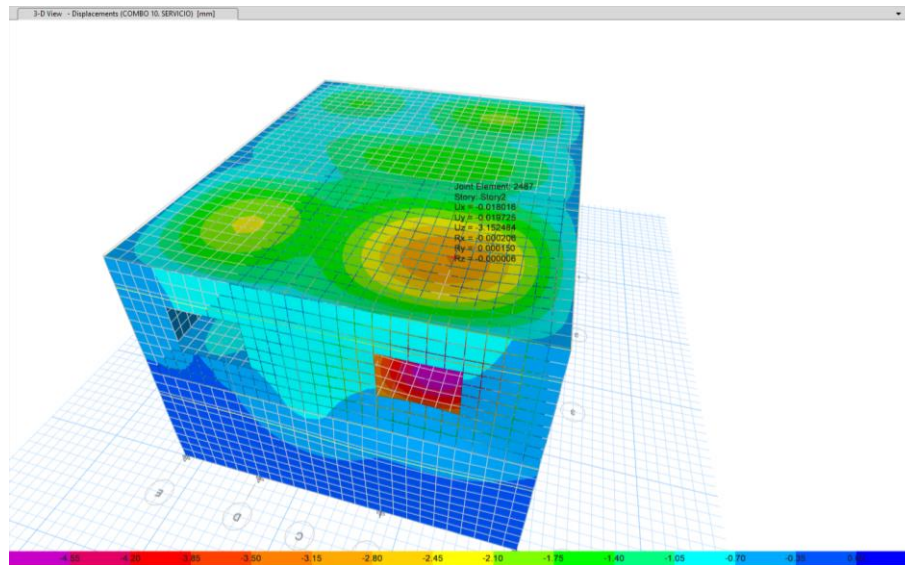


Figura 4.27. Desplazamiento vertical en losas de la vivienda real (PLANTA ALTA).

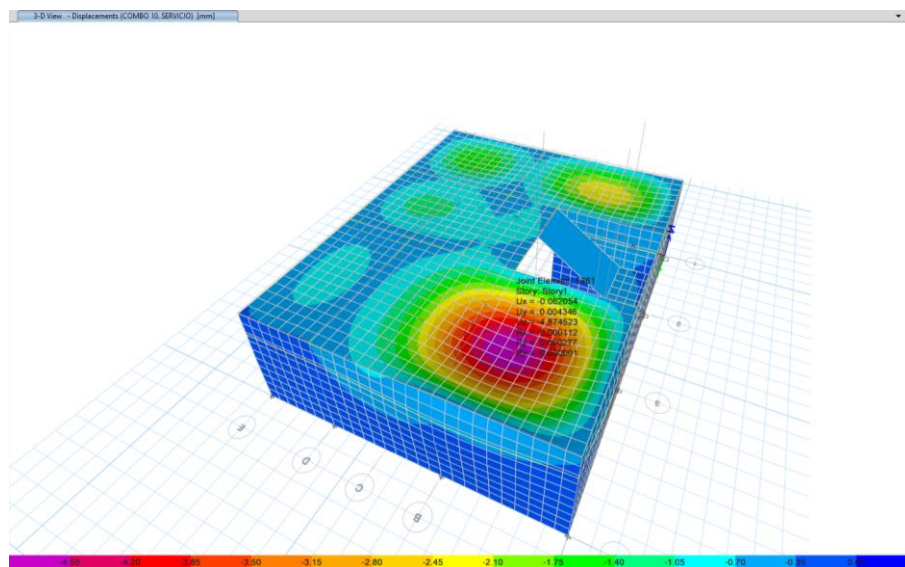


Figura 4.28. Desplazamiento vertical en losas de la vivienda real (PLANTA BAJA).

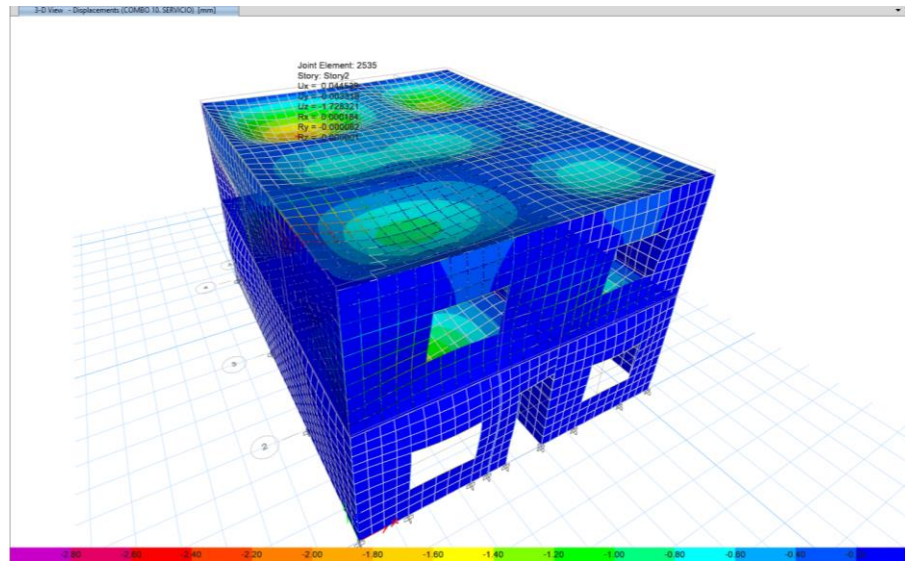


Figura 4.29. Desplazamiento vertical en losas de la vivienda según normativa (PLANTA ALTA).

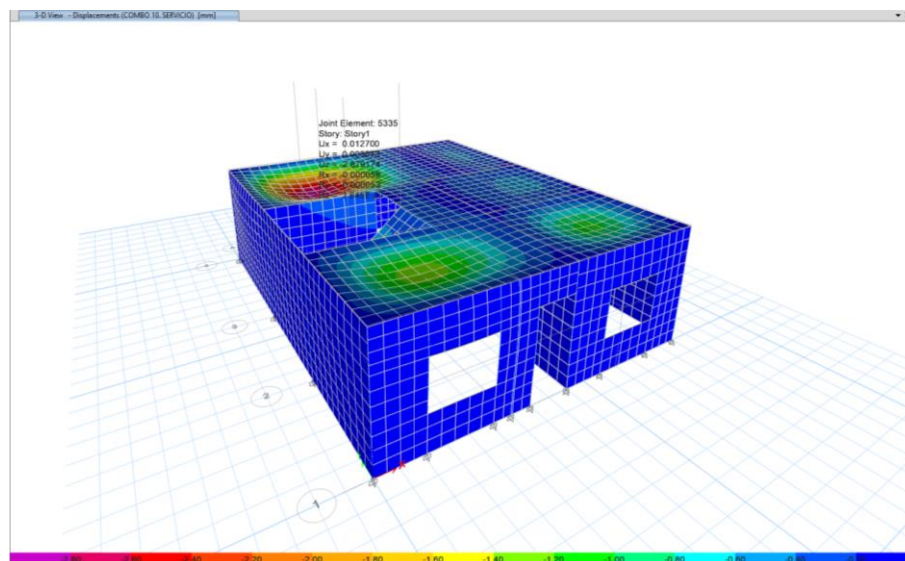


Figura 4.30. Desplazamiento vertical en losas de la vivienda según normativa (PLANTA BAJA).

4.7.1. DISEÑO ESTRUCTURAL

Las fuerzas y momentos de diseño se obtendrán a partir de los análisis indicados en las NTC-DCM 2020, empleando las cargas de diseño que incluyan el factor de carga correspondiente.

La resistencia ante cargas verticales y laterales de un muro de mampostería confinada deberá revisarse para el efecto de carga axial, la fuerza cortante, de momentos flexionantes en su plano y, cuando proceda, también para momentos flexionantes normales a su plano principal de flexión. En la revisión ante cargas laterales sólo se considerará la participación de muros cuya longitud sea sensiblemente paralela a la dirección de análisis.

4.8. DISEÑO A COMPRESIÓN

Para el diseño a compresión de los muros de mampostería confinada se tomaron los datos indicados en la Tabla 4.26, y tomando en cuenta las propiedades físicas y geométricas de los elementos estructurales, indicados en la sección 4.3.2 (Pérez, 2019, p.209).

La carga vertical resistente, P_R , se calculará como:

$$P_R = F_R F_E (f'_m A_T + \sum A_S f_y) \quad (4.3)$$

Donde:

F_E se obtendrá de acuerdo con el inciso 3.2.2 de las NTC-DCEM 2020

F_R se tomará igual a 0.6

Se hizo una revisión del acero mínimo en los castillos y en base a ello se hizo una propuesta, la cual fue de 4 vs #3, dando un área total de 2.84 cm², como está indicado en la Tabla 4.26.

Los resultados de la aplicación de los estados límite de falla, indicados en la normativa en la sección de mampostería confinada, se muestran en la Tabla 4.27 y 4.28, tanto para la vivienda real, así como para la que se está proponiendo de acuerdo a los requisitos mínimos indicados en la normativa, respectivamente y en la Tabla 4.29 están las referencias de las ecuaciones usadas en cada columna.

DATOS	VALOR	UNIDADES	DEFINICIÓN	REFERENCIA
t	12	cm	ESPESOR DEL MURO	SECCIÓN 4.3.2 (ESTE DOCUMENTO)
f'_m	10	kg/cm ²	RESISTENCIA A COMPRESIÓN PARA DISEÑO DE LA MAMPOSTERÍA	SECCIÓN 4.3.2 (ESTE DOCUMENTO)
F_R	0.6		FACTOR DE RESISTENCIA	SECCIÓN 3.1.4 (NTC-DCM 2020)
$A_{s\ min}$	1.71	cm ²	ÁREA TOTAL DE ACERO DE REFUERZO LONGITUDINAL MÍNIMA CALCULADA	SECCIÓN 5.1.1 (NTC-DCM 2020)
$A_{s\ prop}$	2.84	cm ²	ÁREA TOTAL DE ACERO DE REFUERZO LONGITUDINAL PROPUESTA	SECCIÓN 4.3.2 (ESTE DOCUMENTO)
b	12	cm	LONGITUD DE APOYO DE UNA LOSA SOPORTADA POR EL MURO	SECCIÓN 3.2.2.2 (NTC-DCM 2020)
H	300	cm	ALTURA DEL MURO	SECCIÓN 4.3.2 (ESTE DOCUMENTO)
f_y	4200	kg/cm ²	ESFUERZO DE FLUENCIA ESPECIFICADO DEL ACERO DE REFUERZO	SECCIÓN 4.3.2 (ESTE DOCUMENTO)

Tabla 4.26. Notación y valores usados en el diseño a compresión.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
MURO	e_{acc}	e_{cal}	e'	k	L' (cm)	L (cm)	At (cm ²)	FE cal	FE real	cantidad de castillos	PR (kgf)	Pu (kgf)	%	PR>P
X1	0.50	2.00	2.50	1.00	450.00	462.00	5,544.00	0.84	0.84	0.83	32,931.48	5,819.23	17.67%	VERDADERO
X2	0.50	2.00	2.50	1.00	350.00	362.00	4,344.00	1.03	0.90	0.83	28,803.73	5,183.37	18.00%	VERDADERO
X3	0.50	2.00	2.50	1.00	300.00	312.00	3,744.00	1.17	0.90	1.33	28,784.29	8,931.42	31.03%	VERDADERO
X4	0.50	0.00	0.50	0.80	350.00	362.00	4,344.00	1.64	0.90	0.66	27,708.74	9,926.87	35.83%	VERDADERO
X5	0.50	2.00	2.50	1.00	300.00	312.00	3,744.00	1.17	0.90	1.33	28,784.29	7,580.07	26.33%	VERDADERO
X6	0.50	0.00	0.50	0.80	150.00	162.00	1,944.00	3.16	0.90	0.83	15,843.73	4,450.76	28.09%	VERDADERO
X7	0.50	0.00	0.50	0.80	200.00	212.00	2,544.00	2.50	0.90	0.66	17,988.74	4,820.75	26.80%	VERDADERO
X8	0.50	2.00	2.50	1.00	300.00	312.00	3,744.00	1.17	0.90	1.00	26,658.72	6,657.01	24.97%	VERDADERO
X9	0.50	2.00	2.50	1.00	300.00	312.00	3,744.00	1.17	0.90	0.83	25,563.73	7,508.68	29.37%	VERDADERO
X10	0.50	2.00	2.50	1.00	200.00	212.00	2,544.00	1.66	0.90	0.83	19,083.73	3,588.18	18.80%	VERDADERO
Y1	0.50	2.00	2.50	1.00	300.00	312.00	3,744.00	1.17	0.90	0.83	25,563.73	6,852.77	26.81%	VERDADERO
Y2	0.50	0.00	0.50	0.80	300.00	312.00	3,744.00	1.83	0.90	0.66	24,468.74	8,884.51	36.31%	VERDADERO
Y3	0.50	2.00	2.50	1.00	300.00	312.00	3,744.00	1.17	0.90	0.83	25,563.73	6,381.29	24.96%	VERDADERO
Y4	0.50	2.00	2.50	1.00	300.00	312.00	3,744.00	1.17	0.90	0.66	24,468.74	7,642.81	31.23%	VERDADERO
Y5	0.50	0.00	0.50	0.80	300.00	312.00	3,744.00	1.83	0.90	0.83	25,563.73	4,520.75	17.68%	VERDADERO
Y6	0.50	2.00	2.50	1.00	300.00	312.00	3,744.00	1.17	0.90	0.66	24,468.74	6,717.24	27.45%	VERDADERO
Y7	0.50	2.00	2.50	1.00	400.00	412.00	4,944.00	0.92	0.90	0.83	32,043.73	9,452.07	29.50%	VERDADERO
Y8	0.50	0.00	0.50	0.80	400.00	412.00	4,944.00	1.50	0.90	0.66	30,948.74	7,994.02	25.83%	VERDADERO
Y9	0.50	2.00	2.50	1.00	400.00	412.00	4,944.00	0.92	0.90	0.83	32,043.73	8,079.43	25.21%	VERDADERO

Tabla 4.27. Cálculos de la revisión a compresión de la mampostería de la vivienda real.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
MURO	e_{acc}	e_{cal}	e'	k	L' (cm)	L (cm)	At (cm ²)	FE cal	FE real	cantidad de castillos	PR (kgf)	Pu (kgf)	%	PR>P
X1	0.50	2.00	2.50	1.00	108.00	120.00	1,440.00	2.92	0.90	1.50	40,765.68	2,587.51	6.35%	VERDADERO
X2	0.50	2.00	2.50	1.00	92.00	104.00	1,248.00	3.40	0.90	3.00	46,280.16	2,280.34	4.93%	VERDADERO
X3	0.50	2.00	2.50	1.00	100.00	112.00	1,344.00	3.14	0.90	1.50	38,692.08	2,874.27	7.43%	VERDADERO
X4	0.50	2.00	2.50	1.00	100.00	112.00	1,344.00	3.14	0.90	1.50	38,692.08	2,533.57	6.55%	VERDADERO
X5	0.50	2.00	2.50	1.00	300.00	312.00	3,744.00	1.17	0.90	1.33	89,437.09	11,973.56	13.39%	VERDADERO
X6	0.50	0.00	0.50	0.80	350.00	362.00	4,344.00	1.64	0.90	1.33	102,397.09	12,649.45	12.35%	VERDADERO
X7	0.50	2.00	2.50	1.00	300.00	312.00	3,744.00	1.17	0.90	1.33	89,437.09	12,083.99	13.51%	VERDADERO
X8	0.50	0.00	0.50	0.80	150.00	162.00	1,944.00	3.16	0.90	0.83	47,336.53	5,269.35	11.13%	VERDADERO
X9	0.50	0.00	0.50	0.80	200.00	212.00	2,544.00	2.50	0.90	0.66	59,201.54	6,687.25	11.30%	VERDADERO
X10	0.50	2.00	2.50	1.00	300.00	312.00	3,744.00	1.17	0.90	1.00	87,311.52	9,987.30	11.44%	VERDADERO
X11	0.50	2.00	2.50	1.00	300.00	312.00	3,744.00	1.17	0.90	1.00	87,311.52	11,243.24	12.88%	VERDADERO
X12	0.50	2.00	2.50	1.00	200.00	212.00	2,544.00	1.66	0.90	1.00	61,391.52	5,975.42	9.73%	VERDADERO
Y1	0.50	2.00	2.50	1.00	300.00	312.00	3,744.00	1.17	0.90	0.83	86,216.53	8,531.25	9.90%	VERDADERO
Y2	0.50	0.00	0.50	0.80	200.00	212.00	2,544.00	2.50	0.90	1.50	64,612.08	6,682.93	10.34%	VERDADERO
Y3	0.50	2.00	2.50	1.00	300.00	312.00	3,744.00	1.17	0.90	0.83	86,216.53	9,021.01	10.46%	VERDADERO
Y4	0.50	2.00	2.50	1.00	300.00	312.00	3,744.00	1.17	0.90	0.66	85,121.54	9,817.23	11.53%	VERDADERO
Y5	0.50	0.00	0.50	0.80	55.00	67.00	804.00	7.73	0.90	2.00	30,248.64	1,238.55	4.09%	VERDADERO
Y6	0.50	0.00	0.50	0.80	44.50	56.50	678.00	9.44	0.90	1.50	24,306.48	1,450.55	5.97%	VERDADERO
Y7	0.50	2.00	2.50	1.00	300.00	312.00	3,744.00	1.17	0.90	0.66	85,121.54	9,851.23	11.57%	VERDADERO
Y8	0.50	2.00	2.50	1.00	400.00	412.00	4,944.00	0.92	0.90	0.83	112,136.53	12,538.98	11.18%	VERDADERO
Y9	0.50	0.00	0.50	0.80	120.00	132.00	1,584.00	3.82	0.90	1.33	42,781.09	3,459.95	8.09%	VERDADERO
Y10	0.50	0.00	0.50	0.80	120.00	132.00	1,584.00	3.82	0.90	2.00	47,096.64	2,680.32	5.69%	VERDADERO
Y11	0.50	2.00	2.50	1.00	400.00	412.00	4,944.00	0.92	0.90	0.83	112,136.53	12,193.87	10.87%	VERDADERO

Tabla 4.28. Cálculos del diseño a compresión de la mampostería de la vivienda según normativa.

COLUMNA	CONCEPTO	DEFINICIÓN	REFERENCIA
1	MURO	ETIQUETA DE MURO	SECCIÓN 4.3.4 (ESTE DOCUMENTO)
2	e acc	EXCENRICIDAD ACCIDENTAL	SECCIÓN 3.2.2.3 (NTC-DCM 2020)
3	e cal	EXCENRICIDAD CON QUE SE TRANSMITE LA CARGA DE LA LOSA A MURO EXTREMOS	SECCIÓN 3.2.2.2 (NTC-DCM 2020)
4	e'	EXCENRICIDAD CALCULADA PARA OBTENER EL FACTOR DE REDUCCIÓN POR EXCENRICIDAD Y ESBELTEZ	SECCIÓN 3.2.2.3 (NTC-DCM 2020)
5	k	FACTOR DE ALTURA EFECTIVA DEL MURO	SECCIÓN 3.2.2.3 (NTC-DCM 2020)
6	L'	SEPARACIÓN DE ELEMENTOS QUE RIGIDIZAN TRANSVERSALMENTE AL MURO	SECCIÓN 5.3.2.2 (NTC-DCM 2020)
7	L	LONGITUD EFECTIVA DEL MURO	SECCIÓN 4.3.4 (ESTE DOCUMENTO)
8	At	ÁREA BRUTA DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL DEL MURO O SEGMENTO DEL MURO, QUE INCLUYE A LOS CASTILLOS	SECCIÓN 5.4.2 (NTC-DCM 2020)
9	Fe cal	FACTOR DE REDUCCIÓN POR EFECTOS DE EXCENRICIDAD Y ESBELTEZ (CALCULADA)	SECCIÓN 3.2.2.3 (NTC-DCM 2020)
10	Fe real	FACTOR DE REDUCCIÓN POR EFECTOS DE EXCENRICIDAD Y ESBELTEZ (UTILIZADA)	SECCIÓN 3.2.2.3 (NTC-DCM 2020)
11	cantidad de castillos	PARTE PROPORCIONAL DEL CASTILLO QUE LE CORRESPONDE A CADA MURO	SECCIÓN 5.3.1 (NTC-DCM 2020)
12	PR	RESISTENCIA DE DISEÑO DEL MURO A CARGA VERTICAL	SECCIÓN 5.3.1 (NTC-DCM 2020)
13	Pu	CARGA AXIAL DE DISEÑO	DATOS OBTENIDOS DEL MODELO (ETABS)
14	%	PORCENTAJE DE USO DE LA RESISTENCIA	SECCIÓN 4.3.9 (ESTE DOCUMENTO)
15	PR>Pu	REVISIÓN DE LA CONDICIÓN	SECCIÓN 5.3.1 (NTC-DCM 2020)

Tabla 4.29. Definición y referencia de los valores usados en el diseño a compresión.

4.9. DISEÑO A FLEXOCOMPRESIÓN

En el análisis y diseño de esta sección, se utilizó el método optativo indicado en la normativa, en el cual nos dice que, para los muros con barras longitudinales colocadas simétricamente en sus castillos extremos, sean estos externos o internos, las fórmulas simplificadas en la sección 5.3.2.2 de las NTC-DCM 2020 dan valores suficientemente aproximados y conservadores del momento flexionante resistente de diseño. Así mismo, se usan los valores de la Tabla 4.30 para el cálculo (Pérez, 2019, p.209).

El momento flexionante resistente de diseño de la sección, M_R , se calculará de acuerdo con las ecuaciones 4.4 o 4.5.

$$M_R = F_R M_0 + 0.3 P_U d, \text{ si } 0 \leq P_U \leq \frac{P_R}{3} \quad (4.4)$$

$$M_R = (1.5 F_R M_0 + 0.15 P_R d) \times 1 - \frac{P_U}{P_R}, \text{ si } P_U > \frac{P_R}{3} \quad (4.5)$$

Ecuación 4.5. Momento flexionante resistente de diseño cuando $P_U > \frac{P_R}{3}$

Donde:

M_0 $Asfyd'$ resistencia a flexión pura del muro;

A_s área total de acero de refuerzo longitudinal colocada en cada uno de los castillos extremos del muro;

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

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

P_u carga axial de diseño a compresión, cuyo valor se tomará con signo positivo en las ecuaciones 4.4 y 4.5; y

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

Para cargas axiales de tensión será válido interpolar entre la carga axial resistente a tensión pura y el momento flexionante

resistente M_0 , afectando el resultado por $F_R = 0.8$

DATOS	VALOR	UNIDADES	DEFINICIÓN	REFERENCIA
As_{prop}	2.84	cm^2	ÁREA TOTAL DE ACERO DE REFUERZO LONGITUDINAL PROPUESTA	SECCIÓN 4.3.2 (ESTE DOCUMENTO)
f_y	4200	kg/cm^2	ESFUERZO DE FLUENCIA ESPECIFICADO DEL ACERO DE REFUERZO	SECCIÓN 4.3.2 (ESTE DOCUMENTO)

Tabla 4.30. Notación y valores usados en el diseño a flexocompresión.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
MURO	L' (cm)	L (cm)	PR (kgf)	Pu (kgf)	Mo (kg-cm)	Pu _s PR/3	FR	MR (kg-cm)	MR (ton-m)	Mu (ton-m)	%	MR>Mu
X1	450.00	462.00	32,931.48	5,819.23	5,367,600.00	VERDADERO	0.80	5,100,625.28	51.01	2.32	4.55%	VERDADERO
X2	350.00	362.00	28,803.73	5,183.37	4,174,800.00	VERDADERO	0.80	3,902,753.98	39.03	2.58	6.61%	VERDADERO
X3	300.00	312.00	28,784.29	8,931.42	3,578,400.00	VERDADERO	0.80	3,698,700.91	36.99	5.11	13.81%	VERDADERO
X4	350.00	362.00	27,708.74	9,926.87	4,174,800.00	FALSO	0.60	3,376,786.65	33.77	4.99	14.78%	VERDADERO
X5	300.00	312.00	28,784.29	7,580.07	3,578,400.00	VERDADERO	0.80	3,572,214.55	35.72	3.20	8.96%	VERDADERO
X6	150.00	162.00	15,843.73	4,450.76	1,789,200.00	VERDADERO	0.80	1,647,666.94	16.48	0.62	3.76%	VERDADERO
X7	200.00	212.00	17,988.74	4,820.75	2,385,600.00	VERDADERO	0.80	2,215,079.70	22.15	1.37	6.19%	VERDADERO
X8	300.00	312.00	26,658.72	6,657.01	3,578,400.00	VERDADERO	0.80	3,485,816.14	34.86	2.35	6.74%	VERDADERO
X9	300.00	312.00	25,563.73	7,508.68	3,578,400.00	VERDADERO	0.80	3,565,532.45	35.66	1.46	4.09%	VERDADERO
X10	200.00	212.00	19,083.73	3,588.18	2,385,600.00	VERDADERO	0.80	2,136,688.25	21.37	1.06	4.96%	VERDADERO
Y1	300.00	312.00	25,563.73	6,852.77	3,578,400.00	VERDADERO	0.80	3,504,139.27	35.04	2.13	6.08%	VERDADERO
Y2	300.00	312.00	24,468.74	8,884.51	3,578,400.00	FALSO	0.60	2,780,528.41	27.81	2.80	10.07%	VERDADERO
Y3	300.00	312.00	25,563.73	6,381.29	3,578,400.00	VERDADERO	0.80	3,460,008.74	34.60	2.30	6.65%	VERDADERO
Y4	300.00	312.00	24,468.74	7,642.81	3,578,400.00	VERDADERO	0.80	3,578,087.02	35.78	1.09	3.05%	VERDADERO
Y5	300.00	312.00	25,563.73	4,520.75	3,578,400.00	VERDADERO	0.80	3,285,862.20	32.86	0.55	1.67%	VERDADERO
Y6	300.00	312.00	24,468.74	6,717.24	3,578,400.00	VERDADERO	0.80	3,491,453.66	34.91	1.05	3.01%	VERDADERO
Y7	400.00	412.00	32,043.73	9,452.07	4,771,200.00	VERDADERO	0.80	4,985,235.85	49.85	2.33	4.67%	VERDADERO
Y8	400.00	412.00	30,948.74	7,994.02	4,771,200.00	VERDADERO	0.80	4,805,020.87	48.05	4.51	9.39%	VERDADERO
Y9	400.00	412.00	32,043.73	8,079.43	4,771,200.00	VERDADERO	0.80	4,815,577.55	48.16	3.70	7.68%	VERDADERO

Tabla 4.31. Cálculos de la revisión a flexocompresión de la mampostería de la vivienda real.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
MURO	L' (cm)	L (cm)	PR (kgf)	Pu (kgf)	Mo (kg-cm)	Pu _s PR/3	FR	MR (kg-cm)	MR (ton-m)	Mu (ton-m)	%	MR>Mu
X1	108.00	120.00	40,765.68	2,587.51	1,288,224.00	VERDADERO	0.80	1,123,729.56	11.24	0.85	7.56%	VERDADERO
X2	92.00	104.00	46,280.16	2,280.34	1,097,376.00	VERDADERO	0.80	949,047.41	9.49	0.72	7.59%	VERDADERO
X3	100.00	112.00	38,692.08	2,874.27	1,192,800.00	VERDADERO	0.80	1,050,815.47	10.51	0.74	7.04%	VERDADERO
X4	100.00	112.00	38,692.08	2,533.57	1,192,800.00	VERDADERO	0.80	1,039,367.95	10.39	0.76	7.31%	VERDADERO
X5	300.00	312.00	89,437.09	11,973.56	3,578,400.00	VERDADERO	0.80	3,983,445.22	39.83	8.29	20.81%	VERDADERO
X6	350.00	362.00	102,397.09	12,649.45	4,174,800.00	VERDADERO	0.80	4,713,570.27	47.14	7.48	15.87%	VERDADERO
X7	300.00	312.00	89,437.09	12,083.99	3,578,400.00	VERDADERO	0.80	3,993,781.46	39.94	6.14	15.37%	VERDADERO
X8	150.00	162.00	47,336.53	5,269.35	1,789,200.00	VERDADERO	0.80	1,687,450.41	16.87	1.02	6.05%	VERDADERO
X9	200.00	212.00	59,201.54	6,687.25	2,385,600.00	VERDADERO	0.80	2,333,789.10	23.34	1.81	7.75%	VERDADERO
X10	300.00	312.00	87,311.52	9,987.30	3,578,400.00	VERDADERO	0.80	3,797,531.28	37.98	3.91	10.29%	VERDADERO
X11	300.00	312.00	87,311.52	11,243.24	3,578,400.00	VERDADERO	0.80	3,915,087.26	39.15	2.28	5.82%	VERDADERO
X12	200.00	212.00	61,391.52	5,975.42	2,385,600.00	VERDADERO	0.80	2,288,516.71	22.89	1.86	8.13%	VERDADERO
Y1	300.00	312.00	86,216.53	8,531.25	3,578,400.00	VERDADERO	0.80	3,661,245.00	36.61	3.43	9.37%	VERDADERO
Y2	200.00	212.00	64,612.08	6,682.93	2,385,600.00	VERDADERO	0.80	2,333,514.35	23.34	2.71	11.61%	VERDADERO
Y3	300.00	312.00	86,216.53	9,021.01	3,578,400.00	VERDADERO	0.80	3,707,086.54	37.07	3.30	8.90%	VERDADERO
Y4	300.00	312.00	85,121.54	9,817.23	3,578,400.00	VERDADERO	0.80	3,781,612.73	37.82	1.32	3.49%	VERDADERO
Y5	55.00	67.00	30,248.64	1,238.55	656,040.00	VERDADERO	0.80	549,726.86	5.50	0.18	3.27%	VERDADERO
Y6	44.50	56.50	24,306.48	1,450.55	530,796.00	VERDADERO	0.80	449,223.62	4.49	0.11	2.45%	VERDADERO
Y7	300.00	312.00	85,121.54	9,851.23	3,578,400.00	VERDADERO	0.80	3,784,795.13	37.85	1.26	3.33%	VERDADERO
Y8	400.00	412.00	112,136.53	12,538.98	4,771,200.00	VERDADERO	0.80	5,366,777.93	53.67	5.38	10.02%	VERDADERO
Y9	120.00	132.00	42,781.09	3,459.95	1,431,360.00	VERDADERO	0.80	1,282,102.02	12.82	0.70	5.46%	VERDADERO
Y10	120.00	132.00	47,096.64	2,680.32	1,431,360.00	VERDADERO	0.80	1,251,228.67	12.51	0.85	6.79%	VERDADERO
Y11	400.00	412.00	112,136.53	12,193.87	4,771,200.00	VERDADERO	0.80	5,324,122.33	53.24	5.77	10.84%	VERDADERO

Tabla 4.32. Cálculo del diseño a flexocompresión de la mampostería de la vivienda según normativa.

COLUMNA	CONCEPTO	DEFINICIÓN	REFERENCIA
1	MURO	ETIQUETA DE MURO	SECCIÓN 4.3.4 (ESTE DOCUMENTO)
2	L'	SEPARACIÓN DE ELEMENTOS QUE RIGIDIZAN TRANSVERSALMENTE AL MURO	SECCIÓN 5.3.2.2 (NTC-DCEM 2020)
3	L	LONGITUD EFECTIVA DEL MURO	SECCIÓN 4.3.4 (ESTE DOCUMENTO)
4	PR	RESISTENCIA DE DISEÑO DEL MURO A CARGA VERTICAL	SECCIÓN 5.3.1 (NTC-DCEM 2020)
5	Pu	CARGA AXIAL DE DISEÑO	DATOS OBTENIDOS DEL MODELO (ETABS)
6	Mo	MOMENTO FLEXIONANTE, APLICADO EN EL PLANO, QUE RESISTE EL MURO EN FLEXIÓN PURA	SECCIÓN 5.3.2 (NTC-DCEM 2020)
7	$P_u \leq PR/3$	REVISIÓN DE LA CONDICIÓN	SECCIÓN 5.3.2 (NTC-DCEM 2020)
8	FR	FACTOR DE RESISTENCIA EN FUNCIÓN AL RESULTADO DE LA COLUMNA 7	SECCIÓN 3.1.4 (NTC-DCEM 2020)
9	MR (kg-cm)	MOMENTO FLEXIONANTE RESISTENTE DE DISEÑO, APLICADO EN EL PLANO, EN UN MURO SUJETO A FLEXOCOMPRESIÓN EN KG-CM	SECCIÓN 5.3.2 (NTC-DCEM 2020)
10	MR (ton-m)	MOMENTO FLEXIONANTE RESISTENTE DE DISEÑO, APLICADO EN EL PLANO, EN UN MURO SUJETO A FLEXOCOMPRESIÓN EN TON-M	SECCIÓN 5.3.2 (NTC-DCEM 2020)
11	Mu (ton-m)	MOMENTO FLEXIONANTE DE DISEÑO EN TON-M	DATOS OBTENIDOS DEL MODELO (ETABS)
12	%	PORCENTAJE DE USO DE LA RESISTENCIA	SECCIÓN 4.3.9 (ESTE DOCUMENTO)
13	$MR > Mu$	REVISIÓN DE LA CONDICIÓN	SECCIÓN 5.3.2 (NTC-DCEM 2020)

Tabla 4.33. Definición y referencia de los valores usados en el diseño a flexocompresión.

4.10. DISEÑO A CORTANTE

De acuerdo a la NTC-DCEM 2020, la resistencia a cargas laterales, V_R será proporcionada por la mampostería, V_{mR} . Se acepta que parte de la fuerza cortante sea resistida por acero de refuerzo horizontal o por mallas de alambre soldado, V_{sR} , de modo que:

$$V_R = V_{mR} + V_{sR} \quad (4.6)$$

No se considerará incremento alguno de la fuerza cortante resistente por efecto de las dalas y castillos de muros confinados (NTC-DCEM, 2020).

4.10.1. FUERZA CORTANTE RESISTIDA POR LA MAMPOSTERÍA

$$V_{mR} = F_R[(0.5v'_m A_T + 0.3P) \cdot f] \leq 1.5F_R v'_m A_T f \quad (4.7)$$

Donde:

A_T área transversal del muro incluyendo a los castillos, pero sin transformar su área transversal

P carga axial, positiva en compresión, deberá considerar las acciones permanentes, variables con intensidad instantánea, y accidentales que conduzcan al menor valor y sin multiplicar por el factor de carga. (ver sección 4.3.5 COMBINACIONES DE CARGA)

f Factor que toma en cuenta la relación de aspecto del muro para calcular la resistencia al agrietamiento por tensión diagonal

Y se determina como:

$$f = \begin{cases} 1.5 \text{ si } \frac{H}{L} \leq 0.2 \\ 1.0 \text{ si } \frac{H}{L} \geq 1.0 \end{cases}$$

Para los casos intermedios de H/L , se interpolará linealmente.

v'_m Resistencia a compresión diagonal para diseño de la mampostería, referida al área bruta

F_R Factor de resistencia

4.10.2. FUERZA CORTANTE RESISTIDO POR EL ACERO DE REFUERZO HORIZONTAL

Se permitirá el uso de acero de refuerzo horizontal colocado en las juntas de mortero para resistir fuerza cortante. El refuerzo consistirá de barras corrugadas o alambres

corrugados laminados en frío que sean continuos a lo largo del muro (NTC-DCM, 2020).

No se permite el uso de armaduras planas de alambres de acero soldados por resistencia eléctrica (“escalerillas”) para resistir fuerza cortante inducida por sismo (NTC-DCM, 2020).

El esfuerzo especificado de fluencia para diseño, f_{yh} , no deberá ser mayor que 6000 kg/cm² (NTC-DCM, 2020).

La separación máxima del refuerzo horizontal, S_h , no excederá de seis hiladas ni de 45 cm (NTC-DCM, 2020).

El producto de la cuantía de refuerzo horizontal y el esfuerzo de fluencia especificado, $p_h f_{yh}$, no será inferior que 3 kg/cm² (NTC-DCM, 2020).

El valor máximo de $p_h f_{yh}$ será $0.15 f_{an} f'_m$ pero no menor que 3 kg/cm² ni mayor que $0.05 h_j f_{yh} / S_h$, donde h_j es el espesor de la junta horizontal (NTC-DCM, 2020).

La fuerza cortante resistente debida al refuerzo horizontal, V_{SR} , se calculará con:

$$V_{SR} = F_R \eta p_h f_{yh} A_T \quad (4.8)$$

Ecuación 4.7 Fuerza cortante resistente debido al refuerzo horizontal

Donde:

η factor de eficiencia del refuerzo horizontal

$$\eta = \frac{V_{mR}}{F_R p_h f_{yh} A_T} (k_0 k_1 - 1) + \eta_s \quad (4.9)$$

$$p_h \frac{A_{sh}}{s_h t} \quad (4.10)$$

$$k_0 = \begin{cases} 1.3 & \text{si } H/L \leq 1.0 \\ 1.0 & \text{si } H/L \geq 1.5 \end{cases} \quad (4.11)$$

$$k_1 = 1 - \alpha p_h f_{yh} \quad (4.12)$$

$$\eta_s = \begin{cases} 0.75 & \text{si } f'_m \geq 90 \text{ kg/cm}^2 \\ 0.55 & \text{si } f'_m \leq 60 \text{ kg/cm}^2 \end{cases} \quad (4.13)$$

El valor k_1 de no será menor que $(1 - 0.1 f_{an} f'_m \alpha)$ (NTC-DCEM, 2020).

Para casos intermedios de H/L y f'_m , se interpolará linealmente para obtener los valores de k_0 y η_s , respectivamente; $\alpha = 0.0045 \text{ kg/cm}^2$ (NTC-DCEM, 2020).

Cuando el valor de $p_h f_{yh} > 0.1 f_{an} f'_m$, el valor de η_s se multiplicará por $0.1 f_{an} f'_m / (p_h f_{yh})$ (NTC-DCEM, 2020).

4.10.3. FUERZA CORTANTE RESISTIDA POR MALLA DE ALAMBRE SOLDADO RECUBIERTA DE MORTERO

Se permitirá el uso de mallas de alambre soldado para resistir la fuerza cortante. Las mallas deberán tener, en ambas direcciones, la misma área de refuerzo por unidad de longitud (NTC-DCEM, 2020).

El esfuerzo de fluencia para diseño, f_{yh} , no deberá ser mayor que 5000 kg/cm^2 (NTC-DCEM, 2020).

Para fines de cálculo, sólo se considerará la cuantía de los alambres horizontales. Si la malla se coloca con los alambres inclinados, en el cálculo de la cuantía se considerarán las componentes horizontales (NTC-DCEM, 2020).

En el cálculo de la cuantía sólo se incluirá el espesor de la mampostería del muro, t (NTC-DCEM, 2020).

Las cuantías mínima y máxima serán las prescritas en el inciso 5.4.3.3 (NTC-DCEM, 2020).

La fuerza cortante que resistirá la malla se obtendrá como se indica en el inciso 5.4.3.4. No se considerará contribución a la resistencia por el mortero. Cuando se utiliza este tipo de refuerzo en la ecuación 4.9 se debe usar $\eta_s = 0.5$ (NTC-DCEM, 2020).

Para el caso de la vivienda que se está analizando, no cuenta con un refuerzo horizontal, por lo tanto, no tiene contribución el acero en la fuerza cortante, y únicamente será resistida por la mampostería (Tabla 4.37). Caso contrario en la vivienda diseñada con los requisitos mínimos de la normativa, se revisó el cortante y la mampostería no era suficiente para resistir esa fuerza, por lo tanto, se hace lo conducente para colocar los datos de la malla electrosoldada para reforzar esos muros (Tabla 4.38). Los datos para el cálculo de la resistencia a cortante son los siguientes (Pérez, 2019, p.206):

DATOS	VALOR	UNIDADES	DEFINICIÓN	REFERENCIA
F_R	0.70		FACTOR DE RESISTENCIA	SECCIÓN 3.1.4 (NTC-DCM 2020)
t	12.00	cm	ESPESOR DEL MURO	SECCIÓN 4.3.2 (ESTE DOCUMENTO)
H	300.00	cm	ALTURA DEL MURO	SECCIÓN 4.3.2 (ESTE DOCUMENTO)
v'_m	2.00	kg/cm ²	RESISTENCIA A COMPRESIÓN DIAGONAL	SECCIÓN 4.3.2 (ESTE DOCUMENTO)
A_n	480.00	cm ²	ÁREA NETA DE LA PIEZA	SECCIÓN 4.3.2 (ESTE DOCUMENTO)
A_b	480.00	cm ²	ÁREA BRUTA DE LA PIEZA	SECCIÓN 4.3.2 (ESTE DOCUMENTO)
f_{an}	1.00		A_n/A_n	SECCIÓN 2.1.1.1 (NTC-DCM 2020)

Tabla 4.34. Notación y valores usados en el diseño a cortante.

DATOS	VALOR	UNIDADES	DEFINICIÓN	REFERENCIA
<i>MALLA</i>	6X6-10/10		TIPO DE MALLA USADA	ESPECIFICACIONES TECNICAS
A_{sh}	0.092	cm^2	AREA DEL ACERO DE REFUERZO HORIZONTAL COLOCADA A UNA SEPARACION SH	SECCIÓN 5.4.3 (NTC-DCM 2020)
<i>REF. MURO</i>	2	LADOS	LADOS DEL MURO QUE ESTAN REFORZADOS	DE ACUERDO AL MODELO
$A_{sh\ real}$	0.184	cm^2	AREA DEL ACERO DE REFUERZO HORIZONTAL COLOCADA EN FUNCION A LOS LADOS DEL MURO	DE ACUERDO AL MODELO
S_h	15.24	cm	SEPARACION DEL ACERO DE REFUERZO HORIZONTAL EN EL MURO O DE LOS ALAMBRES HORIZONTALES DE UNA MALLA DE ALAMBRE SOLDADO	SECCIÓN 5.4.3 (NTC-DCM 2020)
p_h	0.00101	cm^2/cm	CUANTIA DE ACERO DE REFUERZO HORIZONTAL EN EL MURO	NOTACION
f_{yh}	5000	kg/cm^2	ESFUERZO DE FLUENCIA ESPECIFICADO DEL ACERO DE REFUERZO HORIZONTAL O MALLA DE ALAMBRE SOLDADO	NOTACION
$p_h f_{yh}$	5.05		PRODUCTO ENTRE LA CUANTIA Y EL ESFUERZO DE FLUENCIA DEL ACERO DE REFUERZO HORIZONTAL	SECCIÓN 5.4.3 (NTC-DCM 2020)
f'_m	40	kg/cm^2	RESISTENCIA A COMPRESION PARA DISEÑO DE LA MAMPOSTERÍA, REFERIDA AL AREA BRUTA	SECCIÓN 4.3.2 (ESTE DOCUMENTO)

Tabla 4.35. Datos para el refuerzo horizontal.

DATOS	VALOR	CONDICION	DEFINICIÓN	REFERENCIA
<i>NTC-DCEM 2020</i>	3	VERDADERO	VALOR MINIMO PARA LA CUANTIA	SECCIÓN 5.4.3 (NTC-DCEM 2020)
$0.15f_{an}f'_m$	6	VERDADERO	MALOR MAXIMO PARA LA CUANTIA	SECCIÓN 5.4.3 (NTC-DCEM 2020)
$0.05h_jf_{yh}/s_h$	16.40	VERDADERO	VALOR MAXIMO PARA LA CUANTIA	SECCIÓN 5.4.3 (NTC-DCEM 2020)
n_s	0.5		FACTOR PARCIAL DE EFICIENCIA DEL REFUERZO HORIZONTAL QUE DEPENDE DE LA RESISTENCIA A COMPRESION DE LA MAMPOSTERÍA	SECCIÓN 5.4.4 (NTC-DCEM 2020)
α	0.0045		REDUCCION DE LA RESISTENCIA A FUERZA CORTANTE NORMALIZADA POR UNIDAD DE $\phi h f_{yh}$	SECCIÓN 5.4.3 (NTC-DCEM 2020)
k_1	0.9999977		FACTOR DE CORTANTE DE UNA SECCION TRANSVERSAL	SECCIÓN 5.4.3 (NTC-DCEM 2020)
η	0.4999989		FACTOR DE EFICIENCIA DEL REFUERZO HORIZONTAL	SECCIÓN 5.4.3 (NTC-DCEM 2020)

Tabla 4.36. Datos y condiciones para el refuerzo horizontal.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
MURO	L (cm)	H/L	At	f	P	Vmr	Vmr max	Vr max > Vmr	Vu	%	Vmr>Vu	Vsr	Vs	%	Vs>Vu
X1	462.00	0.65	5,544.00	1.22	1,253.20	5,055.65	14,203.73	VERDADERO	4,436.50	87.75%	VERDADERO	9,799.00	14,854.65	29.87%	VERDADERO
X2	362.00	0.83	4,344.00	1.11	293.14	3,443.62	10,125.86	VERDADERO	5,547.91	161.11%	FALSO	7,678.00	11,121.62	49.88%	VERDADERO
X3	312.00	0.96	3,744.00	1.03	627.31	2,835.11	8,098.27	VERDADERO	7,625.52	268.97%	FALSO	6,617.50	9,452.61	80.67%	VERDADERO
X4	362.00	0.83	4,344.00	1.11	6,591.72	4,911.82	10,125.86	VERDADERO	8,681.36	176.74%	FALSO	7,678.00	12,589.82	68.96%	VERDADERO
X5	312.00	0.96	3,744.00	1.03	1,075.37	2,932.03	8,098.27	VERDADERO	2,604.69	88.84%	VERDADERO	6,617.50	9,549.53	27.28%	VERDADERO
X6	162.00	1.85	1,944.00	1.00	2,068.66	1,795.22	4,082.40	VERDADERO	2,970.86	165.49%	FALSO	3,436.01	5,231.23	56.79%	VERDADERO
X7	212.00	1.42	2,544.00	1.00	2,255.13	2,254.38	5,342.40	VERDADERO	3,797.19	168.44%	FALSO	4,496.51	6,750.89	56.25%	VERDADERO
X8	312.00	0.96	3,744.00	1.03	1,908.22	3,112.17	8,098.27	VERDADERO	5,670.95	182.22%	FALSO	6,617.50	9,729.67	58.29%	VERDADERO
X9	312.00	0.96	3,744.00	1.03	3,276.34	3,408.10	8,098.27	VERDADERO	5,982.15	175.53%	FALSO	6,617.50	10,025.60	59.67%	VERDADERO
X10	212.00	1.42	2,544.00	1.00	356.35	1,855.63	5,342.40	VERDADERO	3,634.98	195.89%	FALSO	4,496.51	6,352.14	57.22%	VERDADERO
Y1	312.00	0.96	3,744.00	1.03	524.91	2,812.96	8,098.27	VERDADERO	4,690.48	166.75%	FALSO	6,617.50	9,430.46	49.74%	VERDADERO
Y2	312.00	0.96	3,744.00	1.03	4,274.97	3,624.10	8,098.27	VERDADERO	5,346.70	147.53%	FALSO	6,617.50	10,241.60	52.21%	VERDADERO
Y3	312.00	0.96	3,744.00	1.03	688.07	2,848.25	8,098.27	VERDADERO	6,352.53	223.03%	FALSO	6,617.50	9,465.75	67.11%	VERDADERO
Y4	312.00	0.96	3,744.00	1.03	208.82	2,744.59	8,098.27	VERDADERO	4,566.72	166.39%	FALSO	6,617.50	9,362.09	48.78%	VERDADERO
Y5	312.00	0.96	3,744.00	1.03	2,077.92	3,148.88	8,098.27	VERDADERO	1,357.54	43.11%	VERDADERO	6,617.50	9,766.38	13.90%	VERDADERO
Y6	312.00	0.96	3,744.00	1.03	617.44	2,832.98	8,098.27	VERDADERO	6,828.08	241.02%	FALSO	6,617.50	9,450.48	72.25%	VERDADERO
Y7	412.00	0.73	4,944.00	1.17	821.03	4,250.86	12,147.41	VERDADERO	7,068.15	166.28%	FALSO	8,738.50	12,989.36	54.41%	VERDADERO
Y8	412.00	0.73	4,944.00	1.17	2,456.40	4,652.67	12,147.41	VERDADERO	4,397.27	94.51%	VERDADERO	8,738.50	13,391.17	32.84%	VERDADERO
Y9	412.00	0.73	4,944.00	1.17	668.47	4,213.38	12,147.41	VERDADERO	8,790.79	208.64%	FALSO	8,738.50	12,951.88	67.87%	VERDADERO

Tabla 4.37. Cálculos de la revisión a cortante de la mampostería de la vivienda real.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
MURO	L (cm)	H/L	At	f	P	Vmr	Vmr max	Vr max > Vmr	Vu	%	Vmr>Vu	Vsr	Vs	%	Vs>Vu
X1	120.00	2.50	1,440.00	1.00	517.05	1,116.58	3,024.00	VERDADERO	1,747.55	156.51%	FALSO	2,545.19	3,661.77	47.72%	VERDADERO
X2	104.00	2.88	1,248.00	1.00	959.46	1,075.09	2,620.80	VERDADERO	1,260.48	117.24%	FALSO	2,205.83	3,280.92	38.42%	VERDADERO
X3	112.00	2.68	1,344.00	1.00	1,770.90	1,312.69	2,822.40	VERDADERO	1,573.71	119.88%	FALSO	2,375.51	3,688.20	42.67%	VERDADERO
X4	112.00	2.68	1,344.00	1.00	493.18	1,044.37	2,822.40	VERDADERO	1,612.44	154.39%	FALSO	2,375.51	3,419.88	47.15%	VERDADERO
X5	312.00	0.96	3,744.00	1.03	6,169.15	4,033.81	8,098.27	VERDADERO	6,663.62	165.19%	FALSO	6,617.50	10,651.31	62.56%	VERDADERO
X6	362.00	0.83	4,344.00	1.11	8,676.85	5,397.86	10,125.86	VERDADERO	8,822.52	163.44%	FALSO	7,678.00	13,075.86	67.47%	VERDADERO
X7	312.00	0.96	3,744.00	1.03	6,467.70	4,098.39	8,098.27	VERDADERO	3,127.39	76.31%	VERDADERO	6,617.50	10,715.89	29.18%	VERDADERO
X8	162.00	1.85	1,944.00	1.00	2,097.33	1,801.24	4,082.40	VERDADERO	3,394.39	188.45%	FALSO	3,436.01	5,237.25	64.81%	VERDADERO
X9	212.00	1.42	2,544.00	1.00	2,925.66	2,395.19	5,342.40	VERDADERO	4,309.28	179.91%	FALSO	4,496.51	6,891.70	62.53%	VERDADERO
X10	312.00	0.96	3,744.00	1.03	2,481.13	3,236.09	8,098.27	VERDADERO	7,125.12	220.18%	FALSO	6,617.50	9,853.59	72.31%	VERDADERO
X11	312.00	0.96	3,744.00	1.03	4,783.74	3,734.15	8,098.27	VERDADERO	7,368.54	197.33%	FALSO	6,617.50	10,351.65	71.18%	VERDADERO
X12	212.00	1.42	2,544.00	1.00	435.07	1,872.16	5,342.40	VERDADERO	4,572.74	244.25%	FALSO	4,496.51	6,368.67	71.80%	VERDADERO
Y1	312.00	0.96	3,744.00	1.03	696.14	2,850.00	8,098.27	VERDADERO	7,049.55	247.35%	FALSO	6,617.50	9,467.50	74.46%	VERDADERO
Y2	212.00	1.42	2,544.00	1.00	3,243.66	2,461.97	5,342.40	VERDADERO	3,975.72	161.49%	FALSO	4,496.51	6,958.48	57.13%	VERDADERO
Y3	312.00	0.96	3,744.00	1.03	66.00	2,713.70	8,098.27	VERDADERO	7,245.50	267.00%	FALSO	6,617.50	9,331.20	77.65%	VERDADERO
Y4	312.00	0.96	3,744.00	1.03	364.64	2,778.30	8,098.27	VERDADERO	7,668.85	276.03%	FALSO	6,617.50	9,395.80	81.62%	VERDADERO
Y5	67.00	4.48	804.00	1.00	342.10	634.64	1,688.40	VERDADERO	613.04	96.60%	VERDADERO	1,421.07	2,055.71	29.82%	VERDADERO
Y6	56.50	5.31	678.00	1.00	214.70	519.69	1,423.80	VERDADERO	482.09	92.76%	VERDADERO	1,198.36	1,718.05	28.06%	VERDADERO
Y7	312.00	0.96	3,744.00	1.03	887.02	2,891.29	8,098.27	VERDADERO	7,839.15	271.13%	FALSO	6,617.50	9,508.79	82.44%	VERDADERO
Y8	412.00	0.73	4,944.00	1.17	872.18	4,263.43	12,147.41	VERDADERO	10,194.38	239.11%	FALSO	8,738.50	13,001.93	78.41%	VERDADERO
Y9	132.00	2.27	1,584.00	1.00	1,913.77	1,510.69	3,326.40	VERDADERO	2,414.64	159.84%	FALSO	2,799.71	4,310.40	56.02%	VERDADERO
Y10	132.00	2.27	1,584.00	1.00	31.49	1,115.41	3,326.40	VERDADERO	2,328.79	208.78%	FALSO	2,799.71	3,915.12	59.48%	VERDADERO
Y11	412.00	0.73	4,944.00	1.17	737.05	4,230.23	12,147.41	VERDADERO	9,828.89	232.35%	FALSO	8,738.50	12,968.73	75.79%	VERDADERO

Tabla 4.38. Cálculos del diseño a cortante de la mampostería de la vivienda según normativa.

COLUMNA	CONCEPTO	DEFINICIÓN	REFERENCIA
1	MURO	ETIQUETA DE MURO	SECCIÓN 4.3.4 (ESTE DOCUMENTO)
2	L	LONGITUD EFECTIVA DEL MURO	SECCIÓN 4.3.4 (ESTE DOCUMENTO)
3	H/L	RELACIÓN ENTRE ALTURA Y LONGITUD DE MURO	SECCIÓN 5.4.2 (NTC-DCEM 2020)
4	At	ÁREA BRUTA DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL DEL MURO O SEGMENTO DEL MURO, QUE INCLUYE A LOS CASTILLOS	SECCIÓN 5.4.2 (NTC-DCEM 2020)
5	f	FACTOR QUE TOMA EN CUENTA LA RELACIÓN DE ASPECTO DEL MURO PARA CALCULAR LA RESISTENCIA AL AGRIETAMIENTO POR TENSIÓN DIAGONAL	SECCIÓN 5.4.2 (NTC-DCEM 2020)
6	P	CARGA AXIAL TOTAL QUE OBRA SOBRE EL MURO, SIN MULTIPLICAR POR EL FACTOR DE CARGA	SECCIÓN 5.4.2 (NTC-DCEM 2020)
7	VmR	FUERZA CORTANTE DE DISEÑO QUE TOMA LA MAMPOSTERÍA	SECCIÓN 5.4.2 (NTC-DCEM 2020)
8	VmR Max	LÍMITE MÁXIMO DE LA FUERZA CORTANTE DE LA MAMPOSTERÍA	SECCIÓN 5.4.2 (NTC-DCEM 2020)
9	VmR Max>VmR	REVISIÓN DE LA CONDICIÓN	SECCIÓN 5.4.2 (NTC-DCEM 2020)
10	Vu	FUERZA CORTANTE DE DISEÑO QUE ACTÚA SOBRE EL MURO	DATOS OBTENIDOS DEL MODELO (ETABS)
11	%	PORCENTAJE DE USO DE LA RESISTENCIA	SECCIÓN 4.3.9 (ESTE DOCUMENTO)
12	VmR>Vu	REVISIÓN DE LA CONDICIÓN	SECCIÓN 5.4.1 (NTC-DCEM 2020)

Tabla 4.39. Definición y referencia de los valores usados en el diseño a cortante.

CAPITULO 5. RESULTADOS OBTENIDOS

5.1. RESULTADOS OBTENIDOS

De acuerdo a lo planteado en la metodología de trabajo, y tomando en cuenta todas las especificaciones, tanto de la vivienda real (Modelo A) como de la vivienda que fue diseñada y estructurada de acuerdo a lo estipulado en las respectivas normas (Modelo B), se obtuvieron los siguientes resultados presentados a continuación:

- **RESULTADO Y ANÁLISIS DE LAS VIVIENDAS**

Afortunadamente en el municipio de Cintalapa de Figueroa, Chiapas, la mayor parte de las viviendas son de un material resistente, si bien no son de la mejor calidad, ayudan a resistir las cargas gravitacionales, que según el análisis que se realizó, se verifico que son resistentes. Pero aún hay una parte importante de casas con un material que es poco seguro en términos estructurales.

Otro dato importante que nos arrojó la investigación, es que la mayoría de las viviendas son de 1 nivel, esto quiere decir que son pocas las viviendas que se ven afectadas ante la presencia de un sismo, ya que, de acuerdo al espectro de diseño usado y a las consideraciones del tipo de terreno, los valores característicos de la meseta son $T_a = 0.2s$ y $T_b = 1.4s$, (PRODISIS) y no olvidando que el espectro de diseño es una envolvente de los espectros de respuesta de varias edificaciones en diferentes periodos, se puede deducir, en base a la información del espectro, las edificaciones de mampostería de 5 niveles, serían las más afectadas.

Para poder tener una mayor certeza en los resultados, se tendría que hacer un estudio de mecánica de suelos de la región, para obtener los efectos de sitio.

- **RESULTADO Y ANÁLISIS DE LA CALIDAD DE LOS MATERIALES**

Uno de los datos fundamentales para el comportamiento estructural de las viviendas, son los materiales, y en este caso no fue la excepción.

Debido a las diferentes costumbres del uso del concreto, se ha estado perdiendo en gran medida la calidad del material, si bien, la filosofía de diseño, hace uso de factores de reducción de la resistencia y factores para aumentar la carga, esto no debe ser un

motivo para hacer las cosas mal, como fue en este caso, la mayoría de las dosificaciones que usan los trabajadores, están por debajo a lo indicado por los fabricantes, y ni que hablar de las pruebas de laboratorio, que si se hicieran, se verían a ciencia cierta, las deficiencias que tienen esos tipos de concretos.

Por otro lado, la fabricación de los mampuestos para el uso en estructuras de mampostería, también da mucho que hablar, tomando en cuenta la dosificación que usan para su elaboración, y el rendimiento que obtienen por cada bulto de cemento, podemos suponer cierta resistencia a la compresión (10 kg/cm^2), que o llegan a lo mínimo requisitado en las normas, de la misma manera, con los elaborados con arcilla cocida, como son elaborados de una forma artesanal, no tienen un control de calidad adecuado, y viéndolo desde perspectiva, son estos los materiales en los que más cuidado debemos tener, ya que son la base para la resistencia global de la estructura.

En particular, con las propiedades mínimas de la mampostería, se debe hacer notar, que si el muro lleva refuerzo horizontal, ya sea por varillas o por malla soldada, el valor mínimo que debe tener la resistencia a compresión de la mampostería f'_m , es de 40 kg/cm^2 , ya que en las condicionantes que vienen especificadas en esa sección, están en función a ese valor, y si en dado caso están por debajo de ese dato, no cumplirían, entonces, aunque en la normativa este indicado un valor mínimo de 15 kg/cm^2 o 20 kg/cm^2 , no podrán usarse esos valores por lo antes explicado.

- **RESULTADO Y ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO Y DISEÑO ESTRUCTURAL**

Este es el punto medular de la investigación, la comparativa entre los resultados de la vivienda real, a la vivienda tomando en cuenta la normativa.

Entre los aspectos importantes, se puede mencionar que algunas viviendas no cuentan con vigas en los claros grandes de la losa, esto hace que la deflexión en algunas zonas sea crítica, pero sin llegar a los límites máximos permitidos, de igual forma las secciones de los castillos, son más pequeños a los establecidos en la normativa, en el lado que está paralelo a los muros, debe de ser como mínimo de 15 cm.

Continuando con la comparativa, se hace mención también, que las cargas, y acciones consideradas, fueron las mismas en ambos casos, para que la variable fueran tanto los materiales, como en la estructuración de la vivienda.

Para la evaluación en la resistencia al cortante sísmico, la vivienda B tuvo un aumento significativo en comparación a la vivienda A, en términos numéricos, la vivienda B tuvo un incremento de fuerza cortante en más de un 250%, esto se debe a muchos factores, el principal es por la inclusión de acero de refuerzo horizontal en muros, además de la mejora de la calidad en los materiales de la mampostería.

Aunque en la vivienda A se haya construido con una dala intermedia, entre el desplante y el remate del muro, a diferencia de la vivienda B, no hubo algún incremento en la rigidez de la estructura, al contrario, se observó una diferencia importante en los periodos de una estructura y otra, haciéndose notar la ineficiencia de la dala intermedia para efectos de seguridad estructural, más que para usarse como dintel.

El cortante basal aumento en un 11%, en la vivienda B, como se había mencionado anteriormente, debido al aumento en la densidad de los elementos verticales de confinamiento y por supuesto a la calidad en los materiales usados.

Debido a la rigidez de la vivienda B, el desplazamiento horizontal disminuyo a comparación de la vivienda A, aunque en ambos casos las dos cumplieron con los estados límite de servicio, aunque la segunda alcanzando por poco los límites establecidos en las normas.

Otro detalle importante a mencionar en los resultados de la rigidez de la estructura, es que, al tener más densidad de castillos en toda la vivienda, hace que ese tipo de estructuraciones puedan caer en la rama ascendente del espectro de diseño, esto significa menor solicitaciones a la estructura, haciendo más eficientes las propuestas estructurales y que a su vez se traduce en una reducción de los costos de reparación, en dado caso estuvieran expuestas a un sismo de intensidad considerable.

En el tema del diseño estructural, los resultados fueron los teóricamente esperados, ya que, en la vivienda real, no presentaba alguna fisura o grieta que fuera provocada

por el aplastamiento, lo que indica que, aunque se haya usado material de baja calidad y construido con una estructuración deficiente, la distribución de muros es suficiente para soportar las cargas gravitacionales a las que está expuesta la estructura, tanto a compresión como a flexocompresión.

Además de esas revisiones, se analizó a detalle la correspondiente al cortante, que es la fuerza producida por sismos, usando acelerogramas sintéticos, para simular el comportamiento de un sismo real.

En ambos casos se determinó que la fuerza cortante de diseño, no era posible ser resistida únicamente por la mampostería, y se tomó una resistencia al corte $v'_m = 2.0 \text{ kg/cm}^2$, una cifra bastante conservadora y que se asemeja a los resultados que se han hecho en diferentes investigaciones, es por ello que ambas tuvieron ese mismo resultado, la diferencia está, en que la vivienda real no tiene ningún tipo de refuerzo horizontal, ya sea de malla soldada o de varillas, entonces, en el cálculo de la resistencia al corte, solo se puede opinar hasta el resistido por la mampostería, es decir, de acuerdo a los resultados, si se presenta un sismo de las características a la que fue expuesto el modelo matemático tridimensional, la vivienda sufriría daños leves y/o severos, incluso llegar al colapso, como fue el caso en muchas viviendas en el sismo del 2017.

En cambio, la vivienda estructurada bajo los lineamientos de la normativa, tiene la opción de poder agregar la resistencia que le da el acero, en el caso de esta vivienda, se hizo utilizando malla electrosoldada, ya que es un material muy comercial que está al alcance de cualquier persona, a comparación de las varillas corrugadas de diámetros de 5/16", 1/4", 3/16" y 5/32", que son poco comerciales y difíciles aplicar en viviendas en regiones lejanas a su comercialización. Al usar el refuerzo en los muros, aumentó significativamente la resistencia del muro, cumpliendo así los 3 estados límite de falla que indican en la normativa.

Cabe mencionar que las propiedades de los materiales usados en el modelo B, son hipotéticos y se usaron los valores mínimos indicados en la normativa, en la realidad en la que vivimos, es muy difícil encontrar materiales de esa calidad, aunque en

algunos lugares si los hay, pero en la mayoría de los lugares, la fabricación es de modo artesanal, esto significa que no hay un control de calidad que pueda asegurar la correcta fabricación de estos, en caso particular de los tabiques de arcilla cocida y bloques de concreto.

CAPITULO 6. CONCLUSIONES

6.1. CONCLUSIONES

Cada día y a lo largo del mundo cientos de sismos que no percibimos se registran, sin embargo, eventos como los de México 1985, Villaflores 1995 y este último, en Oaxaca en el 2017, han dejado marcada la vida contemporánea. Científicos e ingenieros de todo el mundo han priorizado la investigación de los sismos y sus efectos sobre el diseño estructural con la finalidad de disminuir el índice de pérdidas humanas e infraestructura; el uso de la tecnología digital ha contribuido a crear sistemas de prevención y estructuras más seguras. A continuación, hablaremos sobre algunas consideraciones básicas que se deben tomar en cuenta para el diseño estructural de edificaciones.

Los criterios básicos bajo los cuales se determina el análisis y diseño estructural para sismos dependen de 3 factores principales, la zonificación sísmica del terreno, tipo de suelo, y el sistema estructural a desarrollar.

Los 3 factores a desarrollar en el diseño estructural son:

Zonificación sísmica

La zonificación sísmica se determina de manera experimental, se realiza una gran cantidad de lecturas en cada región durante eventos sísmicos, se cuenta el número de eventos en un intervalo de tiempo y se agrupan datos para llegar a una regionalización; en México se tienen localizadas 4 diferentes regiones sísmicas que son congruentes con su cercanía a fallas tectónicas, al tipo de suelos de cada región y al registro histórico de los eventos sísmicos en la zona, dando en su conjunto una segmentación geográfica.

Tipo de suelo

Detectar las características del suelo independientemente de la zonificación sísmica en la que se encuentre el terreno se vuelve fundamental ya que cada tipo de suelo responde de manera diferente ante un movimiento telúrico, siendo los suelos rocosos los más firmes y resistentes ante un sismo, en comparación a los suelos blandos

(arcillosos) que por sus características mecánicas pueden causar la amplificación de las ondas sísmicas y por lo tanto efectos catastróficos en las estructuras si no se considera en el diseño.

Para conocer las características del suelo se debe realizar exploración y estudios preliminares como la geotecnia, hidrología, geofísica y mecánica de suelos, estos estudios nos permiten esclarecer la resistencia del suelo y su respuesta ante la convivencia suelo-estructura.

Sistema Estructural

La elección del sistema estructural más adecuado para el proyecto se realiza mediante un proceso de ingeniería de valor donde se evalúa la seguridad, funcionamiento y costo de los posibles sistemas estructurales a aplicar mostrando las ventajas y desventajas de cada uno, con el propósito de llegar a la solución más óptima ya sea con elementos de mampostería, concreto o metálicos. Todo esto se realiza en un cálculo estructural.

Es importante recalcar la importancia de fabricar las piezas de mampostería de una manera más controlada, de tal forma que las piezas cumplan los requisitos mínimos de calidad que se requiere para tener una vivienda segura.

Otro punto importante para tener en cuenta al ejecutar una edificación de mampostería, es que el propietario cuente con la asesoría de un profesional y a su vez con el proyecto estructural acompañado de la memoria de cálculo, esto con el fin de evitar daños mayores en las estructuras, y por supuesto, salvaguardar las vidas de sus ocupantes.

CAPITULO 7. REFERENCIAS

7.1. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alcocer, S. M. (1997). *Comportamiento sísmico de estructuras de mampostería: una revisión*. XI Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, Veracruz, México, pp. 164-191.

Arias Guevara, Al. U., Fuentes Aguilera, J. I., Granados Mendoza, V. J. (2013). *Control de calidad de las propiedades de resistencia a la compresión, absorción y peso volumétrico para las unidades de carga de mampostería, fabricados mediante procesos manuales y semi-industriales utilizando agregados de las canteras de Aramuaca y Ereguayquín de la Zona Oriental de El Salvador* (Tesis de licenciatura). Facultad Multidisciplinaria Oriental, Universidad de El Salvador, San Miguel, El Salvador, Centroamérica.

Gallegos, H. & Casabonne, C. (2005). *Albañilería estructural (tercera ed.)*. fondo editorial de la Pontificia Universidad Católica del Perú.

Normas Técnicas Complementarias para el Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería. (2020). Gaceta Oficial de la Ciudad de México. México.

Normas Técnicas Complementarias para el Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto. (2020). Gaceta Oficial de la Ciudad de México. México.

Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo. (2020). Gaceta Oficial de la Ciudad de México. México.

Normas Técnicas Complementarias sobre Criterios y Acciones para el Diseño Estructural de las Edificaciones. (2020). Gaceta Oficial de la Ciudad de México. México.

Ruiz-Sibaja, J., Vidal, F., Zebadúa, A. (2019). *Propiedades geométricas y mecánicas del bloque hueco de concreto fabricado en el área de Tuxtla Gutiérrez (Chiapas, Mex.)*. *Espacio I+D, Innovación mas Desarrollo*. VIII (21), 8-31. Doi: <http://dx.doi.org/10.31644/IMASD.21.2019.a01>

Treviño, E. (2019). Cap. 1. Introducción. Edificaciones de mampostería. (pp. 19-54).

Pérez, J. (2019), cap. 7. Ejemplos para la aplicación de las NTC-DCEM. Edificaciones de mampostería. (pp. 205-218).

CAPITULO 8. ANEXOS

8.1. ANEXOS



Anexo 8.1. Fotografía 1 del interior de la vivienda real.



Anexo 8.2. Fotografía 2 del interior de la vivienda real.



Anexo 8.3. Fotografía 3 del interior de la vivienda real.



Anexo 8.4. Fotografía 4 del interior de la vivienda real.



Anexo 8.5. Fotografía del exterior de la vivienda tipo con autoconstrucción.



Anexo 8.6. Levantamiento de información para datos estadísticos.



Anexo 8.6. Levantamiento de información para datos estadísticos.