



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

**PROPUESTA PARA LA DETERMINACIÓN DE DENSIDAD MÍNIMA DE MUROS EN
CONSTRUCCIONES DE MAMPOSTERÍA DE HASTA TRES NIVELES**

Sharon Abigail Archila Ibarra

Asesorado por el Ing. Mario Rodolfo Corzo Ávila

Guatemala, noviembre de 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**PROPUESTA PARA LA DETERMINACIÓN DE DENSIDAD MÍNIMA DE MUROS EN
CONSTRUCCIONES DE MAMPOSTERÍA DE HASTA TRES NIVELES**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

SHARON ABIGAIL ARCHILA IBARRA

ASESORADO POR EL ING. MARIO RODOLFO CORZO ÁVILA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERA CIVIL

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Ing. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Kevin Vladimir Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANA	Ing. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADORA	Inga. Karla Giovanna Judith Pérez Loarca
EXAMINADOR	Ing. José Mauricio Arriola Donis
EXAMINADOR	Ing. José Estuardo Galindo Escobar
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

PROPUESTA PARA LA DETERMINACIÓN DE DENSIDAD MÍNIMA DE MUROS EN CONSTRUCCIONES DE MAMPOSTERIA DE HASTA TRES NIVELES

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil con fecha 29 de octubre de 2020.

Sharon Abigail Archila Ibarra

Guatemala, 29 de octubre de 2022

Ingeniero
Armando Fuentes Roca
Jefe del Departamento de Estructuras
Escuela de Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala
Presente

Estimado ingeniero:

Cumpliendo con lo resuelto con la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, se procedió a la asesoría y revisión del trabajo de graduación: **“PROPUESTA PARA LA DETERMINACIÓN DE DENSIDAD MÍNIMA DE MUROS EN CONSTRUCCIONES DE MAMPOSTERÍA DE HASTA TRES NIVELES”**, presentado por la estudiante Sharon Abigail Archila Ibarra, quien se identifica con registro académico 201602593 y con el CUI 3000 96720 0101.

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


Mario Rodolfo Corzo A.
INGENIERO CIVIL
Colegiado No. 2089
Ing. Mario Rodolfo Corzo Ávila

Escuela de Ingeniería Civil
Colegiado No. 2089



LNG.DIRECTOR.246.EIC.2022

El Director de la Escuela de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el visto bueno del Coordinador de Área y la aprobación del área de lingüística del trabajo de graduación titulado: **PROPUESTA PARA LA DETERMINACIÓN DE DENSIDAD MÍNIMA DE MUROS EN CONSTRUCCIONES DE MAMPOSTERIA DE HASTA TRES NIVELES**, presentado por: **Sharon Abigail Archila Ibarra**, procedo con el Aval del mismo, ya que cumple con los requisitos normados por la Facultad de Ingeniería.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”


Ing. Armando Fuentes Roca
Director
Escuela de Ingeniería Civil



Guatemala, noviembre de 2022



LNG.DECANATO.OI.809.2022

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al Trabajo de Graduación titulado: **PROPUESTA PARA LA DETERMINACIÓN DE DENSIDAD MÍNIMA DE MUROS EN CONSTRUCCIONES DE MAMPOSTERIA DE HASTA TRES NIVELES**, presentado por: **Sharon Abigail Archila Ibarra**, después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada

Decana

Guatemala, noviembre de 2022

AACE/gaoc

ACTO QUE DEDICO A:

Mi madre

Mónica Ibarra, por creer en mí siempre, dándome un ejemplo de superación humildad y sacrificio; enseñándome a valorar todo lo que tengo. Tú amor será siempre mi inspiración.

Mis hermanas

Mónica y Lucía Archila, por siempre apoyarme y ayudarme a encontrar la luz cuando no veo de forma clara.

Mis abuelos

Carola Maldonado y Rene Pérez, por su amor incondicional e inagotable y su grandísima sabiduría; por creer en mí en cada nuevo proyecto, enseñándome que los sueños se cumplen, con perseverancia; y que los fracasos son los que más enseñanza dan.

Mi madrina

Sabi Archila, por ser una segunda madre y guía.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser la casa de estudios que me abrió las puertas a una preparación profesional, para aplicarla en el futuro en beneficio del país.
Facultad de Ingeniería	Por la formación académica recibida en el trascurso de la carrera.
Ing. Mario Corzo	Por compartir su conocimiento y experiencias, por ser un guía con sus consejos tanto en el aspecto personal y profesional, y su gran apoyo para el desarrollo de este trabajo.
Mis amigos	María Mancilla, Sedwin Ramos, Bertha Solís, Pedro Noriega, Adolfo Aguilar, Alejandro Herrera, Alejandra Zapata, Belén Contreras y José Figueroa. Por su amistad incondicional, convirtiéndose en parte de mi familia. Sin ustedes esto no hubiera sido posible.
Mis compañeros de estudio	Diego Santistebán, Rodrigo Solís, Edgar Choxom, Gerardo Ortís, María Fernanda Morataya, Diego Soto, Noé Ren, por los desvelos compartidos, la enseñanza mutua y los ánimos; por hacer de esta experiencia la mejor.

Mi familia

Por su apoyo incondicional en todo momento para alcanzar mis metas.

Mis padrinos

Por su apoyo y ser una importante influencia en mi vida.

	1.2.2.1.	Ondas Love (L).....	15
	1.2.2.2.	Ondas Rayleigh (R).....	16
1.3.		Antecedentes sísmicos	17
	1.3.1.	Terremoto de 1902.....	17
	1.3.2.	Terremoto de 1913.....	17
	1.3.3.	Terremoto de 1917 y 1918	17
	1.3.4.	Terremoto de 1942.....	18
	1.3.5.	Terremoto de 1959.....	19
	1.3.6.	Terremoto de 1976.....	19
	1.3.7.	Terremoto de Uspantán de 1985.....	20
	1.3.8.	Terremoto de Pochuta de 1991.....	20
	1.3.9.	Sismo de 10 de enero de 1998	21
	1.3.10.	Sismo del 11 de julio de 1999	21
	1.3.11.	Terremoto de El Salvador 2001.....	22
	1.3.12.	Sismo del 7 de noviembre de 2012	22
	1.3.13.	Sismo del 7 de julio de 2014	23
	1.3.14.	Sismo de 14 de junio de 2017.....	23
1.4.		Problemática de la construcción de viviendas en Guatemala ..	24
	1.4.1.	Mala implementación de un sistema constructivo ...	26
	1.4.2.	Importancia de la evaluación de la densidad mínima de muros.....	30
2.		CONSIDERACIONES GENERALES DE LA MAMPOSTERÍA	33
	2.1.	Generalidades de mampostería	33
	2.1.1.	Definición de mampostería.....	34
	2.2.	Materiales utilizados.....	35
	2.2.1.	Unidades de mampostería	35
	2.2.1.1.	Ladrillo.....	35
	2.2.1.2.	<i>Block</i> de concreto.....	37

	2.2.1.2.1.	Clasificación	38
2.2.2.	Mortero		40
	2.2.2.1.	Clasificación.....	41
	2.2.2.2.	Morteros según reacción molecular.....	41
	2.2.2.3.	Morteros según composición	42
	2.2.2.3.1.	Mortero de cemento	42
	2.2.2.3.2.	Mortero de cal.....	43
	2.2.2.3.3.	Mortero de cemento- cal.....	43
	2.2.2.4.	Morteros según sus usos.....	43
	2.2.2.4.1.	Tipo M	44
	2.2.2.4.2.	Tipo S	44
	2.2.2.4.3.	Tipo N.....	45
	2.2.2.4.4.	Tipo O.....	45
2.2.3.	<i>Grout</i>		45
2.2.4.	Acero de refuerzo		46
2.3.	Ensayos en mampostería		46
	2.3.1.	Ensayo a compresión	47
	2.3.2.	Ensayo a tensión diagonal.....	48
	2.3.3.	Ensayo de adherencia	49
3.	CARACTERÍSTICAS DE LOS MUROS DE MAMPOSTERÍA		51
	3.1.	Normas y reglamentos.....	51
	3.2.	Sistema tipo cajón	52
	3.3.	Muros de mampostería.....	52
	3.3.1.	Muros portantes.....	53
	3.3.1.1.	Muros simples.....	53
	3.3.1.2.	Muros reforzados.....	53
	3.3.1.3.	Muros confinados	54

3.3.2.	Muros no portantes	56
3.4.	Consideraciones de diseño	56
3.4.1.	Diseño arquitectónico	57
3.4.2.	Diseño estructural	57
3.4.3.	Coordinación modular	57
3.5.	Parámetros de vulnerabilidad.....	58
3.5.1.	Calidad de los materiales	58
3.5.2.	Configuración geométrica	59
3.5.2.1.	Configuración irregular	60
3.5.2.1.1.	Irregularidad horizontal.....	60
3.5.2.1.2.	Irregularidad vertical.....	61
3.5.3.	Densidad mínima de muros.....	62
3.5.3.1.	Cantidad mínima de muros	63
3.5.4.	Continuidad de muros	63
3.5.5.	Aberturas en muros.....	63
3.5.5.1.	Irregularidad en la rigidez.....	64
3.6.	Fallas en los muros de mampostería	65
4.	ANÁLISIS DE COMPARACIÓN PARA EL CÁLCULO DE LA DENSIDAD MÍNIMA DE MUROS.	67
4.1.	Primer caso. Cálculo de la densidad mínima de muros según normativa de la Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica (AGIES) de Guatemala.....	76
4.1.1.	Densidad mínima de muros de mampostería.....	78
4.2.	Segundo caso. Cálculo de la densidad mínima de muros según Código Sísmico de Costa Rica	80
4.3.	Tercer caso. Cálculo de la densidad mínima de muros según normativa E 070 albañilería de Perú	82

4.3.1.	Zonificación sísmica	83
4.3.1.1.	Cálculo de aceleración máxima de suelo	86
4.3.2.	Densidad de muros.....	89
4.4.	Cuarto Caso. Cálculo de la densidad mínima de muros según normativa de sismología de Venezuela.	93
4.5.	Cuarto Caso. Cálculo de la densidad mínima de muros según Reglamento Colombiano de Construcción Sismorresistente (NRS-10).....	94
4.6.	Análisis de resultados.....	99
CONCLUSIONES		109
RECOMENDACIONES.....		113
BIBLIOGRAFÍA.....		115
APÉNDICES		119
ANEXOS.....		123

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Placas tectónicas en Guatemala.....	3
2.	Dirección del movimiento del efecto Subducción	4
3.	Falla normal	8
4.	Falla inversa.....	9
5.	Fallas de desgarre.....	10
6.	Fallas geológicas de Guatemala	11
7.	Ondas de empuje o compresión	13
8.	Ondas de Corte.....	14
9.	Ondas Love.....	15
10.	Ondas Love, terremoto de 1976.....	16
11.	Ondas Rayleigh.....	16
12.	Tipos de Ladrillos	36
13.	Tipos de <i>blocks</i>	38
14.	Clases de <i>block</i> según norma	39
15.	Ensayo a compresión en mampostería	47
16.	Ensayo a tensión diagonal	48
17.	Modos de falla a tensión diagonal.....	49
18.	Ensayo de adherencia en mampostería.....	50
19.	Mampostería reforzada	54
20.	Mampostería confinada.....	56
21.	Ejemplo de simetría y asimetría en muros portantes	61
22.	Irregularidad en rigidez.....	65
23.	Modos de falla en muros de mampostería	66

24.	Planta primer nivel	68
25.	Planta segundo nivel.....	69
26.	Planta tercer nivel	70
27.	Planta acotada e identificación de muros primer nivel	71
28.	Planta acotada e identificación de muros segundo nivel	72
29.	Planta acotada e identificación de muros tercer nivel	73
30.	Mapa de amenaza sísmica	76
31.	Zonificación del territorio peruano.....	84
32.	Zonificación del territorio Guatemalteco.....	85
33.	Mapa de zonificación sísmica de Colombia.	96
34.	Gráfica de longitudes mínimas en metros por nivel.	100
35.	Gráfica de comparación de longitudes mínimas requeridas respecto a la longitud real.....	101
36.	Gráfica de proporción de áreas se sección transversal de muros respecto al área de planta de la vivienda.....	103
37.	Gráfica de comparación de áreas mínimas respecto al área real de planta de la vivienda.	104
38.	Comparación de longitudes mínimas de muros portantes	106
39.	Placas tectónicas ubicadas en América Central y América del Sur.	107

TABLAS

I.	Datos de planta de vivienda de tres niveles.....	67
II.	Metros lineales de muros portantes primer nivel.....	74
III.	Metros lineales de muros portantes segundo y tercer nivel	75
IV.	Parámetros para longitud de paredes mínima según amenaza de alta sismicidad.	77
V.	Metros lineales totales de muros en cada dirección	79
VI.	Verificación de levantado mínimo de pared en cada eje.....	80

VII.	Verificación de levantado mínimo de pared en cada eje según código costarricense	82
VIII.	Criterios para la determinación de la aceleración máxima de sismo....	87
IX.	Parámetros equivalentes para Guatemala.	90
X.	Área de muros primer nivel	91
XI.	Área de muros segundo y tercer nivel.....	92
XII.	Factor de densidad de muros por zona sísmica.....	95
XIII.	Porcentaje mínimo de muros portantes.....	98
XIV.	Normas que proporcionan dimensión mínima de muros en metros de forma directa.	99
XV.	Normas que poseen un parámetro porcentual equivalente para la densidad de muro.....	102
XVI.	Longitud mínima de muros según normativas.....	105

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
AMSd	Aceleración máxima sísmica
H	Altura de nivel
Ap	Área de planta
Lt	Área del muro
Fa	Coefficiente de sitio para períodos de vibración cortos
Na	Coefficiente por proximidad de las amenazas especiales para períodos de vibración cortos.
t	Espesor de pared
Mo	Factor de conversión según zona sísmica
Kd	Factor de determinación de los niveles de diseño
U	Factor de importancia de obra
S	Factor de modificación de aceleración sísmica
Z	Factor de zona sísmica
hrs	Horas
Io	Índice de sismicidad
Km	Kilometro
L	Longitud de muros de mampostería
Lm	Longitud mínima de muros
Mw	Magnitud por momento
Ms	Magnitud por ondas superficiales
DT	Mampostería de doble tabique central
UT	Mampostería de un tabique central
m	Metro

m²	Metro cuadrado
ml	Metros lineales
mm	Milímetros
N	Número de niveles de la vivienda
Scs	Ordenada espectral ajustada
Scr	Ordenada espectral de período corto
%	Porcentaje
f'm	Resistencia especificada a la compresión de la mampostería.

GLOSARIO

AGIES	Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica.
Amplitud	Medida de la variación máxima del desplazamiento u otra magnitud física que varía periódicamente en el tiempo. Es la distancia entre el punto más alejado de una onda y el punto de equilibrio o medio.
ASTM	American Society for Testing and Materials (Sociedad Americana para Ensayos y Materiales).
COGUANOR	Comisión Guatemalteca de Normas.
Epicentro	Centro superficial del área de perturbación de un fenómeno sísmico, situado sobre el hipocentro.
Escarpe	Declive áspero del terreno.
Esfuerzo	Fuerza por unidad de área.
FHA	Instituto de Fomento de Hipotecas Aseguradas.
Grout	Lechada de concreto. Mezcla de material cementante y agua, con o sin agregados, para llenar espacios y

garantizar la continuidad entre los elementos de la dosificación.

Hipocentro

Punto del interior de la corteza terrestre donde tiene origen un terremoto.

Mampostería

Sistema tradicional de construcción que consiste en erigir muros y paramentos, para diversos fines, mediante la colocación manual de los elementos o los materiales que los componen (denominados mampuestos).

MEGAPRODUCTOS

Empresa guatemalteca dedicada a la fabricación de materiales de concreto.

Método constructivo

Conjunto de normas, materiales, técnicas, herramientas, procedimientos y equipos que son característicos para la construcción de un tipo de edificación en particular.

Movimiento Elíptico

Movimiento que realiza un cuerpo y en cuya trayectoria se simula la silueta de un círculo achatado en sus dos extremos.

Movimiento Oscilatorio

Movimiento periódico de vaivén en torno a una posición central, denominada posición de equilibrio.

Sismo	Serie de vibraciones de la superficie terrestre generadas por un movimiento brusco y repentino de las capas internas (corteza y manto).
Terremoto	Cualquier movimiento sísmico de gran magnitud que produce daños de importancia en infraestructura y pérdidas humanas.
UBC	Uniform Building Code (Código Uniforme de la Edificación).
Unidad	Elemento básico de la construcción de mampostería que puede ser elaborado de arcilla, concreto y otro material.
<i>Webinar</i>	Conferencia en línea en video, grabado o en vivo, que comparte información y permite la interacción con los participantes.

RESUMEN

Guatemala se encuentra en una región donde convergen tres placas tectónicas, convirtiéndolo en un país con mucha actividad sísmica, por lo tanto es sumamente importante realizar un buen análisis y diseño estructural, implementando métodos adecuados según las características de la obra civil, como lo es el sistema constructivo de mampostería de concreto el cual es amigable y económico, lo que permite realizarle diferentes modificaciones en el futuro, además de caracterizarse por tener una alta resistencia ante eventos sísmicos.

Es debido a ello que resulta de gran interés en la ingeniería civil el estudio de la adaptación de un sistema de cálculo sencillo, eficaz y rápido para la determinación de la densidad mínima de muros en una edificación, teniendo en consideración que este parámetro permite establecer si la construcción a desarrollarse es apta para resistir fuerzas provocadas por los sismos, debido a que las paredes portantes son las encargadas de resistir tanto las cargas verticales como las horizontales y de esta forma evitar daños estructurales.

El presente trabajo se enfoca en el estudio comparativo de los diferentes métodos nacionales como internacionales para determinar el parámetro de densidad mínima de muros para una vivienda unifamiliar de tres niveles, la cual consiste en determinar la longitud mínima de muros portantes que requiere la vivienda para poseer un comportamiento sismorresistente, demostrando que las regiones de alta sismicidad tendrán que proporcionar una longitud mayor de muros portantes debido a los movimientos telúricos constantes a los que se encuentran sometidos.

OBJETIVOS

General

Analizar la metodología del cálculo de densidad de muros portantes por medio de una comparación de las normativas internacionales, nacionales y método matemático.

Específicos

1. Fundamentar un sistema alternativo para la determinación de densidad de muros de carga en Guatemala.
2. Determinar que metodología se adecua ante las necesidades constructivas del país.
3. Comprender la necesidad de la determinación de la densidad mínima de muros en un predimensionamiento de una vivienda.

INTRODUCCIÓN

En Guatemala el método constructivo más utilizado es a través de la mampostería reforzada, llegando a ser considerado como un sistema popular en los últimos años. Según el informe de los censos habitacionales en el año 2002, se reportó que el 44 % de las viviendas del país ya contaban con este método y, para el 2018 hubo un crecimiento significativo reportándose que en el 56 % de las viviendas predomina la mampostería de concreto, considerándose, así como uno de los mejores sistemas constructivos de Centroamérica, por medio de las estructuras de cajón.

A pesar de ser este uno de los mejores sistemas, al momento de llevarlo a cabo se ha encontrado que no se analizan de forma correcta los parámetros mínimos para la estabilidad ante sismos, llegando a formarse la falsa creencia que los únicos elementos que sostienen la estructura ante estas fuerzas son las soleras y mochetas, lo que genera el descuido de los muros portantes, que son los principales componentes para soportar estas cargas.

Por esta razón la determinación de la cantidad de paredes según la distribución de una planta de una estructura de mampostería se vuelve sumamente importante, al establecer la densidad mínima de muros, se permite el análisis para conjeturas premeditadas y reducir el riesgo ante una eventualidad sísmica.

A base de un estudio experimental se busca determinar una alternativa que facilite el método matemático para establecer la apropiada distribución de las paredes en los ejes de una configuración de planta, y así poder hacer conciencia

de la importancia en la ingeniería civil de establecer la obligatoriedad de las normativas para el cumplimiento de requisitos mínimos en las construcciones para brindar viviendas seguras a los ciudadanos guatemaltecos.

1. ANTECEDENTES

En la actualidad el sistema constructivo más popular desarrollado en el país comentó Monzón en el año 2014 que es la mampostería reforzada, para el caso de viviendas y se debe principalmente a la buena respuesta estructural ante fenómenos sísmicos.

Uno de los primeros registros que se tiene sobre la implementación de mampostería en el país es la Iglesia La Ermita de la Concepción ubicada en el municipio de Salcajá, Quetzaltenango, edificándose en el año de 1524, por el método europeo.

En un inicio la mampostería utilizada eran adobes, implementándose para desarrollar grandes edificaciones. Pero debido a los diversos eventos sísmicos que se han desarrollado en la historia de Guatemala, se han recurrido a nuevos sistemas constructivos.

De tal forma que en el año de 1925 después de los terremotos de los años 1917 y 1918 que destrozaron el Valle de Guatemala, se crea la necesidad de buscar nuevos sistemas de construcción de viviendas adoptando la mampostería de concreto. Lo que ocasiona que en el año de 1962 se aprueben los requisitos básicos para la construcción, impuestos por el Instituto de Hipotecas Aseguradas (FHA), siendo un gran aporte para la construcción.

El punto de partida para el crecimiento del uso de este tipo de sistemas surge en el año de 1976, debido al evento sísmico de gran magnitud que se produjo en el país, demostrando la vulnerabilidad que presentaba el sector

constructivo, ocasionando que en los años de 1980 a 1990 sin necesidad de una regulación de un nuevo sistema constructivo, se registrará que el 95 % de las edificaciones que poseía el país fueran sustituidas por mampostería confinada.

De acuerdo con los estudios desarrollados, se puede afirmar que este tipo de métodos constructivos es resistente a los movimientos ocasionados por eventos sísmicos debido a sus propiedades constructivas.

Se han desarrollado una diversidad de estudios sobre este tipo de sistema constructivo, con la búsqueda de implementación de una normativa, evaluando la eficacia que posee dicho método en el país, permitiendo comprobar métodos empíricos de construcción.

San Velásquez en el año de 2012, logró definir que el diseño de las viviendas de mampostería en Guatemala no tiene una reglamentación unificada y carece de supervisión en los procedimientos, dando lugar a la vulnerabilidad que se atribuye principalmente a los detalles constructivos y deficiente calidad de los materiales utilizados.

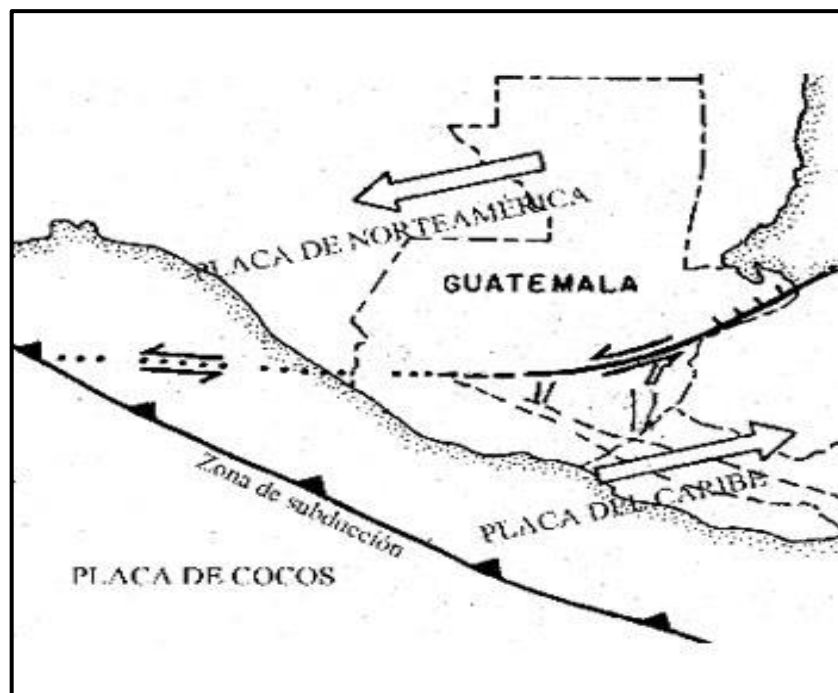
Por otra parte, Brito Velazco en 2013 estableció que en Guatemala no se toman las consideraciones necesarias para evitar la formación de lo que se le denomina piso suave, en las estructuras de mampostería, se desarrollan plantas con formas geométricas irregulares ocasionando desfases en la transición de cargas, lo que puede generar deformaciones altas en zonas débiles, generando colapso de la estructura por sismos. Lo que permite sustentar la necesidad de la normalización obligatoria de uno de los parámetros fundamentales para la construcción de mampostería en Guatemala.

1.1. Situación sísmica en Guatemala

Estudios geográficos han determinado que Guatemala debido a su ubicación posee mayores riesgos de sufrir actividad sísmica llegando a ser considerada su ubicación como zona de alta sismicidad.

En el territorio nacional atraviesan tres placas tectónicas siendo ellas la Placa de Norteamérica que va desde la rivera norte del río Motagua hasta Alaska, la Placa del Caribe, iniciando en la rivera del sur del río Motagua hasta Panamá y la Placa de Cocos, considerada la más pequeña de las tres, comenzando en el Océano Pacífico hasta chocar con la Placa del Caribe.

Figura 1. Placas tectónicas en Guatemala

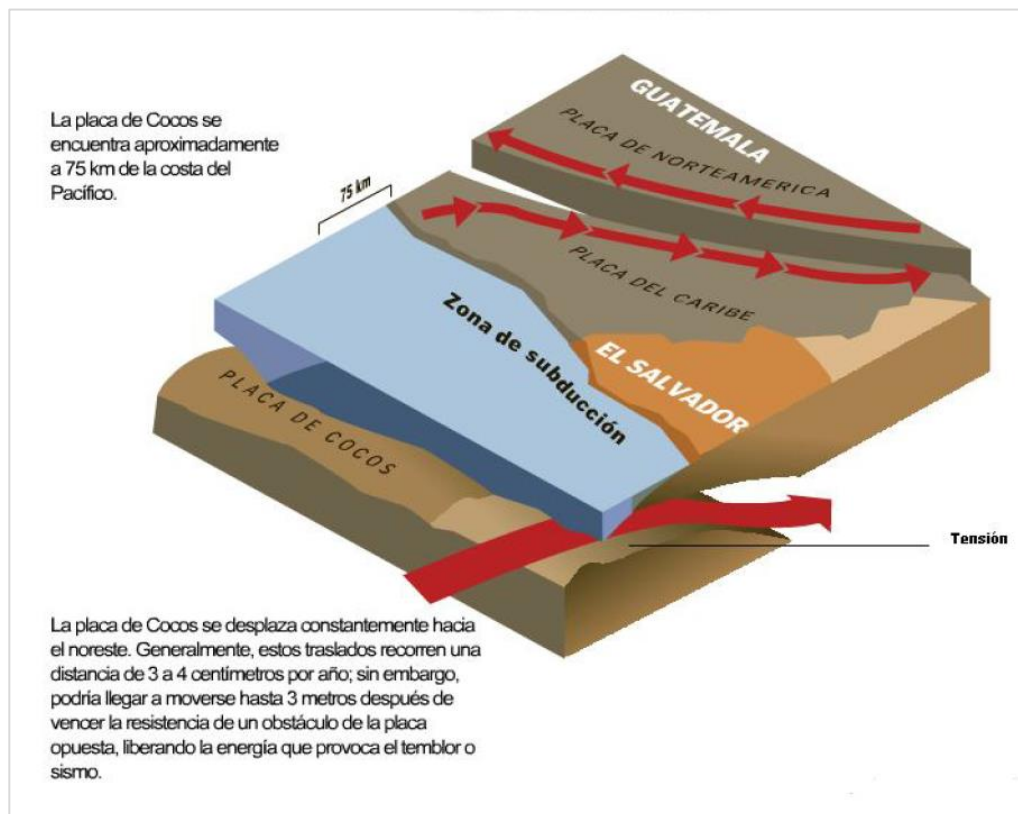


Fuente: INSIVUMEH. *Sismología*. <http://www.insivumeh.gob.gt/geofisica/indice%20sismo.htm>.

Consulta: marzo de 2021.

Provocando una de las principales fuentes de sismos debido al efecto geológico denominado subducción, lo que origina una gran cantidad de temblores y formaciones volcánicas, que a su vez generan deformaciones internas en la Placa del Caribe produciendo fallamientos secundarios. Dentro de la fosa se distinguen dos zonas, la primera conocida como subducción superficial, localizada aproximadamente a 120 km de la costa, donde la placa de Cocos inicia a sumergirse bajo la Placa del Caribe, y la segunda llamada subducción intermedia y profunda, localizada ya bajo el continente.

Figura 2. **Dirección del movimiento del efecto Subducción**



Fuente: KNUDSON, C. F. y Servicio Geológico de Estados Unidos, USGS. *terremoto de Guatemala 1976*. p. 56.

La Placa del Caribe tiene contacto con la Placa de Norteamérica ocasionando que sea trascúrrrete y se manifiesta en la superficie como las fallas de Chixoy-Polochic y la falla del Motagua. El movimiento entre éstas determina los rasgos topográficos principales del país, como la distribución de los terremotos y volcanes.

1.1.1. Fallas geológicas

Se denomina falla geológica a la fractura de la corteza terrestre a lo largo de la cual se mueven los bloques rocosos que son separados por ella. Donde las fuerzas actúan sobre la zona de la falla, de forma que los bloques de roca laterales se desplazan, generando movimientos sísmicos, manifestando terremotos o sismos, pues al ser superficies rocosas no existe un sistema que permita suavizar el deslizamiento entre estas.

La zona de ruptura tiene una superficie generalmente definida a la que se le denomina plano de falla y su formación se encuentra acompañada de un deslizamiento tangencial de las rocas respecto a este plano.

Si la actividad en una falla es repentina y brusca, se puede llegar a producir un Terremoto de gran magnitud, provocando incluso ruptura en la superficie terrestre, llegando a evidenciarse en la superficie del terreno en forma de escarpe de falla.

1.1.1.1. Clasificación de fallas de acuerdo con su movimiento

Al generarse un temblor las ondas sísmicas que se propagan en todas direcciones llegan a provocar que se den movimientos en el suelo tanto de forma horizontal, vertical o en una combinación de ambos.

En lugares donde la componente vertical del movimiento es mayor que los horizontales, generalmente lugares cercanos al epicentro, se le denomina movimiento trepidatorio, pero la onda al seguir viajando atenúa las componentes y al tocar suelo blando, las componentes horizontales se amplifican y se dice que los movimientos son oscilatorios.

Guatemala se ha caracterizado por tener este último movimiento, según registros de los eventos sísmicos más importantes que ha sufrido el país se ha podido establecer que los movimientos provocados son de tipo oscilatorio es decir horizontales, y de ondas superficiales. Aunque se debe de aclarar que, debido a la ubicación del país, puede llegar a recibir el embate de las fuerzas telúricas tanto trepidantes u oscilatorias, debido las diferentes placas tectónicas que se ubican en la región.

Un claro ejemplo de la combinación de movimientos es el Terremoto del 19 de septiembre de 1985 en la ciudad de México, en el que el movimiento inicial fue trepidatorio y mientras iba disminuyendo su actividad se transformó en oscilatorio.

Los registros indican que la ciudad de México se encuentra en una zona rodeada por zonas de sedimentos y rocas, y ocasiono que la onda sísmica quedara atrapada en el terreno acuoso del valle en el que está asentada. Una

vez ahí, se produjo un fenómeno de resonancia, ocasionando un aumento en la amplitud del movimiento sísmico debido al movimiento colectivo de las arcillas del subsuelo.

Según estudios, un sismo al pasar de un terreno duro a uno blando bruscamente ocurre una transferencia de energía de las ondas sísmicas entrantes a ondas longitudinales, provocando que el movimiento se amplíe.

México tras lo sucedido en 1985 comenzó a tener un cambio de mentalidad en la concepción de las edificaciones, de manera que cada construcción obedecería a un enfoque de preparación para escenarios incluso peores al terremoto de 8,2 grados en la escala de Richter mencionó Espíndola en el año 2012, reformando por completo al país, promoviendo la creación de instituciones de prevención y mitigación de catástrofes naturales y sistemas de protección civil.

Además, de la creación de reglamentos constructivos y normas técnicas, que supervisan y obligan a cada edificación a construir presentando proyectos, planos, memorias de cálculo y siendo avalado por directores de obras.

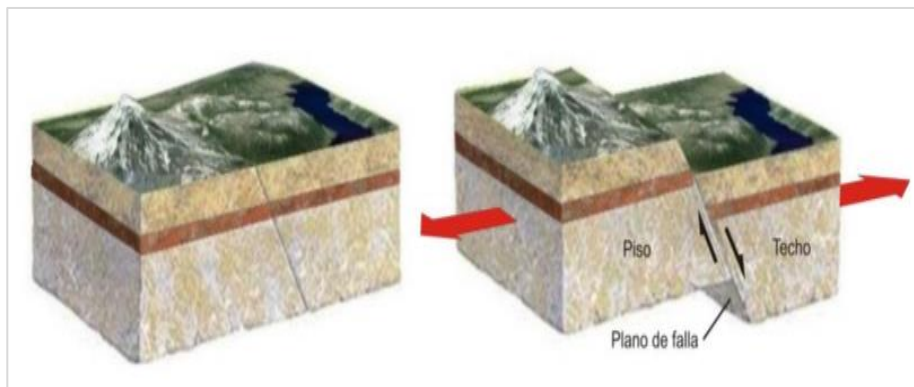
Visualizando el gran avance que ha tenido el país al enfrentarse nuevamente el 19 de septiembre de 2017 ante un evento sísmico de 7.1 grados a la escala de Richter, alcanzando ondas con periodos de amplitud mayores al terremoto de 1985, los movimientos fueron violentos y comparables, a pesar de que el movimiento se debió a una ruptura más pequeña en la falla geológica.

Donde se presenciaron diversos daños a diferentes estructuras, la catástrofe no volvió a ser como lo que se vivió en 1985 dejando a la Ciudad destruida. Demostrando que la rigurosidad del cumplimiento de los reglamentos y normas ha servido para dar la seguridad necesaria a los pobladores.

1.1.1.1. Falla normal

Se generan por bloques sometido por esfuerzos a tensión horizontal. Las fuerzas inducidas en las rocas son perpendiculares a la falla y el movimiento es predominantemente vertical respecto al plano de la falla.

Figura 3. Falla normal

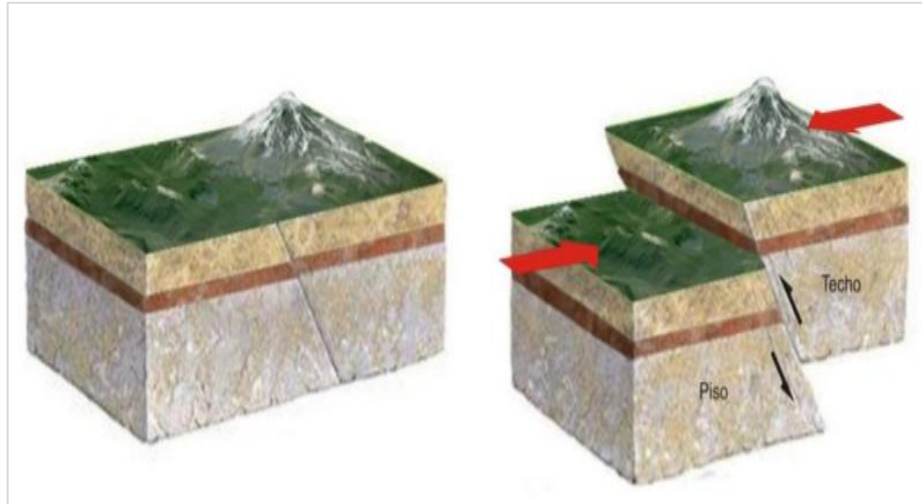


Fuente: Instituto Nacional de Prevención Sísmica, INPRES. *Fallas geológicas*. p. 3.

1.1.1.2. Falla inversa

Este tipo de falla son provocadas porque los bloques se encuentran sometidos a esfuerzos de compresión. El plano de falla típicamente es en ángulo de 30 grados respecto a la horizontal.

Figura 4. **Falla inversa**



Fuente: Instituto Nacional de Prevención Sísmica, INPRES. *Fallas geológicas*. p. 4.

1.1.1.1.3. **Falla de desgarre**

Es originada por los bloques que se encuentran sometidos a esfuerzos de corte. Se desarrollan a lo largo del plano vertical donde el movimiento que producen los bloques es horizontal.

En este tipo de falla se pueden distinguir dos tipos, las laterales derechas y laterales izquierdas.

Figura 5. **Fallas de desgarre**

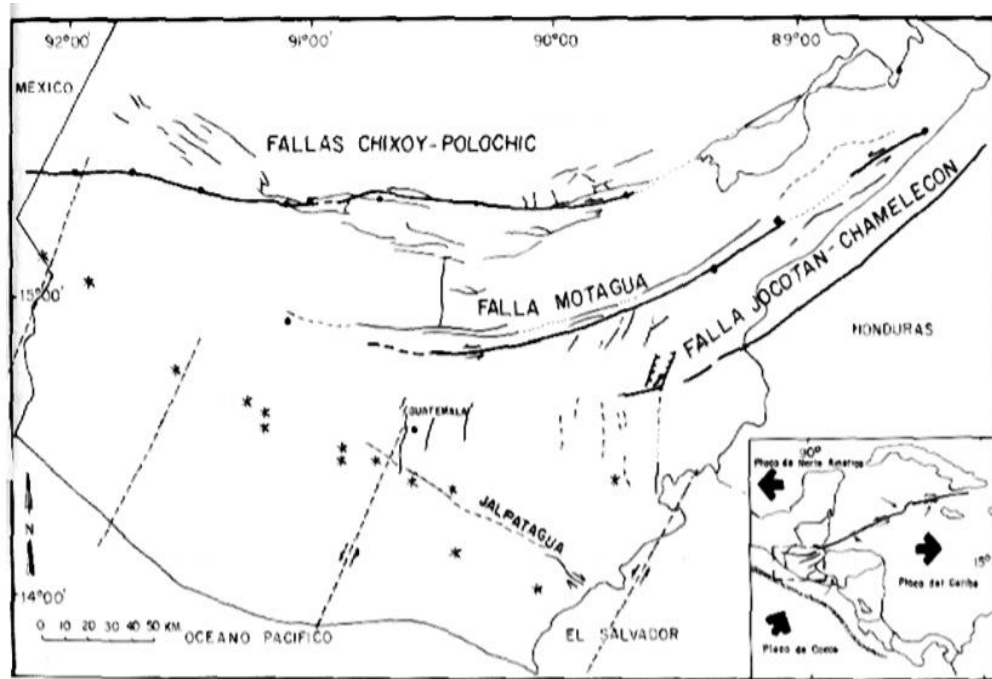


Fuente: Instituto Nacional de Prevención Sísmica, INPRES. *Fallas geológicas*. p. 5.

1.1.2. **Fallas geológicas**

Es considerada como falla activa, aquella que ha tenido movimientos históricos o un pasado geológico reciente. Si bien las fallas llegan a sufrir desplazamientos cuando sucede un terremoto son activas, no todas las fallas geológicas que se encuentran en este estado generan eventos sísmicos de gran magnitud, algunas llegan a ser capaces de moverse sin que se les asocie actividad sísmica.

Figura 6. **Fallas geológicas de Guatemala**



Fuente: INSIVUMEH. *Fundamentos*. p. 4.

1.1.2.1. **Falla del Motagua-Chamelecón**

Esta falla se encuentra localizada en la Sierra de las Minas y sigue el curso del río Motagua. Posee un movimiento de rumbo lateral izquierdo, corre en forma paralela con la falla de Chixoy Polochic donde ambas zonas de la falla son extensiones terrestres de la fosa Caimán en el mar Caribe marcando el límite entre la placa norteamericana y la placa del Caribe.

La falla divide dos terrenos diferentes, el segmento de la corteza terrestre al Norte se le conoce como Bloque Maya y va por el sureste de México, la parte Norte de Guatemala y Belice, y el segmento Sur de la falla es conocido como Bloque Chortí. Fue esta falla la que provocó el terremoto del 4 de febrero de 1976

afectando a 17 departamentos de Guatemala, siendo la falla más prominente del país.

1.1.2.2. Falla Cuilco-Chixoy- Polochic

Se encuentra en la Sierra de los Cuchumatanes, en donde pasa desde la costa este de Guatemala hasta Chiapas en el suroeste de México, pasando por los valles de los tres ríos que forman su nombre. Esta falla no posee una alta actividad sísmica como lo tuvo en su origen, algunos estudios sugieren que es capaz de producir eventos sísmicos mayores.

1.1.2.3. Falla Jocotán-Chamelecón

La falla Jocotán-Chamelecón no se encuentra totalmente en Guatemala, inicia en el país y se desplaza paralelamente a la frontera con Honduras, se ha podido evidenciar que no existen reportes claros que evidencien sismicidad a lo largo de ella.

1.1.2.4. Falla de Jalpatagua

La falla de Jalpatagua es un fallamiento secundario aproximadamente entre la frontera de Guatemala y El Salvador.

1.2. Ondas sísmicas

La liberación de energía de forma repentina en el hipocentro del sismo, en el momento que se genera, se propaga en forma de vibraciones elásticas de deformación. De acuerdo con el medio en que se propagan se pueden dividir en ondas internas y ondas superficiales.

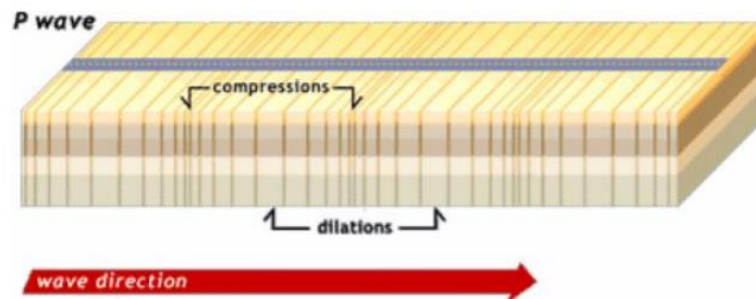
1.2.1. Ondas internas

Las ondas internas u ondas de cuerpo son ondas elásticas que viajan se propagan en el interior de la tierra, son de gran importancia, en base a ellas se adquieren datos para el diseño de estructuras. La teoría de la elasticidad establece que son posibles dos tipos de ondas, que pueden ser compresionales o de corte.

1.2.1.1. Ondas *Push* (P)

Las ondas *push* (ondas compresionales o de empuje), se generan desde el hipocentro y se desplazan longitudinalmente en la dirección de la propagación, este tipo de ondas son consideradas las más rápidas siendo las primeras en llegarse a registrarse en los sismógrafos, siendo conocidas como ondas primarias. Producen los denominados truenos sísmicos que son los que se escuchan antes de que se llegue a producir un terremoto.

Figura 7. Ondas de empuje o compresión



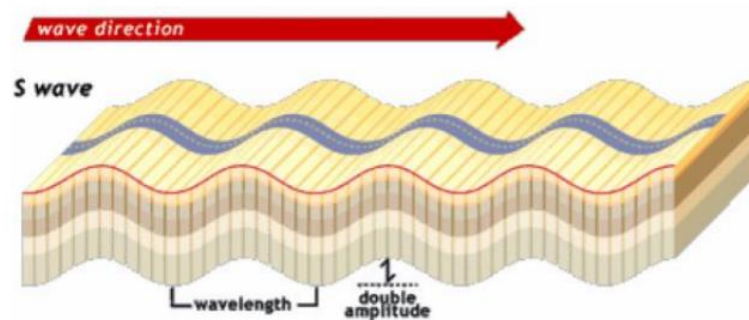
Fuente: GOYTIA, Ivan; VILLANUEVA, Rolando. *Texto guía de Ingeniería Antisísmica*. p. 8.

1.2.1.2. Ondas *Shake* (S)

Las ondas *shake* (ondas de corte o de cizalla), llamadas ondas secundarias, son las segundas en llegar después de las ondas primarias, se caracterizan por ser más lentas, llegando a velocidades de aproximadamente 58 % de una onda P.

Hacen vibrar las partículas de forma horizontal, perpendicular a la dirección de la propagación, produciendo esfuerzos de corte en el medio en el que se desplazan, siendo las que generan oscilaciones durante el movimiento sísmico. Se propagan únicamente a través de medios sólidos debido a que los líquidos no prestan rigidez al corte.

Figura 8. Ondas de corte



Fuente: GOYTIA, Ivan; VILLANUEVA, Rolando. *Texto guía de Ingeniería Antisísmica*. p. 8.

1.2.2. Ondas superficiales

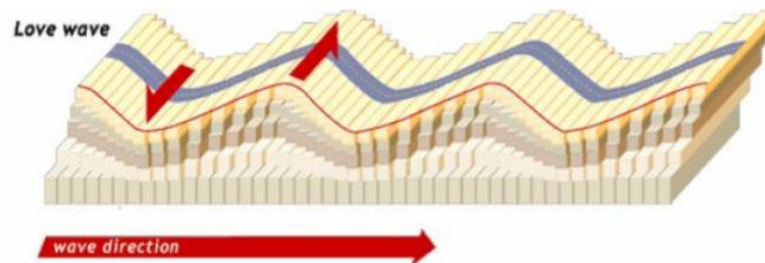
Son las ondas S que viajan sobre la superficie terrestre, se desplazan a menor velocidad que las ondas internas, son las últimas que se llegan a registrar

por el sismógrafo. Estas son las que provocan resonancia en los edificios por ende se consideran como las más destructivas.

1.2.2.1. Ondas Love (L)

Producen movimiento horizontal de corte en la superficie, es decir que el terreno se desplaza en sentido perpendicular a la dirección del movimiento vertical. La velocidad de las ondas Love es de un 90 por ciento de la velocidad de las ondas S y ligeramente superior a la velocidad de las ondas Rayleigh.

Figura 9. Ondas Love



Fuente: GOYTIA, Ivan; VILLANUEVA, Rolando. *Texto guía de Ingeniería Antisísmica*. p. 9.

En la Figura 10 se puede visualizar los efectos de las ondas Love, que sufrió la Ciudad de Guatemala en el Terremoto de 1976.

Figura 10. **Ondas Love, terremoto de 1976**

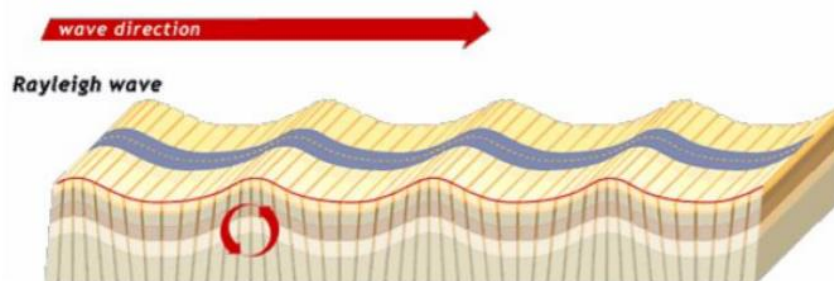


Fuente: ESPINOSA, A. F. et al. *The Guatemalan earthquake of february 4, 1976*. p. 59.

1.2.2.2. **Ondas Rayleigh (R)**

Estas ondas producen un movimiento elíptico con sentido contrario a las agujas del reloj. Estas ondas tienen su máxima amplitud en la superficie libre, y decrece exponencialmente con la profundidad.

Figura 11. **Ondas Rayleigh**



Fuente: GOYTIA, Ivan; VILLANUEVA, Rolando. *Texto guía de Ingeniería Antisísmica*. p. 9.

1.3. Antecedentes sísmicos

Según la información recopilada por el Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH), en la primera versión del folleto de Sismología en Guatemala del año 2016 se establecen como los eventos sísmicos más importantes de la historia del país los siguientes:

1.3.1. Terremoto de 1902

A inicios del siglo XX se desarrollan una serie de sismos iniciando el 18 de abril de 1902 ocasionando que se produjera un evento sísmico, a una profundidad de 60 km aproximadamente, afectando principalmente los departamentos de Quetzaltenango y Sololá. Reportando un total de 200 muertes aproximadamente.

1.3.2. Terremoto de 1913

El 8 de marzo se ocasiona el desastre que tuvo como principal acontecimiento la destrucción de la cabecera de Cuilapa del departamento de Santa Rosa, registrándose en los fallamientos de la Placa del Norte. Se determinó que fueron de poca profundidad y magnitud, generando que estos eventos sean locales y muy devastadores en un perímetro muy reducido del epicentro.

1.3.3. Terremoto de 1917 y 1918

Durante estos años se desarrollaron una serie, posiblemente un enjambre de sismos, que por las condiciones que golpearon al país se considera como los eventos sísmicos más importantes.

La actividad se define partiendo el 27 de noviembre de 1917 a través de un fuerte evento en las proximidades de la capital del país, llegando a confundirse como parte de la actividad volcánica que desarrollaba el volcán de Pacaya, a pesar de que la actividad continua en los días siguientes no fue hasta que el 26 de diciembre se libera una gran cantidad de energía destruyendo en gran parte el centro de la capital y las proximidades. A esta le siguió otra liberación a las 6:18 hrs, reportando más de 250 personas muertas.

La actividad sísmica vuelve a manifestarse el 4 de enero de 1918 en horas de la madrugada por medio de dos eventos continuos, sacudiendo por completo a la ciudad, finalizando la fuerte actividad el 24 de enero reportándose a las 7:30 hrs. Otro sismo que ocasiono diversos daños, aunque debido a sus predecesores no se pudo definir la magnitud del evento.

Según Morán en enero de 1918 se hizo presente T.C. Morris un asistente de los trabajos de infraestructura de la zona del Canal de Panamá, quien realizó un informe sobre los daños ocasionados dictaminando que la considerable intensidad de los fenómeno telúricos, los materiales utilizados en las viviendas de la época como adobe, ladrillo y bajareque fueron los principales causantes de la destrucción del Valle de la Ermita, pues estos sistemas no cuentan con refuerzo transversal y longitudinal y trabajan principalmente por gravedad.

1.3.4. Terremoto de 1942

El 6 de agosto se registra el evento sísmico de mayor magnitud en Guatemala llegando a definirse como $M_s = 8.3$ es decir en la escala de magnitud de ondas superficiales, implementada en la época, reportándose en el departamento de Guatemala, principalmente en los municipios de Amatitlán, Villa Nueva y San Pedro Sacatepéquez ligeros daños, en el departamento de

Sacatepéquez, derrumbes entre carreteras, en Chimaltenango, la destrucción del municipio de Acatenango reportándose muertes y destrucción de viviendas y edificios públicos.

Mientras que, en los departamentos de San Marcos, Totonicapán, Quiché, Sololá, Escuintla, Huehuetenango, Santa Rosa, Chiquimula, Alta y Baja Verapaz, donde fue sensible en casi todos sus municipios, se reportaron pocos daños materiales.

1.3.5. Terremoto de 1959

Se considera que el evento registrado el 20 de febrero como uno de los más destructores al Norte del territorio Nacional, provocando estragos en la población de Ixcán, en el departamento de Quiché. Teniendo el evento una profundidad de 48 km, localizándose el epicentro en 15,94 grados latitud Norte y 90,59 grados longitud Oeste.

1.3.6. Terremoto de 1976

Según mediciones matemáticas se ha establecido que el terremoto acontecido en 1942 fue el que mayor liberación de energía provocó en Guatemala, sin embargo, no fue el más destructivo, posiblemente influyo en ello la ubicación del evento y la menor población existente que vivía en la época.

El evento que más estragos causo en el siglo XX fue sin dudas el terremoto registrado el 4 de febrero de 1976, de alrededor 5 km de profundidad y una magnitud de $M_s = 7,5$, donde el efecto de la ruptura fue desastroso, registrando mediciones de desplazamiento horizontal de más de 3, 000 metros en algunas partes a lo largo de la falla. Se formaron aceleraciones muy altas que ocasionaron

la destrucción de miles de viviendas en las zonas adyacentes, incluyendo la ciudad capital. Donde se registró cerca de 25, 000 muertos y más de 75, 000 heridos.

Tras el terremoto, las casas que predominaban por haber quedado en pie eran aquellas que fueron hechas con mampostería reforzada un nuevo sistema constructivo que se comenzaba a emplear en el país, algo que se había reflejado en el Tercer Censo Nacional Habitacional registrando que en el año de 1973 únicamente un 8.61 % de las viviendas del país se encontraban construidas con dicho sistema.

Generando que este método fuera el nuevo sistema constructivo empleado para la edificación de viviendas. Evidencia de esto se mostró, en el censo habitacional de 1981, a pesar de que el adobe seguía siendo uno de los materiales predominantes en la construcción de viviendas, el 19,3 % de las casas habían sido construidas con mampostería reforzada.

1.3.7. Terremoto de Uspantán de 1985

Registrado el 11 de octubre, es considerado como el evento sísmico de menor magnitud $M_s = 5,0$, con grandes efectos destructores, destruyendo una ciudad casi por completo, desarrollándose en los fallamientos del Norte.

1.3.8. Terremoto de Pochuta de 1991

El 18 de septiembre se produce un sismo superficial de magnitud 5,3 en la región Suroeste del departamento de Chimaltenango causando destrozos de por lo menos un 80 % de la población de San Miguel Pochuta. Posterior al evento se desarrolló un enjambre sísmico que en las primeras 24 horas registro por lo

menos 436 réplicas, oscilando entre magnitudes de 0,6 Ms y 4 Ms en la Escala de Richter.

La mayor parte de los destrozos durante este evento fueron ocasionados debido a la mala construcción de las viviendas en el lugar, pues una gran mayoría eran construcciones de adobe, reportándose una pérdida de aproximadamente 2, 300 viviendas.

Ocasionando que para el censo de 1994 se registrara que el 34, 9 % de las viviendas en el país se encontraban construidas con mampostería confinada, demostrando que sin necesidad de una regulación el 95 % de las construcciones en Guatemala ya se encontraban modificadas y utilizaban el sistema.

1.3.9. Sismo de 10 de enero de 1998

El 19 de diciembre se registra un sismo de magnitud 5,8 en la escala de Richter, iniciando con una serie de réplicas que se extendieron hasta el 20 de enero. Todos estos eventos sísmicos tuvieron su epicentro en la zona de subducción, produciendo aproximadamente 600 sismos entre el 10 y el 12 de enero, reportándose el 20 de enero 35 sismos sensibles cuya magnitud oscilaba de 3,3 y 5,6 Ms. Este enjambre sísmico ocasiono daños en Quetzaltenango, Retalhuleu, Suchitepéquez, San Marcos, Sololá, Totonicapán, Escuintla y la Ciudad Capital.

1.3.10. Sismo del 11 de julio de 1999

Se registró un sismo de magnitud de 6,1 Mw con epicentro en el Golfo de Honduras, en el extremo oriental de la Falla del Motagua, con una profundidad de aproximadamente 10 Km. Se reportó como sensible en todo el territorio del

país, y definiendo daños en puentes, muelles, carreteras y viviendas, todos dentro del departamento de Izabal.

Estableciendo que los daños provocados en las viviendas se debieron principalmente a la mala calidad de materiales empleados y mano de obra de las construcciones.

1.3.11. Terremoto de El Salvador 2001

El 13 de enero se produjo un sismo de magnitud 7,6 Mw frente a la costa de El Salvador, originándose en la zona de Subducción a 60 Km. de profundidad. Este evento se caracterizó por ser sensible desde México hasta Colombia.

Provocando que en El Salvador hubiera una pérdida de por lo menos 844 personas, 4, 723 heridos y 108, 226 viviendas destruidas. En Guatemala este evento se consideró como sensible en toda la Republica del país, llegando a provocar daños en escuelas y casas en el Suroriente del territorio guatemalteco. Para el censo del año 2002 se pudo obtener un registro de que el 50,1 % de los domicilios a nivel nacional ya se encontraban construidas con mampostería reforzada.

1.3.12. Sismo del 7 de noviembre de 2012

Se tiene registro que se generó un sismo de magnitud Mw = 7,4, frente las costas de Retalhuleu siendo perceptible en todo el territorio nacional con excepción de algunas regiones de Petén. Afectando principalmente a la región suroccidental y occidental del país, causando los peores daños desde el terremoto de 1976.

Afectó en gran parte a los departamentos de San Marcos, Huehuetenango, Quetzaltenango, Sololá y Totonicapán, reportándose más de 31, 387 viviendas con daños leves, moderados y severos, demostrando que las edificaciones que sufrieron daños aun poseían un sistema constructivo de adobe y ladrillo o poseían una combinación de mampostería reforzada y adobe.

1.3.13. Sismo del 7 de julio de 2014

En la madrugada da lugar un sismo de magnitud 6,9 en la escala de Richter, con epicentro en el territorio mexicano cercano a la frontera con el departamento de San Marcos, al evento le siguieron una serie de réplicas oscilantes en una escala Ms entre 3,1 y 4,8.

Evidenciando que la implementación de un mal diseño y análisis estructural, la mala calidad de la implementación de materiales y la falta de supervisión en la construcción, provocaran que viviendas de mampostería confinada se vuelven vulnerables ante sismos.

1.3.14. Sismo de 14 de junio de 2017

Se registró un sismo de magnitud de 6,9 grados en la escala de Richter, con epicentro a 15 kilómetros al noroeste de Ocós, San Marcos, en la zona fronteriza con México. El sismo fue sensible en 12 departamentos de la zona occidental y central de Guatemala.

Aunque se presentaron daños, se estableció que la destrucción podría haber sido peor, debido a que el fenómeno de subducción fue el que originó el sismo. Este fenómeno ocurre cuando una de las placas se sumerge por debajo

del manto terrestre y dependiendo de la profundidad las frecuencias pierden intensidad.

El evento sísmico se dio entre la Placa de Cocos y la del Caribe, donde la primera se sumergió por más tiempo del habitual en la segunda, ocasionando que el movimiento se generará por el desvío de las placas sobre el manto terrestre, provocando que la Placa de Cocos demorará más tiempo en acomodarse.

1.4. Problemática de la construcción de viviendas en Guatemala

En Guatemala la industria de la construcción se encuentra en uno de sus mejores momentos, llegando a reflejarse en 2018 un registro de un crecimiento de aproximadamente un 3,7 %, lo que ha permitido el aumento en la economía guatemalteca debido principalmente al desarrollo inmobiliario para viviendas unifamiliares.

Lamentablemente, aun en día en el país son innumerables edificaciones que se desarrollan sin asesoría técnica, lo que genera vulnerabilidad ante desastres naturales. Según lo anterior si la construcción es uno de los principales focos de desarrollo en Guatemala por qué se permite que se sigan desarrollando este tipo de situaciones.

La principal razón es que Guatemala a pesar de encontrarse localizado en entre tres placas tectónicas, volviéndolo un país con altos riesgo a eventos sísmicos, no cuenta con la información necesaria, para el desarrollo de manuales que establezcan los límites de la construcción de mampostería reforzada, generando que los métodos de construcción sean empíricos o informales, donde

no se realizan estudios previos que permitan sustentar las construcciones, lo que puede llegar a representar un gran riesgo para quienes lo habitan.

Esto se debe a que las construcciones que se desarrollan de forma empírica generalmente son vulnerables ante cualquier tipo de eventualidad, careciendo por completo de los estudios estructurales, ambientales y constructivos.

Se puede decir que la construcción formal en el país mejoró de forma considerable después del evento sísmico del año de 1976, iniciando con la sustitución de las construcciones de adobe, por construcciones de mampostería confinada, lo que permitió, “un avance significativo en la construcción empírica, que en la actualidad se puede llegar a considerar como uno de los mejores sistemas constructivos de Centroamérica y Suramérica a pesar de la falta de obligatoriedad de las normativas constructivas”¹. Lo que provoca que se realice un análisis, para comprender y visualizar qué requerimientos mínimos son necesarios para cubrir las necesidades básicas que debe desempeñar una edificación.

Para esta investigación el requerimiento mínimo a comparar será la densidad mínima de muros, que establece la adecuada cantidad de paredes que debe poseer la edificación para mantener la suficiente rigidez y resistencia, recordando que la ley de la conservación de la energía establece que esta no se crea ni se destruye solo se transforma, de esta forma se refleja que al poseer una cantidad suficiente de muros provocan la disipación de los efectos de fuerzas sísmicas, de manera que las paredes puedan soportar sismos sin llegar a mostrar daños, así en el caso de soportar sismos severos, mantener un estado que puedan ser reparables.

¹ MONZÓN-DESPANG, H. *Diseño estructural simplificado mampostería de block de concreto*. <https://youtu.be/CjKmM8yeclk>. Consulta: marzo de 2021.

La pregunta es por qué surge la necesidad de este tipo de estudios, pues bien, en la industria de la construcción guatemalteca se tiene la creencia que, en las estructuras de cajón, los únicos elementos portantes son las soleras y mochetas, descuidando lo que en realidad son los elementos que soportan tanto las cargas verticales y horizontales como lo son las paredes.

Las primeras reglas básicas impuestas en el país sobre la construcción de mampostería por el Instituto de Hipotecas Aseguradas (FHA), se enfocó en cajones relativamente pequeños con pocas aberturas, de forma que no llegó a considerar como algo crítico la determinación de densidad de paredes, pues en sus reglamentos éstas tendían a sobrar y cumplir con este parámetro. Pero el crecimiento poblacional ha llegado a ser tan grande que se han buscado formas de ampliación de las viviendas básicas. Llegando a abusar de los sistemas constructivos de mampostería, y al sumar la ubicación en sitios no adecuados genera que sean vulnerables ante cualquier evento sísmico.

Con lo anterior se puede comprender la necesidad de la regularización en el diseño de las construcciones para cumplir con los requisitos mínimos necesarios que sustenten la eficacia de la edificación, no solo en construcciones de mampostería, sino en cualquier tipo de construcción que desarrolle la ingeniería civil. La importancia de este trabajo de investigación radica en la necesidad de construir viviendas adecuadas para los guatemaltecos.

1.4.1. Mala implementación de un sistema constructivo

Se debe comprender que un método constructivo es un conjunto de normas, material, técnicas, herramientas, procedimientos y equipos que son característicos para un tipo de edificación en particular, indica Williams Morris.

Donde la diferencia entre un sistema constructivo y otro no solo es la forma en la que se ven, sino que la manera en que se comportan estructuralmente comenta León Battista, por lo tanto, se puede decir que un método constructivo no es malo por sí solo, sino que existe malas implementaciones de materiales y los sistemas.

En Guatemala uno de los primeros sistemas empelados para la construcción de viviendas fueron las edificaciones de adobe y ladrillo que a lo largo de diversos eventos ha llegado a sustituirse por sistemas de mampostería reforzada. A través de estudios se puede decir las edificaciones de adobe dependiendo de sus características pueden llegar a aumentar su vulnerabilidad sísmica, donde la edad de la construcción y el deterioro de las propiedades mecánicas de los materiales llevan a la disminución de su capacidad de soportar sismos.

Los principales factores que contribuyen a aumentar la vulnerabilidad sísmica de viviendas de adobe son irregularidades en planta y en altura, distribución inadecuada de muros en planta, pérdida de la verticalidad, problemas de humedad, filtraciones conexión inadecuada entre muros, perdida de recubrimiento, uso de materiales no compatibles, entre pisos, ausencia de diafragmas, apoyo y un anclaje inadecuado de los elementos.

Las edificaciones de adobe presentan dos grandes deficiencias generando que sean altamente vulnerables frente a la acción de los sismos, la primera es la falta de un diafragma rígido y las adecuadas conexiones de este a los muros soporte, de existir dicha falta podría llegar a garantizar que cargas horizontales sean absorbidas por los elementos más rígidos en cada plano de la edificación. La segunda consiste en que la capacidad a flexión de los muros de tierra sin carga vertical es prácticamente nula.

Por otra parte, las cargas dinámicas llegan a producir un importante desgaste de las propiedades de cohesión entre las partículas que conforman los muros de tierra, siendo bajos al ser comparados con otros materiales. Cuando uno de los muros se agrieta en sus extremos laterales, se pierde el trabajo de la edificación como un conjunto, ocasionando que cada muro absorba el sismo de manera independiente.

La presencia de un refuerzo permite modificar el comportamiento global y local de los muros de tierra, según estudios se ha establecido que las viviendas sin ningún tipo de refuerzo ante eventos sísmicos presentan grietas que se originan debido a esfuerzos cortantes, así como grietas por esfuerzos de tensión originando flexión en los muros.

A diferencia de lo anterior las construcciones que poseen refuerzo ante fuerzas sísmicas se evidencia que presentan daños visibles, pero retarda el colapso de las edificaciones pues permite que los muros queden de pie.

Según lo anterior se puede comprender por qué se evidenció durante los eventos sísmicos de 1918, 1919, 1976 y 2012 por que la construcción de viviendas de adobe no es la mejor opción para un país altamente sísmico.

A pesar de que se ha cambiado el sistema constructivo en el país, por uno cuyas características especiales se adecuan a resistir mejor, se demostró que, si no se posee un conocimiento de normas, material, técnicas, herramientas, procedimientos y equipos, el sistema de igual forma cederá.

Un claro ejemplo de ello se pudo visualizar en los eventos sísmicos de 2014 y 2017, donde la combinación de la mala supervisión, mala calidad de materiales y la falta de estudios geotécnicos, ocasionó que las viviendas de mampostería

denominadas casas tipo Baldetti, que construyó el gobierno para ayudar a los damnificados del evento de 2012, presentaron severos daños.

Las evaluaciones que se desarrollaron evidenciaron que las viviendas presentan fallas de estabilidad estructural debido al distanciamiento de los refuerzos, patentando que en la construcción se empleó el distanciamiento máximo, encima, de la falta de refuerzos horizontales en el sistema de mampostería. Comprendiendo así que no se realizó un adecuado diseño y análisis estructural.

Debido que, si las viviendas se hubieran concebido como estructuras tipo cajón, donde se combinan muros de carga y losas, creando cajones cerrados monolíticamente, llegando a comportarse como un todo, estas hubieran reaccionado de muy buena manera ante un sismo.

Las losas en este tipo de sistemas actúan como un diafragma, donde estos son sistemas de piso y cubiertas que amarran los elementos de una edificación entre sí, llegando a conformar un sistema integral que da apoyo lateral a los demás elementos y los conecta al sistema de resistencia ante fuerzas laterales.

Un aspecto importante del comportamiento de los diafragmas que no es explicado y comprendido de forma clara es la relación entre las fuerzas laterales que se utilizan para el diseño de elementos resistentes a fuerzas laterales y las fuerzas de diseño que se pueden llegar a experimentar durante un evento sísmico.

Resultados de ensayos experimentales sobre mesas vibratorias en Japón, México y Estados Unidos ha evidenciado que las fuerzas experimentadas por el

diafragma durante un terremoto pueden ser significativamente mayores que las fuerzas laterales provenientes de un análisis estructural.

Por ello la importancia de analizar y diseñar sistemas de entrepiso actuando como diafragmas horizontales en las edificaciones del país, esto con la finalidad de que sean capaces de transferir las fuerzas sísmicas, que se generan en el territorio nacional, a los elementos verticales resistentes a fuerzas laterales apropiadamente.

1.4.2. Importancia de la evaluación de la densidad mínima de muros

El uso de la mampostería en Guatemala indica Monzón que se ha incrementado de manera considerable a partir del año de 1925, como una alternativa al sistema de construcción de adobe que se implementaba, para así reconstruir las edificaciones afectadas durante los terremotos ocurridos en los años de 1917 y 1918, ocasionando que en los años de 1930 este tipo de sistema se empleara en edificaciones de obras públicas.

El sistema de mampostería es considerado como uno de los primeros métodos constructivos que ha empleado la humanidad, visualizándose en todo el mundo. En Guatemala, este sistema constructivo es el más utilizado y se debe principalmente a que este es sumamente amigable y económico, lo que permite realizarle diferentes modificaciones en el futuro, asimismo este tiene la característica de ser resistente ante sismos, siendo muy conveniente en un país que se encuentra localizado en una zona de alta sismicidad.

Es debido a ello que resulta de gran interés en la ingeniería civil el estudio de la adaptación de un sistema de cálculo sencillo, eficaz y rápido para la

determinación de la densidad mínima de muros en una edificación. Se sabe que este parámetro permite establecer si la construcción a desarrollarse se encuentra apta para resistir fuerzas provocadas por los sismos, donde las paredes portantes son las encargadas de resistir tanto las cargas verticales como las horizontales y de esta forma evitar daños estructurales.

Asimismo, la realización de un análisis de la cantidad de niveles máximos, que son recomendables para una construcción de mampostería, esto se debe a que una edificación que posea mayor cantidad de pisos más fuerzas acumulará por los esfuerzos de sismos, generando fuerzas de volteo, de manera que si no se consideran adecuadamente los pisos inferiores son los que llegarán a sufrir más daño y podrían ocasionar el colapso de la estructura.

Surge porque en Guatemala la construcción de mampostería se ha desarrollado de forma empírica, por esta razón es necesario detenerse un momento para visualizar y pensar la técnica de construcción y de esta manera comprender si la edificación se encuentra distribuida de forma adecuada, a pesar de que Guatemala es un país con índices de alta sismicidad, no existe información ni manuales que indiquen hasta donde es posible de resistir la mampostería.

Como respaldo de ello se puede mencionar lo estipulado por Monzón, quien recalca que existen reglas básicas desde hace ya 50 años estipuladas por el Instituto de Hipotecas Aseguradas (FHA), que no indican algo claramente básico como lo es la densidad de paredes que es adecuada utilizar, dado que, en el momento de la formulación de estas, se enfocaron en cajones relativamente pequeños con mínimas aberturas ocasionando que no fuera crítico llegar a considerarse dicho parámetro.

Pero con la dinámica constructiva que se desarrolla en el país es necesario instrumentos adicionales que permitan comprender la necesidad del establecimiento de requisitos mínimos de construcción.

2. CONSIDERACIONES GENERALES DE LA MAMPOSTERÍA

En Guatemala la mampostería de concreto es el material que se emplea principalmente para la construcción de viviendas, su implementación se debe a las actividades sísmicas presentadas en el siglo XX. Los terremotos de 1917 y 1976 que sufrió el país demostraron la vulnerabilidad que presentaban las viviendas construidas de adobe y ladrillo, provocando la búsqueda e implementación de un nuevo sistema constructivo que presentara un comportamiento adecuado ante las fuerzas sísmicas.

2.1. Generalidades de mampostería

Se denomina mampostería al sistema tradicional de construcción que consiste en levantar muros y parámetros para diversos fines, mediante la colocación manual de los elementos o los materiales que los componen, que pueden ser: ladrillos, *block* de pómez, piedras talladas en formas regulares e irregulares, entre otros.

Por ello existe la necesidad de contar con una guía clara sobre la correcta forma de construir e inspeccionar mamposterías estructurales y no estructurales, para que se puedan utilizar como material de formación y consulta.

La mampostería como sistema constructivo, aporta funciones de resistencia y distribución de carga, divisoria y aporta ventajas en acabados, dado que sus materiales poseen características particulares que los diferencian de otros, lo que hace necesario que la persona que construya tenga claridad sobre dichas propiedades de los procesos que se deben seguir.

Dada la escasez de capacitación sobre los métodos de construcción se debe realizar mención de lo anterior, puesto que cada vez más se exige mayores velocidades de construcción, ocasionando que frecuentemente se incurra en imprecisiones o se omitan detalles y controles que, aunque no lleguen a perjudicar la estructura de mampostería, sí determinan su calidad y generan perjuicios para el usuario.

2.1.1. Definición de mampostería

El sistema tradicional de mampostería consiste en construir muros mediante la colocación manual de unidades de mamposte como lo son ladrillo, *block* de cemento prefabricado o piedra tallada, siendo de dimensiones pequeñas comparadas con las del elemento que se construirá y cuyo peso y tamaño dependen del sistema que se empleará.

Se produce así un elemento heterogéneo y anisotrópico que tiene una resistencia a la compresión elevada, que depende principalmente de las unidades, y una resistencia a corte reducida, que es controlada por la adhesión entre la unidad y el mortero.

La mampostería puede ser estructural, cuando los muros que conforma deben soportar tanto su propio peso, como las cargas horizontales y verticales actuantes sobre sus planos; no estructural, cuando los muros deben soportar tan solo su propio peso y servir como división entre dos espacios.

En los últimos años se ha desarrollado el concepto de mampostería arquitectónica, la cual se elabora con acabados arquitectónicos, independientemente de su función estructural.

2.2. Materiales utilizados

Los materiales utilizados en las estructuras de mampostería se definen de acuerdo con normas y características nacionales e internacionales que deben cumplir para garantizar su calidad.

2.2.1. Unidades de mampostería

Los ladrillos y bloques de hormigón son los más utilizados en el país para la construcción de muros de mampostería con acero de refuerzo. Se definen a de acuerdo con las normas COGUANOR correspondientes.

2.2.1.1. Ladrillo

Este tipo de unida de mampostería se crea a base de barro, arcilla u otros materiales arcillosos cocidos, presentan una forma rectangular. Antiguamente se fabricaban a mano, pero en la actualidad se fabrican en máquinas, según el tipo de ladrillo.

La calidad de los materiales utilizados en construcciones de mampostería influye en la estructura final, es por ello que debe verificarse en los ladrillos que no se presenten: grietas, incrustaciones, saltaduras, empolladuras y otros defectos superficiales que pueden llegar a afectar su resistencia a la compresión o durabilidad.

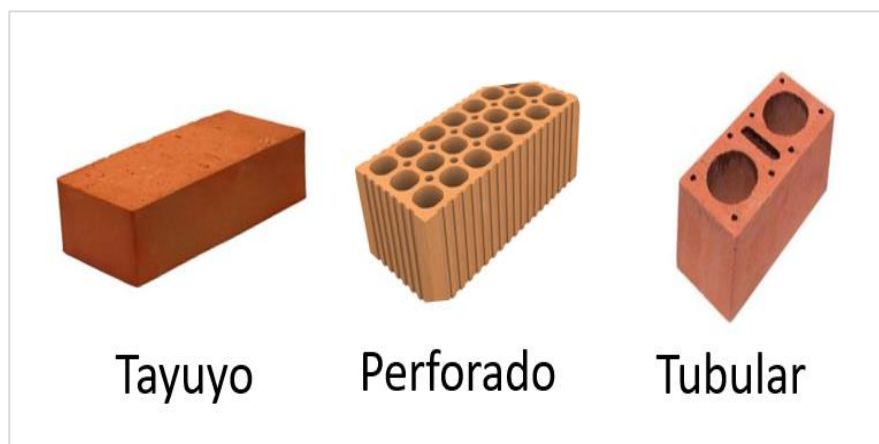
Las dimensiones de los ladrillos deben ser uniformes y controladas para una rápida colocación de éstos con el mortero, y para alcanzar la resistencia a la compresión especificada. Las unidades de ladrillo deben cumplir con la Norma COGUANOR NGO 41 022.

Según el porcentaje de aberturas que posean las unidades, se pueden clasificar en diferentes tipos.

El nombre comercial de éstos corresponde al que indica la norma.

- Ladrillo tayuyo: conocidos como ladrillos macizos, estos no presentan agujeros o perforaciones.
- Ladrillo perforado: cuentan con perforaciones perpendiculares a las caras que soportaran carga, cuya área neta de las caras es mayor al 75 por ciento del área bruta.
- Ladrillo tubular: poseen perforaciones perpendiculares a las caras que soportan la carga, donde el área neta de las caras se encuentra entre el 60 por ciento y 75 por ciento del área bruta.

Figura 12. **Tipos de ladrillos**



Fuente: elaboración propia, empleando Procreate 2022.

2.2.1.2. *Block* de concreto

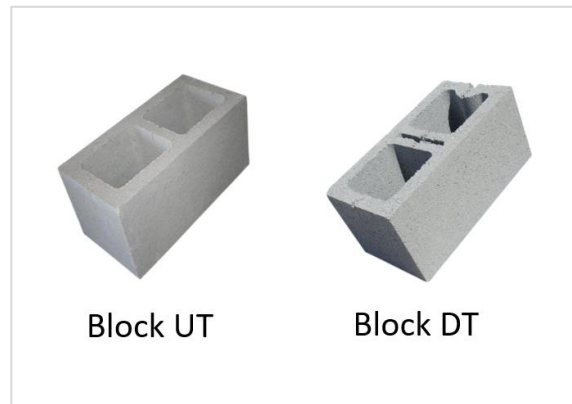
Se elabora a base de una mezcla de aglomerantes, áridos minerales y agua por medio de una reacción química, se produce de diferentes formas según el tipo y composición de la mezcla, siendo así fácilmente adaptable. Su producción se realiza sin grandes pérdidas y poco empleo de mano de obra, lo que la hace ser el más empleada en el medio constructivo. Deben encontrarse regulados con la norma COGUANOR NTG 41 054.

En Guatemala se comercializan dos tipos de mampostería para el levantado de paredes, denominados *Block* tipo UT y DT. El primero tiene solamente un tabique al centro, lo que ocasiona que al realizar un levantado las celdas de las unidades queden desalineadas, por otra parte, en el momento de necesitar medios bloques de mamposte las mitades no son iguales, ocasionando que en la obra se obtenga más desperdicio de material, por lo tanto, en caso de necesitar mitades es más conveniente adquirir bloques especiales.

Mientras que la mampostería tipo DT posee un doble tabique central, junto con una abertura pequeña justo en el medio, que permite que en el momento de realizar un levantado las celdas coinciden, pues al colocar el mortero de pega para la hilada siguiente es posible colocarlo sobre los tabiques provocando que siempre exista un tabique que coincida con la siguiente unidas.

Este tipo tiene la característica que en el momento de necesitar una mitad de *block* sea más sencillo obtenerlas de forma simétrica. Este tipo de unidades es el que más se difunde para ser utilizado en las construcciones del país, siendo fabricado tanto por industrias pequeñas como grandes.

Figura 13. **Tipos de *blocks***



Fuente: elaboración propia, empleando Procreate 2022.

2.2.1.2.1. Clasificación

La norma COGUANOR NTG 41054, establece tres clases de mamposte de concreto donde la clasificación de las unidades debe basarse en su resistencia a la compresión y el porcentaje de absorción máxima de humedad.

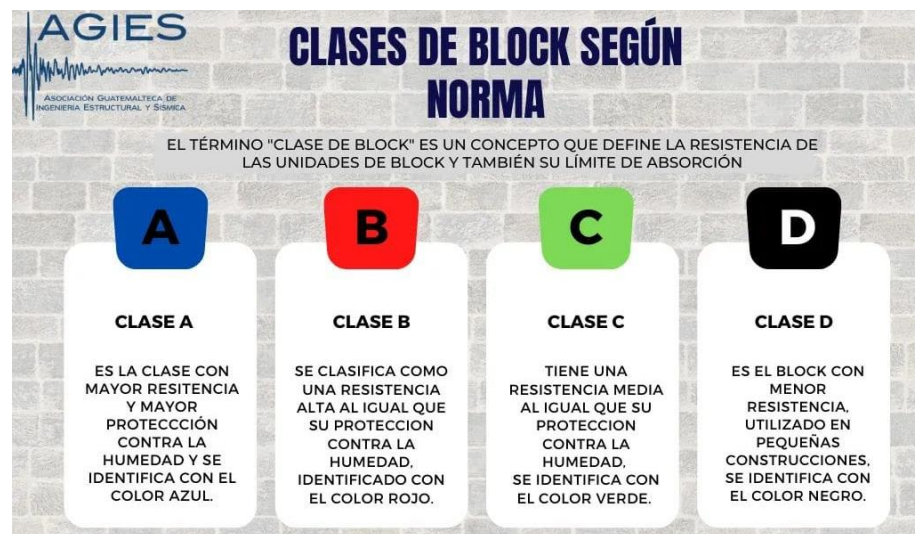
- Clase A: es de uso estructural, presenta baja absorción de humedad. Se emplea en muros exteriores o interiores, muros de contención, muros de cimentación y muros de división que deberán soportar carga.
- Clase B: de uso general, presentan mediana absorción de humedad. Implementada en muros exteriores e interiores que soportan cargas.
- Clase C: su uso es no estructural, poseen una alta absorción de humedad. Se utiliza para muros exteriores e interiores que no soportaran carga o que soportaran carga en edificaciones de un solo nivel.

Las unidades de mampostería deben tener una señal de color para poder ser vendidos y distribuidos, según la normativa, este color señala la resistencia que le corresponde a cada unidad. Solo se encuentran normados tres colores azul para la clase A, rojo para el clase B y verde para la clase C.

En la industria guatemalteca a pesar de que la norma COGUANOR NTG 41 054 solo reconoce tres tipos de clase de *blocks*, se comercializa una cuarta clase la cual cuenta solamente con el 75 por ciento de la resistencia del denominado clase C.

A este tipo de bloque se le conoce como tipo D y se le ha asignado color negro para poder identificarlo, puesto que se encuentra presente en el mercado formal. Aunque se debe entender que este tipo de unidad no debe ser utilizada para uso estructural.

Figura 14. Clases de *block* según norma



Fuente: AGIES. *Manual de diseño sismo-resistente simplificado de mampostería de block de concreto para Guatemala.* p. 38.

2.2.2. Mortero

El mortero es una mezcla plástica de arena bien graduada, agua y materiales cementantes. Se utiliza para adherir las unidades de mampostería que integran un elemento, para conformar un sistema estructural. La mezcla debe de cumplir con la norma COGUANOR NTG 41 066, que especifica las formas de trabajar un mortero.

Las propiedades de los morteros son variables y dependen de la dosificación de sus componentes. Está dosificación debe de proveer las condiciones de trabajabilidad, capacidad de retención de agua, durabilidad y proporcionar resistencia a la compresión, corte y adherencia. La calidad de los materiales influye en las propiedades que el mortero presente.

- **Cemento:** proporciona la resistencia y durabilidad de la mezcla. Los cementos utilizados para el mortero de pega pueden ser Portland tipo I, II, III, IV.
- **Arena:** para el mortero de pega la arena puede ser natural o triturada. Debe de estar limpia es decir que debe de encontrarse libre de contaminantes, impurezas o arcillas; bien graduada, puesto que de esto depende la trabajabilidad y la adherencia de la mezcla.
- **Agua:** es el agente mezclador que proporciona fluidez y es causante de la hidratación del cemento. Proporciona plasticidad al mortero. Debe ser limpia, que posea la menor cantidad de sustancia perjudiciales que afecten desfavorablemente cualquiera de las propiedades de la mezcla.

- Cal: la implementación de cal hidratada en el mortero mejora las propiedades de adherencia, plasticidad, impermeabilidad, disminuyendo la contracción.
- Aditivos: se clasifican de acuerdo con su función como agentes inclusores o incorporadores de aire, retenedores de agua, acelerantes o retardantes de fraguado y mucho más.

2.2.2.1. Clasificación

Según las distintas aplicaciones que se le pueden dar uso a los morteros dependiendo de la necesidad estos se pueden clasificar a partir de la reacción molecular, su compuesto aglomerante, resistencia y uso.

2.2.2.2. Morteros según reacción molecular

La variación del tipo de endurecimiento que presente el mortero se debe a la reacción molecular al actuar bajo condiciones de hidratación o deshidratación, se pueden distinguir dos tipos.

- Aéreos: endurecen al aire, es decir que la pérdida de agua es mediante secado y fraguan lentamente por un proceso de carbonatación.
- Hidráulicos: conocidos como acuáticos, se encuentran compuestos por calizas impuras con sílice y alúmina. Endurecen mediante la influencia del agua, permitiendo que su composición desarrolle resistencias iniciales relativamente altas.

2.2.2.3. Morteros según composición

Los morteros se encuentran constituidos a base de aglomerantes que permiten la adherencia. Es por ello que esta clasificación se denomina según el tipo de aglomerante que presente, comúnmente los más utilizados y comercializados son el cemento y la cal.

2.2.2.3.1. Mortero de cemento

Para el diseño de este mortero se utiliza arena y cemento Portland. Al utilizar un cemento hidráulico con contenido de aire se obtiene una alta resistencia a la flexión en uniones ocasionando que sus condiciones de trabajabilidad sean variables de acuerdo con la proporción del cemento, arena y agua empleados. Es el más empleado en obra por el rápido fraguado que llega a presentar, lo que reduce el tipo de aplicación.

Al igual que en la fabricación del concreto, las características de la arena como la granulometría, forma, textura, módulo de finura, contenido de materia orgánica, influye en las características de la calidad del mortero de cemento. Existen ocasiones donde se emplean arenas con un pequeño contenido de limo o arcilla, para mejorar la trabajabilidad de la mezcla, teniendo en cuenta que la resistencia de estos no es muy buena.

Si la mezcla de mortero realizada se vuelve áspera y poco trabajable se dice que esta contiene muy poco cemento, ocasionando que las partículas de arena rocen entre sí, puesto que no existe suficiente cemento que actúe como lubricante. Pero al contrario si el mortero llega a poseer un alto contenido de cemento, este tendría a ser muy resistente, aunque con una alta retracción en el secado, volviéndolo susceptible al agrietamiento. Debido a ello es que los

morteros muy ricos solamente se emplean en obras ingenieriles que exijan altas resistencias.

2.2.2.3.2. Mortero de cal

El diseño de mortero de cal se realiza a base de cal, agregado fino, que evita agrietamientos y contracciones en la mezcla, y finalmente agua. Esta mezcla es diferenciable a otros tipos, puesto que la cal trabaja como plastificante, provocando una mejor maleabilidad y plasticidad, proporcionando resistencia a la absorción de agua caracterizándose por mantener la humedad en mayor tiempo, sin embargo, no proporciona altas resistencias debido a su lenta velocidad de endurecimiento.

2.2.2.3.3. Mortero de cemento-cal

Este tipo de mezcla aprovecha las mejores propiedades de la cal y del cemento, proporcionando una buena retención de agua, gran trabajabilidad y altas resistencias. Se debe a que la cal aumenta la remanencia de agua, reduciendo los agrietamientos. La reducción de la resistencia a la compresión que se presenta por este aglomerante se corrige con el cemento, este contribuye a proporcionar las altas resistencias iniciales. Es por esto que la dosificación de los componentes debe ser la adecuada para proporcionar las propiedades requeridas en la construcción.

2.2.2.4. Morteros según sus usos

La función principal de los morteros de pega es el de unificar las unidades de mampostería para que actúen como un elemento integral que posea

características de comportamiento deseado. Es por ello que la mezcla influye en las propiedades estructurales del ensamblaje.

2.2.2.4.1. Tipo M

El uso de este tipo de morteros es recomendado en estructuras que tendrán contacto con el suelo como los son las cimentaciones o los muros de contención. Generalmente son utilizados para unir mampostería que se encontrara sometida a soportar grandes fuerzas de compresión, grandes cargas laterales de tierra, fuertes vientos, congelamiento y movimientos telúricos, esta mezcla es de alta resistencia a la compresión proporcionando una mayor durabilidad en comparación con los otros morteros.

2.2.2.4.2. Tipo S

Se caracteriza por proporcionar mayor adherencia que otras mezclas. Es utilizado en estructuras que se encontraran sometidas a cargas normales de compresión que requieran alta adhesión. Se debe de emplear cuando se requiera que el mortero sea el único agente de unión con las paredes.

Dentro de este tipo de mortero se puede encontrar una variación conocida como Sa, y es utilizada en estructuras sometidas a cargas de compresión normales y estructuras sobre el nivel del suelo, presentando una mejor combinación de resistencia y trabajabilidad.

Esta variante fue propuesta por la Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica (AGIES), debido al gran rango que existía en la resistencia a la compresión entre los morteros S y N.

2.2.2.4.3. Tipo N

Este mortero alcanza resistencias a la compresión cerca de 125 kg/cm², considerándose de propósito general, es decir que se emplea en estructuras sobre el nivel del suelo y enchapes de paredes internas. Se caracteriza por tener una buena combinación en lo que es la resistencia, trabajabilidad y bajo costo en su elaboración. Aunque se debe de considerar que la mano de obra y los elementos de albañilería pueden afectar su resistencia.

2.2.2.4.4. Tipo O

Esta mezcla es la preferida por los albañiles debido a su alta trabajabilidad y su bajo costo, es utilizada para la construcción de viviendas de uno o dos niveles. Aunque se debe de tener en cuenta que estos morteros poseen una baja resistencia a la compresión y poseen un alto contenido de cal.

2.2.3. Grout

El *grout* o lechada se emplea para rellenar los espacios dentro de las unidades de mampostería y así proporcionar la continuidad entre los elementos de la construcción y contribuir a la resistencia a la compresión de los muros. Es una combinación de cemento, agregados y agua. Su consistencia debe permitir que la colocación de los bloques de mampostería no sufra segregación de sus componentes permitiendo tener una alta plasticidad para realizar el vaciado y alto asentamiento.

Según la tesis Evaluación y comparación de la resistencia de los prismas de bloque de mampostería llenos y huecos, se pudo demostrar de acuerdo con Córdón que la mampostería hueca posee más resistencia a soportar cargas que

los rellenas de *grout*, siendo necesario la colocación de un elemento de unión entre todos los componentes que permitan integración y proporcione mejor capacidad de soporte ante cargas verticales y horizontales, como lo es el acero de refuerzo.

2.2.4. Acero de refuerzo

Para la elaboración de la mampostería confinada y reforzada el acero de refuerzo que se emplea en las soleras, mochetas y los elementos colocados en el interior de las paredes, consiste en varillas corrugadas que cumplan con la norma COGUANOR NGO 36 011. Se emplean barras corrugadas para aumentar la resistencia al deslizamiento entre el acero y el concreto.

En Guatemala las barras de acero de mayor uso se clasifican en grado 40 y grado 60, lo cual hace referencia a la fluencia nominal del acero, la primera tendría un valor de 40 000 libras por pulgada cuadrada y la segunda un valor de 60 000 libras por pulgada cuadrada, respectivamente.

En el mercado de la construcción del país se encuentra acero importado y nacional, presentando características diferentes, encontrándose el acero legítimo, el cual cumple con las propiedades normadas, y el acero comercial, que puede presentar un alto grado de variabilidad en su resistencia y dimensiones.

2.3. Ensayos en mampostería

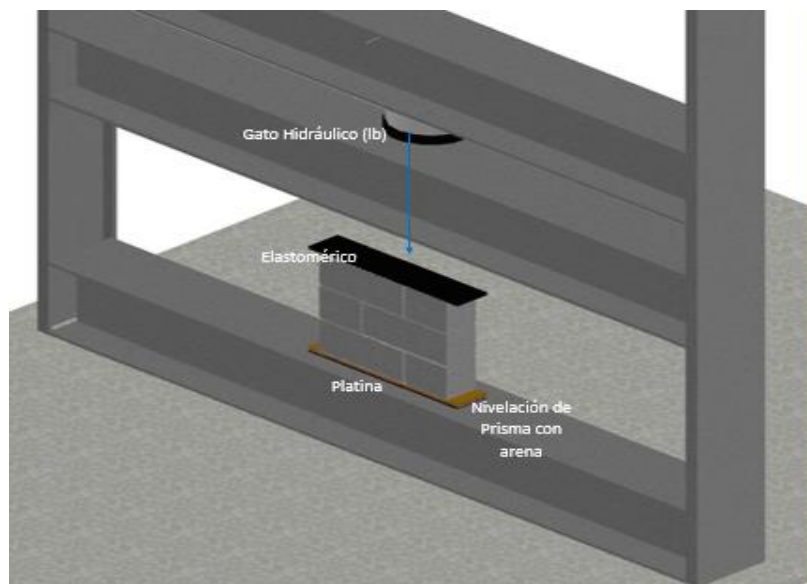
Para determinar las propiedades mecánicas de las unidades de la mampostería, se deben de realizar a partir de ensayos de prismas, elementos ensamblados de bloques de concreto con mortero de pega, que se emplean como espécimen de ensayo.

2.3.1. Ensayo a compresión

Se realiza utilizando la norma ASTM C 1314 – 03 Método Estándar de Ensayo a Esfuerzo de Compresión de Prismas de Mampostería, la cual establece los procedimientos de construcción, ensayo y cálculos para la determinación del esfuerzo a compresión de prismas de mampostería.

A los elementos de prisma se les evalúa bajo la aplicación de carga a compresión sobre la sección perpendicular a la misma, hasta lograr la falla. Los modos de falla que se pueden presentar en los prismas dependen de la interacción entre las unidades y el mortero. La interacción se encuentra dada por las características esfuerzo deformación de cada uno de los elementos, la mampostería introduce los esfuerzos de compresión transversales en el mortero, y este introduce esfuerzos transversales en las unidades.

Figura 15. Ensayo a compresión en mampostería



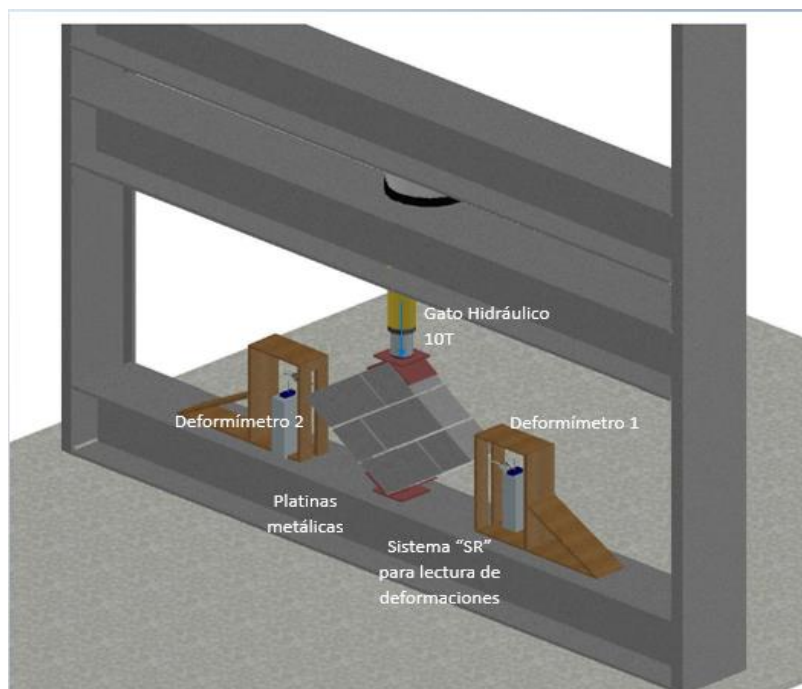
Fuente: CORZO, Mario. *Ensayos aplicados a la mampostería*. p. 26.

2.3.2. Ensayo a tensión diagonal

Para determinar la propiedad de corte de las unidades, se emplea la norma ASTM E 519 -02 Método Estándar en Ensayo a Tensión Diagonal (Corte) Mampostería, la cual indica los procedimientos para la construcción ensayo y cálculos para la determinación del esfuerzo a tensión diagonal de la mampostería.

Este ensayo consiste en colocar el prisma alineando la esquina inferior y superior en forma diagonal, sobre apoyos de tal manera que proporcionen una inclinación de 45 grados, permitiendo evaluar bajo cargas de compresión aplicadas a lo largo de la diagonal, generando un esfuerzo a corte.

Figura 16. Ensayo a tensión diagonal



Fuente: CORZO, Mario. *Ensayos aplicados a la mampostería*. p. 37.

La falla que se presenta a corte se puede dar en las unidades, el mortero o en ambos. La primera falla obtiene un agrietamiento diagonal que atraviesa las unidades de mampostería, y generalmente aparece cuando la resistencia a la tensión de las unidades es menor que la resistencia del mortero con las unidades.

El segundo modo de falla corresponde al agrietamiento que se genera en las juntas del mortero, se presenta cuando la resistencia de las unidades es mayor en relación con la resistencia de adherencia del mortero.

La falla mixta se produce cuando el esfuerzo resiste a la tensión de las unidades es similar a la resistencia de adherencia entre las unidades y mortero, generando que el agrietamiento se desarrolle tanto en las unidades como en el mortero.

Figura 17. **Modos de falla a tensión diagonal**



Falla en la unión mortero mamposte.

Falla en la mampostería

Falla mixta

Fuente: elaboración propia, Área de Prefabricados, Sección de Estructuras, Facultad de Ingeniería, USAC.

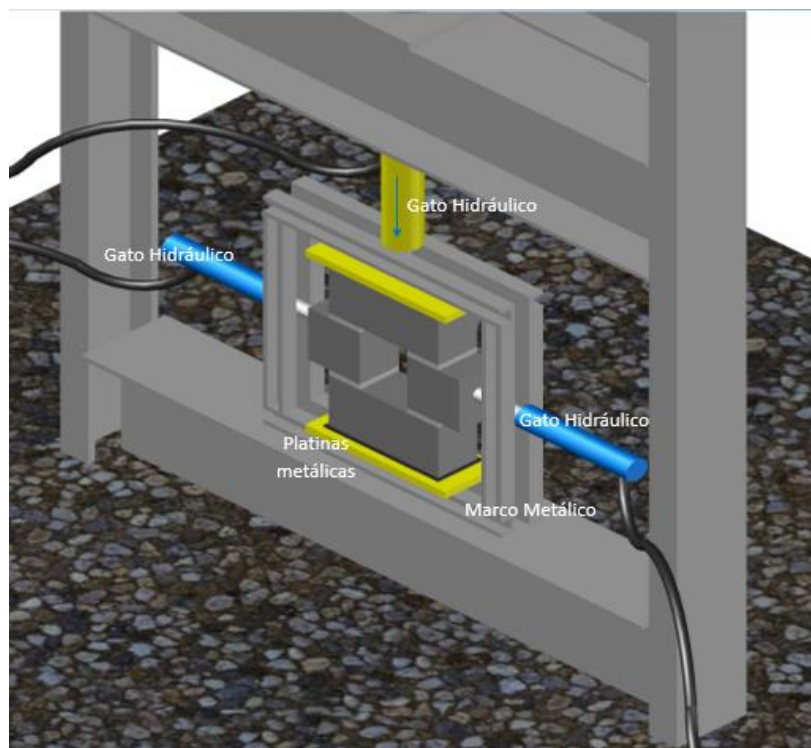
2.3.3. **Ensayo de adherencia**

Este ensayo estudia la acción de la fuerza horizontal en un muro, ocasionada normalmente por las fuerzas de viento o sismo. La fuerza resistente,

que origina la adherencia y la fricción entre el mortero y la unidad de mampostería proporciona el equilibrio que debe de existir entre ambos. La norma que establece los parámetros de ensayo es la norma ASTM C 952 – 12 Método de Ensayo de Adherencia por Tracción de Ladrillos Cruzados.

El prisma es sometido a cargas axiales y verticales, simulando confinamiento, y cargas laterales, que imitan un empuje. En la realización del ensayo en un inicio se aplica la carga vertical, mientras que las laterales se van incrementando gradualmente, hasta que se presente un desplazamiento horizontal. Al presentarse dicho desplazamiento la carga vertical se incrementa hasta que se pierda la capacidad de fricción entre el mortero y el mamposte.

Figura 18. **Ensayo de adherencia en mampostería**



Fuente: CORZO, Mario. *Ensayos aplicados a la mampostería*. p. 49.

3. CARACTERÍSTICAS DE LOS MUROS DE MAMPOSTERÍA

El método constructivo más utilizado para la elaboración de viviendas es la mampostería de concreto confinado, principalmente por el excelente comportamiento que llega a presentar ante eventualidades sísmicas, demostrado tener la resistencia y flexibilidad adecuado para enfrentar estas fuerzas.

En Guatemala durante años la elaboración de edificaciones de mampostería ha sido por medio de métodos empíricos. No existe una reglamentación unificada para el diseño de viviendas, asimismo se carece de supervisión en los procedimientos constructivos, generando vulnerabilidad en las estructuras, y se atribuye principalmente a la mala calidad de los materiales, configuraciones estructurales ineficientes, falta de refuerzo, escasa formación de la mano de obra y supervisión inexistente. Es necesario que se consideren estos aspectos para realizar diseños adecuados.

3.1. Normas y reglamentos

Para el diseño de viviendas de mampostería, las especificaciones y normas que rigen los requisitos mínimos para los elementos que conformaran la estructura son las del Instituto de Fomento de Hipotecas Aseguradas (FHA) y las de la Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica (AGIES). Por otra parte, se han adaptado códigos internacionales como Uniform Building Code (UBC), International Building Code (IBC), American Society of Civil Engineers (ASCE), y otras normas que permiten considerar análisis estructurales ante fuerzas sísmicas.

3.2. Sistema tipo cajón

Los sistemas estructurales tipo cajón se encuentran conformadas por un conjunto de paredes en el plano vertical entrelazadas entre sí por losas en el plano horizontal, constituyendo conjuntos cerrados rectangulares o cuadrados, capaces de resistir cargas sísmicas. En este sistema los techos son los que trasladan las cargas hacia los muros internos y externos, siendo estos los que soportan todas las cargas horizontales y parte de la carga vertical, transmitiéndolas hacia los cimientos; la carga vertical que no soporten los muros es sostenida por columnas de concreto reforzadas con acero. Mientras se aumenta el espesor del muro se agrega estabilidad lateral. Este tipo de estructura se caracteriza por poseer gran resistencia a fuerzas laterales, siendo fundamental tener uniones adecuadas entre los elementos.

Para que las estructuras sean consideradas como sistemas tipo cajón deben de cumplir con ciertos requerimientos, estos establecen que de edificaciones no debe de sobrepasar los tres niveles, la altura máxima de cualquiera de los niveles no debe de exceder los 3,00 metros, siendo la altura máxima sumada de los tres niveles 8,00 metros, de lo contrario no será posible utilizar los criterios simplificados para el diseño de las estructuras.

3.3. Muros de mampostería

Los muros de mampostería se pueden clasificar dependiendo de la función estructural que requiera, puesto que en una edificación no todos los muros que se construirán deberán transmitir cargas verticales, aunque si deben estar preparados para soportar cargas horizontales. La división de los tipos de muros dependerá principalmente de la resistencia que presentaran.

3.3.1. Muros portantes

Son los muros que se emplean como elementos estructurales en una edificación, denominados como muros de uso ingenieril. Estos muros se diferencian por el uso del acero del refuerzo en menor o mayor proporción, lo que permite tener una capacidad de soportar mayores cargas. Se encuentran sujetos a cualquier tipo de sollicitación, tanto en contenida en su plano como perpendicular al plano, vertical como horizontal y consideraciones permanentes o variables.

3.3.1.1. Muros simples

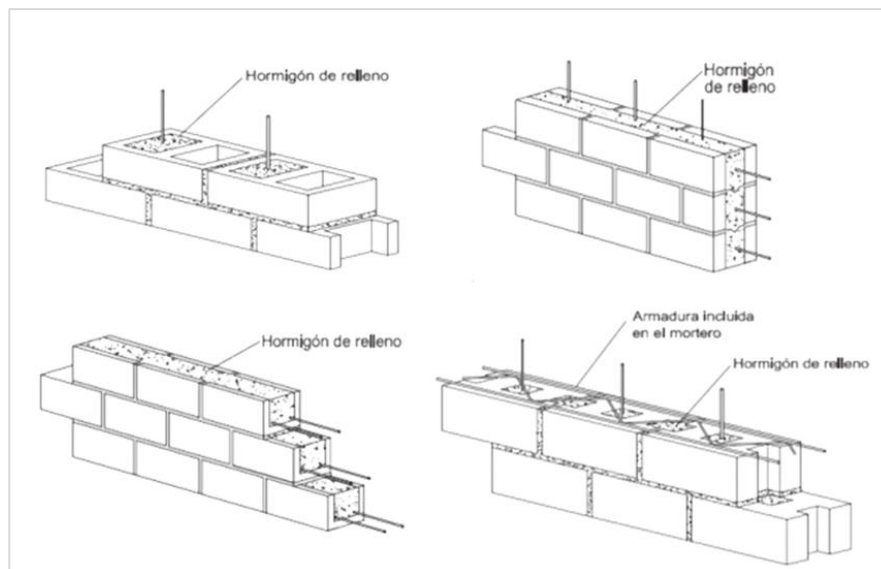
Los muros simples o no reforzados son aquellos que carecen de refuerzo o en caso de tenerlo no cumplen con las especificaciones mínimas reglamentarias que presenta la mampostería reforzada. En este método predominan las fuerzas de compresión y resiste fuerzas de tracción provocadas por fuerzas horizontales. Las unidades de mampostería se van apilando y uniendo con mortero, que forma juntas horizontales y verticales, formando así un compuesto laminado que si se rellena con lechada es decir concreto líquido, cambia el grado de anisotropía del material final.

3.3.1.2. Muros reforzados

La mampostería reforzada se caracteriza por llevar refuerzo de acero en el interior de las unidades, las armaduras de refuerzo pueden ser verticales y horizontales, mientras se utilice mortero como componente de integración. Integra el comportamiento tanto del acero como del mamposte, para que actúen monolíticamente. Siendo sumamente importante el ajuste adecuado del refuerzo, conexiones y anclajes, permitiendo el desarrollo de la resistencia de la armadura.

En este tipo de mampostería, la resistencia a tensión la soporta por completo el acero, mientras que las unidades de mampostería, mortero y las lechadas son las que proveen la resistencia a compresión del sistema y recubren la armadura. Debido a ello es necesario que este método necesite mano de obra calificada y unidades de mampostería especiales para permitir la colocación del refuerzo.

Figura 19. **Mampostería reforzada**



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

3.3.1.3. Muros confinados

La mampostería confinada es el sistema más utilizado para construcciones de viviendas y otras construcciones de carácter importante, principalmente por el comportamiento satisfactorio que se presenta ante eventos sísmicos.

En Guatemala debido a las características sísmicas que se presentan, los muros confinados es el método predilecto para la construcción.

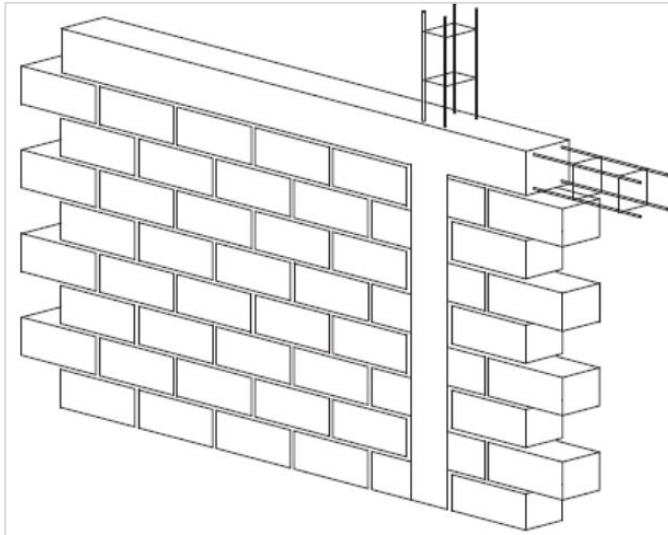
Se le denomina como confinada ya que los muros de mampostería presentan refuerzo vertical y horizontal concentrado en elementos de concreto reforzado, conocidos como soleras y mochetas, que son vaciados posteriormente a la ejecución del muro y que actúa monolíticamente con el fin de resistir momentos debido a la flexión, evitando que los muros se agrieten.

Las mochetas y soleras son los elementos que permiten proporcionar la capacidad necesaria ante cargas laterales y el refuerzo contribuye el aumento de la capacidad de deformación lateral de los muros y la disminución del deterioro de rigidez y resistencia, es decir que la acción de los elementos de confinamiento es de proveer estabilidad y resistencia para las cargas perpendiculares al plano, actuando entonces como un arriostamiento.

Se debe de considerar en el momento del diseño y construcción de muros confinados la calidad de los bloques, sus dimensiones, el tipo de refuerzo y el confinamiento tanto vertical como horizontal, siendo los que determinan el comportamiento que presentaran los muros en la estructura.

La zona de interconexión de los elementos de concreto y la mampostería es débil, lo que ocasiona que ante eventos sísmicos se separen dichas uniones, permitiendo que la mampostería trabaje como un puntal en compresión y se deforme por corte.

Figura 20. **Mampostería confinada**



Fuente: CTE. *Código técnico de la edificación*. p. 134.

3.3.2. **Muros no portantes**

Los muros no portantes se caracterizan por no recibir cargas verticales, pero están diseñados fuera de los planos de carga. Son utilizados en los linderos de terrenos o edificaciones, y la mayoría sirven con el fin de dividir espacios, soportan su propio peso, y poseen una capacidad limitada ante fuerzas laterales, ocasionando que generalmente fallen por agrietamiento y desplazamiento lateral.

3.4. **Consideraciones de diseño**

Son todos aquellos criterios que se deben de tomar en cuenta con el propósito de lograr un buen diseño estructural y arquitectónico.

3.4.1. Diseño arquitectónico

La mampostería permite una expresión arquitectónica ilimitada, dada la posibilidad de obtener excelentes acabados de los muros exteriores e interiores; las formas, tamaños, colores, y acabados de las unidades y uniones pueden combinarse en infinitas variaciones, conservando la función estructural del muro y sin tener que recurrir al uso de materiales de revestimiento.

3.4.2. Diseño estructural

El diseño estructural es un método para estudiar la estabilidad, la resistencia y la rigidez de una estructura. El propósito del diseño y análisis estructural es crear una estructura que pueda soportar todas las cargas sobre ella sin fallar durante su vida útil.

El diseño estructural se lleva a cabo a partir de un adecuado balance entre las funciones propias que un material puede cumplir, a partir de sus características naturales específicas, sus capacidades mecánicas y el menor costo que puede conseguirse. Un correcto diseño de mampostería de concreto se encuentra fundamentado en la armonía entre el diseño estructural y el arquitectónico.

3.4.3. Coordinación modular

La construcción de mampostería debe tener en cuenta el principio de coordinación modular, que se implementa de forma módulos, cuyo propósito es el asegurar que los materiales y elementos sean dimensionados en forma tal que puedan ser ensamblados minimizando los cortes, sin pérdidas de materiales y ajustes en la obra.

3.5. Parámetros de vulnerabilidad

Una estructura se encuentra influida tanto por el diseño arquitectónico como por su configuración, es decir por el tamaño, naturaleza y localización de sus elementos estructurales como los no estructurales que llegaran a afectar directamente su respuesta ante un sismo.

El comportamiento inadecuado ante un sismo puede ser provocado por diseños asimétricos o con discontinuidad de rigidez, tanto en planta como en elevación, generando no solo falla sino también un incremento de vulnerabilidad en la construcción.

3.5.1. Calidad de los materiales

Los materiales empleados en la construcción de viviendas deben ser ensayados en base a las normas de la Comisión Guatemalteca de Normas (COGUANOR), y American Standard Testing Materials (ASTM), para establecer las propiedades físicas y mecánicas.

Su importancia radica que dependiendo las propiedades que estos elementos demuestren, influirán en el comportamiento de la edificación, de forma que si se realizan construcciones con materiales de baja calidad que no llegan a cumplir con los requisitos mínimos de calidad, las edificaciones no tendrán ni la resistencia mínima requerida, ni el comportamiento adecuado, siendo un peligro para los usuarios.

3.5.2. Configuración geométrica

Según las condiciones mínimas de estabilidad que deban resistir los muros ante la acción de cargas gravitacionales y cargas laterales, como lo son las cargas sísmicas y de viento, es la ubicación que se le dará a los muros dentro de la estructura. Debido a lo cual se emplean métodos de diseño que se basan en predicciones de los comportamientos que presentaran las estructuras.

La distribución de los muros en las plantas debe guardar simetría en dos direcciones ortogonales, puesto que una distribución asimétrica puede ocasionar que se presenten efectos de torsión debido al incremento de las fuerzas cortantes y las deformaciones que llegan actuar sobre cada muro durante eventos sísmicos.

Se busca que las estructuras sean preferentemente simples, simétricas, uniformemente distribuidas, que no presente alargamientos en planta o elevación, proyectándose de manera que los elementos estructurales se relacionen permitiendo un correcto detallado en las uniones. Se debe principalmente a que se ha demostrado en repetidas ocasiones que las estructuras más simples tienen una mayor posibilidad de permanecer intacta ante fuerzas sísmicas.

Las irregularidades o asimetrías en el plano horizontal y vertical de una construcción son determinantes en el comportamiento de esta al momento de un sismo. Una geometría irregular favorece que la vivienda sufra torsión o que intente girar en forma desordenada, por tanto, las fuerzas inerciales se encuentran en función de la forma, peso y dimensión de la construcción.

3.5.2.1. Configuración irregular

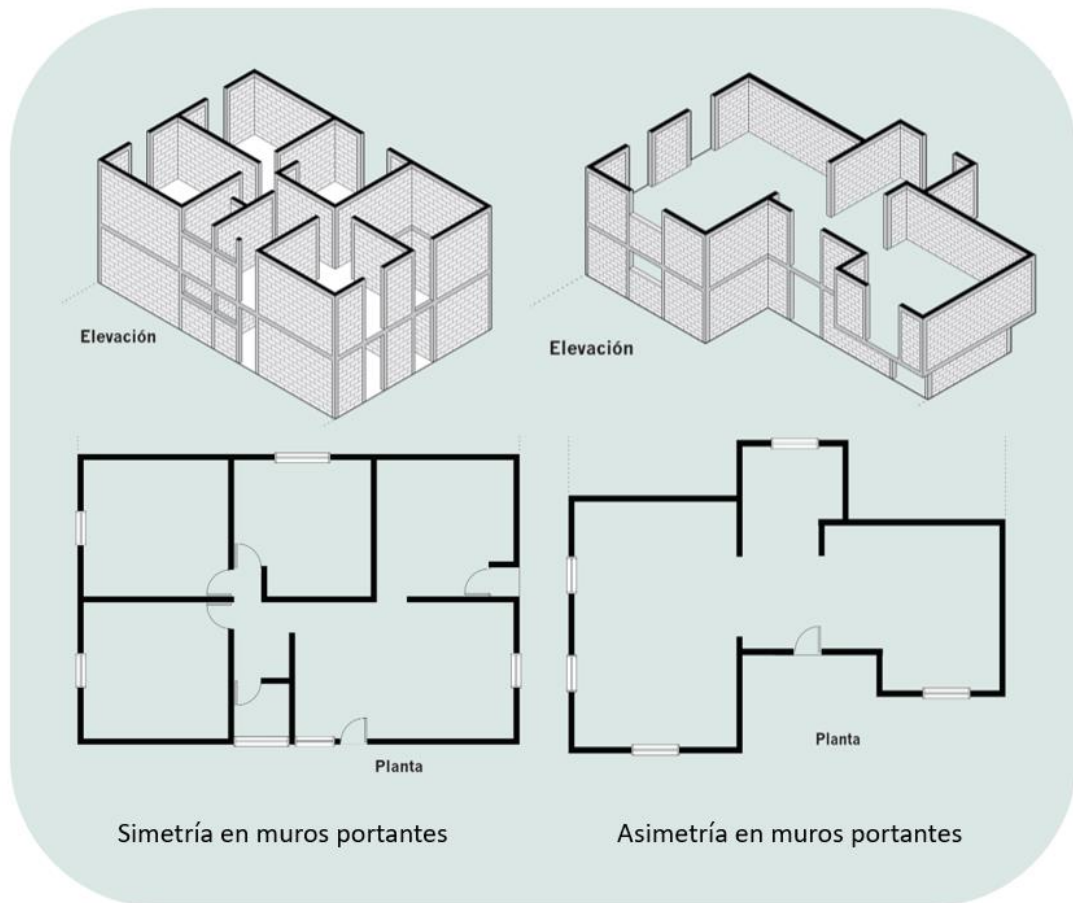
Las estructuras irregulares carecen de simetría, presentando discontinuidades en la geometría, masa o elementos verticales de carga, provocando interrupciones de flujo en las fuerzas y concentración de esfuerzos.

3.5.2.1.1. Irregularidad horizontal

Se considera como planta irregular cuando la configuración del plano de la estructura y su sistema resistente a las fuerzas laterales que contienen esquinas interiores son mayores del 15 por ciento de la dimensión en el plano de la estructura en dicha dirección.

Una característica común de las irregularidades horizontales es que la falta de uniformidad facilita que en algunas esquinas se presenten intensas concentraciones de fuerzas que pueden ser difíciles de resistir, esquinas interiores, formándose cuando la planta tiende a tener forma de L, C, H, T o una combinación de estas tienden a crear variaciones de rigidez, ocasionando concentración local de esfuerzos en las esquinas entrantes y al mismo tiempo provocan torsión al no coincidir el centro de masa de la edificación respecto al centro de rigidez.

Figura 21. **Ejemplo de simetría y asimetría en muros portantes**



Fuente: MARINILLI, Angelo. *Vivienda de mampostería confinada con elementos de concreto armado*. p. 16.

3.5.2.1.2. Irregularidad vertical

Se denomina irregularidad vertical a los cambios repentinos de resistencia, rigideces, geometría y masa, como resultado de una distribución irregular de fuerzas y deformaciones a lo largo de la altura de la estructura. Donde las irregularidades de masa y rigideces de los elementos pueden llegar a ocasionar grandes fuerzas de torsión.

Las transiciones bruscas de resistencia y discontinuidad en la rigidez en lo alto de la edificación pueden ocasionar grandes daños como el desprendimiento de fragmentos y el colapso de algunos elementos.

3.5.3. Densidad mínima de muros

Al referirnos a la densidad de muros, se habla de la cantidad de muros que se deben de tener en cada dirección de la planta, y se cuantifica como la razón entre el área total de muros efectivamente confinados en cada una de las direcciones y el área total de la planta de la vivienda.

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

En Guatemala por aproximadamente 75 años se desarrollado la construcción de mampostería confinada, sin embargo, en la mayoría de las estructuras la distribución y cantidad de paredes se establecen de forma empírica, con reglas que se basan en costumbres y mitos de la construcción.

En los sectores constructivos del país no ha existido la preocupación de la cantidad de paredes que debe presentar una estructura. parámetro que permite establecer si la construcción será capaz de combatir efectos debido a la torsión, por el embate de fuerzas laterales.

3.5.3.1. Cantidad mínima de muros

La cantidad de paredes que debe tener una vivienda para que esta sea determinada como segura es decir que sea capaz de resistir las fuerzas en un rango inelástico, dependerá del número de metros cuadrados que posea la edificación, puesto que los muros confinados que se dispongan en cada uno de los ejes de la planta deben tener longitudes similares.

En el momento de contabilizar la longitud de los muros confinados en cada dirección principal, solamente se deben de tomar los muros que están confinados, que son continuos desde la cimentación hasta la cubierta, y que no tienen ninguna abertura entre columnas de confinamiento.

3.5.4. Continuidad de muros

Se debe de asegurar la continuidad y alineación vertical de los muros, tanto internamente como externamente de la edificación, desarrollando un comportamiento estructural sismorresistente adecuado. La continuidad permite que las cargas aplicadas se transmitan de forma directa hasta el suelo, puesto que las discontinuidades en las elevaciones pueden llegar a ocasionar la formación del efecto denominado piso suave.

3.5.5. Aberturas en muros

La presencia de aberturas en los muros como lo son puertas y ventanas influyen en la rigidez de las estructuras y así mismo en la forma de distribución de las fuerzas cortantes.

3.5.5.1. Irregularidad en la rigidez

Cuando la rigidez lateral de un piso es menor que el 70 por ciento de la rigidez lateral del piso superior o menor que el 80 por ciento del promedio de la rigidez lateral de los tres pisos superiores de la edificación se entiende que posee irregularidad en la rigidez. En casos extremos la rigidez lateral de la estructura de un piso es menor que el 60 por ciento de la rigidez del piso superior o menor que el 70 por ciento de la rigidez promedio de los tres pisos superiores.

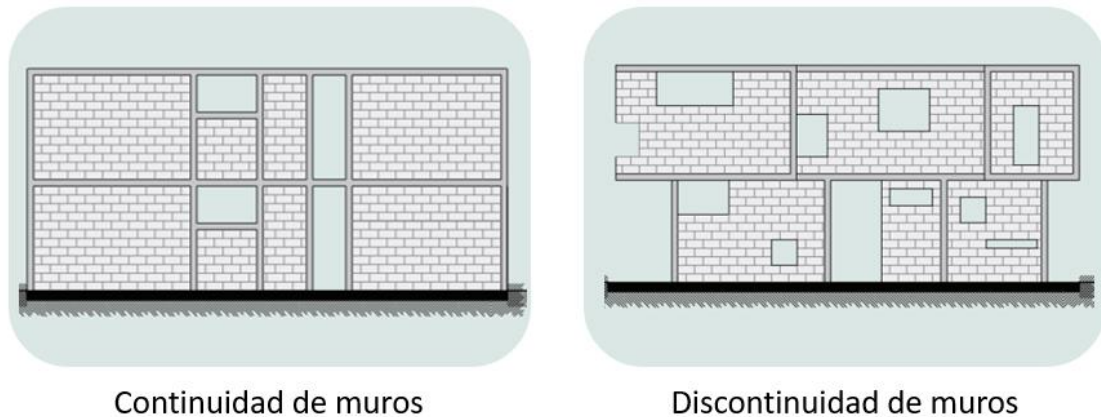
Los cambios de rigidez son el mayor causante del efecto de piso suave, y se genera cuando una estructura presenta mayor rigidez en el piso superior en comparación con el piso inferior.

En la mayoría de los requerimientos arquitectónicos los primeros niveles necesitan mayor visibilidad y se restringen los apoyos, causando así una zona de transición de fuerza y un diferencial de rigideces que producen una zona de alto riesgo sísmico, causando consigo un colapso abrupto.

Estos cambios son comunes en las edificaciones de mampostería, y la mayoría de las ocasiones se presentan en las construcciones no supervisadas, generando el problema por la necesidad de espacio en el nivel inferior.

Las irregularidades en la rigidez pueden ocasionar efectos de torsión, los cuales se deben principalmente por la ubicación de los elementos rígidos de la estructura encontrándose colocados de forma asimétrica en un nivel generando excentricidades ente el centro de masa y centro de rigidez.

Figura 22. Irregularidad en rigidez



Fuente: MARINILLI, Angelo. *Vivienda de mampostería confinada con elementos de concreto armado*. p. 18.

3.6. Fallas en los muros de mampostería

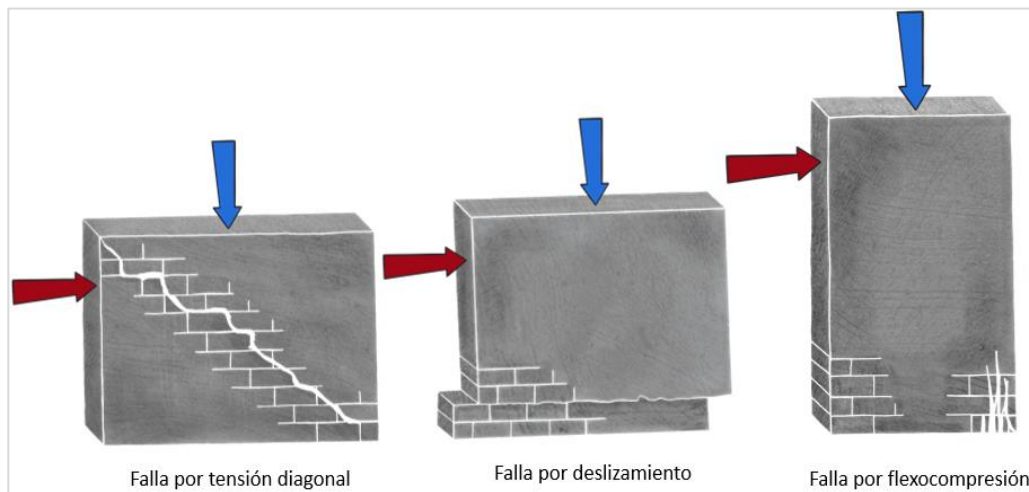
Los muros de mampostería se encuentran sometidos a cargas tanto axiales como laterales, los esfuerzos generados por estas cargas presentan diferentes fallas en los muros, las cuales pueden ser por deslizamiento, tensión diagonal y flexocompresión. También existe la falla de compresión que se presenta en muros de mampostería reforzada cuando la cuantía de acero es elevada.

La falla por cortante se caracteriza por presentar un agrietamiento diagonal sobre las unidades de mampostería o siguiendo las juntas del mortero, se debe principalmente a que los esfuerzos normales exceden la resistencia a tensión diagonal de la mampostería.

La falla por deslizamiento se produce cuando existe muy poca carga axial y la fuerza cortante lateral exceden la adherencia del mortero con las unidades, generando esfuerzos contantes en las juntas horizontales del muro.

La falla por flexocompresión es generada por una carga axial muy elevada generando esfuerzos normales altos, comparados con los esfuerzos producidos por el corte.

Figura 23. **Modos de falla en muros de mampostería**



Fuente: elaboración propia, empleando Procreate 2022.

4. ANALISIS DE COMPARACIÓN PARA EL CÁLCULO DE LA DENSIDAD MÍNIMA DE MUROS

En Guatemala la construcción de viviendas unifamiliares se realiza principalmente mediante las estructuras tipo cajón de mampostería de bloques de concreto, demostrando que este tipo de construcciones posee un mejor comportamiento ante eventos sísmicos. Es por ello que para el diseño de las edificaciones se debe de considera el parámetro de densidad mínima de muros el cual establece si la configuración y distribución de muros es la adecuada para que presente un comportamiento adecuado ante terremotos.

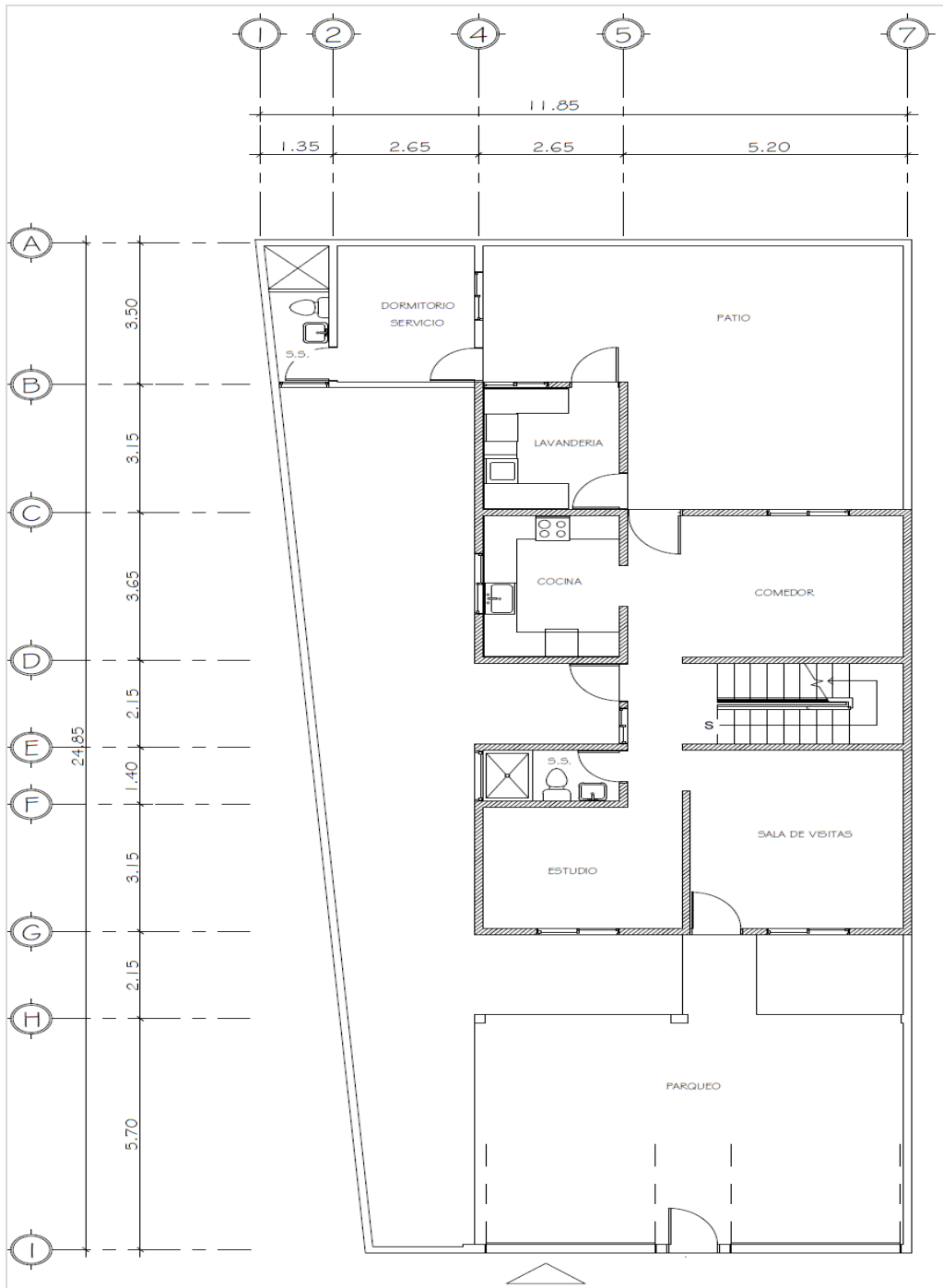
Para la determinación del cálculo de la densidad mínima de muros de una vivienda unifamiliar se presentan los datos de longitudes en ejes, longitud total de muros y área de planta de cada nivel en la I. Las plantas de cada nivel se presentan en las Figura 24, Figura 25 y Figura 26.

Tabla I. **Datos de planta de vivienda de tres niveles**

Datos	Primer Nivel	Segundo Nivel	Tercer Nivel
Longitud en X (m)	13,50	10,35	10,35
Longitud en Y (m)	7,85	7,85	7,85
Área de planta (m ²)	105,98	81,25	81,25
Longitud total de muros reales (m)	65,20	58,45	58,45

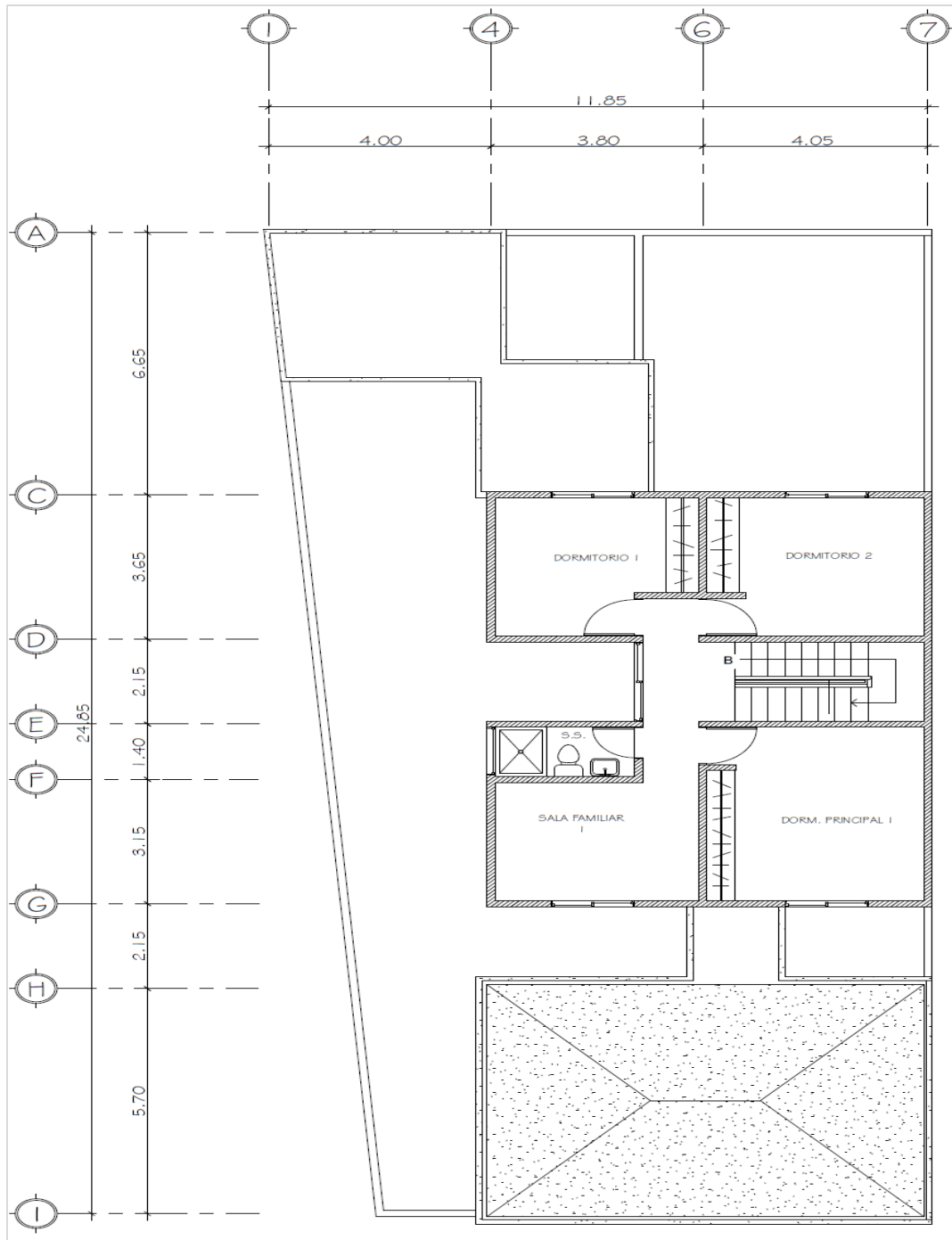
Fuente: elaboración propia.

Figura 24. Planta primer nivel



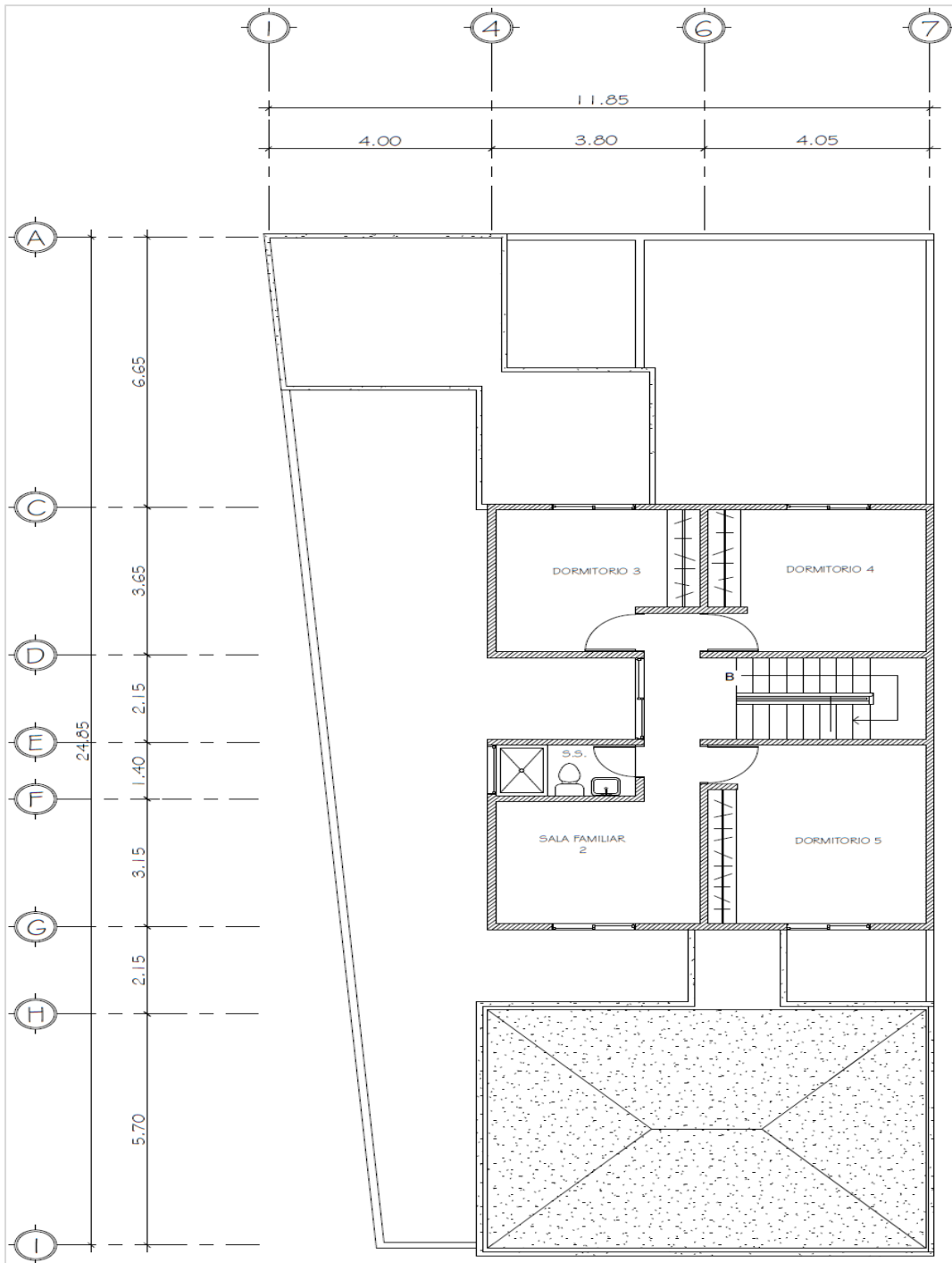
Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2021.

Figura 25. Planta segundo nivel



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2021.

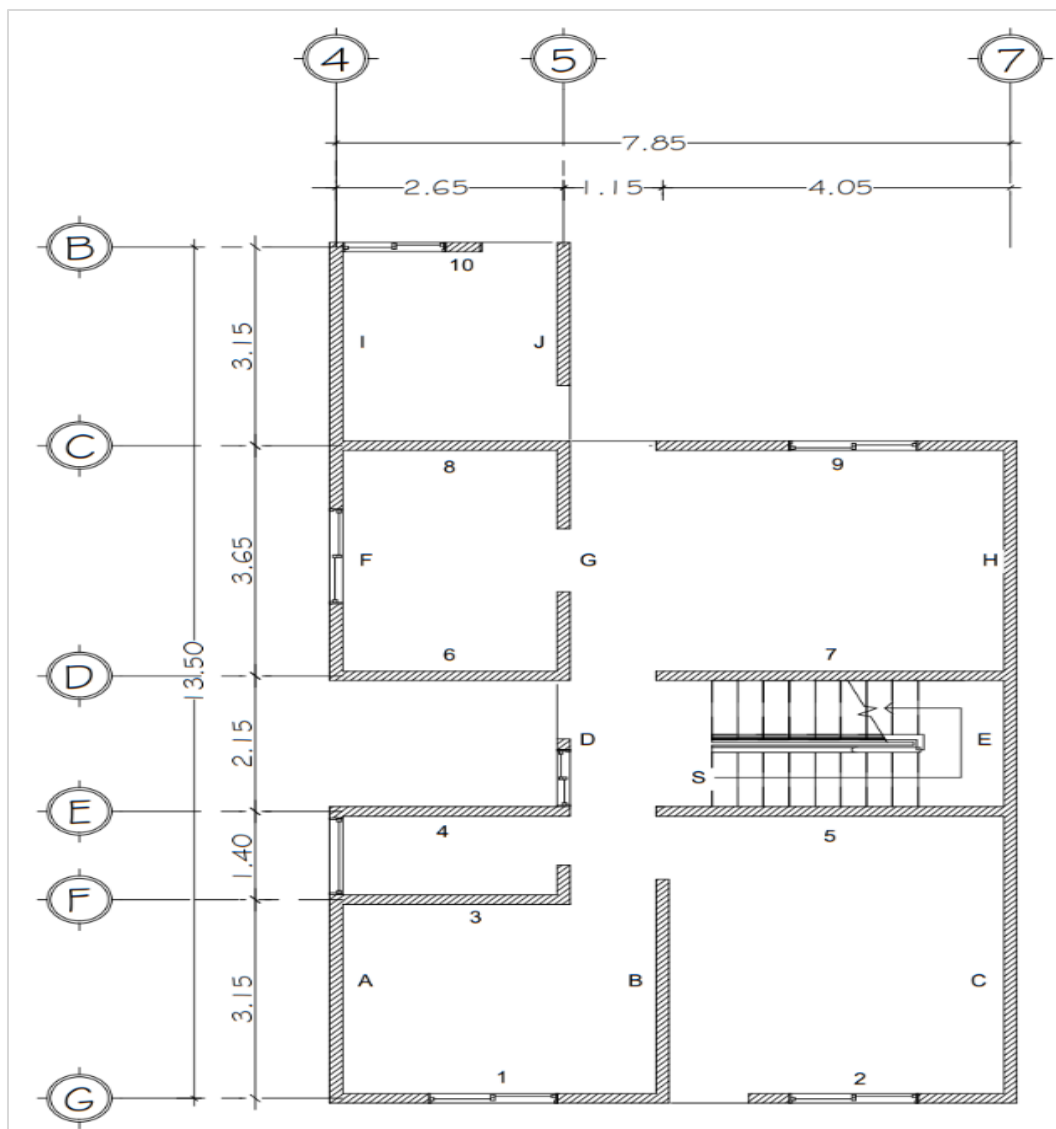
Figura 26. Planta tercer nivel



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2021.

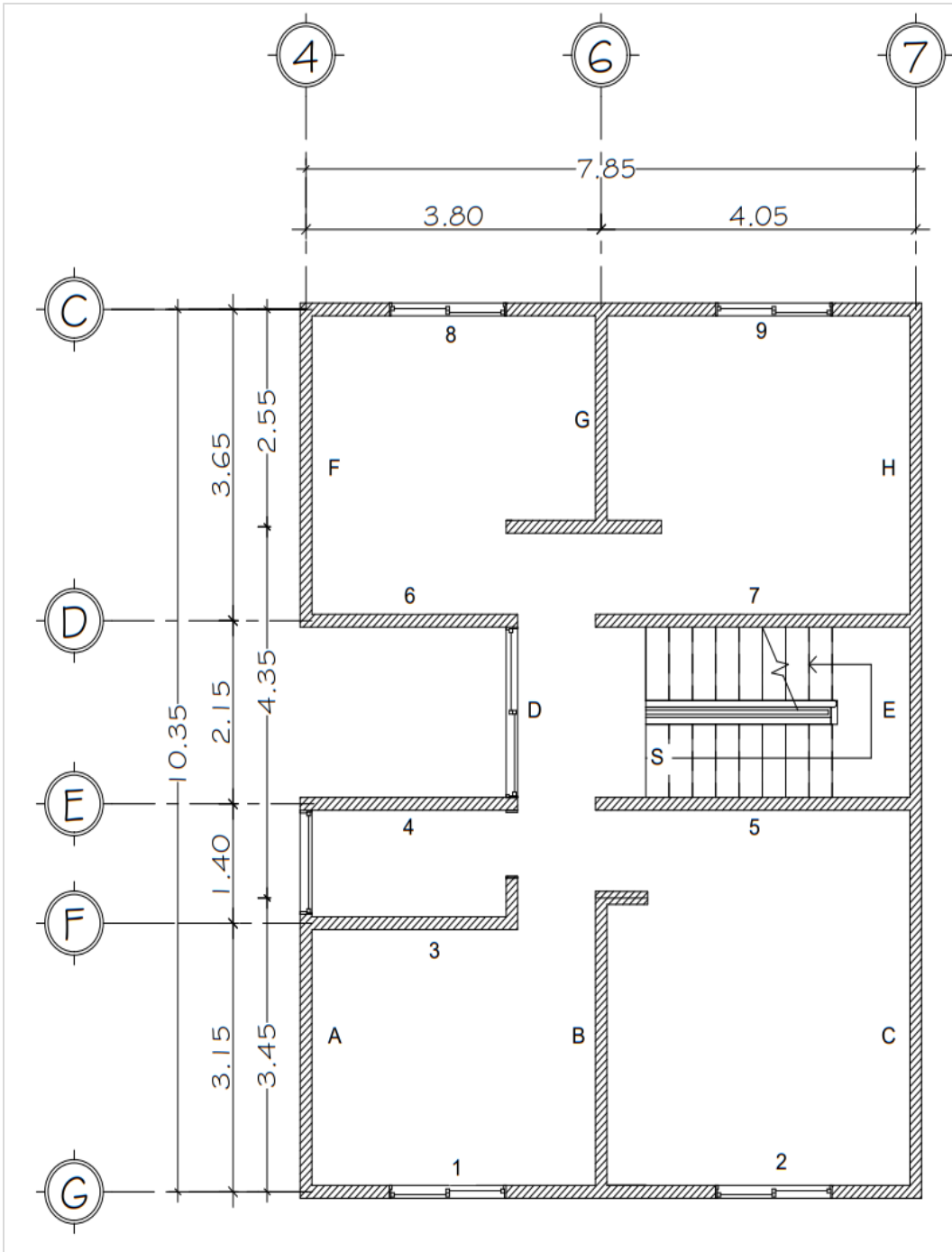
Para el análisis de la determinación de densidad mínima de muros, se deben considerar solamente las paredes portantes, identificando con números los muros correspondientes al eje x y con letras los del eje y , como se muestra en la Figura 27, Figura 28 y Figura 29.

Figura 27. **Planta acotada e identificación de muros primer nivel**



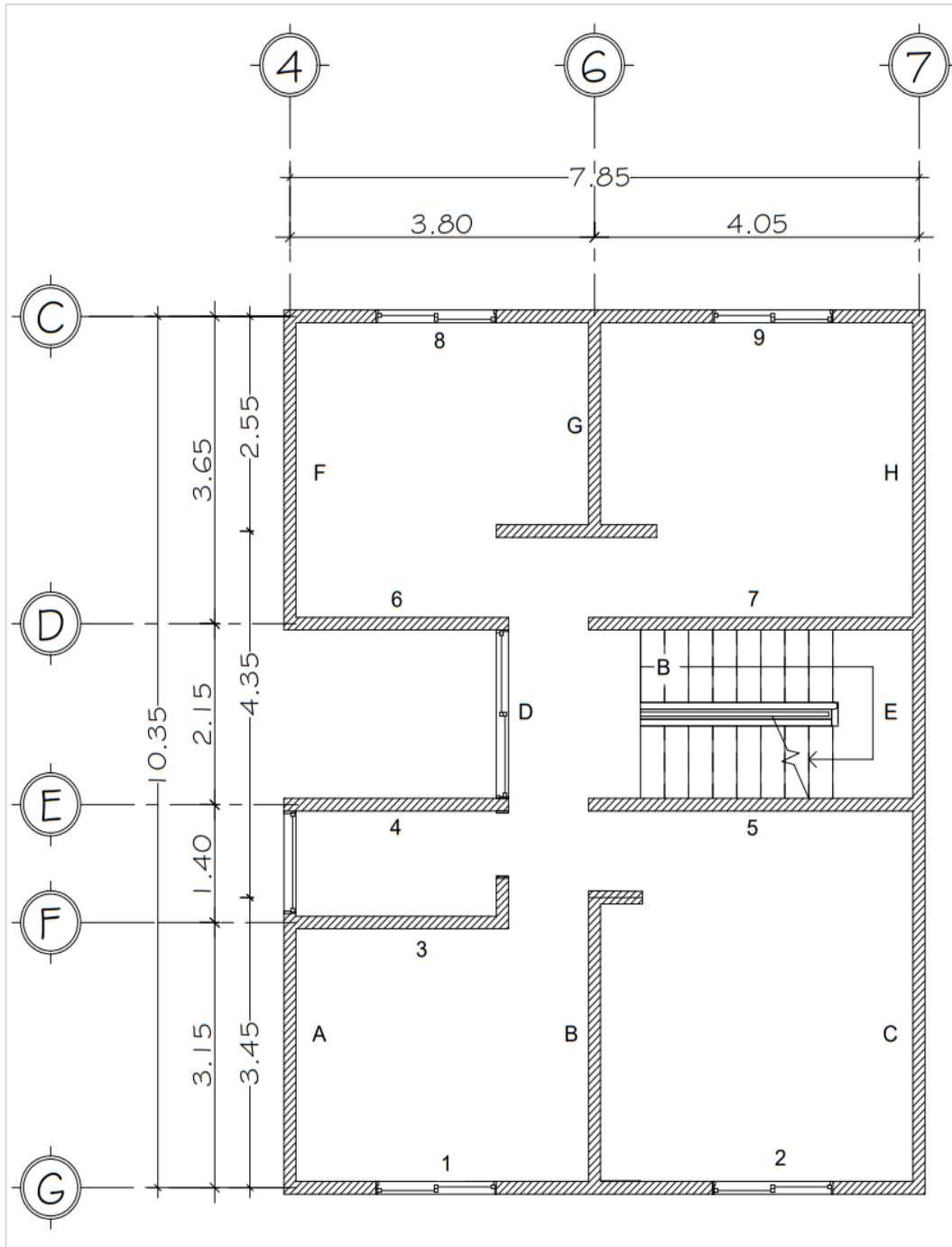
Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2021.

Figura 28. **Planta acotada e identificación de muros segundo nivel**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2021.

Figura 29. Planta acotada e identificación de muros tercer nivel



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2021.

Identificados los muros portantes se procede a determinar los metros lineales de cada pared, como se muestra en la Tabla II y Tabla III.

Tabla II. **Metros lineales de muros portantes primer nivel**

Muros	Metros lineales
A	4,55
B	3,40
C	4,55
D	2,15
E	2,15
F	3,65
G	3,65
H	3,65
I	3,15
J	2,10
1	3,80
2	4,05
3	2,65
4	2,65
5	4,05
6	2,65
7	4,05
8	2,65
9	4,05
10	1,60

Fuente: elaboración propia.

Tabla III. **Metros lineales de muros portantes segundo y tercer nivel**

Muros	Metros lineales
A	4,55
B	3,45
C	4,55
D	2,15
E	2,15
F	3,65
G	2,55
H	3,65
1	3,80
2	4,05
3	2,65
4	2,65
5	4,05
6	2,65
7	4,05
8	3,80
9	4,05

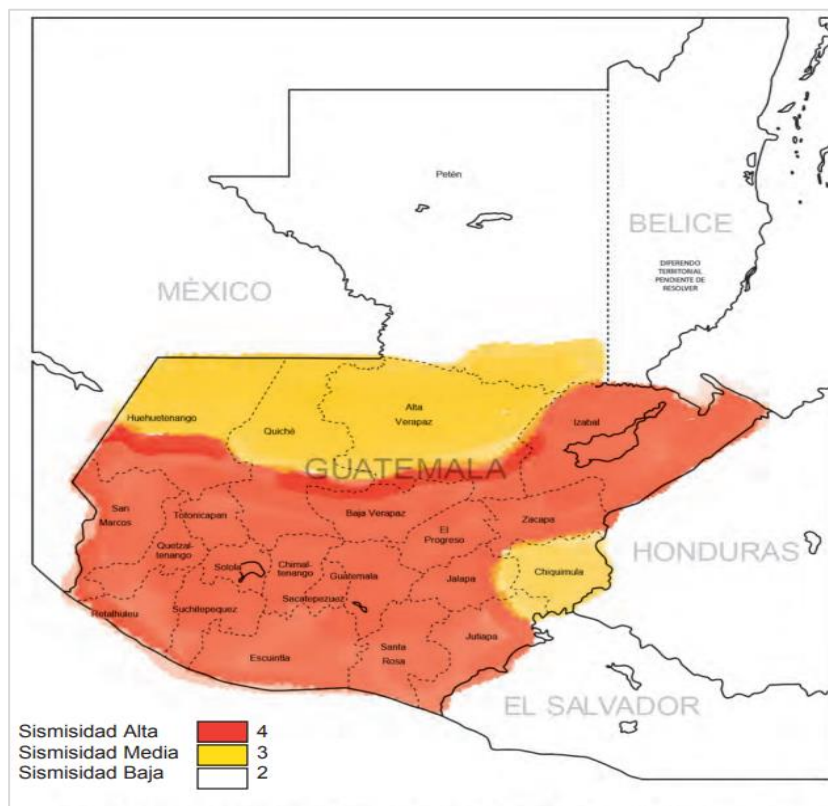
Fuente: elaboración propia.

Se debe de entender que tanto la planta del segundo nivel como la del tercer nivel son iguales por lo que los resultados reflejados en la Tabla III corresponden tanto para el segundo como para el tercer nivel.

4.1. Primer caso. Cálculo de la densidad mínima de muros según normativa de la Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica (AGIES) de Guatemala

Para la determinación del número de paredes a construir se debe de indicar la ubicación de la vivienda, considerando el nivel de sismicidad de la región, para la implementación de los parámetros establecidos en la normativa. Guatemala dispone de un mapa de amenaza sísmica, se puede visualizar en la Figura 30, al igual que una lista de municipios y el tipo de amenaza que representan.

Figura 30. Mapa de amenaza sísmica



Fuente: AGIES. *Cartilla de diseño estructural de mampostería reforzada para albañiles y constructores*. p. 56.

Para la obtención de datos significativos del cálculo de densidad mínima de muros, en este trabajo se consideró que la vivienda unifamiliar analizada se encuentra ubicada en zona de alta sismicidad, región naranja mostrada en la Figura 30, utilizando los parámetros establecidos en el Manual de diseño sismo-resistente simplificado mampostería de *block* de concreto para Guatemala del municipio de Mixco del departamento de Guatemala presentados en la Tabla IV.

Tabla IV. **Parámetros para longitud de paredes mínima según amenaza de alta sismicidad**

Tipo de <i>block</i>	Espesor de pared (cm)	Factor de densidad de muro según clase de <i>block</i>				Colocación de mortero
		Clase A	Clase B	Clase C	Clase D	
DT	19,00	0,056	0,065	0,080	0,092	Lecho completo
	14,00	0,073	0,084	0,104	0,119	
DT	19,00	0,059	0,068	0,084	0,096	Lecho parcial
	14,00	0,077	0,089	0,110	0,126	
DT	19,00	0,042	0,048	0,059	0,068	Relleno con <i>Grout</i>
	14,00	0,057	0,065	0,080	0,092	
UT	19,00	0,042	0,048	0,059	0,068	Lecho parcial
	14,00	0,057	0,065	0,080	0,092	
UT	19,00	0,062	0,072	0,089	0,102	Relleno con <i>Grout</i>
	14,00	0,082	0,095	0,117	0,135	

Fuente: AGIES. *Cartilla de diseño estructural de mampostería reforzada para albañiles y constructores.* p. 60.

Se debe de tomar en cuenta la clasificación, tipo de mampostería de concreto, espesor del bloque y la forma de colocación del mortero, como factores que influyen en la determinación de la cantidad de paredes necesarias en el diseño tipo cajón. Para el caso analizado se utilizó *block* tipo DT y clase B, con un espesor de nominal de 15 cm, además de considerar una colocación de mortero en lecho completo.

4.1.1. Densidad mínima de muros de mampostería

La cantidad de paredes mínimas de una vivienda para establecerse como segura ante eventos sísmicos, depende del número de metros cuadrados totales de la vivienda. Si la vivienda cuenta con más de un nivel, se determina como la sumatoria de áreas de construcción de cada nivel que posea la edificación.

$$\text{Área total de construcción} = \sum \text{área de cada nivel}$$

El área total de construcción de la vivienda de tres niveles se determinaría como:

$$\text{Área total de construcción} = 105,98 \text{ m}^2 + 81,25 \text{ m}^2 + 81,25 \text{ m}^2$$

$$\text{Área total de construcción} = 268,47 \text{ m}^2$$

Se deben de sumar los muros en cada dirección para determinar los metros lineales totales que se tienen de pared, para este caso solamente se deben de considerar las paredes que posean más de 1.20 metros de largo. Estos valores se obtienen de las Tablas II y Tablas III.

Tabla V. **Metros lineales totales de muros en cada dirección**

Dirección de muros	Metros lineales totales (m)		
	Primer nivel	Segundo nivel	Tercer nivel
x	32,30	31,75	31,75
y	33,00	26,70	26,70

Fuente: elaboración propia.

Para la determinar la densidad mínima de muros de una vivienda según el Manual de diseño sismo-resistente simplificado mampostería de block de concreto para Guatemala como:

$$\text{Densidad de muros} = \text{área total de construcción} * \text{Factor de sismicidad}$$

Según los datos anteriormente proporcionados se puede establecer con las características de tipo de *block*, clase de mampostería, y tipo de lecho un factor de 0.084 metros lineales de pared por cada metro cuadrado de la planta, de la Tablan IV. Permitiendo obtener un valor de densidad de muros igual a:

$$\text{Densidad de muros} = 268,47 \text{ m}^2 * 0.084 \frac{\text{m}}{\text{m}^2}$$

$$\text{Densidad de muros} = 22,55 \text{ m}$$

Lo que significa que en cada eje de la edificación se deben de levantar como mínimo 22,55 metros lineales de pared. Con este valor se procede a realizar la verificación de la cantidad de metros lineales que se posee en los tres niveles de la vivienda.

Tabla VI. **Verificación de levantado mínimo de pared en cada eje**

Dirección de muros	Metros lineales Totales			Metros lineales mínimo de levantado
	Primer nivel	Segundo nivel	Tercer nivel	
x	32,30	31,75	31,75	22,55
y	33,00	26,70	26,70	22,55

Fuente: elaboración propia.

En la Tabla VI, se puede establecer que en ambos ejes de cada nivel la cantidad de paredes a levantar es suficiente, teniendo valores mayores a los 22,55 metros lineales que se requieren, es decir que se cuentan con la cantidad suficiente de paredes para combatir los embates sísmicos.

4.2. Segundo caso. Cálculo de la densidad mínima de muros según Código Sísmico de Costa Rica

El Código Sísmico de Costa Rica establece los criterios generales obligatorios para el diseño estructural y la construcción de viviendas de mampostería, con el objetivo de lograr un adecuado comportamiento durante eventos sísmicos.

Para la determinación del cálculo de la densidad mínima de muros el código establece que se debe de determinar la longitud mínima total (Lt), de paredes de altura completa en cada nivel como:

$$Lt = 0.40 * \text{Área de planta}$$

La longitud mínima total de paredes de la vivienda para el primer nivel se determinaría como:

$$L_{t_{\text{prime nivel}}} = 0.40 * 105,98 \text{ m}^2 = 42,39 \text{ m}$$

Para el segundo y tercer nivel como:

$$L_{t_{\text{segundo y tercer nivel}}} = 0.40 * 81,25 \text{ m}^2 = 32,50 \text{ m}$$

La longitud mínima de paredes en cada dirección se determina como un tercio de la longitud mínima total, expresándose como:

$$L_{\text{mínima}_{\text{prime nivel}}} = \frac{1}{3} * L_{t_{\text{nivel}}}$$

Para el primer nivel la longitud mínima de paredes a levantar se determina como:

$$L_{\text{mínima}_{\text{prime nivel}}} = \frac{1}{3} * 42,39 \text{ m} = 14,13 \text{ m}$$

De esta forma se procede a determinar la longitud mínima de paredes para el segundo y tercer nivel respectivamente obteniendo:

$$L_{\text{mínima}_{\text{segundo y tercer nivel}}} = \frac{1}{3} * 32,50 \text{ m} = 10,83 \text{ m}$$

Es decir que en cada eje de la edificación para el primer nivel se deben de levantar como mínimo 14,13 metros lineales de pared y para el segundo y tercer nivel se deben de levantar como mínimo 10,83 metros lineales de muros. Con

estos valores se procede a realizar la verificación de la cantidad de metros lineales de cada eje que se posee en los tres niveles de la vivienda.

Tabla VII. Verificación de levantado mínimo de pared en cada eje según código costarricense

Dirección de Muro	Primer nivel		Segundo y tercer nivel	
	Longitud lineal total (m)	Longitud mínima (m)	Longitud lineal total (m)	Longitud mínima (m)
x	32,30	14,13	31,75	10,83
y	33,00	14,13	26,70	10,83

Fuente: elaboración propia.

La Tabla VII establece que en ambos ejes de cada nivel la cantidad de paredes a levantar es suficiente, poseyendo un valor de longitud de muros mayor a las longitudes mínimas que se requieren, es decir que se cuentan con la cantidad suficiente de paredes para tener un comportamiento sísmico adecuado.

4.3. Tercer caso. Cálculo de la densidad mínima de muros según normativa E 070 albañilería de Perú

La norma establece los requisitos y las exigencias mínimas para el análisis, el diseño, los materiales, la construcción, el control de calidad y la inspección de las edificaciones de albañilería estructuradas principalmente por muros confinados y por muros armados.

4.3.1. Zonificación sísmica

La zonificación sísmica consiste en dividir una región en porciones, donde en cada una de ellas se especifican los parámetros constantes para el diseño sísmico. Las zonas de suelos inestables tienen fenómenos locales extremos, donde la vibración sísmica puede provocar fallas de suelo, es por ello que deben de identificarse mediante estudios geotécnicos específicos.

El territorio nacional peruano se considera dividido en cuatro zonas, como se muestra en la Figura 31. La zonificación se basa en la distribución espacial de la sismicidad y las características generales de los movimientos sísmicos.

Figura 31. Zonificación del territorio peruano

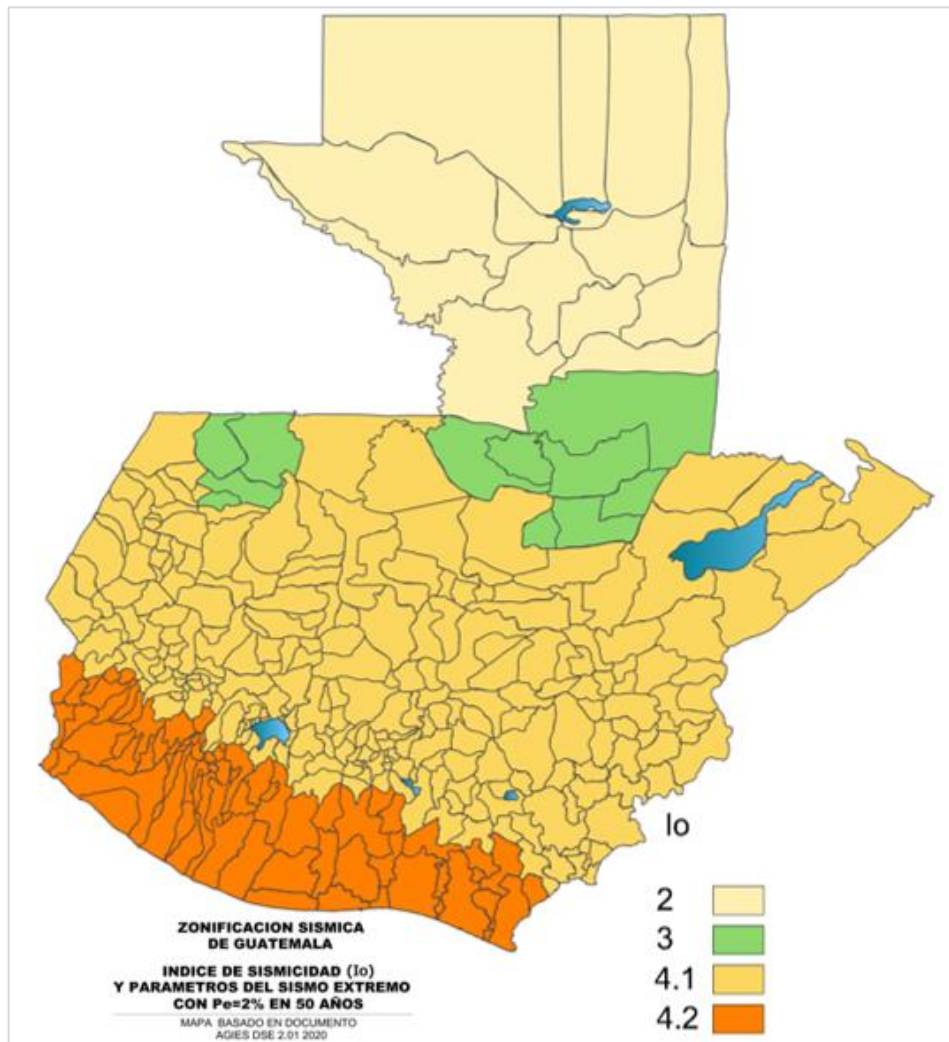


Fuente: MUÑOZ, Alejandro. *Comentarios a la Norma Peruana E030 Diseño Sismorresistente*. p. 14.

Guatemala al ser una región de alta sismicidad, se ha dividido al igual que la región peruana en cuatro zonas sísmicas. Asignándole el nivel más bajo a la

mitad nororiental del país, mientras que las otras zonas aumentan en intensidad a medida que se acercan al Océano Pacífico, como se puede ver en la Figura 32.

Figura 32. **Zonificación del territorio guatemalteco**



Fuente: AGIES. *NSE2 Demandas Estructurales y Condiciones de Sitio*. p. 4-6.

Debido a la naturaleza de los sismos, el efecto de estos en las edificaciones se establece en términos probabilísticos empleando un parámetro representativo

del movimiento que, para propósitos de diseño estructural se define como aceleración máxima del terreno. Para el cálculo de la aceleración y la probabilidad se emplean modelos que consideran la distribución espacial y temporal de la sismicidad, la atenuación del movimiento en la corteza y la transformación que sufren las aceleraciones en los estratos de suelo.

La normativa E 070 peruana dependiendo de la zona sísmica asigna un Factor de Zona (Z), este se debe de interpretar como la aceleración máxima en suelo rígido, estos valores se han determinado mediante estudios de peligro sísmico.

A diferencia de Perú, Guatemala no establece un factor directo de aceleración máxima por región sísmica. Sino que las Normas de Seguridad Estructural para Guatemala (NSE) 2 Demandas Estructurales y Condiciones de Sitio, establece una serie de pasos para determinar la aceleración sísmica según el índice de sismicidad (I_0) de la zonificación sísmica en donde se ubique la edificación.

4.3.1.1. Cálculo de aceleración máxima de suelo

La aceleración sísmica se define como una medición directa de las aceleraciones que llega a sufrir la superficie del suelo debido a un sismo. Para el análisis de la aceleración se deben seleccionar los criterios necesarios según las características del lugar y de la edificación a realizar.

Para el análisis de la edificación de tres niveles ubicada en el municipio de Mixco, del departamento de Guatemala y un suelo especificado como tipo D (suelo firme), la Norma NSE 2 establece los criterios necesarios para la

determinación de la aceleración máxima como se pueden visualizar en la Tabla VIII.

Tabla VIII. **Criterios para la determinación de la aceleración máxima de sismo**

Datos	Factor
Índice de sismicidad (I _o)	4,10
Ordena espectral de período corto (S _{cr})	1,47
Coefficiente por proximidad de las amenazas especiales período corto (N _a)	1,00
Coefficiente de sitio período corto (F _a)	1,00
Factor de determinación de los niveles de diseño (K _d)	0,80

Fuente: elaboración propia.

Para determinar la aceleración máxima de sismo, como primer paso se debe de realizar un ajuste tanto por clase de sitio como por intensidad sísmica especial en la ordena de periodo corto (S_{cr}), a través de la siguiente expresión:

$$S_{cs} = S_{cr} * F_a * N_a$$

Según los datos de la Tabla VIII se puede establecer que la ordenada espectral ajustada para estructuras de vibraciones de periodo corto (S_{cs}), será igual a la ordenada de periodo corto (S_{cr}) de 1,47, esto se debe a que los coeficientes de proximidad y de sitio son iguales a uno, lo que no generará alguna variación en el valor.

Luego se procede a calcular el parámetro del espectro calibrándolo con la probabilidad estipulada, como:

$$S_{cd} = K_d * S_{cs}$$

K_d se define como el factor de determinación de los niveles de diseño, este valor se selecciona según la probabilidad de ocurrencia del sismo de diseño. La norma establece cuatro tipos de niveles de sismo según la probabilidad de ser excedidos en 50 años, siendo estos: sismo ordinario, probabilidad del 10 %; sismo severo, probabilidad del 5 %; sismo extremo, probabilidad del 2 %; y sismo mínimo, que posee una condición de excepción en la probabilidad.

Para el caso de estudio se establece que el nivel de sismo se encuentra en la clasificación de sismo severo. El factor K_d se establece como 0,80 según la normativa NSE 2. Permitiendo determinar el parámetro del espectro como:

$$S_{cd} = 0,80 * 1,47$$

$$S_{cd} = 1,18$$

Establecidos los parámetros anteriores, se procede a realizar el cálculo de la aceleración máxima del suelo, según la norma NSE 2 guatemalteca como:

$$A_{MSd} = 0,40 * S_{cd}$$

Por lo tanto, la aceleración máxima se establece como:

$$A_{MSd} = 0,40 * 1,18$$

$$A_{MSd} = 0,47$$

4.3.2. Densidad de muros

La normativa peruana establece que la densidad mínima de muros portantes que se deben de poseer en cada dirección del edificio se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$\frac{\sum(Lt)}{A_p} \geq \frac{Z \cdot U \cdot S \cdot N}{56}$$

Donde:

L = longitud total del muro (incluyendo columnas)

T = espesor efectivo del muro

A_p = área de la planta típica

Z = Aceleración máxima según zona sísmica

U = Importancia de la edificación

S = Factor de modificación de aceleración según tipo de suelo

N = número de pisos del edificio

Z, U y S corresponden a factores de modificación según la zona sísmica de la ubicación de la estructura. Anteriormente se mencionó que Perú y Guatemala poseen una similitud en la zonificación sísmica, siendo posible determinar para la región guatemalteca a través de las condiciones establecidas por la Norma NSE 2 Demandas Estructurales Y Condiciones de Sitio, parámetros equivalentes a los propuestos a la normativa E 070 de albañilería peruana. Permitiendo realizar el análisis de la densidad de muros por medio del método establecido en dicha norma.

En la Tabla IX se puede ver la equivalencia de parámetros para la determinación de la densidad de muros.

Tabla IX. **Parámetros equivalentes para Guatemala**

Datos	Norma E 070 peruana		Norma NSE 2 Guatemala	
	Factores	Valor	Factores	Valor
Aceleración máxima Sísmica	Z	0,45	AMSd	0,47
Factor de importancia de obra	U	1,00	Obra importante	1,00
Factor de modificación de aceleración.	S	0,80	Kd	0,80

Fuente: elaboración propia.

Para determinar la sumatoria del área de muros portantes a analizar, se debe de calcular primero el área de cada pared por separado, como:

$$L_t = L * t$$

Para el muro A, en cada nivel se tiene una longitud de 4,55 metros y el espesor de mamposte de concreto es de 15 cm, permitiendo de esta forma establecer que el área del muro sea:

$$L_{t_A} = 4,55 \text{ m} * 0.15\text{m} = 0,68 \text{ m}^2$$

De esta forma se determinan las áreas de cada muro portante y procede a determinar el área total de muros efectivamente confinados que se posee en cada nivel, como se puede ver en las Tabla IX y Tabla X.

Tabla X. **Área de muros primer nivel**

Muros	Lt (m2)
A	0,68
B	0,51
C	0,68
D	0,32
E	0,32
F	0,55
G	0,55
H	0,55
I	0,47
J	0,32
1	0,57
2	0,61
3	0,40
4	0,40
5	0,61
6	0,40
7	0,61
8	0,40
9	0,61
10	0,24
ΣLt	9,78

Fuente: elaboración propia.

Tabla XI. **Área de muros segundo y tercer nivel**

Muros	Lt (m2)
A	0,68
B	0,52
C	0,68
D	0,32
E	0,32
F	0,55
G	0,38
H	0,55
1	0,57
2	0,61
3	0,40
4	0,40
5	0,61
6	0,40
7	0,61
8	0,57
9	0,61
ΣLt	8,77

Fuente: elaboración propia.

Se procede a realizar el análisis de la densidad mínima de paredes portantes, sustituyendo los valores correspondientes para cada nivel.

Para la determinación en el primer nivel el análisis se realiza como:

$$\frac{9,78 \text{ m}^2}{105,98 \text{ m}^2} \geq \frac{0,47 * 1,00 * 0,80 * 3}{56}$$

$$0,09 \geq 0,02$$

Para el segundo y tercer nivel se determinó la cantidad de muros portantes como:

$$\frac{8,77 \text{ m}^2}{81,25 \text{ m}^2} \geq \frac{0,47 * 1,00 * 0,80 * 3}{56}$$

$$0,11 \geq 0,02$$

Por medio de los resultados se puede establecer que el porcentaje de la cantidad de paredes a levantar es suficiente, teniendo un valor superior al porcentaje mínimo que se requiere, permitiendo deducir que se posee la cantidad suficiente de paredes para tener un comportamiento sísmico adecuado.

4.4. Cuarto caso. Cálculo de la densidad mínima de muros según normativa de sismología de Venezuela

La Fundación Venezolana de Investigación Sismológicas (FUNVISIS), establece que la cantidad de muros de mampostería confinada se debe de cuantificar mediante la densidad de muros, que la define como la razón entre el área total de muros efectivos confinados en cada una de las direcciones y el área de la planta a analizar. La relación usualmente se expresa en porcentaje como:

$$\frac{\sum(Lt)}{Ap} \geq 6 \%$$

Para la determinación en el primer nivel el análisis se realiza como:

$$\frac{9,78 \text{ m}^2}{105,98 \text{ m}^2} \geq 6 \%$$

$$0,09 \geq 0,06$$

Para el segundo y tercer nivel se determina el porcentaje de la cantidad de muros portantes como:

$$\frac{8,77 \text{ m}^2}{81,25 \text{ m}^2} \geq 6 \%$$

$$0,11 \geq 0,06$$

Mediante de los resultados se puede establecer que el porcentaje de la cantidad de paredes a levantar es suficiente, manteniendo un valor superior al porcentaje mínimo que se requiere, estableciendo que se posee la cantidad suficiente de paredes para tener un comportamiento sísmico adecuado.

4.5. Cuarto caso. Cálculo de la densidad mínima de muros según Reglamento Colombiano de Construcción Sismorresistente (NRS-10)

La Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica establece que la longitud mínima de muros estructurales se debe de determinar según la zona sísmica donde se encontrará ubicada la estructura.

La densidad mínima de muros se determina como:

$$L_m = \frac{(M_o * A_p)}{t}$$

Donde:

Lm= Longitud mínima de muros confinados

Mo= factor de conversión según zona sísmica

Ap= Área de la planta de la edificación (m²)

t= Espesor de muros en (mm)

El Reglamento Colombiano de Construcción Sismorresistente establece la aceleración máxima sísmica (Aa), con la que se puede establecer el factor de conversión Mo, el cual permite determinar la densidad mínima de muros.

Tabla XII. **Factor de densidad de muros por zona sísmica**

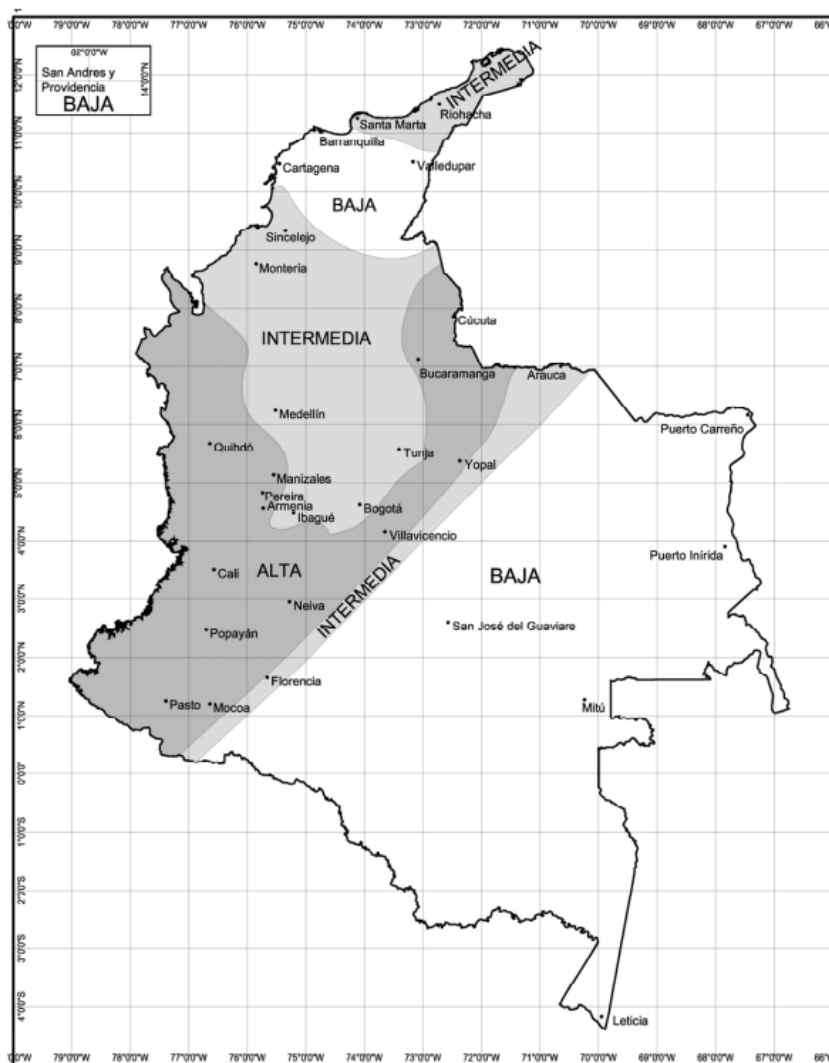
Zona sísmica	Aa	Mo
Alta	0,40	33
	0,35	30
	0,30	25
	0,25	21
Intermedia	0,20	17
	0,15	13
Baja	0,10	8
	0,05	4

Fuente: La Red. *Manual de construcción, evaluación y rehabilitación sismo resistente de viviendas de mampostería*. p. 24.

A diferencia de la región guatemalteca que se divide en cuatro zonas sísmicas, debido a que se encuentra ubicada en una región donde convergen 3 placas tectónicas, manifestándose tres tipos de fallamientos, mientras que Colombia solamente se divide en tres debido a sus características geológicas, a

pesar de que posee una conversión de tres placas tectónicas, estableciéndolas como alta, intermedia y baja, como se puede como se puede ver en la Figura 33.

Figura 33. **Mapa de zonificación sísmica de Colombia**



Fuente: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. *Reglamento colombiano de construcción sismorresistente*. p. 17.

Es por ello que los parámetros de establecidos a la norma no son aplicables a Guatemala, debido a esto se debe de realizar una relación que permita determinar valores comparables para la determinación de la cantidad mínima de paredes.

Por ello se puede determinar que M_o al ser un factor de conversión el cual permite trabajar en dos dimensionales diferentes, como lo es el área en metros y el espesor de muro en milímetros, se puede relacionar como:

$$\% \text{ densidad de muros} = \frac{M_o}{\frac{(1000mm)}{Aa}}$$

Realizando el análisis para el primer valor de Aa según la Tabla XII, la relación se determinaría como:

$$\% \text{ densidad de muros} = \frac{33}{\frac{(1000mm)}{0,40}}$$

$$\% \text{ densidad de muros} = 0,08$$

De esta manera se realiza para los demás valores que proporciona la Tabla XII, por las diferentes regiones, donde para obtener un porcentaje aceptable de análisis se realiza un promedio de resultados por zona sísmica, como se ve en la Tabla XIII.

Tabla XIII. **Porcentaje mínimo de muros portantes**

Zona Sísmica	Porcentaje de densidad de muros	Porcentaje mínimo de densidad de muros
Alta	0,083	0,084
	0,086	
	0,083	
	0,084	
Intermedia	0,085	0,086
	0,087	
Baja	0,080	0,080
	0,080	

Fuente: elaboración propia.

Por medio de estos valores se puede establecer que el porcentaje utilizado para la verificación de densidad mínima de muros para el análisis de la vivienda de mampostería estará dado por la región de Alta sismicidad siendo 0,084. Permitiendo utilizar la relación que usualmente se expresa en porcentaje como:

$$\frac{\sum(Lt)}{A_p} \geq 8,4 \%$$

Para la determinación en el primer nivel el análisis se realiza como:

$$\frac{9,78 \text{ m}^2}{105,98 \text{ m}^2} \geq 8,4 \%$$

$$0,09 \geq 0,084$$

Para el segundo y tercer nivel se determina el porcentaje de la cantidad de muros portantes como:

$$\frac{8,77 \text{ m}^2}{81,25 \text{ m}^2} \geq 8,4 \%$$

$$0,11 \geq 0,084$$

Por medio de los resultados se puede establecer que el porcentaje de la cantidad de paredes a levantar es suficiente, poseyendo un valor superior al porcentaje mínimo que se requiere, determinando que se posee la cantidad suficiente de paredes para tener un comportamiento sísmico adecuado.

4.6. Análisis de resultados

Según de los resultados obtenidos, se puede establecer que los métodos de determinación de la densidad mínima de muros que permiten obtener una longitud de forma directa en metros de la cantidad de paredes mínima portantes que debe de poseer la edificación, los establece la Norma Guatemalteca junto con la Norma Costarricense, como se puede ver en la Tabla XIV.

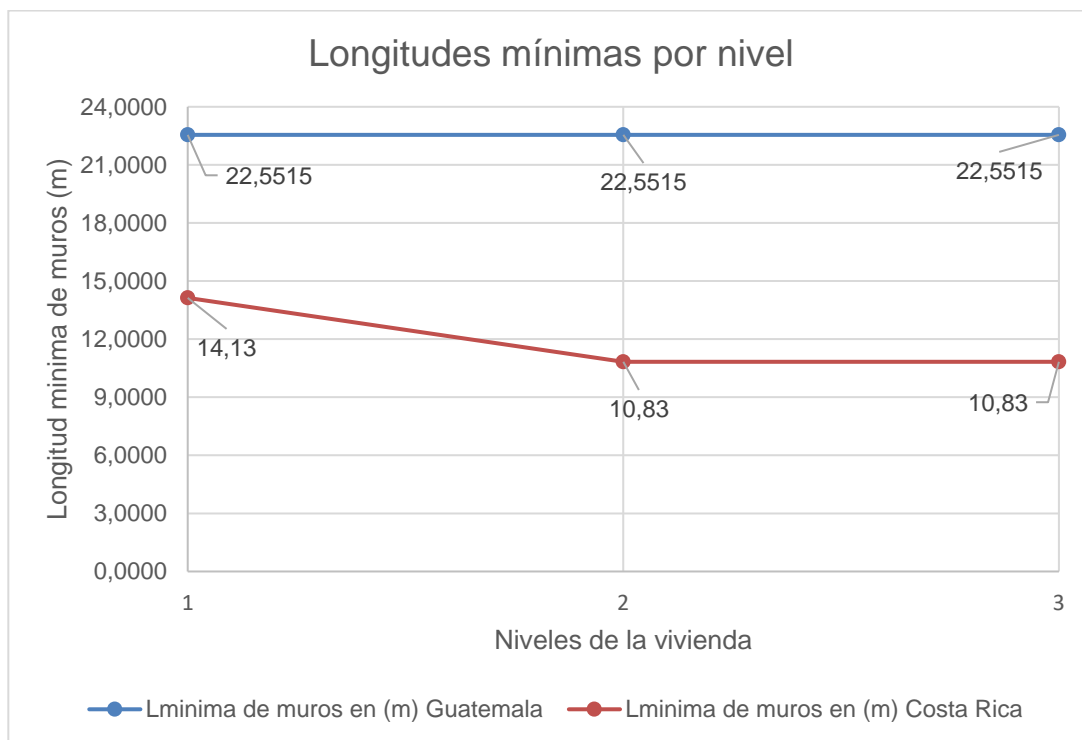
Tabla XIV. **Normas que proporcionan dimensión mínima de muros en metros de forma directa**

Nivel de vivienda	Longitud real de muros (m)	Longitud mínima de muros en (m) Guatemala	Longitud mínima de muros en (m) Costa Rica
1	65,20	22,55	14,13
2	58,45	22,55	10,83
3	58,45	22,55	10,83

Fuente: elaboración propia.

Al realizar una comparación de los resultados obtenidos se puede visualizar que para Guatemala la longitud mínima en metros que se debe de cumplir para poseer una buena densidad de muros no varía según el nivel que se analiza. Esto se debe a que AGIES ha establecido que para determinar el cálculo de este parámetro la estructura no se debe de analizar por separado cada nivel, sino que se analiza por medio del área total a construir. Mientras que la norma Costarricense realiza un análisis de la cantidad de muros portantes de forma independiente en cada nivel de la estructura.

Figura 34. **Gráfica de longitudes mínimas en metros por nivel**



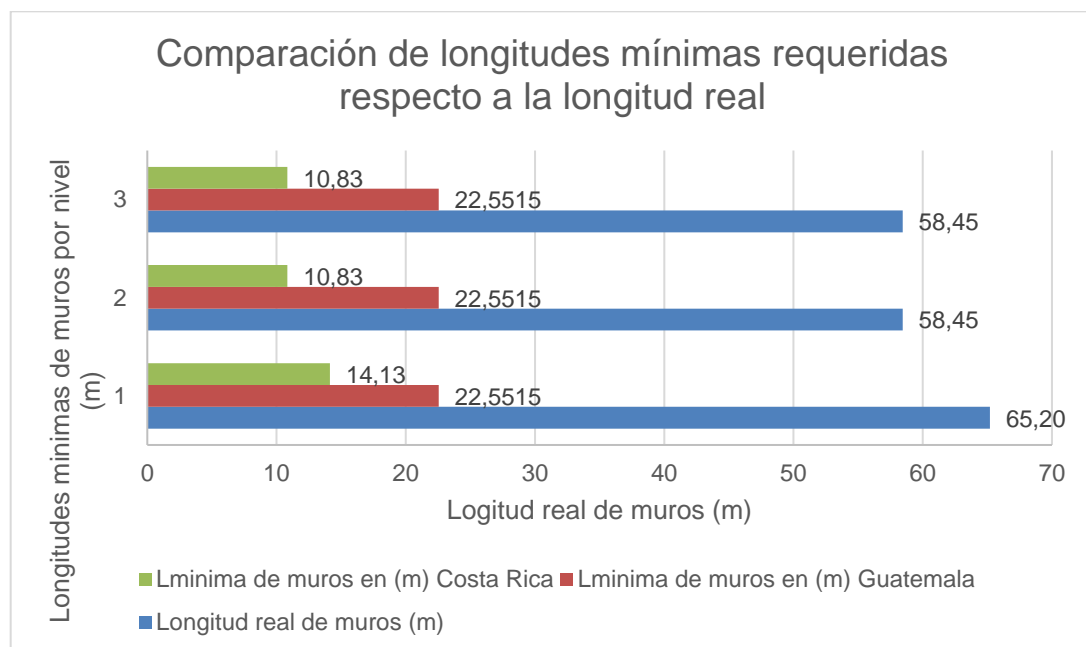
Fuente: elaboración propia.

En Guatemala se debe de considerar la zona sísmica donde se encuentre ubicada la vivienda, el país se encuentra dividido en cuatro zonas sísmicas,

aunque para el diseño de mampostería AGIES establece que debido al tipo de sismicidad que se posea se puede dividir en tres regiones: alta sismicidad, sismicidad media y baja sismicidad, como se ve en la Figura. 34. Dependiendo de esta región la norma establece los parámetros necesarios que se deben de considerar para que la estructura pueda resistir los movimientos telúricos.

Al comparar los valores de longitud mínima de muros respecto a la longitud total de muros portantes que se posee en la estructura como se ve en la Figura 35, se puede establecer que se cumple con ambas normas. Se puede decir que la distribución de muros propuesta en la planta es correcta y se tendrá un adecuado comportamiento sismorresistente.

Figura 35. **Gráfica de comparación de longitudes mínimas requeridas respecto a la longitud real**



Fuente: elaboración propia.

Diferente a los métodos mencionados, la determinación del cálculo de densidad de muros con la ayuda de las normativas sudamericanas establece un parámetro en porcentaje como se visualiza en la Tabla XV, que permite realizar el análisis gracias a la relación del área de la planta, con el área de muros portantes total de la edificación.

Tabla XV. Normas que poseen un parámetro porcentual equivalente para la densidad de muro

Nivel	Área de planta por nivel (m2)	Colombia (porcentaje)	Área proporcional Colombia (m2)	Venezuela (porcentaje)	Área proporcional Venezuela (m2)	Perú porcentaje	Área proporcional Perú (m2)
1	105,98	8,40	8,90	6,00	6,36	2,00	2,14
2	81,25	8,40	6,82	6,00	4,87	2,00	1,64
3	81,25	8,40	6,82	6,00	4,87	2,00	1,64

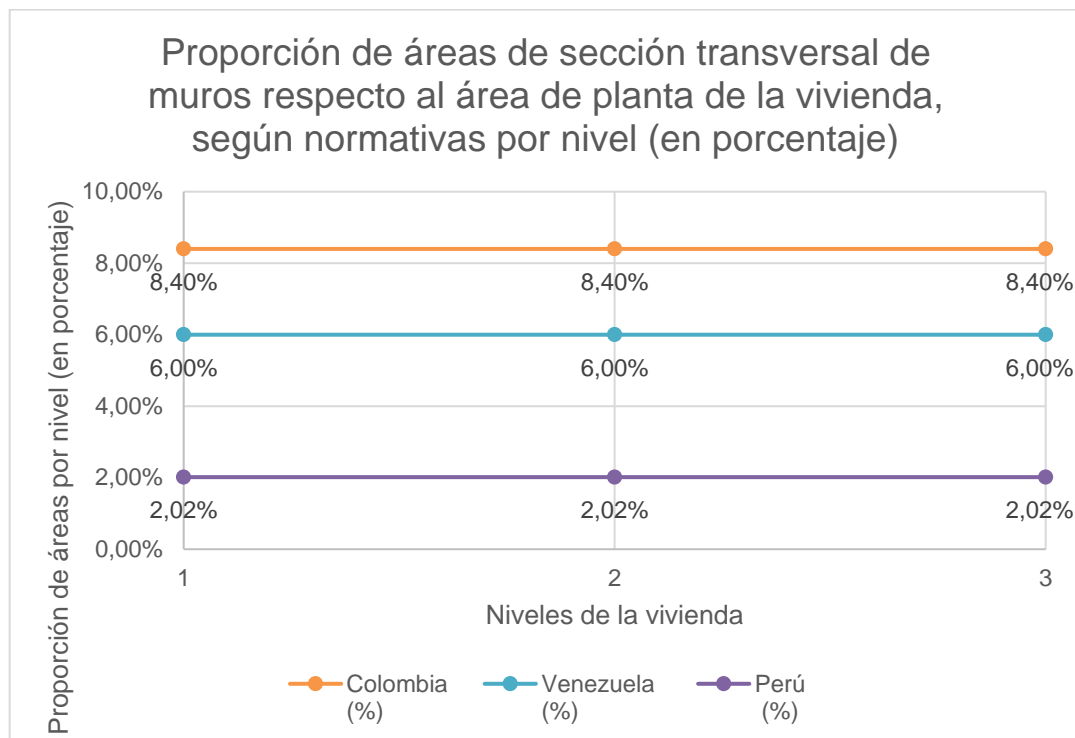
Fuente: elaboración propia.

Es decir que según el valor obtenido de densidad de muros mínimo que se determinó con la normativa E 070 de Perú, que se puede ver en la Figura 36, establece que por cada 2 unidades de área de la sección transversal de la pared, se cubren 100 unidades de área en la planta de la vivienda; para Venezuela indica que por cada 6 unidades de área de la sección transversal de la pared, se cubren 100 unidades de área en la planta de la estructura; y para Colombia se determina que por cada 8,4 unidades de área de la sección transversal de la pared, se cubren 100 unidades de área en la planta de la vivienda.

Al determinar el porcentaje equivalente de área mínimo que se requiere para trabajar la estructura como sismorresistente, se puede visualizar que el área

total de la planta es superior a las áreas que limitan, cumpliendo así con el requerimiento de la densidad de muros.

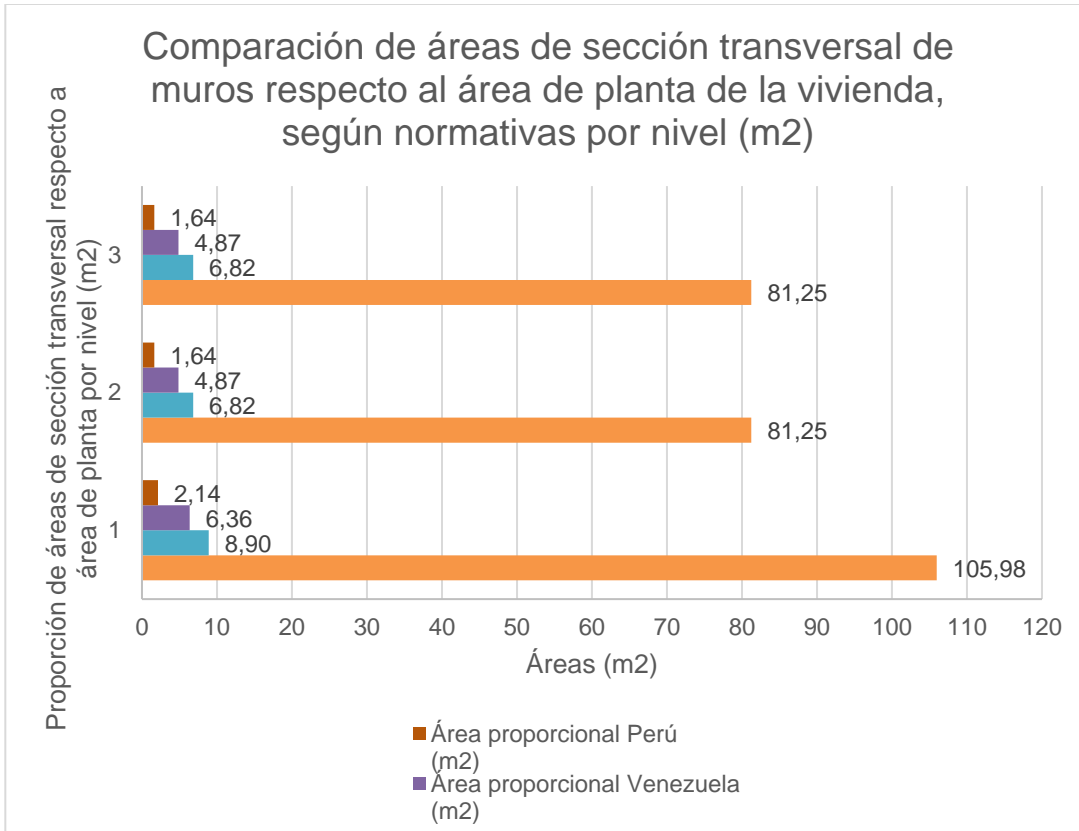
Figura 36. **Gráfica de proporción de áreas se sección transversal de muros respecto al área de planta de la vivienda**



Fuente: elaboración propia.

En la Figura 37 se visualiza que según la región analizada los porcentajes mínimos de densidad aumentan por consiguiente las áreas mínimas de muros requeridas aumentan de igual manera, y se debe principalmente a la ubicación de las placas tectónicas que los atraviesan.

Figura 37. **Gráfica de comparación de áreas mínimas respecto al área real de planta de la vivienda**



Fuente: elaboración propia.

Para poder realizar una adecuada comparación entre los cinco métodos empleados para la determinación de la densidad de muros, se realizó una interpolación que permitió obtener los valores de las longitudes mínimas equivalentes para Colombia, Venezuela y Perú, con ello se procede a realizar una comparativa con las longitudes obtenidas para Guatemala y Costa Rica, junto con la longitud real de muros portantes que se tiene en la edificación, como se puede ver en la Tabla XVI.

Tabla XVI. **Longitud mínima de muros según normativas**

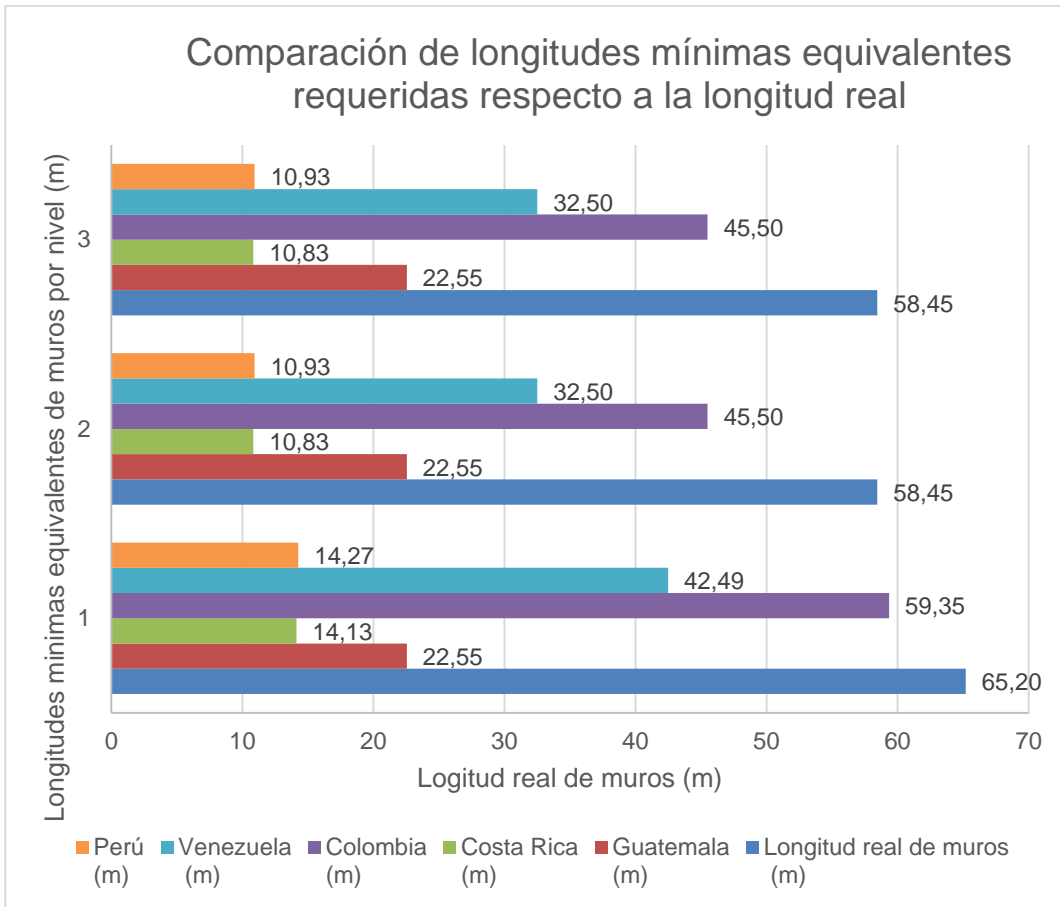
Nivel	Área de planta (m2)	Longitud real de muros (m)	Guatemala (m)	Costa Rica (m)	Colombia (m)	Venezuela (m)	Perú (m)
1	105,98	65,20	22,55	14,13	59,35	42,49	14,27
2	81,25	58,45	22,55	10,83	45,50	32,50	10,93
3	81,25	58,45	22,55	10,83	45,50	32,50	10,93

Fuente: elaboración propia.

Al realizar la comparación de los datos presentados en la Tabla XVI, en la Figura 38 se puede visualizar que las longitudes reales de los muros portantes tanto para el primer nivel como para el segundo y tercero de la vivienda analizada son superiores a las mínimas requeridas calculadas por medio de cada uno de los métodos analizados.

Lo que establece que la vivienda cumple con el requerimiento de densidad mínima requerida en los cinco métodos comparados, determinando que la estructura posee una buena configuración y distribución de muros, permitiendo que presente un comportamiento sismorresistente y se eviten efectos producidos por torsión debido al embate de las fuerzas sísmicas por movimientos telúricos.

Figura 38. **Comparación de longitudes mínimas de muros portantes**

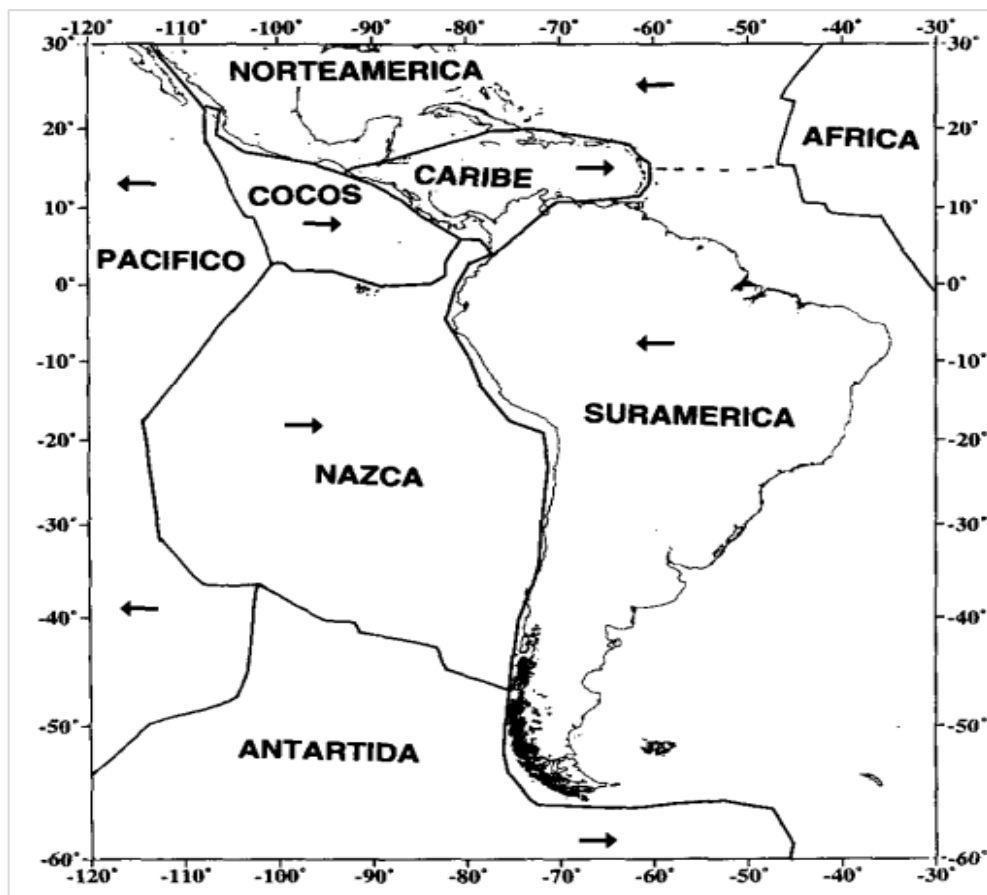


Fuente: elaboración propia.

Se puede determinar en la Figura 38 que los países que tienen longitudes mínimas requeridas de muros portantes superiores a los 20 metros son aquellos que poseen un alto índice de sismicidad, demostrando que el diseño de una vivienda debe de cumplir con los requisitos de sismorresistencia. Estas regiones se encontrarán sometidas constantemente ante movimientos sísmicos, necesitando poseer un comportamiento adecuado en la edificación.

Lo mencionado con anterioridad se debe a que el borde occidental de Centroamérica y América del Sur es una de las regiones sísmicas de mayor actividad, siendo frecuentes los terremotos de grandes magnitudes que han ocasionado diferentes catástrofes, debido a que es la región en donde se encuentra la interacción de seis placas tectónicas, Norteamérica, Caribe, Cocos, Nazca, Suramérica y Antártida, las cuales forman parte del Cinturón de Fuego, como se presenta en la Figura 39.

Figura 39. **Placas tectónicas ubicadas en América Central y América del Sur**



Fuente: UDÍAS, Agustín. *Introducción: sismicidad y sismotectónica de América Central y del Sur*. p. 15.

En Guatemala se encuentran tres de las seis placas que convergen, la de Norteamérica, Caribe y Cocos, debido a ello es que en el territorio nacional han sucedido terremotos de gran magnitud. La intersección de la placa de Cocos, considerada como la que posee mayor velocidad de movimiento entre las placas, con la del Caribe genera una colisión oblicua que produce un efecto de subducción no muy profundo, lo que genera deformaciones internas en la placa del Caribe.

Los sismos generados en la región del Caribe inician en Guatemala con una dirección hacia el este, llegando a las Pequeñas Antillas en donde se cambia de dirección hacia el sur de la costa de Venezuela, extendiéndose a la Costa Colombiana. Igualmente, en las costas de la región peruana se puede establecer una zona de colisión entre la placa de Nazca y Sudamérica generando nuevamente efectos de subducción.

Estableciendo así que la interacción de las seis placas condicione la distribución de los sismos y el tipo de fallamiento que esta tendrá. Siendo las responsables de la orografía y volcanismo de las regiones.

Con ello se puede entender que Guatemala, Colombia y Venezuela son regiones que se encuentran atravesadas por los movimientos entre placas, lo que ocasiona que los valores de longitud mínima sean más altos, siendo el valor más grande para Colombia debido a la convergencia de 3 placas dentro del territorio.

Mientras que Costa Rica y Perú no poseen una convergencia de placas ni son atravesados por ninguno de estos movimientos, como se puede ver en la Figura 39, las placas se sitúan a un costado de cada país, lo que permite que los valores de longitud mínima sean más bajos.

CONCLUSIONES

1. La cantidad mínima de paredes portantes que requiere una edificación de mampostería se encuentra influenciada por el índice de sismicidad donde se ubique la obra civil. Según los resultados obtenidos se pudo establecer que este requerimiento mínimo aumenta en las regiones de alta sismicidad, pues son las zonas que se encuentran sometidas a movimientos sísmicos constantes.
2. En la construcción guatemalteca la determinación de la cantidad de paredes portantes de mampostería, a pesar de poseer una normativa que regula dicho parámetro, aun se establece de forma empírica con base de costumbres y mitos en la construcción, lo que genera la búsqueda de un sistema alternativo de fácil aplicación que permita establecer si la edificación es capaz de combatir los efectos de torsión que se pueden presentar por el embate de fuerzas laterales.
3. A través de los resultados obtenidos, en este trabajo se propone la realización de un análisis rápido y de fácil aplicación para la determinación de la densidad mínima de muros por el método de Costa Rica, cuyas características geológicas de las placas tectónicas son similares a las de Guatemala, lo que permite que la implementación del método matemático sea aceptable.
4. La determinación de densidad mínima de muros es un parámetro importante de analizar en Guatemala, puesto que el país se encuentra ubicado en una región de alta sismicidad, siendo necesario que la obra

civil a desarrollar dentro de la región guatemalteca tenga la capacidad de ser sismorresistente. Para una vivienda de mampostería de concreto la densidad de muros establece que la vivienda a construir debe poseer una distribución correcta de paredes portantes que permitan que la edificación tenga la capacidad de comportarse de forma adecuada ante fuerzas sísmicas, evitando que la estructura sufra efectos de torsión.

El método propuesto por AGIES para la determinación de densidad mínima de muros (mampostería confinada), restringe la variación de configuración y masa en vertical de una edificación hasta un máximo de tres niveles. Según los resultados obtenidos, se tiene que, la diferencia de masa entre cada nivel no debe ser mayor al 20 por ciento entre cada nivel y así evitar el efecto de piso suave.

5. Para obtener un comportamiento adecuado de la estructura de mampostería ante un evento sísmico, es importante no solamente en el diseño considerar las normativas vigentes, asimismo factores como calidad de materiales, mano de obra, supervisión constante y ubicación de la construcción, evitando el colapso de la estructura.
6. El diseño analizado muestra que la vivienda unifamiliar, a través de distintos métodos de cálculo de densidad mínima de muros, cumple con el requerimiento de la cantidad mínima de paredes portantes, generando que su configuración presente comportamiento sismorresistente.
7. El cemento utilizado en Guatemala es de tipo puzolánico, que a comparación con el cemento portland, tiene variaciones en su gradiente térmico dependiendo del porcentaje de puzolana que tenga en su composición, lo cual incide en sus valores de resistencia al mediano y

largo plazo, afectando la capacidad de adherencia que se tiene con los mamposte.

RECOMENDACIONES

1. Inspeccionar y analizar la construcción actual al momento de elaborar el diseño de la nueva edificación, para evitar irregularidades en la configuración de planta en las plantas superiores, en casos donde se desee realizar ampliaciones en una vivienda, como un segundo y tercer nivel,
2. Verificar la calidad de los materiales por medio de los ensayos que estipulan las normas aceptadas en el medio de la construcción para establecer las características y propiedades mecánicas que influyen en la calidad y construcción de los bloques de mampostería.
3. Utilizar mampostería DT para la construcción de viviendas de mampostería confinada, debido a que su doble tabique central, permite la obtención de medios bloques sin la necesidad de comprar unidades especiales, en caso de que sean necesarios, evitando desperdicios de material y una disminución de costos.
4. Regular el uso de normas de seguridad estructural a los diseñadores y constructores del país para que las estructuras sean seguras y se evite pérdidas humanas y materiales ante un evento sísmico de gran magnitud, debido a la vulnerabilidad sísmica de la región.
5. Realizar evaluaciones para la clasificación de mampostería UT y DT en las que se evidencie las mejoras estructurales que cada uno de estos tipos otorgue a la edificación.

6. Aplicar el uso del método estático equivalente en el diseño de viviendas de mampostería para analizar edificaciones sismorresistentes tomando en cuenta las limitaciones para aplicación de dicho método en cuanto la cantidad de niveles, alturas e irregularidades en planta.

7. Implementar el método costarricense como un análisis preliminar debido a la facilidad de evaluación para el cálculo de la cantidad mínima requerida de paredes portantes en una edificación.

BIBLIOGRAFÍA

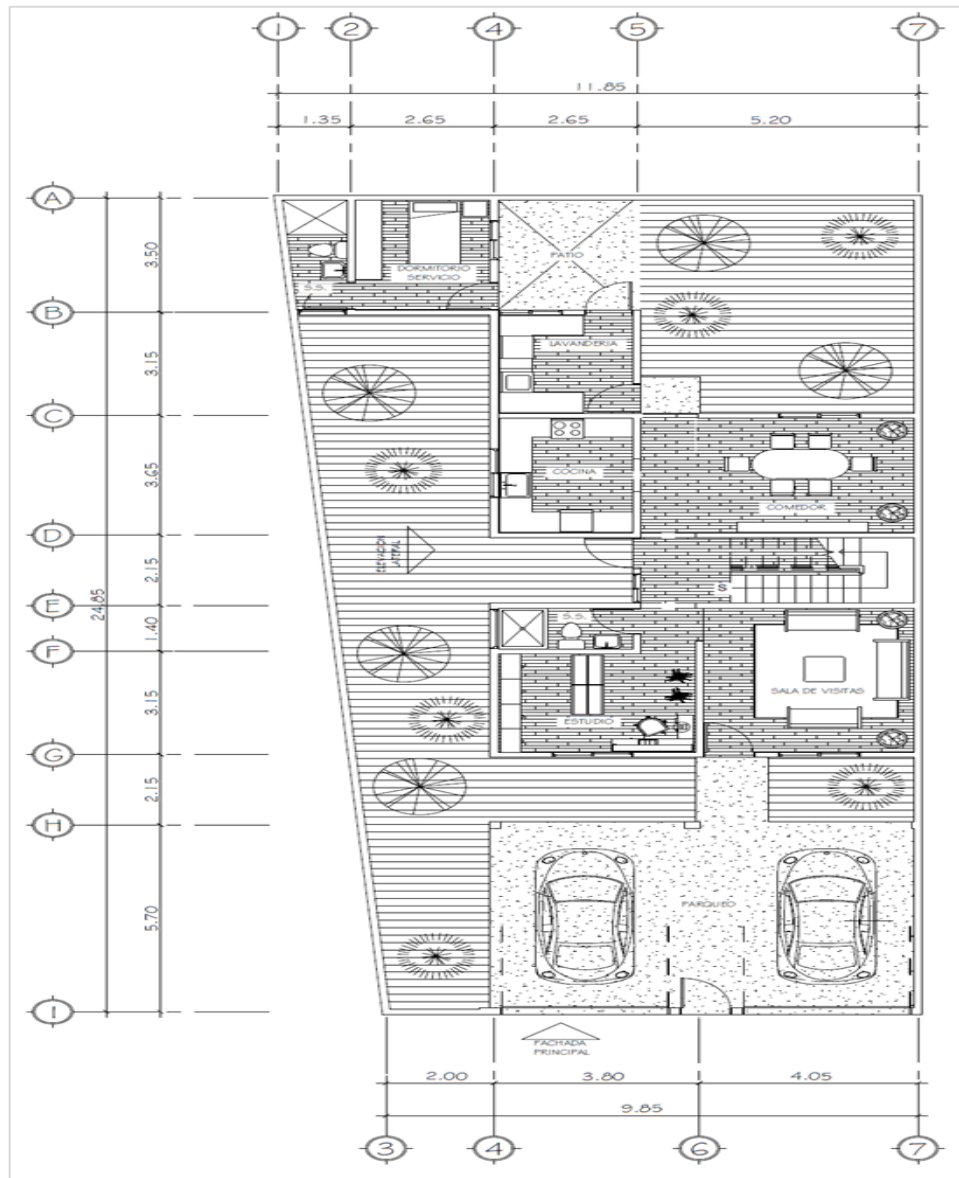
1. American Concrete Institute. *Building code requirements and specification for masonry*. Estados Unidos: ACI, 2011. 338 p.
2. Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. *Manual de construcción, evaluación y rehabilitación sísmo resistente de viviendas de mampostería*. Colombia: La Red, 2017. 173 p.
3. Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica. *Cartilla de diseño estructural de mampostería reforzada para albañiles y constructores*. Guatemala. 2020. 85 p.
4. Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica. *Manual de diseño sísmo-resistente simplificado mampostería de block de concreto*. Guatemala. 2014. 158 p.
5. _____. *Normas de seguridad estructural de edificios y obras de infraestructura para la República de Guatemala 2 demandas estructurales y condiciones de sitio*. Guatemala: AGIES, 2020. 110 p.
6. BRITO VELASCO, Miguel Benjamín. *Solución con muros de corte para evitar efectos de piso suave en una edificación, utilizando STAAD*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2013. 92 p.

7. Colegiado Federado de Ingenieros y de Arquitectos de Costa Rica. *Código Sísmico de Costa Rica*. Costa Rica. 2011. 400 pp.
8. CORDÓN BRACAMONTE, Luis Miguel. *Evaluación y comparación de la resistencia de los prismas de bloques de mampostería llenos y huecos*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2013. 246 p.
9. CORZO ÁVILA, Mario Rodolfo. *Notas mampostericas de una sabandija*. 2ª ed. Guatemala. 2008. 193 p.
10. ESPINOSA, A. F. et al. *The Guatemalan earthquake of february 4, 1976*. 1a ed. States United: Government Printing Office, 1976. 103.
11. GOYTIA, Ivan; VILLANUEVA, Rolando. *Texto guía de Ingeniería Antisísmica*, 2001. 254 p.
12. JARAMILLO BOTERO, Gustavo. *Manual de muros confinados*. Colombia. 2010. 28 p.
13. MARINILI, Angelo. *Vivienda de mampostería confinada con elementos de concreto armado*. Venezuela. 2013. 63 p.
14. MONZÓN-DESPANG, Héctor. *Diseño estructural simplificado mampostería de block de concreto*. Guatemala [Webinar]. MEGAPRODUCTOS. [en línea]. <<https://youtu.be/CjKmM8yeclk>>. [Consulta: marzo de 2021].

15. MUÑOZ PELÁEZ, Alejandro. *Comentarios a la norma peruana E030 diseño sismorresistente*. Perú. 2020. 58 p.
16. RAMÍREZ HERNÁNDEZ, María Fernanda. *Análisis y diseño estructural de viviendas unifamiliares de dos niveles, con diferente unidad de mampostería por nivel*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2015. 140 p.
17. SAN VELÁSQUEZ, Henry Francisco. *Análisis de aberturas máximas en un muro de mampostería, para considerarlo continuo*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala. 2012. 115 p.
18. SCHNEIDER, Robert; DICKEY, Walter. *Reinforced masonry design*. Estados Unidos. 1980. 619 p.
19. Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción. *Norma Técnica E070 Albañilería*. Perú. 2020. 67 p.
20. UDÍAS, Agustín. *Introducción: sismicidad y sismotectónica de América Central y del Sur. Física de la Tierra*. España. 1998. 7 p.
21. VILLATORO MORALES, Diego Juan Carlos. *Comparación de calidad entre una construcción de mampostería vs. Concreto reforzado en viviendas unifamiliares*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2014. 82 p.

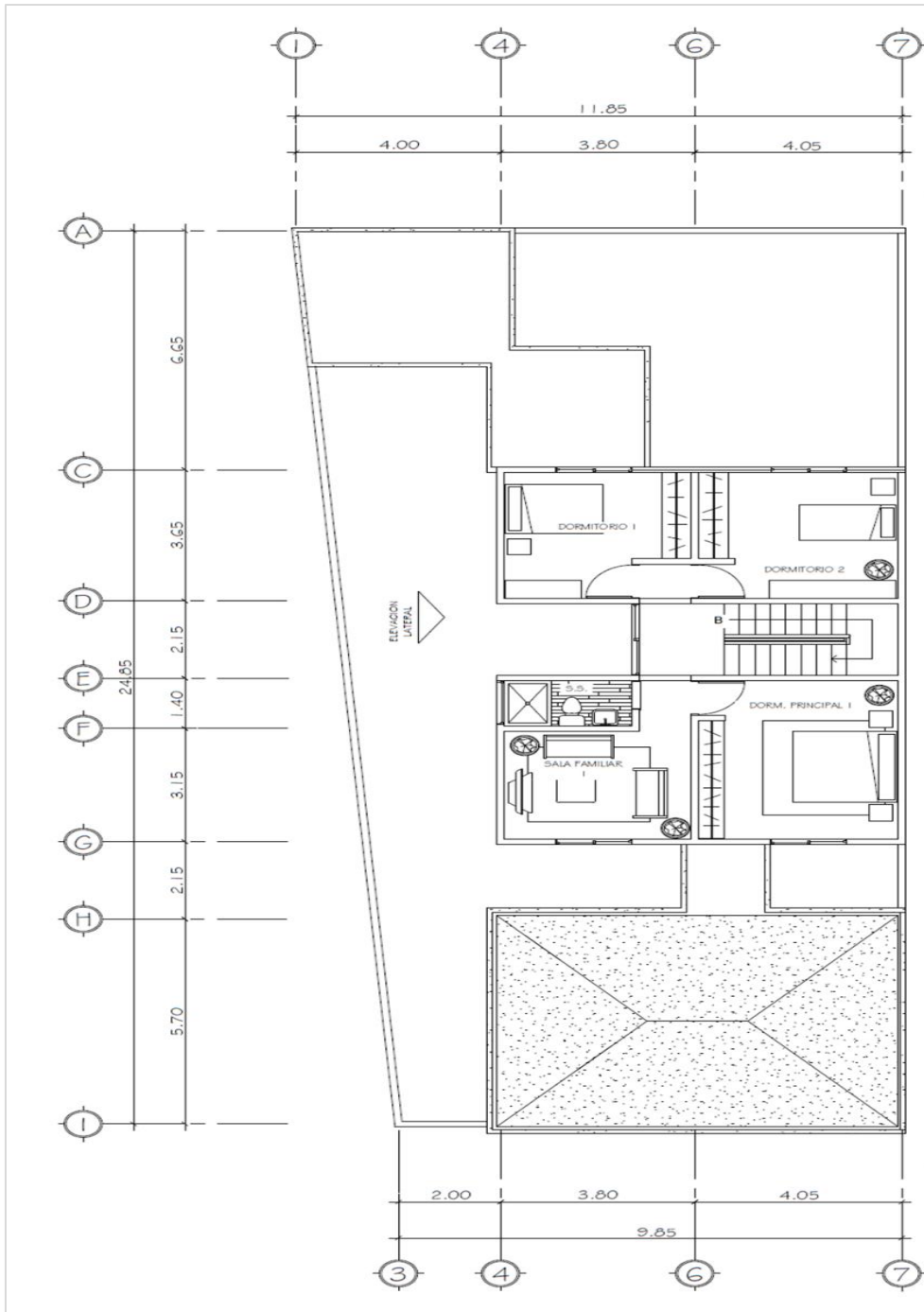
APÉNDICES

Apéndice 1. Planta amoblada primer nivel



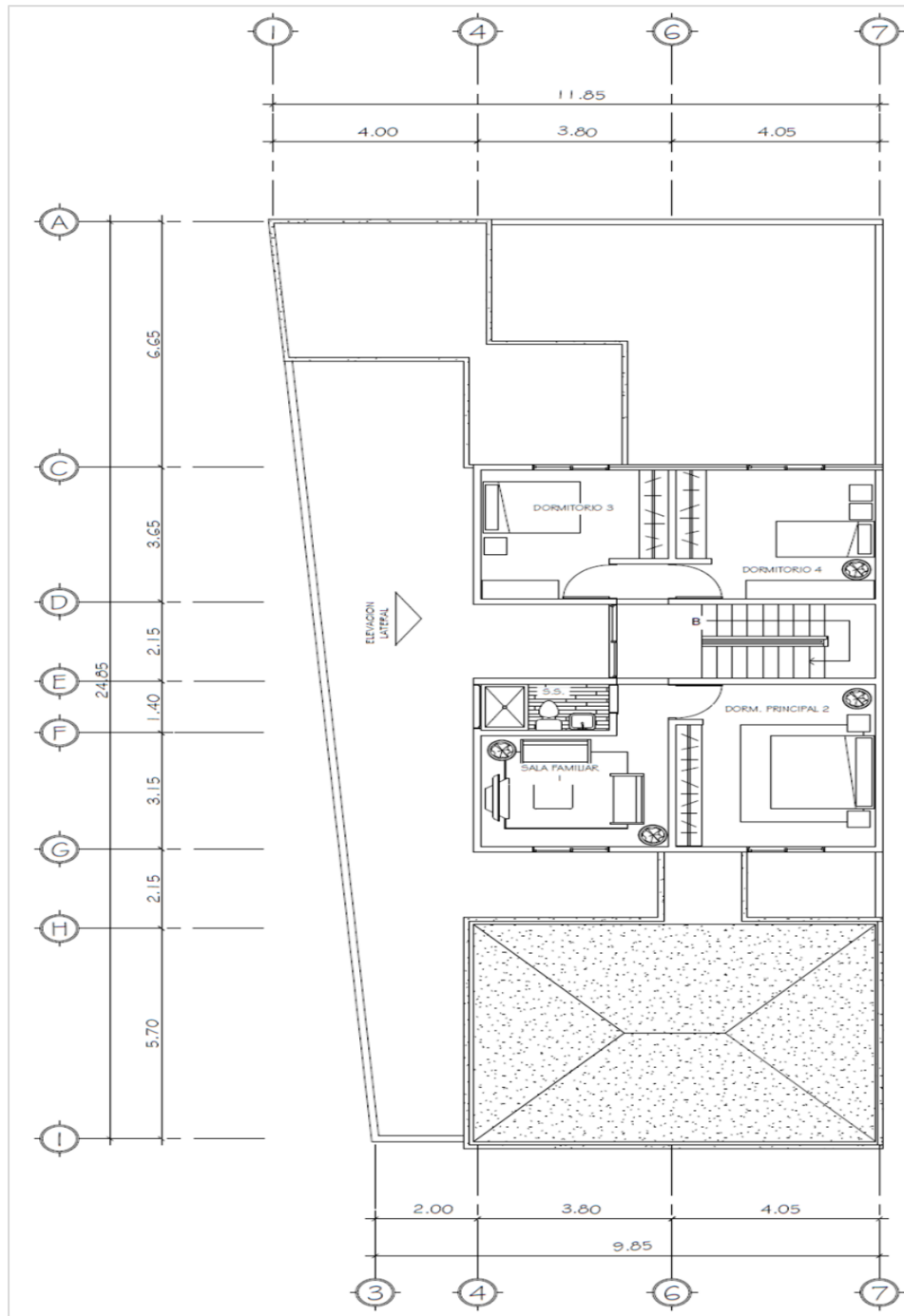
Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2021.

Apéndice 2. Planta amoblada segundo nivel



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3. Planta amoblada tercer nivel



Fuente: elaboración propia.

ANEXOS

Anexo 1. Longitud de paredes por metro cuadrado de construcción para alta sismicidad

CUADRO RAPIDO 1		ALTA SISMICIDAD						
LONGITUD DE PARED POR METRO CUADRADO DE CONSTRUCCIÓN								
Construcción típica		1500 lb/m ²						
Amenaza sísmica en el Municipio		Naranja						
Nomenclatura								
		block DT = block de Doble tabique						
		block UT = block de Un Tabique						
		MLC = mortero lecho completo						
		MLP = mortero lecho parcial						
		BRG = block relleno de graut						
metros lineales de pared por metro cuadrado de construcción (sumar los metros de cada nivel)								
tipo pared	grueso pared	colocación mortero	clase de block				concreto	
			A	B	C	D		
block DT	19	MLC	0.056	0.065	0.080	0.092		
block DT	14	MLC	0.073	0.084	0.104	0.119		
block DT	19	MLP	0.059	0.068	0.084	0.096		
block DT	14	MLP	0.077	0.089	0.110	0.126		
block DT	19	BRG	0.040	0.046	0.056	0.064		
block DT	14	BRG	0.054	0.062	0.076	0.087		
block UT	19	MLP	0.062	0.072	0.089	0.102		
block UT	14	MLP	0.082	0.095	0.117	0.135		
block UT	19	BRG	0.037	0.043	0.053	0.060		
block UT	14	BRG	0.050	0.058	0.071	0.082		
concreto	10							0.045
concreto	14							0.032
concreto	20							0.022

Fuente: AGIES. *Cartilla de diseño estructural de mampostería reforzada para albañiles y constructores.* p. 60.

**Anexo 2. Longitud de paredes por metro cuadrado de construcción
para sismicidad media**

CUADRO RAPIDO 2		SISMICIDAD MEDIA						
LONGITUD DE PARED POR METRO CUADRADO DE CONSTRUCCIÓN								
Construcción típica	1500 lb/m ²							
Amenaza sísmica en el Municipio	Amarilla							
Nomenclatura								
	block DT = block de Doble tabique							
	block UT = block de Un Tabique							
	MLC = mortero lecho completo							
	MLP = mortero lecho parcial							
	BRG = block relleno de graut							
metros lineales de pared por metro cuadrado de construcción (sumar los metros de cada nivel)								
tipo pared	grueso pared	colocación mortero	clase de block				concreto	
			A	B	C	D		
block DT	19	MLC	0.040	0.046	0.057	0.065		
block DT	14	MLC	0.052	0.060	0.074	0.085		
block DT	19	MLP	0.042	0.049	0.060	0.069		
block DT	14	MLP	0.055	0.064	0.078	0.090		
block DT	19	BRG	0.028	0.033	0.040	0.046		
block DT	14	BRG	0.038	0.044	0.054	0.062		
block UT	19	MLP	0.045	0.051	0.063	0.073		
block UT	14	MLP	0.059	0.068	0.084	0.096		
block UT	19	BRG	0.026	0.031	0.038	0.043		
block UT	14	BRG	0.036	0.041	0.051	0.059		
concreto	10							0.032
concreto	14							0.023
concreto	20							0.016

Fuente: AGIES. *Cartilla de diseño estructural de mampostería reforzada para albañiles y constructores*. p. 61.

**Anexo 3. Longitud de paredes por metro cuadrado de construcción
para baja sismicidad**

CUADRO RAPIDO		BAJA SISMICIDAD						
LONGITUD DE PARED POR METRO CUADRADO DE CONSTRUCCIÓN								
Construcción típica		1500 lb/m ²						
Amenaza sísmica en el Municipio		Blanca						
Nomenclatura								
block DT = block de Doble tabique								
block UT = block de Un Tabique								
MLC = mortero lecho completo								
MLP = mortero lecho parcial								
BRG = block relleno de graut								
metros lineales de pared por metro cuadrado de construcción (sumar los metros de cada nivel)								
tipo pared	grueso pared	colocación mortero	clase de block				concreto	
			A	B	C	D		
block DT	19	MLC	0.026	0.030	0.037	0.042		
block DT	14	MLC	0.034	0.039	0.048	0.055		
block DT	19	MLP	0.027	0.032	0.039	0.045		
block DT	14	MLP	0.036	0.041	0.051	0.058		
block DT	19	BRG	0.018	0.021	0.026	0.030		
block DT	14	BRG	0.025	0.029	0.035	0.041		
block UT	19	MLP	0.029	0.033	0.041	0.047		
block UT	14	MLP	0.038	0.044	0.054	0.062		
block UT	19	BRG	0.017	0.020	0.024	0.028		
block UT	14	BRG	0.023	0.027	0.033	0.038		
concreto	10							0.021
concreto	14							0.015
concreto	20							0.010

Fuente: AGIES. *Cartilla de diseño estructural de mampostería reforzada para albañiles y constructores.* p. 62.

Anexo 4. Tabla A-1 Listado de amenaza sísmica y velocidad básica del viento por municipio para la República de Guatemala

No.	Municipio	Departamento	Io	Suelo tipo A			Suelo tipo B			Suelo tipo C			Suelo tipo D			Suelo tipo E			Velocidad básica del viento km/h
				Scr	S1r	TL	Scr	S1r	TL	Scr	S1r	TL	Scr	S1r	TL	Scr	S1r	TL	
1	Acatenango	Chimaltenango	4	1,5	0,5	2,6	1,5	0,5	2,6	1,6	0,7	2,7	1,6	0,8	3,3	1,4	1,4	3,9	100
2	Agua Blanca	Jutiapa	4	1,6	0,4	2,5	1,8	0,5	2,4	2,2	0,9	2,2	1,8	1,3	2,8	1,4	1,7	3	100
3	Agucatán	Huehuetenango	4	1,5	0,4	4,5	1,6	0,5	4,5	2,1	0,9	3,7	1,8	1,3	4,3	1,4	1,9	4,4	100
4	Almolonga	Quetzaltenango	4	1,5	0,5	2,6	1,5	0,5	2,6	1,6	0,7	2,7	1,6	0,8	3,3	1,4	1,4	3,9	100
5	Alotenango	Sacatepéquez	4	1,5	0,5	2,6	1,5	0,5	2,6	1,6	0,7	2,7	1,6	0,9	3,3	1,4	1,5	3,5	100
6	Amatitlán	Guatemala	4	1,4	0,5	2,6	1,4	0,5	2,5	1,8	0,7	2,7	1,6	1,1	3,3	1,4	1,8	3,5	100
7	Antigua Guatemala	Sacatepéquez	4	1,4	0,5	2,6	1,4	0,5	2,5	1,8	0,7	2,7	1,6	1,1	3,3	1,3	1,8	3,5	100
8	Asunción Mita	Jutiapa	4	1,5	0,4	2,5	1,7	0,5	2,4	1,8	0,9	2,3	1,8	1,3	2,8	1,4	1,7	3	100
9	Atescatempa	Jutiapa	4	1,4	0,5	2,5	1,4	0,5	2,5	1,5	0,7	2,6	1,5	0,8	3,2	1,3	1,4	3,5	100
10	Ayutla	San Marcos	4	1,5	0,5	3,3	1,6	0,6	2,9	1,7	0,8	3,1	1,7	1,1	3,8	1,5	1,9	4,1	110
11	Barberena	Santa Rosa	4	1,5	0,5	2,6	1,5	0,5	2,6	1,7	0,7	2,7	1,6	1,1	3,3	1,5	1,8	3,5	100
12	Cabañas	Zacapa	4	1,1	0,4	3,5	1,4	0,5	3,4	1,8	0,7	2,9	1,6	1,2	3,5	1,3	1,7	3,8	100
13	Cabricán	Quetzaltenango	4	1,3	0,5	2,5	1,4	0,5	2,5	1,5	0,7	2,9	1,5	0,8	4,3	1,3	1,4	4,3	100
14	Cajola	Quetzaltenango	4	1,3	0,5	2,4	1,4	0,5	2,5	1,5	0,7	2,7	1,4	0,8	3,1	1,3	1,2	3,7	100
15	Camotán	Chiquimula	4	1,1	0,4	2,9	1,3	0,5	2,9	1,7	0,6	2,5	1,5	1	3,1	1,3	1,7	3,3	100
16	Canillá	Quiché	4	1,1	0,4	4,5	1,3	0,5	4,4	1,6	0,8	3,7	1,6	1,2	4,3	1,3	1,7	4,5	100
17	Cantel	Quetzaltenango	4	1,5	0,5	2,6	1,5	0,5	2,6	1,6	0,7	2,7	1,6	0,8	3,3	1,4	1,4	3,9	100
18	Casillas	Santa Rosa	4	1,3	0,5	2,5	1,4	0,5	2,5	1,5	0,7	2,6	1,5	0,9	3,3	1,3	1,6	3,5	100
19	Catarina	San Marcos	4	1,7	0,5	3,6	1,7	0,6	3	1,8	0,7	3	1,8	1,1	3,8	1,6	1,8	4,1	100
20	Chahal	Alta Verapaz	3	0,9	0,4	4,1	1,1	0,4	4	1,1	0,6	3,4	1,2	0,8	4	1,1	1,5	4,1	110
21	Chajul	Quiché	4	1,2	0,4	4,5	1,4	0,5	4	1,6	0,8	3,7	1,6	1,2	4,3	1,3	1,6	4,5	100
22	Champerico	Retalhuleu	4	1,9	0,5	3,5	2	0,6	3,5	2	1	3,7	2	1,4	4,6	1,7	2	4,7	110
23	Chiantla	Huehuetenango	4	1,5	0,4	4,5	1,6	0,5	4,2	1,9	0,9	3,7	1,8	1,3	4,3	1,4	1,7	4,4	100
24	Chicacao	Suchitepéquez	4	1,7	0,5	3,6	1,7	0,6	3	1,8	0,7	3	1,8	1,1	3,8	1,6	1,9	4,1	100
25	Chicamán	Quiché	4	1,3	0,4	4,5	1,5	0,5	4,5	2,1	0,9	3,7	1,8	1,3	4,3	1,4	1,9	4,4	100
26	Chiché	Quiché	4	1,3	0,5	2,8	1,4	0,5	3	1,8	0,7	2,9	1,6	1,2	3,5	1,3	1,8	3,8	100
27	Chichicastenango	Quiché	4	1,3	0,5	2,7	1,4	0,5	2,9	1,9	0,7	2,9	1,6	1,2	3,5	1,3	1,8	3,8	100
28	Chimaltenango	Chimaltenango	4	1,3	0,5	2,5	1,4	0,5	2,5	1,5	0,7	2,6	1,5	0,8	3,2	1,3	1,4	3,4	100
29	Chinautla	Guatemala	4	1,3	0,5	2,5	1,4	0,5	2,8	1,5	0,7	2,9	1,4	0,9	3,5	1,3	1,7	3,7	100
30	Chinique	Quiché	4	1,1	0,4	2,7	1,2	0,5	3	1,4	0,6	3,1	1,4	1	3,5	1,2	1,7	3,7	100
31	Chiquimula	Chiquimula	4	1,3	0,4	2,6	1,5	0,5	2,5	1,6	0,8	2,2	1,6	1,1	2,8	1,3	1,7	3	100
32	Chiquimulilla	Santa Rosa	4	1,7	0,5	3,6	1,7	0,6	3,1	1,8	0,8	3,1	1,8	1,2	3,9	1,6	2	4,2	110
33	Chisec	Alta Verapaz	3	0,8	0,3	3,2	0,9	0,3	3,5	1,1	0,5	3,2	1,1	0,6	3,2	1,1	1,2	3,6	100
34	Churranchó	Guatemala	4	1,2	0,4	3,1	1,4	0,5	3,4	1,9	0,7	2,9	1,6	1,2	3,5	1,3	1,7	3,8	100
35	Ciudad Vieja	Sacatepéquez	4	1,4	0,5	2,6	1,4	0,5	2,6	1,6	0,7	2,7	1,6	1	3,3	1,4	1,8	3,5	100
36	Coatepeque	Quetzaltenango	4	1,5	0,5	3,3	1,6	0,6	2,9	1,7	0,8	3,1	1,7	1,1	3,7	1,5	1,9	4,1	110
37	Cobán	Alta Verapaz	4	1,3	0,4	4,5	1,5	0,5	3,7	1,8	0,9	3,7	1,7	1,2	4,3	1,4	1,6	4,4	100
38	Colomba	Quetzaltenango	4	1,7	0,5	3,6	1,7	0,6	3	1,8	0,7	3	1,8	1,1	3,8	1,6	1,8	4,2	100
39	Colotenango	Huehuetenango	4	1,3	0,4	4,5	1,5	0,5	4,5	2,1	0,9	3,7	1,8	1,3	4,3	1,4	1,9	4,4	100
40	Comapa	Jutiapa	4	1,5	0,5	2,6	1,5	0,5	2,6	1,8	0,7	2,7	1,6	1,1	3,3	1,4	1,8	3,5	100

Continuación del anexo 4.

No.	Municipio	Departamento	Io	Suelo tipo A			Suelo tipo B			Suelo tipo C			Suelo tipo D			Suelo tipo E			Velocidad básica del viento km/h
				Scr	S1r	TL	Scr	S1r	TL	Scr	S1r	TL	Scr	S1r	TL	Scr	S1r	TL	
41	Comitancillo	San Marcos	4	1,3	0,5	2,5	1,4	0,5	2,8	1,5	0,7	3,1	1,5	0,8	4,3	1,3	1,6	4,3	100
42	Concepción	Sololá	4	1,4	0,5	2,5	1,4	0,5	2,5	1,5	0,7	2,7	1,5	0,8	3,5	1,3	1,5	3,7	100
43	Concepción Chiquirichapa	Quetzaltenango	4	1,3	0,5	2,4	1,4	0,5	2,5	1,5	0,7	2,7	1,5	0,8	3,2	1,3	1,2	3,5	100
44	Concepción Huista	Huehuetenango	4	1,4	0,4	3,6	1,6	0,5	3,5	1,9	0,9	3	1,7	1,3	3,5	1,3	1,7	3,7	100
45	Concepción Las Minas	Chiquimula	4	1,2	0,4	2,5	1,4	0,5	2,5	1,5	0,7	2,5	1,5	1	2,8	1,3	1,7	3	100
46	Concepción Tutuapa	San Marcos	4	1,3	0,5	4	1,5	0,5	3,9	1,8	0,9	3,7	1,8	1,4	4,3	1,4	1,8	4,4	100
47	Conguaco	Jutiapa	4	1,6	0,5	3,1	1,6	0,6	2,8	1,7	0,7	2,8	1,7	1,1	3,3	1,5	2	3,5	100
48	Cubulco	Baja Verapaz	4	1,1	0,4	4,4	1,3	0,5	4	1,6	0,8	3,7	1,6	1,2	4,3	1,3	1,7	4,5	100
49	Cuilapa	Santa Rosa	4	1,5	0,5	2,6	1,5	0,5	2,6	1,8	0,7	2,7	1,6	1,1	3,3	1,4	1,8	3,5	100
50	Cuilco	Huehuetenango	4	1,3	0,4	4,5	1,5	0,5	4,5	2,1	0,9	3,7	1,8	1,3	4,3	1,4	1,9	4,4	100
51	Cunén	Quiché	4	1,3	0,4	4,5	1,5	0,5	4,5	2,1	0,9	3,7	1,8	1,3	4,3	1,4	1,9	4,4	100
52	Cuyotenango	Suchitepéquez	4	1,7	0,5	3,6	1,7	0,6	3,1	1,8	0,8	3,3	1,8	1,2	3,9	1,6	2	4,2	110
53	Dolores	Petén	2	0,4	0,2	4	0,5	0,2	4,2	0,6	0,3	4,5	0,8	0,4	4,2	1,2	0,6	4,3	110
54	El Adelanto	Jutiapa	4	1,4	0,5	2,5	1,4	0,5	2,5	1,5	0,7	2,6	1,5	0,9	3,3	1,3	1,6	3,5	100
55	El Asintal	Retalhuleu	4	1,7	0,5	3,6	1,7	0,6	3,1	1,8	0,8	3,3	1,8	1,2	3,9	1,6	2	4,2	110
56	El Chal	Petén	2	0,4	0,2	3,8	0,5	0,2	3,9	0,6	0,3	4,4	0,8	0,4	4,1	1,2	0,6	3,8	100
57	El Estor	Izabal	4	1,3	0,4	4,2	1,5	0,5	4,1	2	0,8	3,4	1,8	1,3	4	1,4	1,7	4,3	110
58	El Júcaro	El Progreso	4	1,2	0,4	3,5	1,4	0,5	3,4	1,9	0,7	2,9	1,6	1,2	3,5	1,3	1,7	3,8	100
59	El Palmar	Quetzaltenango	4	1,6	0,5	3,4	1,6	0,6	3	1,8	0,7	2,9	1,7	1	3,7	1,6	1,7	4,2	100
60	El Progreso	Jutiapa	4	1,3	0,4	2,5	1,4	0,5	2,4	1,4	0,6	2,5	1,4	0,7	3,2	1,2	1,2	3,5	100
61	El Quetzal	San Marcos	4	1,7	0,5	3,6	1,7	0,6	3	1,8	0,7	3	1,8	1,1	3,8	1,6	1,8	4,2	100
62	El Rodeo	San Marcos	4	1,6	0,5	3,5	1,6	0,6	3,1	1,8	0,7	2,9	1,8	1	3,8	1,6	1,7	4,2	100
63	El Tejar	Chimaltenango	4	1,3	0,5	2,5	1,4	0,5	2,5	1,5	0,7	2,6	1,5	0,8	3,3	1,3	1,5	3,5	100
64	El Tumbador	San Marcos	4	1,7	0,5	3,6	1,7	0,6	3	1,8	0,7	2,9	1,8	1,1	3,8	1,6	1,8	4,2	100
65	Escuintla	Escuintla	4	1,6	0,5	3,6	1,6	0,6	3	1,8	0,7	2,9	1,7	1,1	3,6	1,6	1,8	3,4	100
66	Esquipulas	Chiquimula	4	1,1	0,4	2,6	1,2	0,5	2,6	1,3	0,6	2,5	1,3	0,8	3,1	1,2	1,5	3,3	100
67	Esquipulas Palo Gordo	San Marcos	4	1,6	0,5	2,6	1,6	0,6	2,6	1,7	0,7	2,7	1,7	0,9	3,7	1,5	1,4	3,9	100
68	Estanzuela	Zacapa	4	1,2	0,4	3,5	1,4	0,5	3,4	1,9	0,7	2,9	1,6	1,2	3,5	1,3	1,7	3,8	100
69	Flores	Petén	2	0,5	0,2	4,8	0,6	0,2	5	0,7	0,3	4,8	0,8	0,4	4,4	1,2	0,6	4,5	100
70	Flores Costa Cuca	Quetzaltenango	4	1,5	0,5	3,3	1,6	0,6	2,9	1,7	0,7	3,1	1,7	1,1	3,6	1,5	1,8	4	110
71	Fraijanes	Guatemala	4	1,4	0,5	2,6	1,5	0,5	2,5	1,8	0,7	2,7	1,6	1,1	3,3	1,3	1,8	3,5	100
72	Fray Bartolomé de las Casas	Alta Verapaz	3	0,9	0,3	2,6	1,1	0,3	2,4	1,3	0,5	2,3	1,3	0,8	2,8	1,1	1,4	3	110
73	Génova	Quetzaltenango	4	1,5	0,5	3,3	1,6	0,6	2,9	1,7	0,8	3,1	1,7	1,1	3,7	1,5	1,9	4,1	110
74	Granados	Baja Verapaz	4	1,2	0,4	3,1	1,4	0,5	3,4	1,9	0,7	2,9	1,6	1,2	3,5	1,3	1,7	3,8	100
75	Gualán	Zacapa	4	1,2	0,4	3,5	1,4	0,5	3,4	1,9	0,7	2,9	1,6	1,2	3,5	1,3	1,7	3,8	100
76	Guanagazapa	Escuintla	4	1,7	0,5	3,6	1,7	0,6	3,1	1,8	0,7	3,1	1,8	1,2	3,8	1,6	1,9	3,9	110
77	Guastatoya	El Progreso	4	1,2	0,4	3,5	1,4	0,5	3,4	1,9	0,7	2,9	1,6	1,2	3,5	1,3	1,7	3,8	100
78	Guatemala	Guatemala	4	1,3	0,5	2,5	1,4	0,5	2,4	1,5	0,7	2,7	1,4	0,9	3,3	1,3	1,7	3,5	100
79	Guazacapán	Santa Rosa	4	1,7	0,5	3,6	1,7	0,6	3,1	1,8	0,8	3,1	1,8	1,2	3,9	1,6	1,9	4	110
80	Huehuetenango	Huehuetenango	4	1,3	0,4	4,5	1,5	0,5	4,5	2	0,9	3,7	1,8	1,3	4,3	1,4	1,9	4,4	100

Continuación del anexo 4.

No.	Municipio	Departamento	Io	Suelo tipo A			Suelo tipo B			Suelo tipo C			Suelo tipo D			Suelo tipo E			Velocidad básica del viento km/h
				Scr	S1r	TL	Scr	S1r	TL	Scr	S1r	TL	Scr	S1r	TL	Scr	S1r	TL	
81	Huitán	Quetzaltenango	4	1,4	0,5	2,5	1,4	0,5	2,5	1,5	0,7	2,6	1,5	0,8	3,5	1,3	1,2	4	100
82	Huité	Zacapa	4	1,1	0,4	3,5	1,4	0,5	3,4	1,8	0,7	2,9	1,6	1,2	3,5	1,3	1,7	3,8	100
83	Ipala	Chiquimula	4	1,5	0,4	2,5	1,7	0,5	2,4	2,1	0,9	2,2	1,8	1,3	2,8	1,4	1,7	3	100
84	Ixcán	Quiché	4	1,2	0,4	4,5	1,4	0,5	4,5	1,8	0,8	3,7	1,6	1	4,3	1,3	1,6	4,5	100
85	Ixchiguan	San Marcos	4	1,4	0,5	2,6	1,4	0,5	3	1,5	0,7	3,3	1,5	0,9	4,3	1,3	1,7	4,3	100
86	Iztapa	Escuintla	4	1,6	0,5	3,5	1,6	0,6	3	1,7	0,8	3,3	1,8	1,2	3,9	1,6	2	4,3	110
87	Jacaltenango	Huehuetenango	4	1,4	0,4	3,6	1,6	0,5	3,5	1,9	0,9	3	1,7	1,3	3,5	1,3	1,7	3,7	100
88	Jalapa	Jalapa	4	1,1	0,4	2,5	1,2	0,5	2,6	1,4	0,6	2,8	1,4	0,9	3,5	1,2	1,6	3,6	100
89	Jalpatagua	Jutiapa	4	1,5	0,5	2,7	1,5	0,5	2,6	1,8	0,7	2,7	1,7	1,1	3,3	1,5	1,8	3,5	100
90	Jerez	Jutiapa	4	1,5	0,5	2,6	1,5	0,5	2,6	1,6	0,7	2,7	1,6	1	3,3	1,4	1,8	3,5	100
91	Jocotán	Chiquimula	4	1,1	0,4	2,9	1,3	0,5	2,9	1,7	0,6	2,5	1,5	1	3,1	1,3	1,7	3,3	100
92	Jocotenango	Sacatepéquez	4	1,4	0,5	2,5	1,4	0,5	2,5	1,7	0,7	2,7	1,5	1	3,3	1,3	1,8	3,5	100
93	Joyabaj	Quiché	4	1,3	0,5	2,8	1,4	0,5	2,8	1,5	0,7	3	1,4	0,8	3	1,3	1,5	3,4	100
94	Jutiapa	Jutiapa	4	1,3	0,5	2,6	1,4	0,5	2,5	1,5	0,7	2,7	1,5	1	3,3	1,3	1,8	3,5	100
95	La Blanca	San Marcos	4	1,7	0,5	3,1	1,7	0,6	3,1	1,8	0,8	3,1	1,8	1,2	4,3	1,6	2	4,3	110
96	La Democracia	Escuintla	4	1,7	0,5	3,5	1,7	0,6	3	1,8	0,8	3,3	1,8	1,2	3,9	1,6	2	4,3	110
97	La Democracia	Huehuetenango	4	1,2	0,4	3,3	1,5	0,5	3,1	1,5	0,8	3,1	1,5	1,1	3,4	1,3	1,7	3,7	100
98	La Esperanza	Quetzaltenango	4	1,5	0,5	2,6	1,5	0,5	2,6	1,6	0,7	2,7	1,6	0,8	3,3	1,4	1,4	3,9	100
99	La Gomera	Escuintla	4	1,6	0,5	3,4	1,6	0,6	3,1	1,8	0,8	3,3	1,7	1,3	4,4	1,6	2	4,5	110
100	La Libertad	Huehuetenango	4	1,2	0,4	4	1,4	0,5	3,8	1,6	0,8	3,7	1,6	1,3	4,3	1,3	1,7	4,5	100
101	La Libertad	Petén	2	0,5	0,2	3,8	0,6	0,2	4	0,7	0,3	4,4	0,8	0,4	4,4	1,2	0,6	4,4	100
102	La Reforma	San Marcos	4	1,6	0,5	3,6	1,6	0,6	3	1,8	0,7	2,9	1,8	1,1	3,8	1,6	1,8	4,2	100
103	La Unión	Zacapa	4	1,1	0,4	3,4	1,2	0,5	3,2	1,4	0,6	2,8	1,4	0,9	3,4	1,2	1,7	3,5	100
104	Lanquín	Alta Verapaz	3	0,9	0,4	4,5	1,1	0,4	4,4	1,2	0,6	3,7	1,2	0,9	4,3	1,1	1,6	4,4	100
105	Las Cruces	Petén	2	0,6	0,2	3,5	0,7	0,3	3,6	0,8	0,4	4,2	0,9	0,5	4,3	1,1	0,8	4,3	100
106	Livingston	Izabal	4	1,3	0,5	4,9	1,4	0,5	3,9	1,6	0,7	3,9	1,6	1,2	4,3	1,3	1,8	4,3	120
107	Los Amates	Izabal	4	1,3	0,5	4,5	1,5	0,5	4,5	2,1	0,9	3,7	1,8	1,4	4,3	1,4	1,9	4,4	110
108	Magdalena Milpas Altas	Sacatepéquez	4	1,4	0,5	2,5	1,4	0,5	2,5	1,8	0,7	2,7	1,6	1,1	3,3	1,3	1,8	3,5	100
109	Malacatán	San Marcos	4	1,7	0,5	3,6	1,7	0,6	3	1,8	0,7	3	1,8	1,1	3,8	1,6	1,8	4,2	100
110	Malacatancito	Huehuetenango	4	1,3	0,4	4,1	1,5	0,5	3,7	1,7	0,9	3,7	1,7	1,3	4,3	1,4	1,7	4,4	100
111	Masagua	Escuintla	4	1,7	0,5	3,6	1,7	0,6	3	1,8	0,8	3,3	1,8	1,2	3,9	1,6	2	4,2	110
112	Mataquescuintla	Jalapa	4	1,3	0,5	2,5	1,4	0,5	2,4	1,5	0,7	2,5	1,4	0,8	3	1,3	1,3	3,4	100
113	Mazatenango	Suchitepéquez	4	1,7	0,5	3,6	1,7	0,6	3,1	1,8	0,7	3,1	1,8	1,2	3,8	1,6	1,9	4,2	100
114	Melchor de Mencos	Petén	2	0,5	0,2	4,9	0,6	0,2	5,1	0,7	0,3	4,8	0,8	0,4	4,5	1,2	0,6	4,6	110
115	Mixco	Guatemala	4	1,3	0,5	2,5	1,4	0,5	2,6	1,5	0,7	2,7	1,5	1	3,3	1,3	1,8	3,5	100
116	Momostenango	Totonicapán	4	1,3	0,5	2,9	1,4	0,5	3,5	1,5	0,7	3,7	1,4	0,9	4,3	1,3	1,8	4,4	100
117	Monjas	Jalapa	4	1,2	0,4	2,5	1,3	0,5	2,5	1,4	0,6	2,5	1,3	0,7	3	1,1	1,3	3,2	100
118	Morales	Izabal	4	1,4	0,5	4,9	1,6	0,6	4,9	2,2	1	4,2	1,9	1,4	4,7	1,6	2,2	4,6	110
119	Morazán	El Progreso	4	1,1	0,4	3,5	1,4	0,5	3,4	1,7	0,7	2,9	1,6	1,2	3,5	1,3	1,7	3,8	100
120	Moyuta	Jutiapa	4	1,7	0,5	2,9	1,7	0,6	2,8	1,8	0,7	3	1,8	1	3,3	1,4	1,7	3,5	110

Continuación del anexo 4.

No.	Municipio	Departamento	Io	Suelo tipo A			Suelo tipo B			Suelo tipo C			Suelo tipo D			Suelo tipo E			Velocidad básica del viento km/h
				Scr	S1r	TL	Scr	S1r	TL	Scr	S1r	TL	Scr	S1r	TL	Scr	S1r	TL	
121	Nahualá	Sololá	4	1,5	0,5	2,8	1,5	0,5	2,6	1,7	0,7	2,7	1,7	0,9	3,7	1,5	1,5	3,9	100
122	Nebaj	Quiché	4	1,1	0,4	2,9	1,4	0,4	3,1	1,7	0,7	2,9	1,6	1,2	3,5	1,3	1,6	3,8	100
123	Nentón	Huehuetenango	4	1,4	0,4	3,6	1,6	0,5	3	1,6	0,9	3	1,6	1,2	3,5	1,3	1,6	3,7	100
124	Nueva Concepción	Escuintla	4	1,8	0,5	3,4	1,9	0,6	3,5	2	0,9	3,6	2	1,4	4,6	1,7	2	4,7	110
125	Nueva Santa Rosa	Santa Rosa	4	1,4	0,5	2,6	1,4	0,5	2,5	1,6	0,7	2,7	1,5	1,1	3,3	1,3	1,8	3,5	100
126	Nuevo Progreso	San Marcos	4	1,7	0,5	3,3	1,7	0,6	2,9	1,8	0,7	2,9	1,8	1,1	3,6	1,5	1,8	4	100
127	Nuevo San Carlos	Retalhuleu	4	1,7	0,5	3,6	1,7	0,6	3	1,8	0,7	3,1	1,8	1,1	3,8	1,6	1,9	4,2	100
128	Ocós	San Marcos	4	1,6	0,5	3,1	1,6	0,6	2,9	1,8	0,8	3,1	1,7	1,2	4,2	1,6	2	4,3	110
129	Olintepeque	Quetzaltenango	4	1,4	0,5	2,6	1,4	0,5	2,6	1,6	0,7	2,6	1,6	0,8	3,3	1,3	1,4	3,9	100
130	Olopa	Chiquimula	4	1,1	0,4	2,7	1,2	0,5	2,8	1,5	0,6	2,5	1,4	1	3,1	1,2	1,7	3,3	100
131	Oratorio	Santa Rosa	4	1,6	0,5	3,2	1,6	0,6	2,9	1,7	0,7	2,7	1,7	1,1	3,3	1,6	2	3,5	100
132	Pachalum	Quiché	4	1,3	0,5	4,5	1,6	0,5	3,9	1,6	0,9	3,6	1,6	1,2	4,3	1,3	1,8	4,4	100
133	Pajapita	San Marcos	4	1,5	0,5	3,3	1,6	0,6	2,9	1,7	0,8	3,1	1,7	1,1	3,7	1,5	1,9	4	110
134	Palencia	Guatemala	4	1,3	0,5	2,5	1,5	0,5	2,5	1,5	0,7	2,7	1,4	0,8	3,5	1,3	1,5	3,7	100
135	Palestina de Los Altos	Quetzaltenango	4	1,5	0,5	2,6	1,5	0,5	2,6	1,6	0,7	2,7	1,6	0,8	3,3	1,4	1,4	3,9	100
136	Palín	Escuintla	4	1,5	0,5	2,6	1,6	0,6	2,6	1,7	0,7	2,7	1,6	0,9	3,3	1,4	1,5	3,3	100
137	Panajachel	Sololá	4	1,4	0,5	2,5	1,4	0,5	2,5	1,5	0,7	2,6	1,5	0,8	3,2	1,3	1,3	3,7	100
138	Panzós	Alta Verapaz	4	1,3	0,4	4,5	1,5	0,5	4,5	2	0,9	3,7	1,8	1,3	4,3	1,4	1,8	4,4	100
139	Parramos	Chimaltenango	4	1,4	0,5	2,6	1,4	0,5	2,5	1,5	0,7	2,6	1,5	0,8	3,2	1,3	1,4	3,5	100
140	Pasaco	Jutiapa	4	1,7	0,5	3,6	1,7	0,6	3,1	1,8	0,8	3,1	1,8	1,2	3,9	1,6	2	4,2	110
141	Pastores	Sacatepéquez	4	1,4	0,5	2,5	1,4	0,5	2,5	1,5	0,7	2,6	1,5	0,8	3,3	1,3	1,6	3,5	100
142	Patulul	Suchitepéquez	4	1,7	0,5	3,6	1,7	0,6	3,1	1,8	0,7	3,1	1,8	1,2	3,8	1,6	1,9	4,2	100
143	Patzicía	Chimaltenango	4	1,4	0,5	2,6	1,4	0,5	2,5	1,5	0,7	2,6	1,5	0,8	3,3	1,3	1,4	3,8	100
144	Patzité	Quiché	4	1,3	0,5	3	1,4	0,5	3,4	1,9	0,7	2,9	1,6	1,2	3,5	1,3	1,8	3,8	100
145	Patzún	Chimaltenango	4	1,4	0,5	2,6	1,4	0,5	2,6	1,5	0,7	2,6	1,6	0,8	3,3	1,4	1,4	3,9	100
146	Petátán	Huehuetenango	4	1,4	0,4	3,6	1,6	0,5	3,5	1,9	0,9	3	1,7	1,3	3,5	1,3	1,7	3,7	100
147	Pochutá	Chimaltenango	4	1,6	0,5	2,7	1,6	0,5	2,6	1,7	0,7	2,7	1,7	0,9	3,7	1,5	1,5	3,9	100
148	Poptún	Petén	2	0,6	0,2	3,6	0,7	0,3	3,8	0,8	0,4	3,4	0,9	0,5	3,3	1,1	0,8	3,5	110
149	Pueblo Nuevo	Suchitepéquez	4	1,6	0,5	3,1	1,6	0,6	2,8	1,8	0,7	2,8	1,7	0,9	3,7	1,5	1,5	4,1	100
150	Pueblo Nuevo Viñas	Santa Rosa	4	1,6	0,5	3,1	1,6	0,6	2,8	1,7	0,7	2,8	1,7	0,9	3,3	1,5	1,7	3,5	100
151	Puerto Barrios	Izabal	4	1,4	0,5	4,9	1,6	0,6	4,9	1,9	1	4,2	1,9	1,4	4,7	1,6	2	4,6	120
152	Purulhá	Baja Verapaz	4	1,3	0,4	4,5	1,5	0,5	4,5	1,9	0,9	3,7	1,8	1,3	4,3	1,4	1,7	4,4	100
153	Quesada	Jutiapa	4	1,4	0,5	2,6	1,4	0,5	2,5	1,5	0,7	2,7	1,5	1,1	3,3	1,3	1,8	3,5	100
154	Quetzaltenango	Quetzaltenango	4	1,5	0,5	2,6	1,5	0,5	2,6	1,6	0,7	2,7	1,6	0,9	3,7	1,5	1,4	3,9	100
155	Quetzaltepeque	Chiquimula	4	1,3	0,4	2,5	1,5	0,5	2,5	1,6	0,8	2,4	1,6	1,1	2,8	1,3	1,7	3	100
156	Rabinal	Baja Verapaz	4	1,1	0,4	3,9	1,2	0,5	3,7	1,3	0,6	3,7	1,3	1	4,3	1,2	1,7	4,4	100
157	Raxruhá	Alta Verapaz	3	0,9	0,3	3,2	1,1	0,3	3	1,3	0,5	2,4	1,3	0,8	2,5	1,1	1,4	2,8	100
158	Retalhuleu	Retalhuleu	4	1,7	0,5	3,4	1,8	0,6	3,5	1,9	0,9	3,5	1,9	1,3	4,5	1,7	2	4,6	110
159	Río Blanco	San Marcos	4	1,4	0,5	2,5	1,4	0,5	2,5	1,5	0,7	2,6	1,5	0,8	3,2	1,3	1,3	3,8	100
160	Río Bravo	Suchitepéquez	4	1,7	0,5	3,6	1,7	0,6	3,1	1,8	0,8	3,2	1,8	1,2	3,9	1,6	1,9	4,2	100

Continuación del anexo 4.

No.	Municipio	Departamento	Io	Suelo tipo A			Suelo tipo B			Suelo tipo C			Suelo tipo D			Suelo tipo E			Velocidad básica del viento km/h
				Scr	S1r	TL	Scr	S1r	TL	Scr	S1r	TL	Scr	S1r	TL	Scr	S1r	TL	
161	Río Hondo	Zacapa	4	1,1	0,4	3,5	1,4	0,5	3,4	1,8	0,7	2,9	1,6	1,2	3,5	1,3	1,7	3,8	100
162	Sacapulas	Quiché	4	1,2	0,4	2,5	1,2	0,5	2,8	1,5	0,6	2,9	1,4	1	3,5	1,2	1,7	3,7	100
163	Salamá	Baja Verapaz	4	1,3	0,4	4,5	1,5	0,5	3,7	1,8	0,9	3,7	1,8	1,3	4,3	1,4	1,7	4,4	100
164	Salcajá	Quetzaltenango	4	1,4	0,5	2,6	1,4	0,5	2,5	1,5	0,7	2,6	1,6	0,8	3,3	1,3	1,3	3,9	100
165	Samayac	Suchitupéquez	4	1,7	0,5	3,4	1,7	0,6	3	1,8	0,7	2,9	1,8	1	3,7	1,6	1,7	4,2	100
166	San Agustín Acasaguastlán	El Progreso	4	1,1	0,4	3,9	1,4	0,5	3,4	1,6	0,7	3,2	1,6	1,2	3,7	1,3	1,7	3,9	100
167	San Andrés	Chimaltenango	4	1,4	0,5	2,6	1,4	0,5	2,5	1,5	0,7	2,6	1,5	0,8	3,2	1,3	1,4	3,5	100
168	San Andrés	Petén	2	0,4	0,2	4,5	0,5	0,2	4,6	0,6	0,3	4,6	0,8	0,4	4,3	1,2	0,6	4,5	100
169	San Andrés Sajcabajá	Quiché	4	1,3	0,4	4,5	1,5	0,5	4,5	2	0,9	3,7	1,8	1,3	4,3	1,4	1,8	4,4	100
170	San Andrés Semetabaj	Sololá	4	1,4	0,5	2,5	1,4	0,5	2,5	1,5	0,7	2,6	1,5	0,8	3,5	1,3	1,5	3,7	100
171	San Andrés Villa Seca	Retalhuleu	4	1,7	0,5	3,4	1,8	0,6	3,5	1,9	0,9	3,6	1,9	1,4	4,5	1,7	2	4,6	110
172	San Andrés Xecul	Totonicapán	4	1,4	0,5	2,6	1,4	0,5	2,5	1,5	0,7	2,6	1,6	0,8	3,3	1,3	1,3	3,9	100
173	San Antonio Aguas Calientes	Sacatepéquez	4	1,4	0,5	2,5	1,4	0,5	2,5	1,5	0,7	2,6	1,5	0,9	3,3	1,3	1,7	3,5	100
174	San Antonio Huista	Huehuetenango	4	1,4	0,4	3,6	1,6	0,5	3,6	1,8	0,9	3	1,6	1,3	3,5	1,3	1,7	3,7	100
175	San Antonio Itotenango	Quiché	4	1,3	0,5	4,5	1,5	0,5	4,5	1,9	0,9	3,7	1,8	1,4	4,3	1,4	1,8	4,4	100
176	San Antonio La Paz	El Progreso	4	1,1	0,4	2,5	1,4	0,5	2,8	1,4	0,6	2,9	1,4	0,8	3,5	1,2	1,6	3,7	100
177	San Antonio Palopó	Sololá	4	1,4	0,5	2,6	1,4	0,5	2,6	1,6	0,7	2,6	1,6	0,8	3,3	1,4	1,4	3,9	100
178	San Antonio Sacatepéquez	San Marcos	4	1,5	0,5	2,6	1,5	0,5	2,6	1,6	0,7	2,7	1,6	0,8	3,3	1,4	1,4	3,9	100
179	San Antonio Suchitupéquez	Suchitupéquez	4	1,7	0,5	3,6	1,7	0,6	3	1,8	0,7	3	1,8	1,1	3,8	1,6	1,8	4,2	100
180	San Bartolo	Totonicapán	4	1,3	0,5	2,6	1,4	0,5	3,3	1,5	0,7	3,6	1,4	0,9	4,3	1,3	1,7	4,3	100
181	San Bartolomé Jocotenango	Quiché	4	1,2	0,4	2,5	1,2	0,5	2,8	1,3	0,6	3,1	1,4	0,9	3,5	1,2	1,6	3,7	100
182	San Bartolomé Milpas Altas	Sacatepéquez	4	1,3	0,5	2,5	1,4	0,5	2,6	1,8	0,7	2,7	1,5	1,1	3,3	1,3	1,8	3,5	100
183	San Benito	Petén	2	0,4	0,2	4,1	0,6	0,2	4,3	0,7	0,3	4,5	0,8	0,4	4,2	1,2	0,6	4,4	100
184	San Bernardino	Suchitupéquez	4	1,7	0,5	3,6	1,7	0,6	3	1,8	0,7	3	1,8	1,1	3,8	1,6	1,8	4,2	100
185	San Carlos Alzate	Jalapa	4	1,2	0,4	2,5	1,2	0,5	2,5	1,4	0,6	2,5	1,4	0,7	3,4	1,2	1,1	3,5	100
186	San Carlos Sija	Quetzaltenango	4	1,3	0,5	3,2	1,4	0,5	3,5	1,5	0,7	3,7	1,5	1	4,3	1,3	1,8	4,4	100
187	San Cristóbal Acasaguastlán	El Progreso	4	1,1	0,4	3,5	1,4	0,5	3,4	1,8	0,7	2,9	1,6	1,2	3,5	1,3	1,7	3,8	100
188	San Cristóbal Cucho	San Marcos	4	1,6	0,5	2,6	1,6	0,5	2,6	1,7	0,7	2,7	1,7	0,9	3,6	1,5	1,4	3,9	100
189	San Cristóbal Totonicapán	Totonicapán	4	1,4	0,5	2,5	1,4	0,5	2,5	1,5	0,7	2,6	1,5	0,8	3,2	1,3	1,2	3,9	100
190	San Cristóbal Verapaz	Alta Verapaz	4	1,3	0,4	4,5	1,5	0,5	4,5	2,1	0,9	3,7	1,8	1,4	4,3	1,4	1,9	4,4	100
191	San Diego	Zacapa	4	1,1	0,4	2,9	1,2	0,5	2,9	1,5	0,6	2,8	1,4	0,9	3,5	1,2	1,7	3,6	100
192	San Felipe	Retalhuleu	4	1,7	0,5	3,6	1,7	0,6	3	1,8	0,7	3	1,8	1,1	3,8	1,6	1,8	4,2	100
193	San Francisco	Petén	3	0,4	0,2	3,9	0,5	0,2	4,1	0,6	0,3	4,4	0,8	0,4	4,2	1,2	0,6	4,3	100
194	San Francisco El Alto	Totonicapán	4	1,4	0,5	2,5	1,4	0,5	2,5	1,5	0,7	2,6	1,5	0,8	3,2	1,3	1,2	3,8	100
195	San Francisco La Unión	Quetzaltenango	4	1,4	0,5	2,6	1,4	0,5	2,5	1,5	0,7	2,6	1,6	0,8	3,3	1,3	1,3	3,9	100

Continuación del anexo 4.

No.	Municipio	Departamento	Io	Suelo tipo A			Suelo tipo B			Suelo tipo C			Suelo tipo D			Suelo tipo E			Velocidad básica del viento km/h
				Scr	S1r	TL	Scr	S1r	TL	Scr	S1r	TL	Scr	S1r	TL	Scr	S1r	TL	
196	San Francisco Zapotitlán	Suchitepéquez	4	1,7	0,5	3,4	1,7	0,6	3	1,8	0,7	2,9	1,8	1	3,7	1,6	1,7	4,2	100
197	San Gabriel	Suchitepéquez	4	1,7	0,5	3,6	1,7	0,6	3	1,8	0,7	3,1	1,8	1,1	3,8	1,6	1,9	4,1	100
198	San Gaspar Ixchil	Huehuetenango	4	1,3	0,4	4,5	1,5	0,5	4,5	2,1	0,9	3,7	1,8	1,3	4,3	1,4	1,9	4,4	100
199	San Ildefonso Ixtahuacán	Huehuetenango	4	1,3	0,4	4,5	1,5	0,5	4,5	2,1	0,9	3,7	1,8	1,3	4,3	1,4	1,9	4,4	100
200	San Jacinto	Chiquimula	4	1,4	0,4	2,5	1,6	0,5	2,4	1,9	0,8	2,2	1,7	1,1	2,8	1,3	1,7	3	100
201	San Jerónimo	Baja Verapaz	4	1,1	0,4	4,1	1,2	0,5	3,9	1,3	0,6	3,7	1,3	1	4,3	1,2	1,7	4,4	100
202	San Jorge	Zacapa	4	1,1	0,4	3,5	1,3	0,5	3,4	1,6	0,7	2,9	1,5	1,1	3,5	1,3	1,7	3,8	100
203	San José (Escuintla)	Escuintla	4	1,6	0,5	3,5	1,6	0,6	3,1	1,8	0,8	3,3	1,7	1,3	4,4	1,6	2	4,4	110
204	San José (Petén)	Petén	2	0,5	0,2	4,8	0,6	0,2	4,9	0,7	0,3	4,7	0,8	0,4	4,4	1,2	0,6	4,5	100
205	San José Acatempa	Jutiapa	4	1,4	0,5	2,6	1,4	0,5	2,5	1,8	0,7	2,7	1,6	1,1	3,3	1,3	1,8	3,5	100
206	San José Chacayá	Sololá	4	1,4	0,5	2,5	1,4	0,5	2,5	1,5	0,7	2,6	1,6	0,8	3,3	1,3	1,3	3,3	100
207	San José del Golfo	Guatemala	4	1,1	0,4	2,9	1,4	0,5	3	1,7	0,7	2,9	1,6	1,2	3,5	1,3	1,7	3,8	100
208	San José El Ídolo	Suchitepéquez	4	1,7	0,5	3,6	1,7	0,6	3	1,8	0,8	3,3	1,8	1,2	3,9	1,6	2	4,2	100
209	San José La Arada	Chiquimula	4	1,5	0,4	2,5	1,7	0,5	2,4	1,9	0,9	2,2	1,8	1,3	2,8	1,4	1,7	3	100
210	San José La Máquina	Suchitepéquez	4	1,7	0,5	3,4	1,8	0,6	3,5	1,9	0,9	3,6	1,9	1,3	4,5	1,7	2	4,6	110
211	San José Ojetenam	San Marcos	4	1,3	0,5	3,9	1,4	0,5	3,7	1,5	0,7	3,7	1,5	1,1	4,3	1,3	1,8	4,5	100
212	San José Pinula	Guatemala	4	1,3	0,5	2,5	1,5	0,5	2,4	1,5	0,7	2,7	1,4	0,9	3,3	1,3	1,6	3,5	100
213	San José Poaquil	Chimaltenango	4	1,3	0,5	2,8	1,4	0,5	2,9	1,8	0,7	2,9	1,6	1,2	3,5	1,3	1,8	3,8	100
214	San Juan Atitán	Huehuetenango	4	1,3	0,4	4,5	1,5	0,5	4,5	2	0,9	3,7	1,8	1,3	4,3	1,4	1,8	4,4	100
215	San Juan Bautista	Suchitepéquez	4	1,7	0,5	3,6	1,7	0,6	3,1	1,8	0,7	2,9	1,8	1,1	3,8	1,6	1,8	4,2	100
216	San Juan Chamelco	Alta Verapaz	4	1,3	0,4	4,5	1,5	0,5	4,5	1,9	0,9	3,7	1,7	1,2	4,3	1,4	1,7	4,5	100
217	San Juan Comalapa	Chimaltenango	4	1,3	0,5	2,5	1,4	0,5	2,7	1,5	0,7	2,9	1,5	0,8	3,5	1,3	1,6	3,7	100
218	San Juan Cotzal	Quiché	4	1,1	0,4	4,2	1,3	0,4	4,3	1,6	0,8	3,7	1,5	1,2	4,3	1,3	1,6	4,5	100
219	San Juan Ermita	Chiquimula	4	1,1	0,4	2,8	1,3	0,5	2,9	1,7	0,6	2,4	1,5	1	3	1,3	1,7	3,2	100
220	San Juan Ixcoy	Huehuetenango	4	1,4	0,4	3,6	1,6	0,5	3,6	1,8	0,9	3	1,6	1,2	3,5	1,3	1,6	3,7	100
221	San Juan La Laguna	Sololá	4	1,6	0,5	2,6	1,6	0,5	2,6	1,7	0,7	2,7	1,7	0,9	3,6	1,5	1,4	3,9	100
222	San Juan Ostuncalco	Quetzaltenango	4	1,5	0,5	2,6	1,5	0,5	2,6	1,7	0,7	2,7	1,7	0,9	3,7	1,5	1,4	3,9	100
223	San Juan Sacatepéquez	Guatemala	4	1,3	0,5	2,8	1,4	0,5	2,9	1,6	0,7	2,9	1,6	1,2	3,5	1,3	1,8	3,8	100
224	San Juan Tecuaco	Santa Rosa	4	1,6	0,5	3,2	1,6	0,6	2,8	1,8	0,7	2,8	1,7	0,9	3,4	1,5	1,6	3,4	100
225	San Lorenzo	San Marcos	4	1,4	0,5	2,6	1,4	0,5	2,5	1,5	0,7	2,6	1,6	0,8	3,3	1,3	1,4	3,8	100
226	San Lorenzo	Suchitepéquez	4	1,8	0,5	3,4	1,8	0,6	3,5	2	0,9	3,6	2	1,4	4,5	1,7	2	4,6	110
227	San Lucas Sacatepéquez	Sacatepéquez	4	1,3	0,5	2,5	1,4	0,5	2,6	1,8	0,7	2,7	1,5	1,1	3,3	1,3	1,8	3,5	100
228	San Lucas Tolimán	Sololá	4	1,5	0,5	2,7	1,5	0,5	2,6	1,7	0,7	2,7	1,7	0,9	3,7	1,5	1,5	3,9	100
229	San Luis	Petén	2	0,8	0,3	4,7	0,9	0,3	4,9	0,9	0,5	4	1	0,6	3,9	1	0,9	4	110
230	San Luis Jilotepeque	Jalapa	4	1,3	0,4	2,5	1,5	0,5	2,7	1,8	0,8	2,4	1,6	1,1	2,8	1,3	1,7	3,1	100

Continuación del anexo 4.

No.	Municipio	Departamento	Io	Suelo tipo A			Suelo tipo B			Suelo tipo C			Suelo tipo D			Suelo tipo E			Velocidad básica del viento km/h
				Scr	S1r	TL	Scr	S1r	TL	Scr	S1r	TL	Scr	S1r	TL	Scr	S1r	TL	
231	San Manuel Chaparrón	Jalapa	4	1,1	0,4	2,5	1,5	0,5	2,5	1,5	0,6	2,5	1,4	0,7	3,1	1,1	1,4	3,2	100
232	San Marcos	San Marcos	4	1,5	0,5	2,6	1,5	0,5	2,6	1,6	0,7	2,7	1,6	0,9	3,5	1,4	1,4	3,9	100
233	San Marcos La Laguna	Sololá	4	1,4	0,5	2,6	1,4	0,5	2,6	1,6	0,7	2,7	1,6	0,8	3,3	1,3	1,4	3,9	100
234	San Martín Jilotepeque	Chimaltenango	4	1,3	0,5	2,8	1,4	0,5	3	1,8	0,7	2,9	1,6	1,2	3,5	1,3	1,8	3,8	100
235	San Martín Sacatepéquez	Quetzaltenango	4	1,3	0,5	2,6	1,4	0,5	2,6	1,5	0,7	2,7	1,5	0,8	3,3	1,4	1,3	3,5	100
236	San Martín Zapotitlán	Retalhuleu	4	1,7	0,5	3,6	1,7	0,6	3	1,8	0,7	3	1,8	1,1	3,8	1,6	1,8	4,2	100
237	San Mateo Ixtatán	Huehuetenango	3	0,9	0,4	2,7	1,1	0,4	3	1,1	0,6	3	1,2	0,7	3,2	1	1,2	3,5	100
238	San Mateo Ixtatán	Quetzaltenango	4	1,5	0,5	2,6	1,5	0,5	2,6	1,6	0,7	2,7	1,6	0,8	3,3	1,4	1,4	3,9	100
239	San Miguel Acatán	Huehuetenango	4	1,4	0,4	3,6	1,6	0,5	3,6	1,8	0,9	3	1,6	1,2	3,5	1,3	1,6	3,7	100
240	San Miguel Chica Baja Verapaz	Baja Verapaz	4	1,3	0,4	4,5	1,5	0,5	4,4	1,8	0,9	3,7	1,8	1,3	4,3	1,4	1,7	4,4	100
241	San Miguel Dueñas Sacatepéquez	Sacatepéquez	4	1,4	0,5	2,6	1,4	0,5	2,6	1,6	0,7	2,6	1,6	0,8	3,3	1,4	1,5	3,5	100
242	San Miguel San Marcos Ixtahuacán	San Marcos	4	1,3	0,5	3,8	1,4	0,5	3,7	1,7	0,8	3,7	1,6	1,3	4,3	1,3	1,8	4,5	100
243	San Miguel Panán	Suchitepéquez	4	1,7	0,5	3,5	1,7	0,6	3,1	1,8	0,7	2,9	1,8	1,1	3,8	1,6	1,8	4,2	100
244	San Miguel Petapa	Guatemala	4	1,4	0,5	2,5	1,4	0,5	2,6	1,8	0,7	2,7	1,6	1,1	3,3	1,3	1,8	3,5	100
245	San Miguel Sigüilá	Quetzaltenango	4	1,3	0,5	2,4	1,4	0,5	2,5	1,5	0,7	2,7	1,4	0,8	3,1	1,3	1,2	3,6	100
246	San Pablo	San Marcos	4	1,6	0,5	2,9	1,6	0,5	2,6	1,7	0,7	2,7	1,7	0,9	3,7	1,5	1,5	3,9	100
247	San Pablo Jocopilas	Suchitepéquez	4	1,7	0,5	3,2	1,7	0,6	2,8	1,8	0,7	2,8	1,8	0,9	3,7	1,5	1,5	4,2	100
248	San Pablo La Laguna	Sololá	4	1,5	0,5	2,6	1,5	0,5	2,6	1,6	0,7	2,7	1,6	0,8	3,3	1,4	1,4	3,9	100
249	San Pedro Ayampuc	Guatemala	4	1,3	0,5	2,8	1,4	0,5	2,9	1,6	0,7	2,9	1,5	1,1	3,5	1,3	1,8	3,8	100
250	San Pedro Carchá	Alta Verapaz	4	1,1	0,4	4,5	1,3	0,4	4,3	1,5	0,8	3,7	1,5	1,2	4,3	1,3	1,6	4,5	100
251	San Pedro Jocopilas	Quiché	4	1,1	0,4	3,8	1,3	0,5	3,7	1,5	0,7	3,7	1,5	1,2	4,3	1,3	1,7	4,5	100
252	San Pedro La Laguna	Sololá	4	1,6	0,5	2,6	1,6	0,5	2,6	1,7	0,7	2,7	1,7	0,9	3,6	1,5	1,4	3,9	100
253	San Pedro Necta	Huehuetenango	4	1,2	0,4	4,3	1,4	0,5	4,2	1,6	0,8	3,7	1,6	1,3	4,3	1,3	1,7	4,5	100
254	San Pedro Pinula	Jalapa	4	1,2	0,4	2,7	1,4	0,5	2,9	1,7	0,6	2,9	1,5	1	3,5	1,3	1,7	3,7	100
255	San Pedro Sacatepéquez	Guatemala	4	1,3	0,5	2,5	1,4	0,5	2,4	1,5	0,7	2,6	1,4	0,8	3,3	1,3	1,5	3,5	100
256	San Pedro Sacatepéquez	San Marcos	4	1,5	0,5	2,6	1,5	0,5	2,6	1,6	0,7	2,7	1,6	0,8	3,3	1,4	1,4	3,9	100
257	San Pedro Soloma	Huehuetenango	3	1	0,4	3,5	1,3	0,4	3,1	1,4	0,7	3	1,4	1	3,4	1,2	1,6	3,6	100
258	San Rafael La Independencia	Huehuetenango	4	1,2	0,4	3,6	1,4	0,5	3,6	1,6	0,8	3	1,5	1,1	3,4	1,3	1,6	3,7	100
259	San Rafael Las Flores	Santa Rosa	4	1,3	0,5	2,5	1,4	0,5	2,5	1,5	0,7	2,5	1,5	0,8	3,2	1,3	1,3	3,4	100
260	San Rafael Petzal	Huehuetenango	4	1,3	0,4	4,5	1,5	0,5	4,5	2,1	0,9	3,7	1,8	1,3	4,3	1,4	1,9	4,4	100
261	San Rafael Pie de la Cuesta	San Marcos	4	1,6	0,5	2,8	1,6	0,6	2,6	1,7	0,7	2,7	1,7	0,9	3,7	1,5	1,5	4	100
262	San Raymundo	Guatemala	4	1,3	0,5	2,8	1,4	0,5	2,9	1,6	0,7	2,9	1,6	1,2	3,5	1,3	1,8	3,8	100
263	San Sebastián	Retalhuleu	4	1,7	0,5	3,6	1,7	0,6	3	1,8	0,7	3,2	1,8	1,1	3,8	1,6	1,9	4,2	100
264	San Sebastián Coatlán	Huehuetenango	4	1,1	0,4	3,6	1,4	0,4	3,6	1,4	0,8	3	1,4	1	3,4	1,2	1,6	3,6	100
265	San Sebastián Huehuetenango	Huehuetenango	4	1,3	0,4	4,5	1,5	0,5	4,5	2,1	0,9	3,7	1,8	1,3	4,3	1,4	1,9	4,4	100

Continuación del anexo 4.

No.	Municipio	Departamento	Io	Suelo tipo A			Suelo tipo B			Suelo tipo C			Suelo tipo D			Suelo tipo E			Velocidad básica del viento km/h
				Scr	S1r	TL	Scr	S1r	TL	Scr	S1r	TL	Scr	S1r	TL	Scr	S1r	TL	
266	San Vicente Pacaya	Escuintla	4	1,6	0,5	2,7	1,6	0,6	2,6	1,7	0,7	2,7	1,7	0,9	3,2	1,5	1,7	3,4	100
267	Sanarate	El Progreso	4	1,2	0,4	3,1	1,4	0,5	3,4	1,8	0,7	2,9	1,6	1,2	3,5	1,3	1,7	3,8	100
268	Sansare	El Progreso	4	1,1	0,4	2,7	1,2	0,5	2,9	1,4	0,6	2,9	1,4	0,9	3,5	1,2	1,7	3,7	100
269	Santa Ana	Petén	2	0,4	0,2	4,1	0,5	0,2	4,3	0,6	0,3	4,5	0,8	0,4	4,2	1,2	0,6	4,4	100
270	Santa Ana Huista	Huehuetenango	4	1,4	0,4	3,6	1,6	0,5	3,5	1,9	0,9	3	1,6	1,3	3,5	1,3	1,7	3,7	100
271	Santa Apolonia	Chimaltenango	4	1,3	0,5	2,7	1,4	0,5	2,9	1,6	0,7	2,9	1,5	1,1	3,5	1,3	1,8	3,7	100
272	Santa Bárbara	Huehuetenango	4	1,3	0,4	4,5	1,5	0,5	4,5	2,1	0,9	3,7	1,8	1,3	4,3	1,4	1,9	4,4	100
273	Santa Bárbara	Suchitepéquez	4	1,7	0,5	3,6	1,7	0,6	3	1,8	0,7	2,9	1,8	1,1	3,8	1,6	1,8	4,2	100
274	Santa Catalina La Tinta	Alta Verapaz	4	1,3	0,4	4,5	1,5	0,5	4,5	1,9	0,9	3,7	1,8	1,3	4,3	1,4	1,7	4,4	100
275	Santa Catarina Barahona	Sacatepéquez	4	1,4	0,5	2,6	1,4	0,5	2,5	1,5	0,7	2,6	1,6	0,8	3,3	1,3	1,6	3,5	100
276	Santa Catarina Ixtahuacán	Sololá	4	1,4	0,5	2,5	1,4	0,5	2,5	1,5	0,7	2,6	1,6	0,8	3,3	1,3	1,3	3,4	100
277	Santa Catarina Mita	Jutiapa	4	1,2	0,4	2,5	1,5	0,5	2,5	1,5	0,6	2,5	1,4	0,7	2,8	1,2	1,3	3,3	100
278	Santa Catarina Palopó	Sololá	4	1,5	0,5	2,6	1,5	0,5	2,6	1,6	0,7	2,7	1,6	0,8	3,3	1,4	1,4	3,9	100
279	Santa Catarina Pinula	Guatemala	4	1,3	0,5	2,5	1,4	0,5	2,4	1,5	0,7	2,7	1,5	0,9	3,3	1,3	1,7	3,5	100
280	Santa Clara La Laguna	Sololá	4	1,5	0,5	2,8	1,5	0,5	2,6	1,7	0,7	2,7	1,7	0,9	3,7	1,5	1,5	3,9	100
281	Santa Cruz Balanyá	Chimaltenango	4	1,3	0,5	2,5	1,4	0,5	2,5	1,5	0,7	2,6	1,5	0,8	3,3	1,3	1,3	3,7	100
282	Santa Cruz Barillas	Huehuetenango	3	0,9	0,4	2,7	1,1	0,4	2,4	1,5	0,6	2,3	1,4	0,8	2,7	1,2	1,5	2,9	100
283	Santa Cruz del Quiché	Quiché	4	1,3	0,5	2,8	1,4	0,5	2,9	1,6	0,7	2,9	1,6	1,2	3,5	1,3	1,8	3,8	100
284	Santa Cruz el Chol	Baja Verapaz	4	1,1	0,4	3,1	1,4	0,5	3,4	1,8	0,7	2,9	1,6	1,2	3,5	1,3	1,7	3,8	100
285	Santa Cruz La Laguna	Sololá	4	1,4	0,5	2,6	1,4	0,5	2,6	1,5	0,7	2,6	1,6	0,8	3,3	1,3	1,3	3,6	100
286	Santa Cruz Muluá	Retalhuleu	4	1,6	0,5	3,4	1,6	0,6	3,1	1,8	0,8	3,3	1,8	1,3	4,4	1,6	2	4,4	110
287	Santa Cruz Naranjo	Santa Rosa	4	1,4	0,5	2,6	1,4	0,5	2,5	1,8	0,7	2,7	1,6	1,1	3,3	1,3	1,8	3,5	100
288	Santa Cruz Verapaz	Alta Verapaz	4	1,4	0,4	4,5	1,6	0,6	4,5	2,2	0,9	3,7	1,9	1,3	4,3	1,5	2	4,4	100
289	Santa Eulalia	Huehuetenango	3	0,9	0,4	2,9	1,1	0,4	3	1,1	0,6	3	1,2	0,8	3,3	1,1	1,5	3,6	100
290	Santa Lucía Cotzumalguapa	Escuintla	4	1,7	0,5	3,6	1,7	0,6	3,1	1,8	0,8	3,1	1,8	1,2	3,9	1,6	2	4,2	100
291	Santa Lucía La Reforma	Totonicapán	4	1,3	0,5	3,4	1,4	0,5	3,7	1,5	0,7	3,7	1,4	1	4,3	1,3	1,8	4,4	100
292	Santa Lucía Milpas Altas	Sacatepéquez	4	1,3	0,5	2,5	1,4	0,5	2,6	1,8	0,7	2,7	1,6	1,1	3,3	1,3	1,8	3,5	100
293	Santa Lucía Utatlán	Sololá	4	1,4	0,5	2,6	1,4	0,5	2,5	1,5	0,7	2,6	1,6	0,8	3,3	1,3	1,4	3,6	100
294	Santa María Cahabón	Alta Verapaz	3	0,9	0,4	4,5	1,1	0,4	4,4	1,3	0,6	3,7	1,3	1	4,3	1,2	1,6	4,4	110
295	Santa María Chiquimula	Totonicapán	4	1,3	0,5	2,5	1,4	0,5	2,6	1,5	0,7	2,9	1,4	0,8	4	1,3	1,4	4,2	100
296	Santa María de Jesús	Sacatepéquez	4	1,4	0,5	2,6	1,4	0,5	2,6	1,7	0,7	2,7	1,6	1,1	3,3	1,4	1,8	3,5	100
297	Santa María Ixhuatán	Santa Rosa	4	1,6	0,5	2,8	1,6	0,6	2,6	1,7	0,7	2,7	1,7	1,1	3,3	1,5	2	3,5	100
298	Santa María Visitación	Sololá	4	1,5	0,5	2,6	1,5	0,5	2,6	1,6	0,7	2,7	1,6	0,9	3,4	1,4	1,4	3,9	100
299	Santa Rosa de Lima	Santa Rosa	4	1,4	0,5	2,5	1,5	0,5	2,5	1,7	0,7	2,7	1,5	1,1	3,3	1,3	1,8	3,5	100
300	Santiago Atitlán	Sololá	4	1,6	0,5	2,7	1,6	0,5	2,6	1,7	0,7	2,7	1,7	0,9	3,7	1,5	1,5	3,9	100

Continuación del anexo 4.

No.	Municipio	Departamento	Suelo tipo A			Suelo tipo B			Suelo tipo C			Suelo tipo D			Suelo tipo E			Velocidad básica del viento km/h	
			Scr	S1r	TL	Scr	S1r	TL	Scr	S1r	TL	Scr	S1r	TL	Scr	S1r	TL		
301	Santiago Chimaltenango	Huehuetenango	4	1,3	0,4	4,5	1,5	0,5	4,5	1,7	0,9	3,7	1,7	1,3	4,3	1,4	1,7	4,4	100
302	Santiago Sacatepéquez	Sacatepéquez	4	1,3	0,5	2,5	1,4	0,5	2,6	1,6	0,7	2,7	1,5	1	3,3	1,3	1,8	3,5	100
303	Santo Domingo Suchitépéquez	Suchitépéquez	4	1,6	0,5	3,4	1,7	0,6	3,4	1,8	0,9	3,5	1,8	1,3	4,5	1,6	2	4,6	110
304	Santo Domingo Xenacoj	Sacatepéquez	4	1,3	0,5	2,5	1,4	0,5	2,5	1,5	0,7	2,6	1,5	0,9	3,3	1,3	1,6	3,5	100
305	Santo Tomás La Unión	Suchitépéquez	4	1,6	0,5	2,9	1,6	0,6	2,6	1,8	0,7	2,8	1,7	0,9	3,7	1,5	1,5	4	100
306	Sayaxché	Petén	2	0,6	0,2	3,4	0,7	0,3	3,5	0,8	0,4	4	0,9	0,5	3,8	1,1	0,8	3,7	100
307	Senahú	Alta Verapaz	4	1,3	0,4	4,5	1,5	0,5	4,5	1,9	0,9	3,7	1,7	1,2	4,3	1,4	1,8	4,4	100
308	Sibilia	Quetzaltenango	4	1,4	0,5	2,6	1,4	0,5	2,5	1,5	0,7	2,6	1,6	0,8	3,3	1,3	1,3	3,8	100
309	Sibinal	San Marcos	4	1,3	0,5	2,7	1,4	0,5	3,3	1,5	0,7	3,6	1,4	0,8	4,3	1,3	1,6	4,3	100
310	Sipacapa	San Marcos	4	1,3	0,5	3,3	1,4	0,5	3,5	1,5	0,7	3,7	1,4	1	4,3	1,3	1,8	4,4	100
311	Sipacate	Escuintla	4	1,9	0,5	3,4	1,9	0,6	3,5	2	0,9	3,5	1,9	1,3	4,5	1,7	2	4,6	110
312	Siquinalá	Escuintla	4	1,6	0,5	3,6	1,6	0,6	3,1	1,8	0,7	2,9	1,8	1,1	3,6	1,6	1,8	3,3	100
313	Sololá	Sololá	4	1,3	0,5	2,5	1,4	0,5	2,6	1,5	0,7	2,9	1,5	0,8	3,5	1,3	1,6	3,7	100
314	Sumpango	Sacatepéquez	4	1,3	0,5	2,5	1,4	0,5	2,4	1,5	0,7	2,6	1,5	0,8	3,3	1,3	1,6	3,5	100
315	Tacaná	San Marcos	4	1,3	0,5	4,5	1,5	0,5	4,2	1,7	0,9	3,7	1,7	1,4	4,3	1,4	1,8	4,4	100
316	Tactic	Alta Verapaz	4	1,4	0,4	4,5	1,6	0,6	4,5	2,2	0,9	3,7	1,9	1,3	4,3	1,5	2	4,4	100
317	Tajumulco	San Marcos	4	1,5	0,5	2,6	1,5	0,5	2,6	1,6	0,7	2,7	1,6	0,9	3,5	1,4	1,4	3,8	100
318	Tamahú	Alta Verapaz	4	1,3	0,4	4,5	1,5	0,5	4,5	2,1	0,9	3,7	1,8	1,3	4,3	1,4	1,9	4,4	100
319	Taxisco	Santa Rosa	4	1,7	0,5	3,6	1,7	0,6	3,1	1,8	0,8	3,2	1,8	1,2	3,9	1,6	2	4,2	110
320	Tecpán Guatemala	Chimaltenango	4	1,3	0,5	2,7	1,4	0,5	2,9	1,6	0,7	2,9	1,6	1,2	3,5	1,3	1,8	3,8	100
321	Tectitán	Huehuetenango	4	1,3	0,4	4,5	1,5	0,5	4,5	1,9	0,9	3,7	1,8	1,3	4,3	1,4	1,7	4,4	100
322	Teculután	Zacapa	4	1,1	0,4	3,9	1,4	0,5	3,4	1,6	0,7	3,1	1,6	1,2	3,7	1,3	1,7	3,9	100
323	Tejutla	San Marcos	4	1,3	0,5	2,5	1,4	0,5	3,2	1,5	0,7	3,5	1,5	0,9	4,3	1,3	1,7	4,4	100
324	Tiquisate	Escuintla	4	1,8	0,5	3,4	1,9	0,6	3,5	2	0,9	3,6	2	1,4	4,5	1,7	2	4,6	110
325	Todos Santos Cuchumatanes	Huehuetenango	4	1,4	0,4	4,5	1,6	0,5	3,8	1,9	0,9	3,6	1,6	1,3	4,3	1,3	1,7	4,5	100
326	Totonicapán	Totonicapán	4	1,3	0,5	2,5	1,4	0,5	2,5	1,5	0,7	2,6	1,5	0,8	3,5	1,3	1,4	3,7	100
327	Tucurú	Alta Verapaz	4	1,4	0,4	4,5	1,6	0,6	4,5	2,2	0,9	3,7	1,9	1,3	4,3	1,5	2	4,4	100
328	Unión Cantinil	Huehuetenango	4	1,4	0,4	3,6	1,6	0,5	3,5	1,9	0,9	3	1,7	1,3	3,5	1,3	1,7	3,7	100
329	Uspantán	Quiché	4	1,3	0,4	4,5	1,5	0,5	4,4	1,8	0,9	3,7	1,8	1,3	4,3	1,4	1,7	4,4	100
330	Usumatlán	Zacapa	4	1,2	0,4	3,5	1,4	0,5	3,4	1,9	0,7	2,9	1,6	1,2	3,5	1,3	1,7	3,8	100

Continuación del anexo 4.

No.	Municipio	Departamento	Io	Suelo tipo A			Suelo tipo B			Suelo tipo C			Suelo tipo D			Suelo tipo E			Velocidad básica del viento km/h
				Scr	S1r	TL	Scr	S1r	TL	Scr	S1r	TL	Scr	S1r	TL	Scr	S1r	TL	
331	Villa Canales	Guatemala	4	1,4	0,5	2,6	1,4	0,5	2,6	1,7	0,7	2,7	1,6	1,1	3,3	1,4	1,8	3,5	100
332	Villa Nueva	Guatemala	4	1,3	0,5	2,5	1,4	0,5	2,5	1,8	0,7	2,7	1,6	1,1	3,3	1,3	1,8	3,5	100
333	Yepocapa	Chimaltenango	4	1,6	0,5	2,8	1,6	0,5	2,6	1,7	0,7	2,7	1,7	0,9	3,6	1,5	1,5	3,9	100
334	Yupiltepeque	Jutiapa	4	1,4	0,5	2,5	1,4	0,5	2,5	1,5	0,7	2,6	1,5	0,8	3,3	1,3	1,5	3,5	100
335	Zacapa	Zacapa	4	1,1	0,4	3,5	1,4	0,5	3,4	1,7	0,7	2,9	1,6	1,2	3,5	1,3	1,7	3,8	100
336	Zacualpa	Quiché	4	1,1	0,4	3,3	1,2	0,5	3,6	1,3	0,6	3,6	1,3	0,9	4,2	1,2	1,7	4,3	100
337	Zapotitlán	Jutiapa	4	1,4	0,5	2,6	1,4	0,5	2,6	1,6	0,7	2,7	1,6	1	3,3	1,4	1,8	3,5	100
338	Zaragoza	Chimaltenango	4	1,3	0,5	2,5	1,4	0,5	2,5	1,5	0,7	2,6	1,5	0,8	3,2	1,3	1,3	3,7	100
339	Zunil	Quetzaltenango	4	1,6	0,5	2,7	1,6	0,5	2,6	1,7	0,7	2,7	1,7	0,9	3,7	1,5	1,5	3,9	100
340	Zunilito	Suchitepéquez	4	1,6	0,5	3,2	1,6	0,6	2,8	1,8	0,7	2,8	1,8	0,9	3,7	1,5	1,6	4,2	100

Fuente: AGIES NSE 2-20, Anexo A. p. 88.

