

Universidad del Valle de Guatemala

Facultad de Ingeniería



**Estructuras livianas resistentes a huracanes con base en las normas NSE de Guatemala.**

Trabajo de graduación presentado por Alvaro Josué Caravantes Armas para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Civil.

Guatemala,

2018



Estructuras livianas resistentes a huracanes con base en las  
normas NSE de Guatemala.

Universidad del Valle de Guatemala

**Facultad de Ingeniería**




**Estructuras livianas resistentes a huracanes con base en las normas NSE de Guatemala.**

Trabajo de graduación presentado por Alvaro Josué Caravantes Armas para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Civil.


Guatemala,


2018

Vo. Bo:

(f)   
Ing. Otoniel Echeverria

Tribunal Examinador:

(f)   
Ing. Otoniel Echeverria

(f)   
Ing. Roberto Godo Levensen

(f)   
Ing. Feliciano Leiva Estrada.

Fecha de aprobación: 04 diciembre de 2018

## **Prefacio**

Debido a la posición geográfica de Guatemala, el país se encuentra geográficamente en un punto delicado del planeta Tierra ya que cuenta con una alta amenaza sísmica y se encuentra justo en la intersección de tres placas tectónicas altamente activas y simultáneamente se ubica cerca de la línea del Ecuador donde durante la época de ciclones tropicales tiene mayor posibilidad que un ciclón tropical toque territorio guatemalteco.

Las normas de seguridad estructural en Guatemala se han enfocado en desarrollar investigación ante los efectos provocado por las sollicitaciones laterales generadas por el movimiento de las placas tectónicas en las estructuras (Terremotos). El enfoque se dio por parte de los entes encargados de establecer dichas normas, debido a que el material constructivo predominante en Guatemala es el concreto reforzado y no materiales de peso liviano como el acero estructural y la madera. Dicho lo anterior, es la razón que los efectos del viento en las estructuras se han permitido dejarlo en segundo plano y no se ha establecido un procedimiento correcto y normado para dichas estructuras.

Según lo establecido en el párrafo anterior se pretende determinar si es seguro para los ocupantes de la estructura realizar un diseño estructural par edificaciones de peso liviano siguiendo el procedimiento establecido en las normas de seguridad estructural de Guatemala “NSE”. Así como comprar el procedimiento descrito en las “NSE” y someterlo a una comparación con el procedimiento descrito en códigos internacionales. Por último, se realizó un modelo tridimensional y se sometió a un simulador de túnel de viento para rectificar ambos procedimientos.

# Contenido

1. Introducción .....	1
2. Justificación .....	2
3. Objetivos .....	3
3.1 Objetivos generales.....	3
3.2 Objetivos específicos .....	3
4. Marco teórico .....	4
4.1 Generalidades de Guatemala.....	4
4.1.1 Ubicación geográfica de Guatemala .....	4
4.2 Tipos de construcción en Guatemala .....	5
4.3 Población guatemalteca .....	5
4.4 Tipos constructivos más vulnerables a vientos huracanados .....	6
4.4.1 Muros de madera.....	6
4.4.2 Adobe .....	6
4.4.3 Bahareque .....	8
4.4.4 Mampostería .....	9
4.4.5 Concreto prefabricado.....	11
4.4.6 Acero estructural.....	11
4.4.7 Concreto reforzado.....	11
4.5 Ciclones tropicales en territorio guatemalteco.....	12
5. Generalidades de ciclones tropicales .....	14
5.1 Ciclón tropical.....	14
5.2 Escalas de clasificación.....	14
5.2.1 Fujita/Fujita mejorada.....	14
5.2.3 Saffir – Simpson (SSHS) .....	15

5.2.4 Índice de severidad de un huracán (HSI).....	16
5.3 Ciclones tropicales en América Central y Guatemala.....	16
5.4 Sistema de alerta en Guatemala ante la amenaza de un ciclón tropical.....	17
6. Probabilidades de amenaza de un ciclón tropical en Guatemala debido al cambio climático .....	18
6.1 Cambio climático.....	18
6.2 Probabilidades de un ciclón en Guatemala .....	18
6.3 Línea del tiempo de huracanes con afección en Guatemala.....	21
6.4 Comparación entre trayectoria real y probabilística de ciclones tropicales en la cuenca del Atlántico Norte .....	26
6.5 Proyecciones de la velocidad del viento en Guatemala .....	31
7. Generalidades del viento.....	32
7.1 Presión de viento.....	32
7.2 Velocidad básica del viento .....	33
7.2.1 Velocidad del viento según la ubicación geográfica del terreno.....	33
7.2.2 Estimación de la velocidad del viento debido al cambio climático regional .....	34
7.2.3 Precaución ante vientos huracanados.....	34
7.2.4 Comportamiento ante el viento de edificaciones en función del material .....	35
7.2.5 Viento de diseño para Guatemala .....	35
7.2.6 Comportamiento del viento según a la geometría de la edificación .....	37
7.2.7 Metodología de integración de la presión del viento .....	40
7.2.8 Parámetros para tomar en cuenta para la integración de la carga del viento .....	40
8. Efectos sísmicos en las edificaciones.....	44
8.1 Estructuración interna de la Tierra.....	44
8.2 Teoría de las placas tectónicas.....	44
8.3 Escalas de clasificación de un terremoto .....	45
8.4 Sismicidad en Guatemala.....	46
9. Diseño estructural de edificaciones en Guatemala.....	49

9.1 Aspectos mínimos para tomar en cuenta para diseñar una edificación.....	49
9.1.1 Configuración estructural.....	49
9.1.2 Trayectoria de las cargas.....	49
9.1.3 Rangos de desempeño.....	50
9.1.4 Diafragma de la estructura.....	50
9.1.5 Metodología de análisis.....	50
9.2 Cargas aplicables a la estructura.....	54
9.2.1 Cargas gravitacionales/dinámicas.....	54
9.2.2 Combinaciones de carga.....	54
10. Normas y códigos de diseño estructural para edificaciones en Guatemala.....	56
10.1 AGIES.....	56
10.2 AISC (American Institute of Steel Construction).....	56
10.3 ASCE (American Society of Civil Engineering).....	57
10.4 IBC (International Building Code).....	57
11. Descripción de la edificación por analizar.....	57
11.1 Ubicación de la edificación.....	57
11.1.1 Razones de ubicación.....	57
11.1.2 Tipo de suelo.....	58
11.1.3 Índice de sismicidad.....	58
11.2 Uso de la edificación.....	58
11.2.1 Nivel de protección.....	58
11.3 Sistema de resistencia lateral.....	59
11.4 Edificación.....	59
12. Cargas asumidas en la edificación.....	59
12.1 Carga muerta.....	59
12.1.1 Cubierta liviana.....	59
12.1.2 Terraza.....	60

12.1.3 Entrepiso .....	60
12.1.4 Forro de la edificación .....	61
12.2 Carga viva (carga de uso).....	61
12.2.1 Cubierta liviana.....	61
12.2.2 Terraza .....	61
12.2.3 Entrepiso .....	61
12.3 Carga de viento .....	62
12.3.1 Integración del viento por diferentes metodologías .....	62
13. Resultados del análisis estructural de la edificación .....	62
13.1 Metodología empleada.....	62
13.2 Modelado tridimensional de la edificación .....	63
13.3 Consolidación de resultados.....	66
14. Conclusiones .....	71
15. Recomendaciones .....	72
16. Literatura citada .....	73
<u>17. Glosario.....</u>	<u>79</u>

## Listado de figuras

Figura no. 1: Departamentos de Guatemala.....	4
Figura no. 2: Porcentaje de población urbana y rural. ....	6
Figura no. 3: Edificación con muros de madera. ....	7
Figura no. 4: Edificación con adobe. ....	8
Figura no. 5: Edificación con bahareque. ....	8
Figura no. 6: Edificación de mampostería simple.....	9
Figura no. 7: Edificación de mampostería confinada.....	10
Figura no. 8: Edificación de mampostería reforzada. ....	10
Figura no. 9: Edificación de concreto prefabricado.....	11
Figura no. 10: Edificación de acero estructural. ....	11
Figura no. 11: Edificación de concreto reforzado.....	12
Figura no. 12: Historia del tiempo de los ciclones tropicales en el Océano Pacífico. ....	17
Figura no. 13: Historia del tiempo de ciclones tropicales en el Océano Atlántico. ....	17
Figura no. 14: Localización del sistema contra ciclones tropicales de Guatemala. ....	17
Figura no. 15: Comparación de las trayectorias de ciclones tropicales históricos ..... con las simulaciones de NRCM (WRF+CSCM). ....	19
Figura no. 16: Ciclones tropicales en fase I de Huracán con afectación a Guatemala.....	21
Figura no. 17: Ciclones tropicales en fase II de Huracán con afectación a Guatemala. ...	22
Figura no. 18: Ciclones tropicales en fase III de Huracán con afectación a Guatemala..	23
Figura no. 19: Ciclones tropicales en fase IV de Huracán con afectación a Guatemala..	24
Figura no. 20: Ciclones tropicales en fase IV de Huracán con afectación a Guatemala..	25
Figura no. 21: A.1 .....	26
Figura no. 22: A.2 .....	26
Figura no. 23: A.3 .....	26
Figura no. 24:A4 .....	27
Figura no. 25:A5 .....	27
Figura no. 26:A6 .....	27
Figura no. 27:A7 .....	28
Figura no. 28:A8 .....	28

Figura no. 29: A9 .....	28
Figura no. 30: A10 .....	29
Figura no. 31:A11 .....	29
Figura no. 32:A12 .....	29
Figura no. 33: A13 .....	30
Figura no. 34: A14 .....	30
Figura no. 35: A15 .....	30
Figura no. 36: Cambio de velocidad de viento en Guatemala Parte 1 .....	31
Figura no. 37: Cambio de velocidad de viento en Guatemala Parte 2 .....	32
Figura no. 38: Velocidad de diseño de viento en Guatemala.....	36
Figura no. 39: Velocidad de viento en Guatemala por medio de un barómetro .....	36
Figura no. 40: Comportamiento del viento en una edificación.....	37
Figura no. 41: Comportamiento del viento según topografía. ....	42
Figura no. 42: Ubicación de placas tectónicas del mundo. ....	45
Figura no. 43: Clasificación del terreno de la República de Guatemala .....	47
Figura no. 44: Zonificación sísmica propuesta por Villagrán.....	47
Figura no. 45: Zonificación sísmica propuesta por Ligorria.....	48
Figura no. 46: Zonificación sísmica propuesta por Molina. ....	48
Figura no. 47: Distribución geográfica de las distintas unidades geotécnicas que cubren .. la Ciudad de Guatemala y sus alrededores.....	49
Figura no. 48: Zonificación sísmica de diseño para Guatemala .....	49
Figura no. 49: Edificación real concluida.. ....	59
Figura no. 50: Modelo tridimensional del análisis estructural con cargas ASCE.....	65
Figura no. 51 fusibles del sistema de resistencia lateral hasta un 1300% de uso: .....	65
Figura no. 52: Modelo tridimensional del análisis estructural AGIES .....	66
Figura no. 53: Integración de la carga de viento por ASCE .....	69
Figura no. 54: Integración de la carga de viento por AGIES.....	69

## Listado de cuadros

Cuadro No. 1: Algunos ciclones tropicales que afectaron a Guatemala. ....	12
Cuadro No. 2: Escala de medición por metodología de Fujita. ....	15
Cuadro No. 3: Escala de medición por metodología de SSHS. ....	15
Cuadro No. 4: Comparación entre el uso de metodologías HSI – SSHS..... (respectivamente).....	16
Cuadro No. 5: Detalles de ciclones tropicales en fase I de huracán con afectación a..... Guatemala. ....	21
Cuadro No. 6: Detalles de ciclones tropicales en fase II de huracán con afectación a ..... Guatemala. ....	22
Cuadro No. 7: Detalles de ciclones tropicales en fase III de huracán con afectación a ..... Guatemala. ....	23
Cuadro No. 8: Detalles de ciclones tropicales en fase IV de huracán con afectación a ..... Guatemala. ....	24
Cuadro No. 9: Detalles de ciclones tropicales en fase V de huracán con afectación a ..... Guatemala. ....	25
Cuadro No. 10: Categoría de exposición de una edificación. ....	41
Cuadro No. 11: Condiciones de apertura de una edificación.....	43
Cuadro No. 12: Rugosidad del terreno.....	44
Cuadro No. 13: Categorización de edificaciones en Guatemala.....	51
Cuadro No. 14: Nivel de protección sísmica y probabilidades del sismo de diseño.....	51
Cuadro No. 15: Tipos de carga consideradas en una edificación. ....	54
Cuadro No. 16: Resultados del análisis del viento en la edificación. ....	62

## Resumen

El siguiente documento contiene información acerca de las consideraciones estructurales que se deben tomar para diseñar una estructura de peso liviano en caso se generen vientos huracanados por ciclones tropicales. Las edificaciones de peso liviano son susceptibles en sus alrededores a los efectos que puede generar la velocidad de viento. Para este estudio se determinó diseñar la estructura para un huracán de categoría III, en la escala de Saffir-Simpson.

En Guatemala predomina la construcción con materiales pesados en función de su capacidad, por lo que el diseño estructural lo dominan las sollicitaciones laterales generadas por efectos sísmicos y no de viento.

Debido al cambio climático que está sucediendo a nivel mundial se ha demostrado que es posible que, dentro de 30, 40 o 50 años, la trayectoria que durante años han tomado los ciclones tropicales cambien su rumbo, esto es por el aumento de la temperatura superficial de los océanos, aumentando las posibilidades que un ciclón en fase de huracán de categoría III, IV, V entre al territorio de Guatemala. Por lo que ha surgido la duda de determinar si las consideraciones de la carga de viento en las normas de seguridad Estructural de Guatemala son capaces de realizar una integración de la carga de viento acorde a las sollicitaciones por desastres naturales. Las normas de seguridad de Guatemala no tienen un plazo de actualización definido, por ejemplo, las normas previamente vigentes NSE 10, se actualizaron hasta el año 2017 y los parámetros de diseño para la carga de viento continuo no se dio modificación.

# 1. Introducción

Recientemente la ingeniería en Guatemala ha mostrado relevancia en el uso del acero estructural para la construcción de edificaciones. Lamentablemente las normas de seguridad estructural de Guatemala carecen de un enfoque para estructuras de peso liviano. Por lo que los ingenieros han adoptado consideraciones estructurales de códigos internacionales para elaborar una edificación eficiente y agradable para el usuario con dicho material. El uso de los criterios de construcción queda totalmente a elección del diseñador estructural. En Guatemala se ha utilizado por años el concreto reforzado o la mampostería reforzada para la construcción de las edificaciones, por lo que el viento no ha sido una carga lateral relevante y los códigos internacionales han dejado de actualizar los efectos del viento en las edificaciones. En este trabajo se hace una comparación entre el uso del código estructural de Guatemala y los internacionales para determinar la eficiencia de dicho código.

Según los estudios con herramientas como un barómetro se ha determinado que, en la República de Guatemala, se llegó a la conclusión de que a los 10 metros sobre el nivel de referencia se tiene una velocidad de viento de 120 km/hr en las zonas costeras, y según la integración de la carga de simplificada no se puede tener una presión menor a 16 psf (psf = libra/pie<sup>2</sup>). Por lo que los ingenieros han optado a utilizar los 16 psf para el diseño por viento sin realizar correctamente la integración de la carga de viento. Debido a que la velocidad de viento en la ciudad de Guatemala no es crítica atribuye a la poca investigación del viento sobre las estructuras de peso liviano en Guatemala.

En Códigos internacionales se muestra que Guatemala puede llegar a tener vientos mucho mayores a 100 km/hora en caso de vientos huracanados en la zona del caribe. Por lo que se debe rectificar los parámetros actualmente utilizados para dicho análisis,

## **2. Justificación**

En los últimos años se ha observado un cambio en el ciclo climático a nivel mundial lo que ha provocado un cambio en las temperaturas, velocidades de viento y entre otros efectos climáticos.

Es importante tomar en consideración el cambio del clima en las edificaciones debido a que las cargas que se han considerado pueden variar con dicho cambio. Por ejemplo, en Guatemala se ha experimentado que en ciertos departamentos ha caído nieve, lamentablemente si esto sucede con una mayor frecuencia por un tiempo más prolongado la carga que se genera en la cubierta de la edificación de peso liviano puede causar daños estructurales en la edificación.

El cambio climático conlleva alteraciones en las velocidades de viento debido a que las temperaturas del agua en los océanos varía y provoca que se formen vientos huracanados que llegan a tocar territorio guatemalteco. Por lo que es importante que las normas de seguridad estructural en Guatemala tengan criterio suficiente para prevenir el colapso total de las edificaciones de peso liviano en caso se presenten vientos huracanados.

Adicionalmente es importante dar a conocer que el viento llega a generar fuerzas increíblemente grandes que pueden llegar a predominar en una estructura.

## **3. Objetivos**

### **3.1 Objetivos generales**

Diseñar una estructura en la República de Guatemala, que sea capaz de resistir un huracán nivel 3 según a las normas de seguridad estructural (NSE)

### **3.2 Objetivos específicos**

Comparar si los parámetros de la integración de la carga del viento establecidos en las normas de seguridad estructural (NSE) son suficientes para el diseño estructural en caso de vientos huracanados.

Comparar la velocidad del viento de diseño que se especifica en las normas de seguridad de Guatemala, respecto a la velocidad del viento esperada en la República de Guatemala debido al cambio climático.

Sugerencias de modificar las normas de seguridad estructural de Guatemala para el diseño de las edificaciones de peso liviano.

## 4. Marco teórico

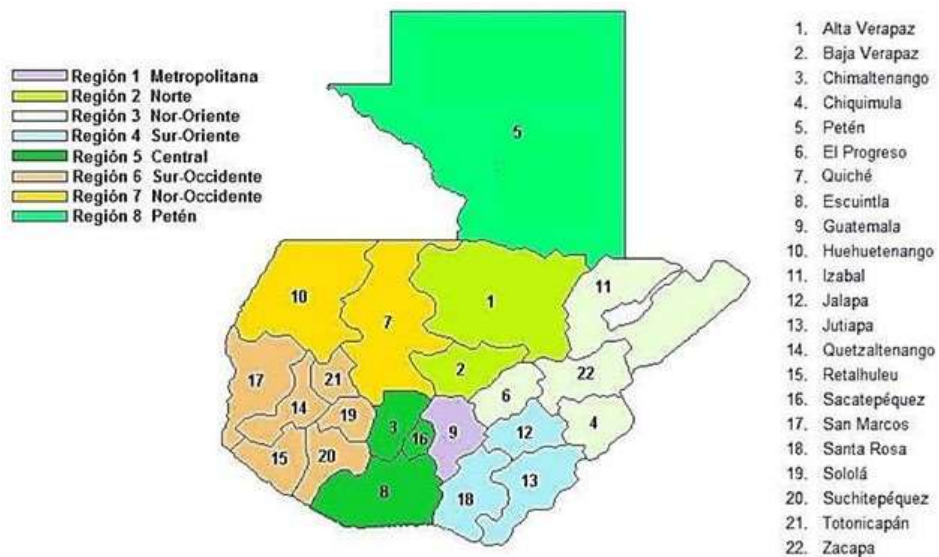
### 4.1 Generalidades de Guatemala

#### 4.1.1 Ubicación geográfica de Guatemala

Guatemala se encuentra en la región centroamericana, donde limita al norte con México, al este con Belice, al sur con Honduras y el Salvador. El relieve del país se caracteriza por ser montañoso, lo que nos da un índice de la actividad de las placas tectónicas que se encuentran ubicadas por debajo del territorio. Guatemala tiene dos costas una costa en el Pacífico y una costa en el Mar Caribe.

El territorio guatemalteco está subdividido por departamentos los cuales tienen una variación de clima como lo es en las zonas bajas que cuentan con un clima tropical, cálido y húmedo. En caso contrario en las regiones altas cuentan con clima frío de montaña. Guatemala también está clasificada por regiones como se muestra a continuación (Kwei, 2017).

Figura no. 1: Departamentos de Guatemala



Debido a la ubicación geográfica de Guatemala, el territorio guatemalteco se encuentra

dentro de las siete zonas con mayor riesgo ante una amenaza de un huracán según el laboratorio oceanográfico Meteorológico del Atlántico, institución estadounidense que vigila y analiza los ciclones tropicales.

- Atlántico norte (incluye el norte del Océano Atlántico, el Golfo de México y el mar Caribe)
- Pacífico noreste
- Pacífico noroeste (incluye la costa de Asia y el sur de del mar de China)
- Índico norte (la bahía de Bengala y el mar de Arabia)
- Índico sudoeste (Costa Africana)
- Índico sudeste-australiano
- Australiano-Pacífico sudoeste

(Bórras, 2017)

## **4.2 Tipos de construcción en Guatemala**

Según el censo del 2002, 50.1 % de casas estaban construidas de block, cemento y ladrillo (Mampostería), y un veinte y 24.3% de casas construidas con adobe. El censo también dio como resultados que el sesenta y siete por ciento de la vivienda construida en Guatemala utiliza lamina para techar la casa, dejando unos catorce puntos seis por ciento de fundición de concreto. (INE, 2002)

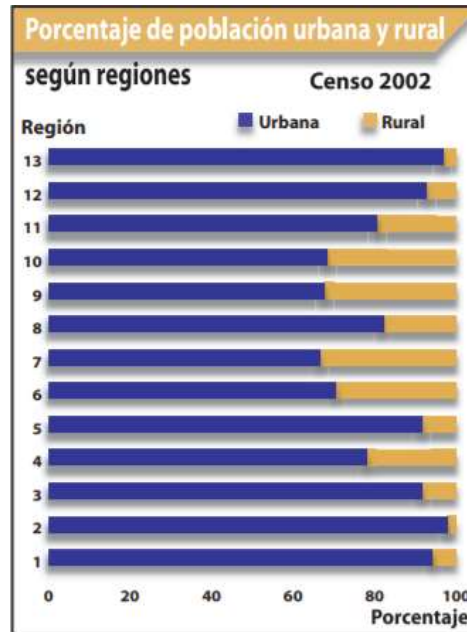
En Guatemala existen comunidades que no están registradas en el gobierno por lo que no se tomaron en cuenta en el censo poblacional y vivienda. Por lo que la mayor parte de la población con vivienda informal utiliza materiales de pesoc livianos para techar su vivienda la cual es vulnerable ante vientos de gran magnitud.

## **4.3 Población guatemalteca**

Guatemala cuenta con un cincuenta y nueve puntos tres por ciento (59.3%) de población pobre. La cual no tiene acceso a un cálculo estructural y construye de manera empírica utilizando los materiales previamente descritos en el párrafo anterior. Debido a que la construcción empírica

utiliza materiales de peso liviano las fuerzas sísmicas son pequeñas y la fuerza predominante en estas estructuras es el viento. (INE, 2002)

Figura no. 2: Porcentaje de población urbana y rural.



El Banco Internacional de Desarrollo el año 2014 realizó un estudio en el que evaluó por medio de visitas de inspección para identificar los tipos constructivos predominantes en Guatemala.

La clasificación la realizó según el/la:

- Sistema estructural
- Material dominante
- Entrepisos y cubierta
- Luces típicas
- Geometría
- Entre otras consideraciones.

Posterior se realizó una subclasificación en función de los efectos de vulnerabilidad ante los esfuerzos del viento.

- Tipo de fachada
- Tipo de cubierta
- Detalle de conexiones de los elementos.

## **4.4 Tipos constructivos más vulnerables a vientos huracanados**

### **4.4.1 Muros de madera**

Tipología en la que predomina la madera como elemento estructural principal, está conformado por un esqueleto en madera cubierto con duelas de madera, aunque en algunos casos se colocan cerramientos de otro material. Las edificaciones de madera corresponden en general a edificaciones de uno o dos pisos con entrepiso de diafragma flexible conformado por vigas de madera o acero y losa en madera. La cubierta generalmente es una cubierta ligera conformada por vigas de acero o madera y lámina de zinc. (BID, 2014)

Se encuentra principalmente en zonas suburbanas, barrios antiguos y asentamientos. En la actualidad se emplea muy rara vez. (BID, 2014)

*Figura no. 3: Edificación con muros de madera.*



### **4.4.2 Adobe**

Son edificaciones antiguas de máximo dos pisos, en las cuales la estructura principal está conformada por muros en bloques de arcilla cocidos al sol, unidos con barro, sin elementos de liga. La cubierta generalmente son vigas de madera apoyadas en largueros o directamente sobre los muros, sobre las cuales descansa sobre apoyos para las tejas de arcilla cocidas, en algunos casos se puede observar cubiertas livianas en otros materiales. Para las edificaciones de dos pisos en la mayoría de los casos el entrepiso es madera y se comporta como diafragma flexible. (BID, 2014)

*Figura no. 4: Edificación con adobe.*



#### **4.4.3 Bahareque**

Sistema estructural de muros conformados por un esqueleto en madera o bambú cubierto con un revoque de mortero de barro que puede apoyarse en una esterilla de bambú o madera entrelazada con sogas y/o alambre. El espacio entre las esterillas se rellena con piedras, barro, residuos de teja o piedras en conjunto con un mortero a base de cal y lodo. Generalmente son estructuras de máximo 2 pisos con altura de entrepiso de aproximadamente 3.00m. Las cubiertas consisten en esterillas de madera o caña apoyadas en vigas de madera que soportan cubiertas livianas y/o tejas de barro. (BID, 2014)

*Figura no. 5: Edificación con bahareque.*



#### 4.4.4 Mampostería

##### *Simple*

Las edificaciones de mampostería simple están conformadas por muros en ladrillo, bloque de concreto, bloques de piedra colocados sin ningún material de unión, con mortero cementoso o de cualquier otro tipo de material. La mayoría de las edificaciones encontradas en este tipo constructivo son de 1 y 2 pisos con cubiertas ligeras conformadas por correas metálicas y tejas en lámina de zinc. También es posible observar cubiertas en teja de barro y placas de concreto. (BID, 2014)

Para las edificaciones de 2 pisos se observa en la mayoría de los casos diafragmas de entrepiso flexibles conformados por vigas en madera o metálicas con losa de entrepiso en madera. Se encuentra principalmente en zonas barrios antiguos y asentamientos. En la actualidad se emplea muy rara vez. (BID, 2014)

*Figura no. 6: Edificación de mampostería simple.*



##### *Confinada*

La mampostería confinada consiste en muros de mampostería simple con elementos de concreto reforzado (columnas de amarre, vigas) en su perímetro construidos luego de la construcción de un muro de mampostería simple, a modo de refuerzo. La cubierta en la mayoría de los casos es una cubierta liviana pero también se observan cubiertas en placa de concreto.

Las placas de entrepiso en la mayoría de los casos están conformadas por entrepisos flexibles de vigas de madera o acero y losa de madera. El comportamiento esperado de este sistema

estructural puede variar según el tipo de diafragma y la disposición de elementos de confinamiento en concreto reforzado. (BID, 2014)

*Figura no. 7: Edificación de mampostería confinada.*



### *Reforzada*

Las edificaciones de mampostería reforzada están conformadas por muros en bloque de concreto o arcilla perforados con algunas celdas rellenas de concreto y con acero de refuerzo, generalmente son edificaciones de 1 o 2 pisos con cubierta ligera en la mayoría de los casos. Las edificaciones de 2 o más pisos presentan en la mayoría de los casos diafragmas de entrepiso rígidos conformados por vigas metálicas con losa en concreto. También se observan casos de diafragmas de entrepiso flexibles conformados por vigas en madera o metálicas con losa en madera. (BID, 2014)

*Figura no. 8: Edificación de mampostería reforzada.*



#### 4.4.5 Concreto prefabricado

Es un sistema de muros estructurales prefabricados en concreto sobre los cuales se apoyan placas prefabricadas también de concreto. Se encuentran estructuras de 1 o 2 niveles con cubiertas ligeras. En estructuras de 2 niveles el diafragma de entrepiso se idealiza como diafragma flexible (BID, 2014)

*Figura no. 9: Edificación de concreto prefabricado.*



#### 4.4.6 Acero estructural

Estructuras cuyo sistema estructural principal es a base de pórticos de acero conformados por vigas, columnas arrojamiento. En algunos casos estos pórticos se rellenan con muros de concreto o de mampostería a manera de elementos de cerramiento. (BID, 2014)

*Figura no. 10: Edificación de acero estructural.*



#### 4.4.7 Concreto reforzado

Este sistema estructural está conformado por vigas y columnas en concreto unidas monolíticamente. Es posible observar en edificaciones de uno o más pisos, en cuyo caso las placas

de entrepiso son en concreto y las cubiertas se observan ligeras, pesadas o losas de concreto. El comportamiento de las construcciones de pórticos de concreto reforzado se caracteriza por la flexibilidad asociada a la disposición de los elementos que la conforman sin tener algún tipo de contravientos o riostras. (BID, 2014)

*Figura no. 11: Edificación de concreto reforzado.*



## 4.5 Ciclones tropicales en territorio guatemalteco

A lo largo de la historia, Guatemala ha sufrido con desastres naturales como terremotos, ciclones tropicales, inundaciones y entre otros. A continuación, se presenta una tabla donde únicamente se hará una recapitulación de algunos ciclones tropicales que han afectado el territorio guatemalteco y de que océano se originaron, más adelante se analizarán los ciclones tropicales en Océano Atlántico (El Caribe) y el comportamiento de estos con respecto al territorio guatemalteco.

*Cuadro No. 1: Algunos ciclones tropicales que afectaron a Guatemala.*

Nombre	Tipo de ciclón tropical	Año	Océano de entrada
Abby	Huracán	1960	Atlántico
Hattie	Huracán	1961	Atlántico
Francelia	Huracán	1969	Atlántico
Fifi - Oelene	Huracán	1974	Atlántico
Greta - Olivia	Huracán	1978	Atlántico
Paul	Huracán	1982	Pacífico
Joan - Miriam	Huracán	1988	Atlántico

Gert	Huracán	1993	Atlántico
Opal	Huracán	1995	Atlántico
Cesar Douglas	Huracán	1996	Pacífico
Mitch	Huracán	1998	Pacífico
Gordon	Huracán	2000	Atlántico
Iris	Huracán	2001	Atlántico
Stan	Huracán	2005	Atlántico
Adrián	Huracán	2005	Pacífico
Barbara	Tormenta tropical	2007	Pacífico
Félix	Huracán	2007	Atlántico
Dean	Huracán	2007	Atlántico
Odile	Tormenta tropical	2008	Pacífico
Ágata	Tormenta tropical	2010	Pacífico
Harvey	Tormenta tropical	2011	Atlántico
Barbara	Huracán	2013	Pacífico
Boris	Tormenta Tropical	2014	Pacífico

## **5. Generalidades de ciclones tropicales**

### **5.1 Ciclón tropical**

El término tropical se refiere al origen geográfico donde se produce este tipo de fenómeno natural. El término ciclón hace referencia al origen ciclónico de las tormentas puede ser en sentido de las agujas del reloj si se encuentra en el hemisferio sur, y en sentido contrario en el hemisferio norte. Un ciclón es un fenómeno hidrometeorológico que se utiliza para referirse a una tormenta que se caracteriza por tener una circulación de una masa de aire cerrada alrededor de un centro con una presión baja la cual produce vientos con una gran fuerza y abundante lluvia. La fuerza de un ciclón proviene de la energía de la condensación del aire húmedo, produciendo vientos extremadamente fuertes. Dependiendo de la fuerza de este se puede clasificar como: Depresión tropical, Tormenta tropical huracán y según la ubicación del ciclón se puede referir como tifón. Adicionalmente, según Bórras (2017), los ciclones tropicales se subdividen en diferentes categorías.

- Perturbación tropical
- Depresión tropical
- Tormenta tropical.
- Huracán

### **5.2 Escalas de clasificación**

Las escalas de medición de ciclones tropicales generalmente se clasifican según una velocidad constante durante un minuto a una altura de diez metros sobre el nivel de referencia.

#### **5.2.1 Fujita/Fujita mejorada**

La clasificación de huracanes fue desarrollada por el meteorólogo Bob Simpson y el Ing. Herbert Saffir, esta es capaz de clasificar ciclones tropicales, desde una depresión tropical, una tormenta tropical hasta 5 categorías de Huracanes. Se basa en la velocidad del viento sostenida por un minuto. (Government of Canada, 2018)

Cuadro No. 2: Escala de medición por metodología de Fujita.

Escala de Fujita		Escala mejorada de Fujita (Desde 2007)	
Clasificación	Velocidad de viento	Clasificación	Velocidad de viento
F0	40 – 72	EF0	65 – 85
F1	73 – 112	EF1	86 – 110
F2	113 – 157	EF2	111 – 135
F3	158 – 206	EF3	136 – 165
F4	207 – 260	EF4	166 – 200
F5	261 – 318	EF5	>200

(Government of Canada, 2018)

### 5.2.3 Saffir – Simpson (SSHS)

La clasificación de huracanes fue desarrollada por el meteorólogo Bob Simpson y el Ing. Herbert Saffir, esta es capaz de clasificar ciclones tropicales, desde una depresión tropical, una tormenta tropical hasta 5 categorías de Huracanes. Se basa en la velocidad del viento sostenida por un minuto. (Government of Canada, 2018)


Cuadro No. 3: Escala de medición por metodología de SSHS.

Escala Saffir – Simpson (SSHS)		
Categoría	Velocidad del viento (mph)	Nudos
Clasificación de no huracanes		
Depresión Tropical	0 - 38	0 – 33
Tormenta Tropical	39 – 73	36 – 64
Clasificación de huracanes		
Categoría 1	74 – 95	65 – 83
Categoría 2	96 – 110	84 – 95
Categoría 3	111 - 130	96 – 113
Categoría 4	131 – 135	114 – 134
Categoría 5	>156	>135

### 5.2.4 Índice de severidad de un huracán (HSI).

La escala HSI se introdujo por Hebet, (2010), la cual define la fuerza y la capacidad de destrucción de una tormenta. Esta clasificación combina la velocidad del viento con el tamaño de la tormenta. La escala HSI, se basa en una puntuación de 50 puntos, donde 25 puntos se derivan del tamaño de la tormenta y los puntos restantes dependen de la intensidad del ciclón tropical.

*Cuadro No. 4: Comparación entre el uso de metodologías HSI - SSHS (respectivamente)*



Ivan 2004	Dennis 2005
105 kts / 120 mph	105 kts / 120 mph
SSHS: Category 3	SSHS: Category 3
HSI a landfall: 33	HSI a landfall: 18
Damage: \$15 billion	Damage: \$2.2 billion

Se puede observar una diferencia con el método SSHS donde, claramente se puede observar que la clasificación del método HSI es más precisa.

### 5.3 Ciclones tropicales en América Central y Guatemala

Los ciclones tropicales que suelen afectar a Guatemala son sistemas atmosféricos de presión baja, caracterizados por vientos intensos y lluvias abundantes, que se originan sobre los océanos Pacífico y Atlántico. Las temporadas de formación de estos ciclones estadísticamente tiene mayor posibilidad de ocurrencia para la región del Atlántico entre los meses del 1 de junio al 30 de noviembre, mientras que en el Pacífico Nor-Oriental de 15 de mayo a 31 de octubre, las cuales son conocidas comúnmente como “Temporada Ciclónica”. Los ciclones tropicales pasan la mayor parte de su tiempo de vida sobre los océanos, esto se debe a que es sobre los océanos donde se producen los principales transportes de calor (latente y sensible) que alimentan a estas perturbaciones atmosféricas; por el contrario, sobre las regiones continentales ceden gran parte de su energía al suelo, ya sea en forma de lluvia o por fricción, por lo que son rápidamente disipados (INSIVUMEH).

Figura no. 12: Historia del tiempo de los ciclones tropicales en el Océano Pacífico.

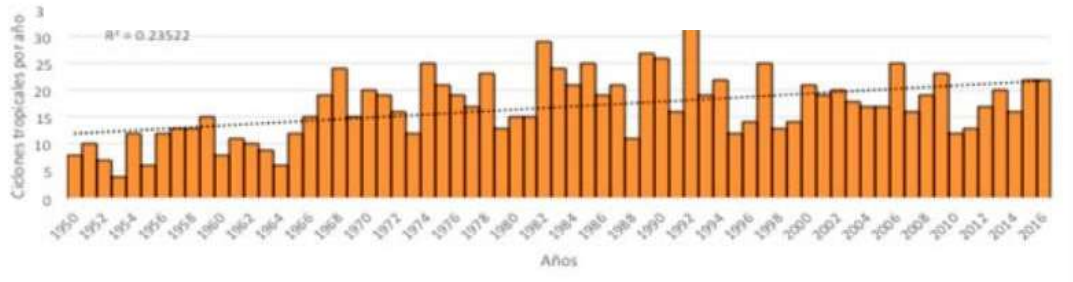
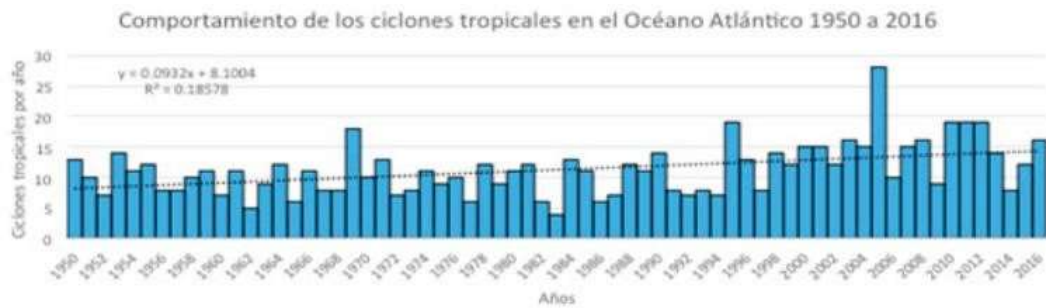


Figura no. 13: Historia del tiempo de ciclones tropicales en el Océano Atlántico.

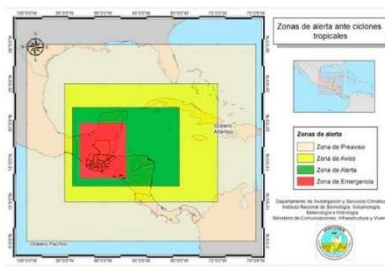


Las figuras 13 y 14, muestran un registro de ciclones tropicales registrados en el océano pacífico y atlántico con la cual se han elaborado estudios para determinar probabilidades en función de modelos analíticos y determinar si es posible que un huracán entre a las zonas costeras de Guatemala.

## 5.4 Sistema de alerta en Guatemala ante la amenaza de un ciclón tropical

Guatemala cuenta con un sistema de alerta según la ubicación y la lejanía del ciclón tropical en la Figura 15 se puede ver la descripción gráfica.

Figura no. 14: Localización del sistema contra ciclones tropicales de Guatemala.



## **6. Probabilidades de amenaza de un ciclón tropical en Guatemala debido al cambio climático**

### **6.1 Cambio climático**

El cambio climático que está ocurriendo y que, según diversos informes de expertos científicos (ver IPCC, 2007), se hará más marcado en la medida como se avance en el transcurso del siglo XXI, modificará las características (frecuencia, intensidad, duración, lugar de ocurrencia, períodos del año en el que se observan, entre otros) de los fenómenos meteorológicos extremos, que en reiteradas ocasiones se constituyen como causa de desastres en diferentes regiones del planeta. De ahí que desde el punto de vista práctico en la gestión del riesgo se preste especial atención a los cambios que puedan ocurrir en los patrones espaciotemporales de este tipo de fenómenos (BID, 2014).

Uno de los fenómenos meteorológicos sobre los cuales se ha centrado la atención por ser una causa recurrente de desastres para diferentes países, son los ciclones tropicales (depresiones tropicales, tormentas tropicales y huracanes), particularmente la fase más intensa de su desarrollo: los huracanes. En la gestión de riesgo es importante conocer qué podría pasar en el futuro con la intensidad, la frecuencia, la trayectoria, la velocidad de desplazamiento de estos sistemas bajo condiciones climáticas modificadas (BID, 2014).

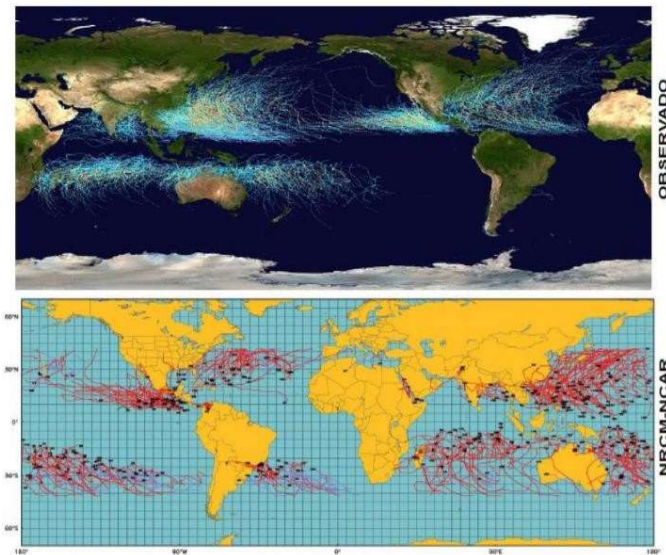
### **6.2 Probabilidades de un ciclón en Guatemala**

Los huracanes tienen la característica de ser eventos altamente destructivos, con frecuencias altas de ocurrencia. La modelación de la amenaza tiene en cuenta los efectos relacionados con la velocidad del viento, intensidad de precipitación y la altura de marea de tormenta. Para el presente proyecto se analizan exclusivamente los efectos relacionados con la velocidad del viento a nivel nacional.

El modelo de amenaza empleado pronostica las intensidades máximas asociadas a la posible ocurrencia y paso de un huracán por el territorio, a partir de un procedimiento estadístico conocido como perturbación, el cual permite generar trayectorias aleatorias que conservan las características

principales de las trayectorias históricas identificadas. La amenaza se representa entonces como un conjunto de eventos estocásticos con intensidad y frecuencias medias de ocurrencia compatibles con la información histórica disponible.

*Figura no. 15: Comparación de las trayectorias de ciclones tropicales históricos con las simulaciones de NRCM (WRF+CSCM).*



(Truesdale)

Los ciclones tropicales que suelen afectar a Guatemala son sistemas atmosféricos de presión baja, caracterizados por vientos intensos y lluvias abundantes, que se originan sobre los océanos Pacífico y Atlántico. Las temporadas de formación de estos ciclones estadísticamente tiene mayor posibilidad de ocurrencia para la región del Atlántico entre los meses del 1 de junio al 30 de noviembre, mientras que en el Pacífico Nor-Oriental de 15 de mayo a 31 de octubre, las cuales son conocidas comúnmente como “temporada ciclónica”.

Según el INSIVUMEH (2017), Guatemala se encuentra como el país no. 4 vulnerable a huracanes debido a su posición geográfica, sin embargo, estos no han tocado directamente las costas guatemaltecas. A continuación, se describen los huracanes con trayectoria cercana al territorio nacional.

- Los huracanes que nacen al oeste de las costas de África tienen bajas probabilidades de tocar Centroamérica. La combinación de los vientos alisios y la rotación de la tierra generan un efecto conocido como Coriolis por lo que siguen una trayectoria hacia el

norte, por lo que no pasan por Guatemala.

- Los huracanes que se originan en el Golfo de México también tienen generalmente una trayectoria hacia el norte por lo que en raras ocasiones toman dirección hacia el suroeste, por lo que durante la historia de los huracanes originados en esta ubicación han tocado territorio guatemalteco.
- Generalmente los huracanes que se originan en el mar Caribe tocan territorio guatemalteco, los huracanes que se originan frente a Venezuela o Colombia como el huracán Fifi o la tormenta tropical Mitch, también los que se originan frente a Belice, Honduras, Costa Rica y Nicaragua como el caso de la tormenta tropical Stan.
- Los huracanes que se originan en el Océano Pacífico generalmente disipan su energía dentro del océano o afectan directamente a México. Raras veces tocan territorio guatemalteco.

Según el jefe de meteorología del Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología de Guatemala (INSIVUMEH) las condiciones anteriormente mencionadas no es un comportamiento establecido, ya que si se forma un huracán de categoría cuatro o cinco debido a su gran dimensión puede cambiar su trayectoria repentinamente y entrar al territorio guatemalteco. Un ejemplo claro es el caso del huracán Mitch ya que cambió su trayectoria repentinamente y afectó la parte atlántica de Honduras.

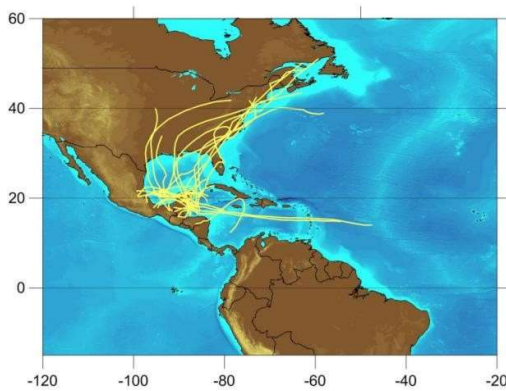
### 6.3 Línea del tiempo de huracanes con afección en Guatemala

#### *Categoría I*

El Cuadro No. 5 enlista los huracanes categoría I que han generado catástrofes en el territorio guatemalteco. Como se puede observar no todos se han clasificado con un nombre en específico. Adicionalmente se puede observar que la velocidad máxima de los huracanes registrados en dicho cuadro fue de 146.16 kilómetros por hora, que se identifica como Brenda, Flossy, y un huracán que no se le asignó un nombre. Al obtener la velocidad promedio que mantuvo el huracán durante todo su trayecto, se registró una velocidad promedio de 129 kilómetros por hora, nuevamente corresponde a un huracán que no se le brindo un nombre.

*Cuadro No. 5: Detalles de ciclones tropicales en fase I de huracán con afectación a Guatemala.*

*Figura no. 16: Ciclones tropicales en fase I de Huracán con afectación a Guatemala.*

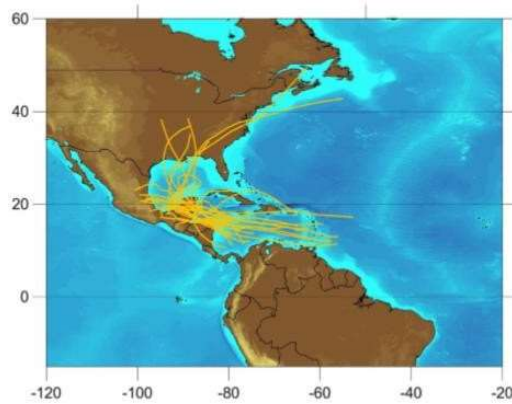


Nombre	Fecha inicio	Fecha final	Vel. Máxima [Km/h]	Vel. Promedio [Km/h]	Categoría SS
Abby	01/06/1968	13/06/1968	120.38000	68.08800	1
AGNES	24/09/1971	03/10/1971	138.90000	82.81100	1
BRENDA	31/08/1972	05/09/1972	148.16000	90.86400	1
CINDY	19/09/2004	28/09/2004	120.38000	57.52400	1
DEBBY	21/08/1987	24/08/1987	120.38000	71.76500	1
DOLLY	19/08/1996	23/08/1996	129.64000	86.11800	1
Flossy	21/09/1956	30/09/1956	148.16000	78.35400	1
GORDON	18/08/2000	25/08/2000	129.64000	68.78900	1
HENRI	04/09/1979	15/09/1979	138.90000	63.39500	1
JERRY	10/09/1989	13/09/1989	138.90000	84.88300	1
NOTNAMED	26/08/1864	01/09/1864	129.64000	126.07800	1
NOTNAMED	30/10/1870	03/11/1870	129.64000	113.89800	1
NOTNAMED	25/09/1874	01/10/1874	148.16000	98.29800	1
NOTNAMED	21/06/1902	29/06/1902	129.64000	71.76500	1
NOTNAMED	28/10/1913	30/10/1913	120.38000	86.11800	1
NOTNAMED	27/08/1916	02/09/1916	129.64000	103.64100	1
NOTNAMED	16/06/1921	26/06/1921	148.16000	82.47900	1
NOTNAMED	27/09/1924	01/10/1924	120.38000	77.89300	1
NOTNAMED	10/09/1933	15/09/1933	138.90000	104.94700	1
NOTNAMED	04/06/1934	21/06/1934	129.64000	89.79400	1
NOTNAMED	19/10/1935	26/10/1935	138.90000	115.00300	1
NOTNAMED	28/08/1936	30/08/1936	129.64000	99.33500	1
NOTNAMED	19/09/1944	22/09/1944	129.64000	125.01000	1
STAN	23/09/2005	26/09/2005	129.64000	76.54900	1

*Categoría II*

El Cuadro No. 6 presenta algunos huracanes categoría II registrados que han generado daños directos o indirectos al país. Como se puede observar no todos se han clasificado con un nombre en específico. En dicho cuadro se puede observar que la velocidad máxima de los huracanes registrados fue de 175.94 kilómetros por hora, que identifica a Fifi, y dos huracanes que no se le asigno un nombre. Al obtener la velocidad promedio que mantuvo el huracán durante todo su trayecto, se registró una velocidad promedio de 149 kilómetros por hora, nuevamente corresponde a un huracán que no se le asigno un nombre.

*Figura no. 17: Ciclones tropicales en fase II de Huracán con afectación a Guatemala.*



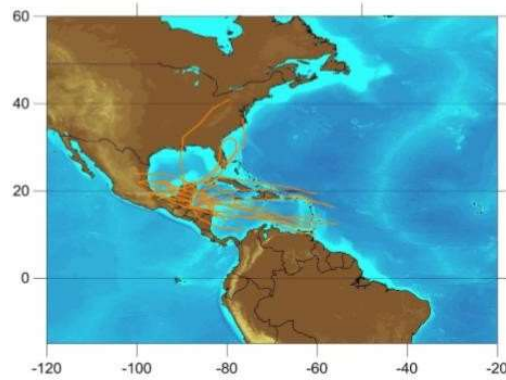
*Cuadro No. 6: Detalles de ciclones tropicales en fase II de huracán con afectación a Guatemala.*

Nombre	Fecha inicio	Fecha final	Vel. Máxima [Km/h]	Promedio [Km/h]	Categoría SS
Abby	10/07/1960	16/07/1960	157.42000	105.16700	2
ALEX	08/09/2009	16/09/2009	175.94000	97.08100	2
DIANA	20/09/1989	24/09/1989	157.42000	87.97000	2
FIFI	26/08/1974	02/09/1974	175.94000	103.57500	2
GERT	24/08/1993	31/08/1993	157.42000	75.10900	2
LAURIE	21/09/1969	15/10/1969	166.68000	81.57600	2
NOTNAMED	13/08/1866	18/08/1866	166.68000	149.04200	2
NOTNAMED	19/08/1879	24/08/1879	166.68000	114.97800	2
NOTNAMED	20/07/1887	28/07/1887	157.42000	134.01300	2
NOTNAMED	12/09/1889	26/09/1889	175.94000	111.90500	2
NOTNAMED	05/10/1892	16/10/1892	157.42000	135.40200	2
NOTNAMED	04/07/1893	07/07/1893	157.42000	113.10400	2
NOTNAMED	04/09/1893	09/09/1893	157.42000	99.04200	2
NOTNAMED	04/10/1902	13/10/1902	166.68000	107.77600	2
NOTNAMED	09/10/1916	19/10/1916	175.94000	104.94700	2
NOTNAMED	22/08/1918	26/08/1918	166.68000	120.38000	2
NOTNAMED	16/09/1920	23/09/1920	157.42000	75.35700	2
NOTNAMED	11/10/1922	22/10/1922	175.94000	90.78800	2
NOTNAMED	08/09/1931	16/09/1931	157.42000	110.27800	2
NOTNAMED	05/11/1942	11/11/1942	157.42000	99.21400	2
NOTNAMED	02/10/1945	05/10/1945	157.42000	121.30600	2
NOTNAMED	09/08/1947	16/08/1947	175.94000	102.17900	2
PAULA	11/10/2010	17/10/2010	166.68000	108.03300	2
RICHARD	19/10/2010	26/10/2010	157.42000	81.10500	2

### Categoría III

El Cuadro No. 7 presenta algunos huracanes categoría III registrados que han generado daños directos o indirectos al país. Como se puede observar no todos se han clasificado con un nombre en específico. En el cuadro se puede observar que la velocidad máxima de los huracanes registrados en dicho cuadro fue de 203.72 kilómetros por hora, que identifica a Hilda, Isbell, Isidore, Karl, y dos huracanes que no se le asigno un nombre. Al obtener la velocidad promedio que mantuvo el huracán durante todo su trayecto, se registró una velocidad promedio de 152.32 kilómetros por hora quien corresponde al huracán Anna.

Figura no. 18: Ciclones tropicales en fase III de Huracán con afectación a Guatemala



Cuadro No. 7: Detalles de ciclones tropicales en fase III de huracán con afectación a Guatemala.

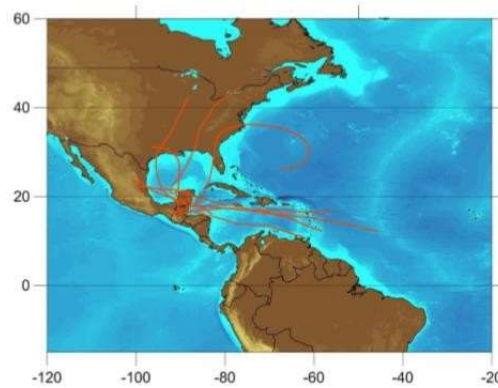
Nombre	Fecha inicio	Fecha final	Vel.		Categoría SS
			Vel. Máxima [Km/h]	Promedio [Km/h]	
Anna	20/07/1961	24/07/1961	185.20000	152.32700	3
ELLA	22/11/1969	19/05/1970	203.72000	94.91500	3
FRANCELIA	14/08/1969	21/08/1969	185.20000	109.74800	3
Hilda	10/09/1955	20/09/1955	203.72000	134.38900	3
Isbell	08/10/1964	17/10/1964	203.72000	90.21900	3
ISIDORE	23/11/2001	10/09/2002	203.72000	99.67100	3
KARL	13/09/2010	24/09/2010	203.72000	107.33200	3
NOTNAMED	31/08/1888	08/09/1888	203.72000	145.98100	3
NOTNAMED	08/10/1906	23/10/1906	194.46000	117.44000	3
NOTNAMED	05/09/1931	12/09/1931	203.72000	93.23900	3
NOTNAMED	25/09/1932	03/10/1932	194.46000	102.65400	3
NOTNAMED	23/09/1941	30/09/1941	194.46000	119.05700	3
ROXANNE	27/09/1995	07/10/1995	185.20000	101.19900	3

### *Categoría IV*

El Cuadro No. 8 presenta algunos huracanes categoría IV registrados que han generado daños directos o indirectos al país. Como se puede observar no todos se han clasificado con un nombre en específico.

En el cuadro se puede observar que la velocidad máxima de los huracanes registrados en dicho cuadro fue de 240.76 kilómetros por hora, que identifica a Carmen y Opal. Al obtener la velocidad promedio que mantuvo el huracán durante todo su trayecto, se registró una velocidad promedio de 128.45 kilómetros por hora quien corresponde al huracán Charlie

*Figura no. 19: Ciclones tropicales en fase IV de Huracán con afectación a Guatemala.*



*Cuadro No. 8: Detalles de ciclones tropicales en fase IV de huracán con afectación a Guatemala.*

Nombre	Fecha inicio	Fecha final	Vel.		Categoría SS
			Vel. Máxima [Km/h]	Promedio [Km/h]	
CARMEN	16/09/1973	26/08/1974	240.76000	122.64800	4
Charlie	12/08/1951	23/08/1951	212.98000	128.45800	4
GRETA	30/08/1978	05/09/1978	212.98000	118.83700	4
IRIS	11/09/2001	19/09/2001	231.50000	123.32600	4
KEITH	22/09/2000	30/09/2000	222.24000	108.87500	4
NOTNAMED	05/10/1946	14/10/1946	212.98000	74.55500	4
NOTNAMED	30/09/1949	06/10/1949	212.98000	102.19100	4
OPAL	24/09/1995	01/10/1995	240.76000	101.14800	4

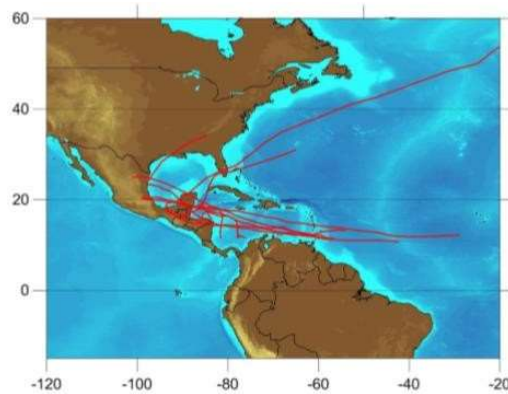
### Categoría V

El Cuadro No. 9 presenta algunos huracanes categoría V registrados que han generado daños directos o indirectos al país. Como se puede observar no todos se han clasificado con un nombre en específico.

En el cuadro se puede observar que la velocidad máxima de los huracanes registrados en dicho cuadro fue de 287.06 kilómetros por hora, que identifica al huracán Mitch. Al obtener la velocidad promedio que mantuvo el huracán durante todo su trayecto, se registró una velocidad promedio de 150.05 kilómetros por hora quien corresponde al huracán Emily.

Como se puede observar de las velocidades de los vientos que han alcanzado dichos huracanes, todas incluyendo los huracanes categoría I sobre pasan el valor de diseño de la velocidad del viento en Guatemala.

Figura no. 20: Ciclones tropicales en fase IV de Huracán con afectación a Guatemala.



Cuadro No. 9: Detalles de ciclones tropicales en fase V de huracán con afectación a Guatemala.

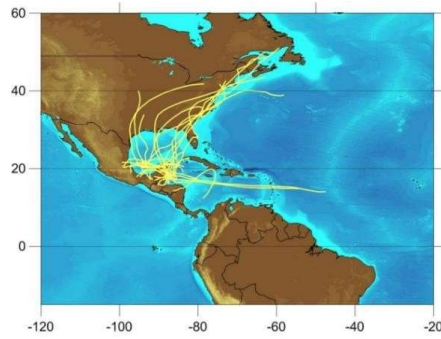
Nombre	Fecha inicio	Fecha final	Vel. Máxima [Km/h]	Vel. Promedio [Km/h]	Categoría SS
DEAN	22/09/2006	02/10/2006	277.80000	161.83000	5
EDITH	20/10/1970	04/08/1971	259.28000	96.41300	5
EMILY	11/07/2005	21/07/2005	259.28000	150.05400	5
FELIX	03/10/2006	12/05/2007	277.80000	132.94700	5
Hattie	27/10/1961	01/11/1961	259.28000	183.81100	5
Janet	21/09/1955	30/09/1955	277.80000	186.25800	5
MITCH	22/10/1998	09/11/1998	287.06000	124.67400	5
NOTNAMED	14/10/1924	23/10/1924	268.54000	136.28800	5

## 6.4 Comparación entre trayectoria real y probabilística de ciclones tropicales en la cuenca del Atlántico Norte

### *Categoría I*

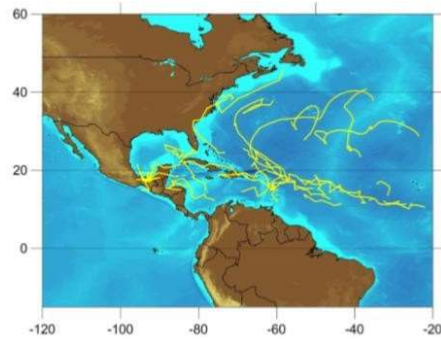
#### a) Historial del tiempo

*Figura no. 21: A.1*



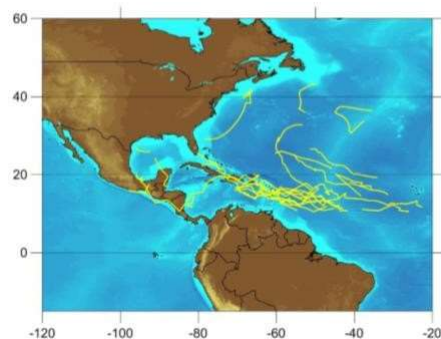
#### b) Probabilístico del año 2030 – 2040

*Figura no. 22: A.2*



#### c) Probabilístico del año 2045 – 2055

*Figura no. 23: A.3*

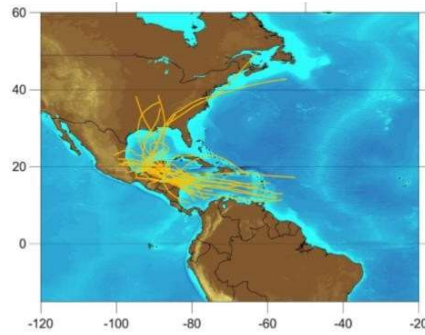


Como se observa comparando las figuras No. 21,22,23 en el análisis realizado por el BID el año 2013 según al historial de huracanes previamente mencionados, se observó que los huracanes en la cuenca del atlántico tenían tendencia a una disminución en cantidad.

*Categoría II*

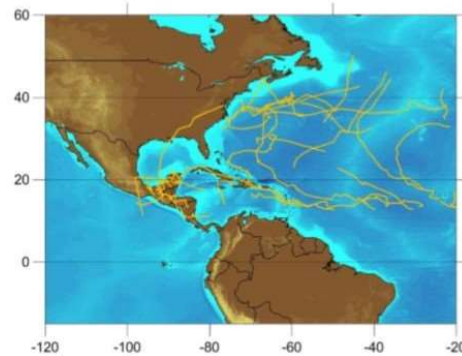
d) Historial del tiempo

*Figura no. 24:A4*



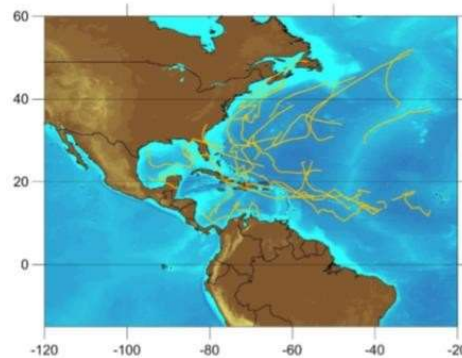
e) Probabilístico del año 2030 – 20409

*Figura no. 25:A5*



f) Probabilístico del año 2045 – 2055

*Figura no. 26:A6*

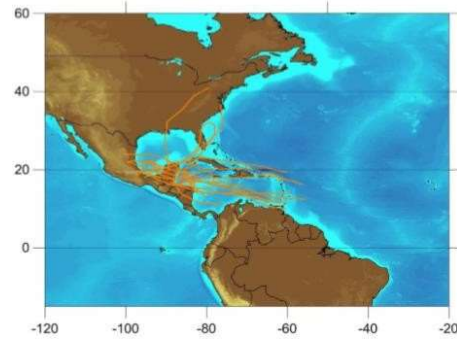


Como se observa comparando las figuras No. 24,25,26 en el análisis realizado por el BID el año 2013 según al historial de huracanes categoría II, previamente mencionados, se observó que los huracanes en la cuenca del Atlántico tenían tendencia a disiparse con el tiempo.

### *Categoría III*

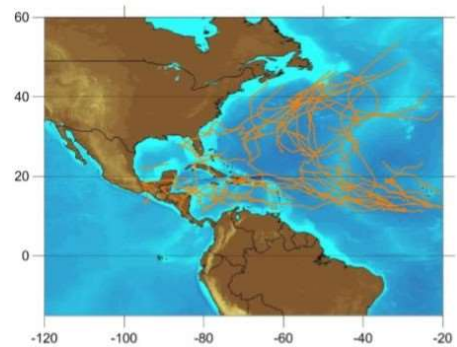
#### g) Historial del tiempo

*Figura no. 27:A7*



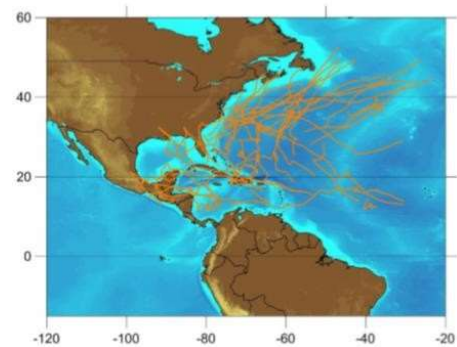
#### h) Probabilístico del año 2030 – 2040.

*Figura no. 28:A8*



#### i) Probabilístico del año 2045 – 2055.

*Figura no. 29:A9*

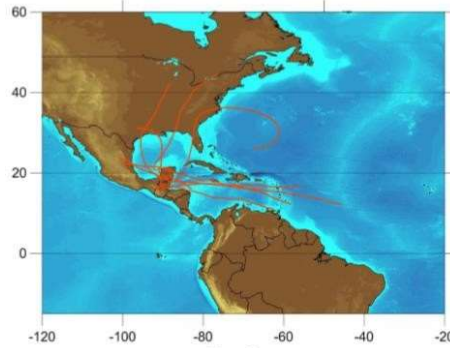


Como se observa comparando las figuras No. 27,28,29 en el análisis realizado por el BID el año 2013 según el historial de huracanes categoría III, previamente mencionados, se observó que los huracanes en la cuenca del Atlántico tenían tendencia a aumentar y redireccionar su trayectoria al territorio guatemalteco.

*Categoría IV*

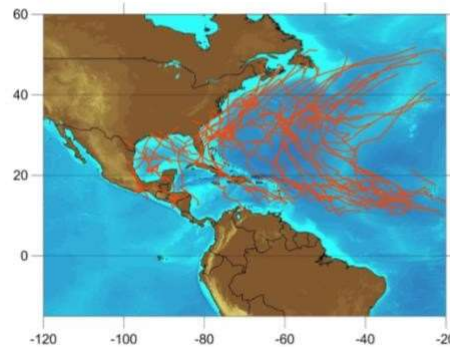
j) Historial del tiempo

*Figura no. 30: A10*



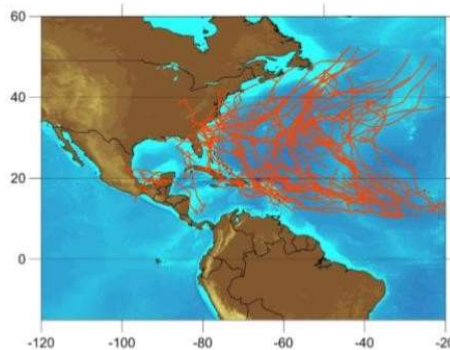
k) Probabilístico del año 2030 – 2040

*Figura no. 31: A11*



l) Probabilístico del año 2045 – 2055

*Figura no. 32: A12*

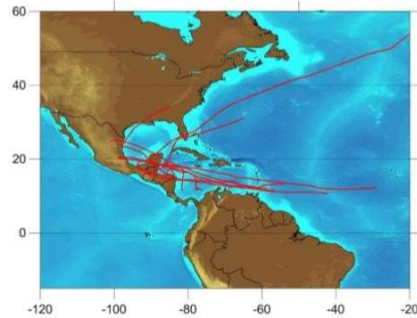


Como se observa comparando las figuras No. 30,31,32 en el análisis realizado por el BID el año 2013 según el historial de huracanes categoría III, previamente mencionados, se observó que los huracanes en la cuenca del atlántico tenían tendencia a aumentar y redireccionar su trayectoria al territorio guatemalteco.

*Categoría V*

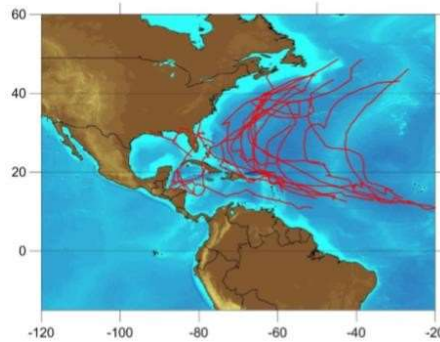
m) Historial del tiempo.

*Figura no. 33: A13*



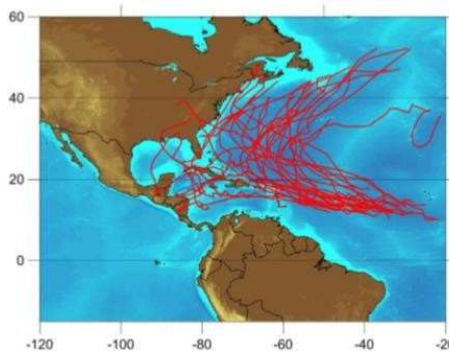
n) Probabilístico del año 2030 – 2040

*Figura no. 34: A14*



o) Probabilístico del año 2045 – 2055.

*Figura no. 35: A15*



Como se observa comparando las figuras No. 33,34,35 en el análisis realizado por el BID el año 2013 según el historial de huracanes categoría III, previamente mencionados, se observó que los huracanes en la cuenca del Atlántico tenían tendencia a aumentar y redireccionar su trayectoria al territorio guatemalteco.

## 6.5 Proyecciones de la velocidad del viento en Guatemala

El Banco Interamericano de Desarrollo realizó un estudio donde calcularon las velocidades del viento en la República de Guatemala, en periodos de retorno de 25,50,100,250,500 y 100 años. Tomando como medida de intensidad la velocidad pico de ráfagas de viento de 5 segundos de duración. Los cálculos fueron realizados empleando el programa ERN-Huracán (ERN-AL 2009).

Figura no. 36: Cambio de velocidad de viento en Guatemala Parte 1

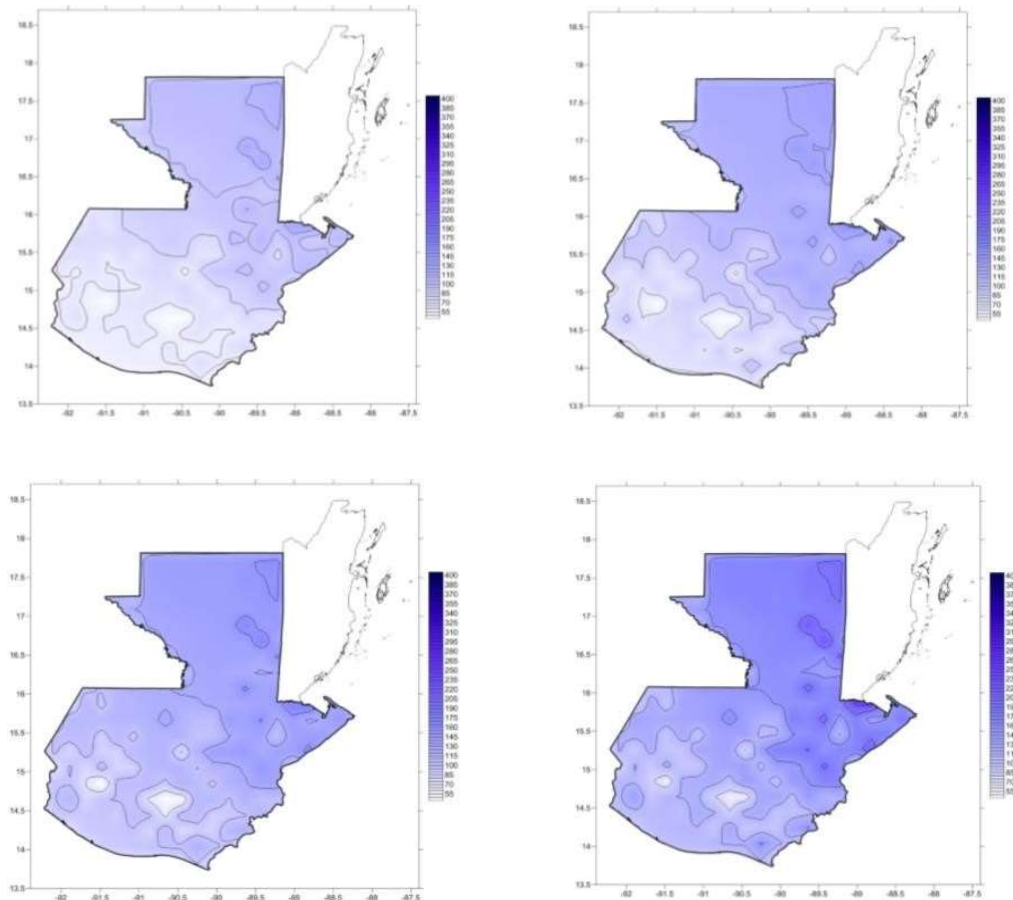
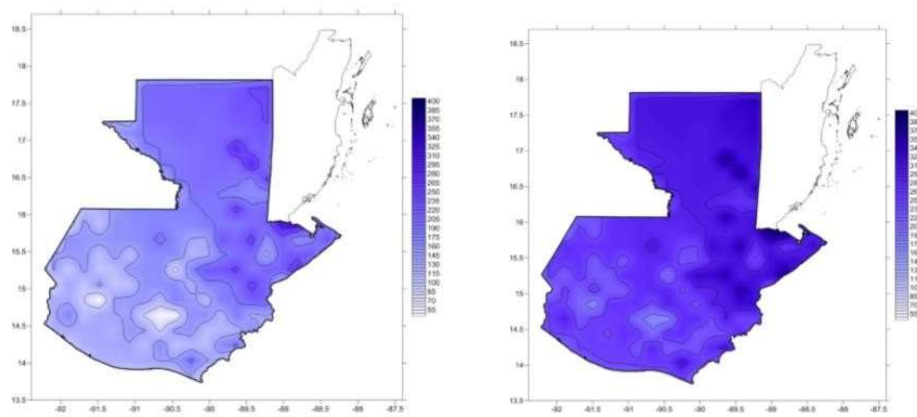


Figura no. 37: Cambio de velocidad de viento en Guatemala Parte 2



En las figuras 38 y 39 se puede observar el mapa de Guatemala con base en el estudio realizado por BID donde muestran una posibilidad entre millones donde los vientos sobre la República de Guatemala puedan aumentar drásticamente. Este aumento se debe al cambio climático que se está viviendo hoy en día a nivel mundial

## 7. Generalidades del viento

### 7.1 Presión de viento

La ubicación geográfica del territorio guatemalteco como se mencionó anteriormente se encuentra dentro de una ruta habitual de los ciclones tropicales. Los cuales generalmente provoca esfuerzos en las edificaciones por lo que se debe tomar en cuenta la forma de redistribuir o disipar, por lo que dichos esfuerzos provocando el colapso de las edificaciones.

Los ciclones tropicales se generan por la combinación de diferentes factores como, por ejemplo, la elevación del mar, vientos violentos, fuerte precipitación entre otros.

La carga del viento por definición es cualquier fuerza generada por una cierta masa de aire en movimiento que provoca una presión en las caras de la edificación, esta presión puede ser de presión o de succión dependiendo en el sentido el viento golpea a la edificación (BID, 2014).

Cuando el viento choca con una edificación crea un número sin fin de fuerzas que dependen de:

- Altura de la edificación
- Terreno alrededor de la edificación
- Forma de la edificación
- Tamaño y cantidad de aberturas en la edificación

### 7.2 Velocidad básica del viento

La velocidad básica del viento,  $V$ , para la determinación de la carga de viento será determinada de conformidad con las previsiones de este código modelo por viento. Se establecerá un mapa de zonificación de velocidad básica de viento para cada territorio (donde este no exista aún o donde el mismo no es consistente con este código). Esto ayudará en la clasificación de acuerdo con la Velocidad Básica del Viento que será usada para desarrollar valores de presiones de velocidad. Las fuerzas del viento por unidad de área sobre una estructura se determinan a partir de una relación de la forma general:

### **7.2.1 Velocidad del viento según la ubicación geográfica del terreno**

La velocidad básica del viento será incrementada donde los registros o la experiencia indiquen que las velocidades del viento son más altas que las reflejadas en el mapa de zonificación de viento básico nacional de cada país.

Terreno montañoso, desfiladeros, y regiones especiales mostradas en el mapa de zonificación de viento básico nacional de cada país serán estudiados por condiciones de viento inusuales. La autoridad que tiene jurisdicción ajustará, si fuese necesario, los valores dados en el mapa de zonificación de viento básico nacional para representar velocidades de viento local más altas.

### **7.2.2 Estimación de la velocidad del viento debido al cambio climático regional**

Los datos climáticos regionales serán utilizados en lugar de las velocidades de viento básico dadas en el mapa de zonificación de viento básico nacional solamente cuando:

- Los procedimientos aprobados de análisis estadístico de valores extremos han sido empleados para reducir los datos
- La duración del registro, error de muestreo, tiempo de premediación, altura del anemómetro, calidad de datos, y exposición del terreno del anemómetro han sido tomados en cuenta.

En regiones propensas a huracán, las velocidades de viento derivadas de técnicas de simulación serán utilizadas, en lugar de las velocidades de viento básico dadas en el mapa de contorno de viento nacional, solamente cuando:

- Se utilizan procedimientos aprobados de simulación o análisis estadístico de valores extremos (el uso de datos de velocidad de viento regional obtenidos de anemómetros no está permitido para definir el riesgo de velocidad de viento de huracán en todas las áreas del Gran Caribe)
- Las velocidades del viento de diseño resultantes del estudio no deberán ser menores que la resultante de la velocidad del viento con período de recurrencia de 500 años dividido entre la raíz cuadrada de 1.5.

### **7.2.3 Precaución ante vientos huracanados**

Es muy importante en el Caribe estar siempre conscientes del hecho de que la región se encuentra dentro de la trayectoria habitual de los huracanes. Durante tales períodos de tiempo como son designados por el Gobierno, bajo advertencia de huracán, el propietario, el inquilino o el usuario de una propiedad, tomarán las precauciones para la seguridad de edificaciones y equipamiento, preferiblemente según un plan previamente establecido de medidas contra las catástrofes que empiezan con los estudios del riesgo. Los elementos de las edificaciones más vulnerables a las fuerzas del huracán son los techos, ventanas y muros.

El objetivo de la construcción resistente a huracán es proveer una edificación que no colapsará

durante un huracán. La edificación debe quedar en pie y sus ocupantes a salvo. Las regulaciones para la construcción de edificaciones resistentes a huracán deben cubrir los siguientes aspectos:

#### **7.2.4 Comportamiento ante el viento de edificaciones en función del material**

##### *Madera*

La estructura entera debe ser fijada a la cimentación y atada con pernos para madera y flejes para huracán. Las propiedades de la madera comúnmente utilizada deberán ser investigadas y catalogadas para ayudar a los diseñadores en la región en el uso de maderas criollas.

##### *Acero estructural*

Las edificaciones de acero estructural únicamente se construyen con aceros rolados en caliente que cumplan con las especificaciones vigentes en cada país. Estas estructuras tienen un mejor comportamiento sísmico pero un comportamiento deficiente para las solicitaciones de vientos huracanados. Adicionalmente se tiene que verificar la capacidad de la conexión entre los elementos de la estructura.

##### *Hormigón armado*

Las edificaciones de hormigón armado se componen de concreto (hormigón) y acero de refuerzo. El concreto es una mezcla de cemento, agregados, como por ejemplo arena y grava, y el agua. Donde reaccionan dichos materiales y se endurecen después de un periodo de tiempo. El concreto cumple la función únicamente de soportar fuerzas a compresión ya que la capacidad a tensión del elemento es sumamente baja considerada como nula. El acero de refuerzo comúnmente se utilizan varillas para que estas puedan absorber las fuerzas de flexión generadas en el elemento.

#### **7.2.5 Viento de diseño para Guatemala**

La velocidad de viento que se establece en la norma de seguridad estructural NSE 2 – 10 hace mención a la metodología empleada para determinar la velocidad de viento en la republica de Guatemala. Comentario 5.2. 2ª “Los observatorios meteorológicos son los que suministran las

velocidades que estadísticamente cumplen con el criterio expuesto en 5.2.2. Esto no es responsabilidad de proyectistas individuales. Para efectos de estas normas las velocidades básicas a considerar están indicadas en el Anexo A e

Ilustradas en la Figura 5.2.1. Como información, una probabilidad anual de 2% equivale a un período de retorno de 50 años o a una probabilidad de excedencia de 63% en un periodo de 50 años” (AGIES, 2017)

En la figura número 40 se puede observar la velocidad básica del viento que se obtuvo el año 2002 para el territorio guatemalteco y en la figura número 41 se puede observar una distribución de la velocidad básica del viento de diseño para el territorio en Guatemala que establece la norma de seguridad de Guatemala.

Figura no. 38: Velocidad de diseño de viento en Guatemala

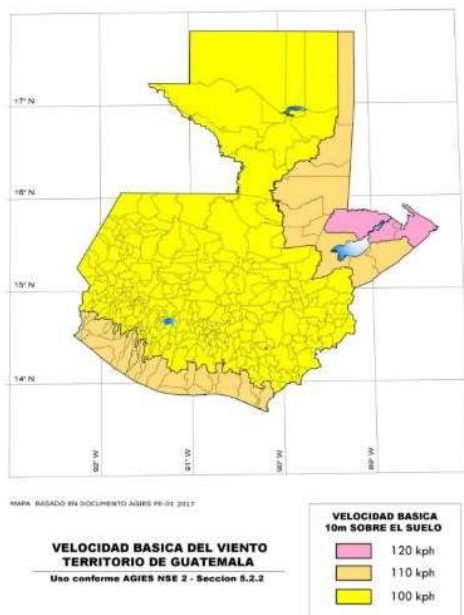


Figura no. 39: Velocidad de viento en Guatemala por medio de un barómetro



## 7.2.6 Comportamiento del viento según a la geometría de la edificación

Como se puede observar en la imagen número 42 las estructuras dependiendo de la ubicación donde impacta el viento genera una reacción diferente. Analizando el caso 1 donde se tiene un techo de dos o cuatro aguas con una cierta inclinación, dependiendo del ángulo de inclinación de la cubierta esta puede presentar únicamente fuerzas de succión o puede presentar fuerzas de presión donde está golpeando directamente el viento.

Figura no. 40: Comportamiento del viento en una edificación.

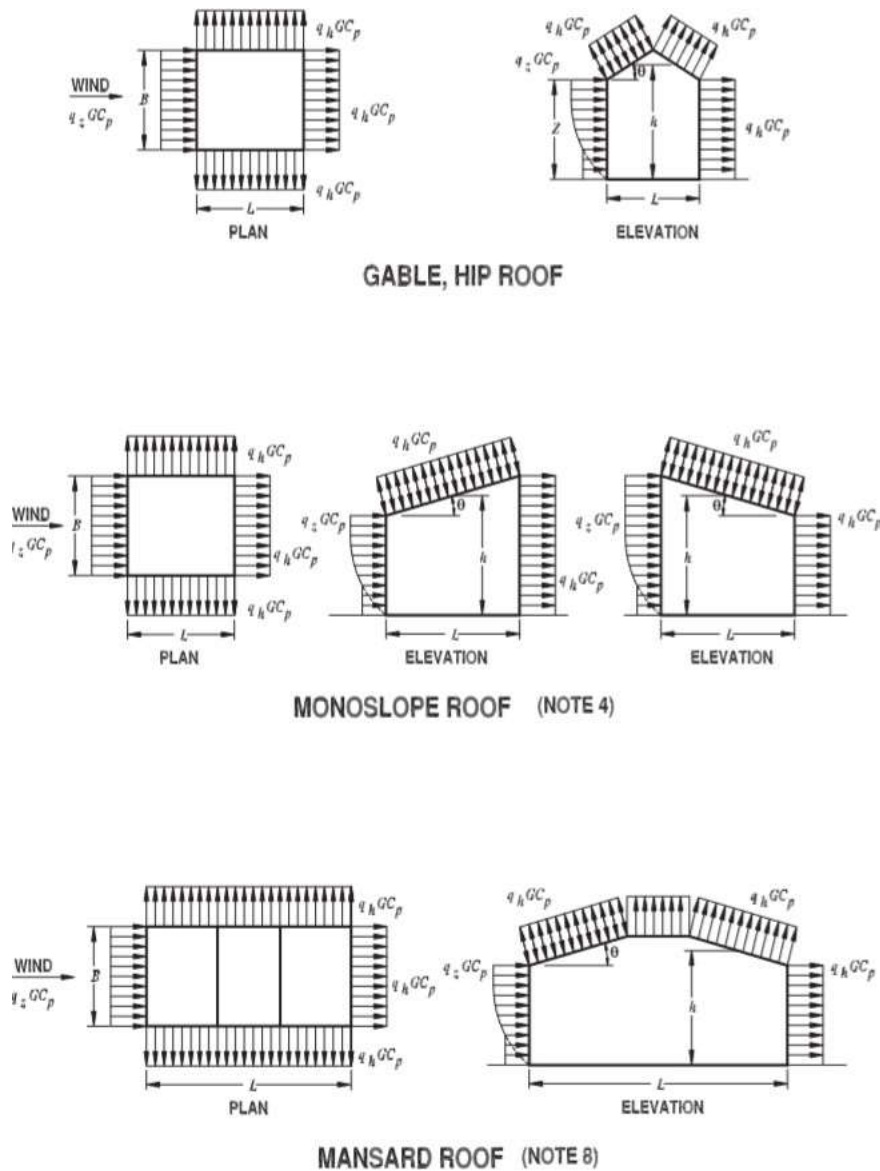


Tabla 5.3.6-1 — Coeficiente  $C_q$

	DESCRIPCIÓN	COEFICIENTE $C_q$	
1 Sistema resistente principal	<b>PRESIÓN SOBRE SUPERFICIES VERTICALES</b>		
	Superficie a barlovento	0.8 empuje	
	Superficie a sotavento	0.5 succión	
	<b>TECHO PLANO <sup>[1]</sup></b>		0.7 succión
	<b>TECHO INCLINADO <sup>[1]</sup></b>		
	<b>Viento perpendicular a la cumbrera</b>		
	Sector a sotavento	0.7 succión	
	Sector a barlovento:		
	• Pendiente $\leq 1:6$	0.7 succión	
	• $1:6 < \text{Pendiente} \leq 3:4$	0.9 succión - 0.3 empuje	
• $3:4 < \text{Pendiente} \leq 1:1$	0.4 empuje		
• Pendiente $> 1:1$	0.7 empuje		
<b>Viento paralelo a la cumbrera</b>		0.7 succión	
2 Elementos y componentes que NO están en áreas de discontinuidad <sup>[2]</sup>	<b>ELEMENTOS VERTICALES</b>		
	Todos los casos	1.2 empuje	
	Recintos cerrados y abiertos	1.2 succión	
	Recintos permeables	1.6 succión	
	Parapetos	1.3 succión - 1.3 empuje	
	<b>ELEMENTOS INCLINADOS</b>		
	<b>Recintos cerrados</b>		
	• Pendiente $\leq 1:2$	1.3 succión	
	• $1:2 < \text{pendiente} \leq 1:1$	1.3 succión - 1.3 empuje	
	• Pendiente $> 1:1$	Como elemento vertical	

	DESCRIPCIÓN	COEFICIENTE $C_q$
	<b>Recintos abiertos</b>	
	• Pendiente $\leq 1:2$	1.3 succión
	• $1:2 < \text{pendiente} \leq 1:1$	1.3 succión - 1.3 empuje
	• Pendiente $> 1:1$	Como elemento vertical
	<b>Recintos permeables</b>	
	• Pendiente $\leq 1:6$	1.7 hacia afuera
	• $1:6 < \text{pendiente} \leq 1:2$	1.6 succión - 1.8 empuje
	• $1:2 < \text{pendiente} \leq 1:1$	1.7 succión - 1.7 empuje
<b>3</b> <b>Elementos y componentes que SI están en áreas de discontinuidad.</b> [2] [3] [4] [5]	<b>Esquinas de superficies verticales</b>	1.5 succión - 1.2 empuje
	<b>Bordes de techo sin voladizo, cumbresas sin crestas</b>	
	• Pendiente $\leq 1:6$	2.3 succión
	• $1:6 < \text{pendiente} \leq 1:2$	2.6 succión
	• $1:2 < \text{pendiente} \leq 1:1$	1.6 succión
	<b>Aleros volados, cumbresas con cresta y toldos</b>	0.5 sumado a valores anteriores
<b>4</b> <b>Chimeneas, tanques, silos, torres sólidas</b>	Planta cuadrada o rectangular	1.4 en cualquier dirección
	Planta hexagonal u octagonal	1.1 en cualquier dirección
	Planta circular o elíptica	0.8 en cualquier dirección
<b>5</b> <b>Torres con estructura reticular abierta</b> [6] [7] [8]	<b>Planta cuadrada o rectangular</b>	
	• Dirección diagonal	4.0
	• Dirección normal	3.6
	<b>Planta triangular</b>	3.2
<b>6</b> <b>Accesorios adosados</b> Escaleras, conductos, lámparas, ascensores	Elementos cilíndricos $\Phi \leq 60 \text{ mm}$	1.0
	Elementos cilíndricos $\Phi > 60 \text{ mm}$	0.8
	Miembros planos o angulares	1.3
<b>7</b> <b>Señalización</b> Vallas, astas, postes, estructuras menores		1.4 en cualquier dirección

El segundo caso es el caso de un agua donde la edificación nuevamente tiene cierto ángulo de inclinación esta puede presentar efectos de presión sobre la cubierta, así como si tiene una menor inclinación esta únicamente va a presentar efectos de succión. Por último, tenemos el caso de una cubierta con cierta curvatura, debido a que resulta muy complicado el realizar perfiles curvos, se

opta por realizar secciones e inclinándolas para lograr visualmente una curvatura en la cubierta, por lo tanto, que depende de la inclinación de esta puede presentar efectos de presión o succión.

### **7.2.7 Metodología de integración de la presión del viento**

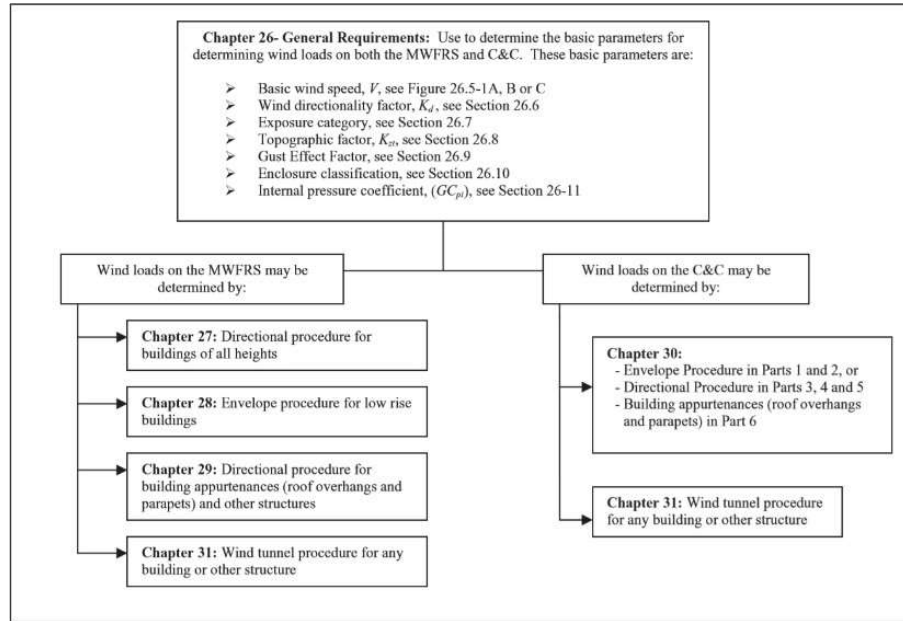
AGIES la asociación de ingeniería sísmica encargada de redactar las normas de seguridad estructural que legalmente se deben utilizar en el territorio guatemalteco toman el procedimiento de la integración de la carga de viento del “Código de modelo de construcción para cargas de viento” redactado por la asociación de estados del caribe que su última modificación se realizó el año 2003. El procedimiento simplificado redactado en dicho código define los alcances donde se puede aplicar dicha integración de la carga de viento para el sistema de resistencia lateral.

- La edificación debe ser cerrada o parcialmente cerrada.
- El diafragma de la estructura sea capaz de transferir las solicitaciones laterales al sistema de resistencia lateral.
- La altura del techo no debe sobre pasar 18 metros de altura
- La altura del techo no debe exceder la dimensión horizontal más pequeña.
- Debe cumplir con los escombros (granizo, arena) acarreados por el viento.
- La edificación debe tener una planta regular.
- La edificación no puede ser flexible (Edificaciones esbeltas, Edificaciones con frecuencia natural menor a  $1\text{Hz} = 1\text{s}$ )
- La edificación no debe estar sujeta a efusión de vórtices, inestabilidad ante solapamiento y aleteo.
- No debe contener juntas de expansión o separaciones.
- La edificación no debe estar sujetas a efectos topográficos.
- La edificación debe tener un corte transversal simétrico, ya sea con techo plano o un techo de cuatro o dos aguas menores a 45 grados respecto a la horizontal)

### **7.2.8 Parámetros para tomar en cuenta para la integración de la carga del viento**

Las edificaciones que se diseñen según los estándares del ASCE se deben incluir un (“Main wind frame Resisting system”), MWFRS, (Sistema de Marcos resistente a la carga de viento principal), así como todos los componentes y revestimiento de la estructura.

Los capítulos de diseño del ASCE los componen desde el capítulo No. 26 hasta el no. 31.



Clase de obra	Tiempo de ráfaga	Probabilidad	Años de retorno
I	3 seg	15%	50 años
II	3 seg	7%	50 años
III	3 seg	3%	50 años
IV	3 seg	3%	50 años

*Categoría de exposición*

Cuadro No. 10: Categoría de exposición de una edificación.

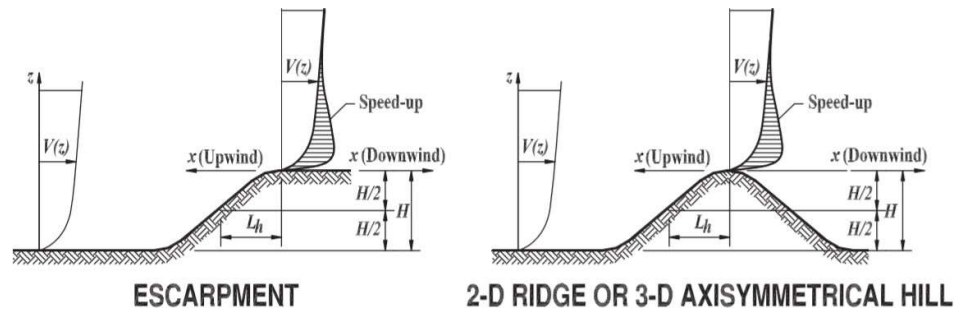
Categoría de exposición	Descripción
B	Edificaciones con una altura menor a 9.1 metros.
C	Todos los casos donde no aplique la categoría B o D
D	Criterios de categoría de rugosidad.

### *Efectos topográficos*

La velocidad del efecto del viento en montañas alejadas o cambios bruscos en la topografía de la edificación, ubicada en cualquier categoría de exposición aplican las siguientes condiciones.

- La edificación se encuentra en una colina alejada la cual debe tener una altura de  $100H$  ( $H$  de la edificación) o estar alejada de una planicie sin obstrucciones a lo largo de 3.22 kilómetros a la redonda.
- Se puede observar que la topografía del terreno sobre sale una colina, cresta o acantilado en un radio de 3.22 kilómetros.
- La edificación se encuentra en la cima de una colina o al lado de un acantilado.

*Figura no. 41: Comportamiento del viento según topografía.*



### *Ráfaga de viento*

La ráfaga de viento en una estructura depende de la rigidez de la edificación ya que tiene un comportamiento totalmente diferente cuando la edificación es flexible ya que le puede causar inestabilidad, vibraciones y entre otras consideraciones, en cambio si una estructura es rígida esta solo provoca presión y succión en las caras de la edificación. La frecuencia natural de la edificación nos ayuda a determinar qué tan rígida es una estructura. Adicionalmente el código permite clasificar una edificación “Low rise building” (Edificación de poca altura la altura no puede ser mayor a 18 metros o su altura no puede ser mayor que la longitud horizontal de la edificación.) como estructura rígida. El código hace dicha salvedad debido a que en base a estudios se ha demostrado que la frecuencia natural de las edificaciones de poca altura no coincide con la frecuencia natural del viento por lo que evita considerar efectos dinámicos por la carga de viento en la edificación ya que elimina la posibilidad que la edificación entre en resonancia con el viento (ASCE, 2010).

### *Cerramiento de la edificación*

*Cuadro No. 11: Condiciones de apertura de una edificación.*

<b>Cerrada</b>	Contiene cerramiento en cada uno de los lados de la edificación.
<b>Parcialmente cerrada</b>	Contiene un porcentaje de las caras de la edificación abiertas.
<b>Abierta</b>	Las caras de la edificación no contienen muros.

### *Rugosidad del terreno*

- Se determina el alrededor de la edificación en base las tres categorías de exposición descritas en el Cuadro No. 11.

*Cuadro No. 12: Rugosidad del terreno.*

<b>Categoría rugosidad del terreno</b>	<b>Descripción.</b>
B	Áreas urbanas, bosques,
C	Terrenos abiertos, o edificaciones no mayores a 9.1 metros.
D	Terrenos planos, cuerpo de agua cerca.

## **8. Efectos sísmicos en las edificaciones**

### **8.1 Estructuración interna de la Tierra**

Debido a los avances tecnológicos de hoy en día es posible determinar la propagación de las ondas sísmicas con las que nos permite medir algunas de las propiedades físicas como por ejemplo la densidad de la tierra y las constantes elásticas de la misma.

Según las propiedades físicas de la tierra esta se subdivide en Corteza, discontinuidad de Mohorovičić, Manto, Discontinuidad de Gutenberg y núcleo.

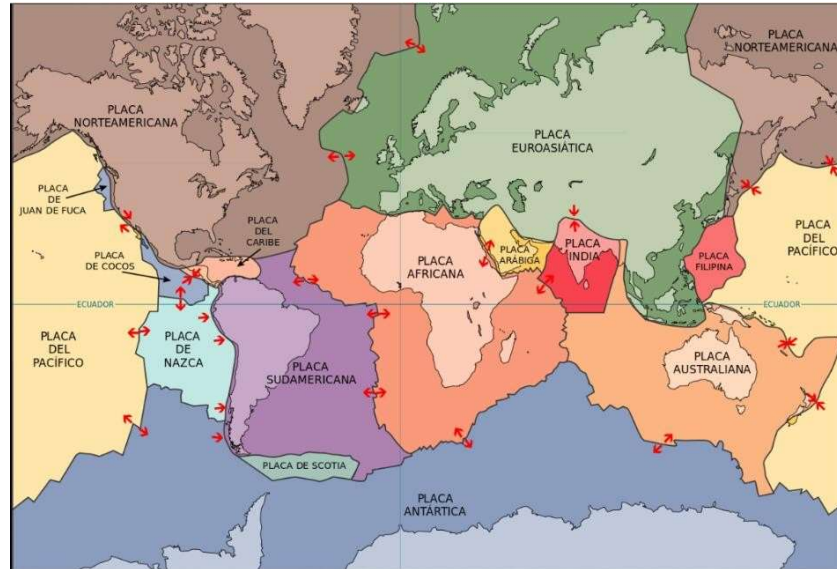
- Corteza: Está conformada alrededor de veinte a cien kilómetros de profundidad
- Discontinuidad de Mohorovičić: Separación entre la corteza y el manto
- Manto: Está conformado alrededor de dos mil novecientos kilómetros abarcando un cuarenta y cinco por ciento del radio terrestre. Las propiedades físicas de este segmento de la tierra son muy parecidas a las propiedades de la corteza únicamente que este material es más denso y posee un comportamiento más plástico.
- Discontinuidad de Gutenberg: Separación entre el manto y el núcleo
- Núcleo: Posee un radio de tres mil cuatrocientos kilómetros, alrededor del cincuenta por ciento del radio terrestre.

### **8.2 Teoría de las placas tectónicas**

La teoría de las placas tectónicas propone que los primeros cien kilómetros de la superficie terrestre denominada litósfera, se comporta como un material con propiedades rígidas y quebradizo esto debido a que es poco denso.

La litósfera está conformada por diferentes bloques denominados placas tectónicas (Ver Figura 37) que se mueven cierta cantidad de centímetros por año.

Figura no. 42: Ubicación de placas tectónicas del mundo.



El movimiento entre las placas tectónicas provoca cierta deformación en la colindancia entre placas tectónicas. Se tiene clasificado el tipo de movimiento entre las placas tectónicas en: Divergente, Transcurrerte y Convergente.

El territorio de Guatemala está situado entre las siguientes placas tectónicas:

- Norte América
- El Caribe
- Cocos

### 8.3 Escalas de clasificación de un terremoto

La magnitud de un temblor es proporcional a la cantidad de energía que se libera por el movimiento entre dos placas tectónicas, promoviendo el movimiento entre las fallas geológicas dentro de las placas.

Existen diferentes escalas de medición para un movimiento de las placas tectónicas.

#### *Richter*

Es una medición cuantitativa que nos proporciona un valor que brinda la cantidad de energía liberada por dicho movimiento. Este valor es distinto para cada movimiento de las placas

tectónicas.

### *Mercalli*

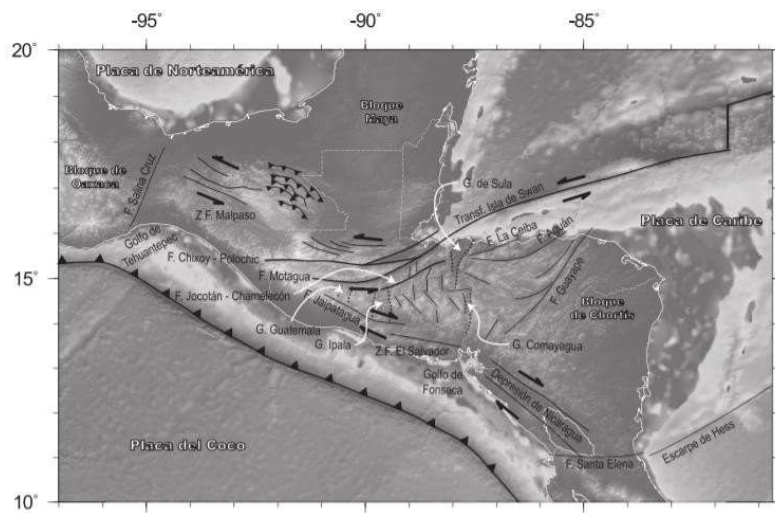
Dicha escala no es cuantitativa, sino que cualitativa es decir esta escala se mide según daños que se observan o se perciben. Adicionalmente la escala mide la aceleración del suelo en unidades GAL, donde 1 Gal es aproximadamente de media aceleración de la gravedad.  $1\text{Gal} = 1\text{cm/s}^2 = 0,01\text{m/s}^2$

## **8.4 Sismicidad en Guatemala**

Desde 1977, Guatemala cuenta con el Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH), encargado de vigilar la actividad sísmica que ocurre dentro y cerca del territorio del país; y desde 1996 con la Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres (CONRED), entidad que brinda asistencia a la población que es afectada por algún desastre natural; además se cuenta con información básica de las amenazas naturales de Guatemala.

Dentro del marco tectónico regional, el territorio de Guatemala se encuentra atravesado por el límite entre las placas de Norteamérica y del Caribe, el cual genera una zona de cizalla que manifiesta un movimiento transcurrete y cuya evidencia son los sistemas de fallas de: Motagua, Chixoy - Polochic y Jocotán - Chamelecón (Ver ilustración 43). Por otro lado, al sur de Guatemala, en el Océano Pacífico, se encuentra el límite convergente entre las placas de Coco y del Caribe, donde la primera está en subducción bajo la segunda a lo largo de la fosa Mesoamericana y cuya evidencia es el arco volcánico del país y una actividad sísmica profunda ( $> 30\text{ km}$ ).

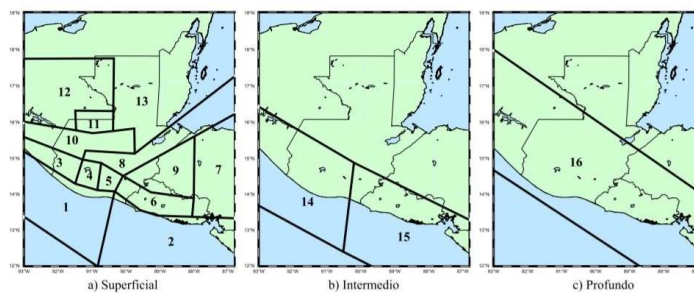
Figura no. 43: Clasificación del terreno de la República de Guatemala



Un estudio de zonificación sismogénica sirve principalmente para delimitar y caracterizar los posibles agentes que puedan ser una amenaza sísmica en una región. En Guatemala se han hecho varias propuestas y dentro de los principales se puede mencionar las realizadas por: M. Villagrán y al. (1995); J. P. Ligorria & C. Lindholm (1995); y B. Benito & E. Molina (2009). Cada uno de los estudios clasifica las fuentes en función de la profundidad en tres grupos: superficial, intermedio y profundo.

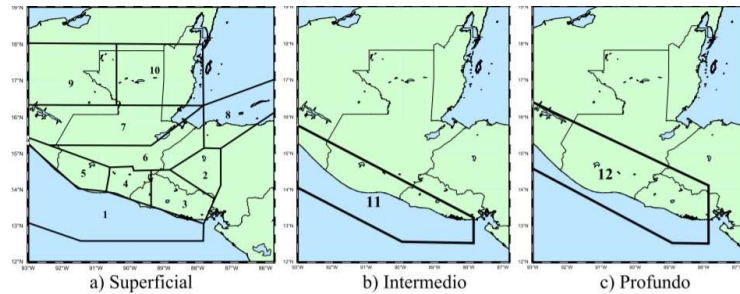
En la zonificación de M. Villagrán y al. (1995), identifican 13 zonas en el grupo superficial y lo asocian a la sismicidad que ocurre a una profundidad de 0 a 51 km; en el grupo intermedio, identifican dos zonas, asociado a la sismicidad que ocurre entre 50 a 125 km de profundidad; y en el grupo profundo, identifican una zona, y lo asocian a la sismicidad que ocurre a partir de los 125 km de profundidad (ver Figura 2).

Figura no. 44: Zonificación sísmica propuesta por Villagrán



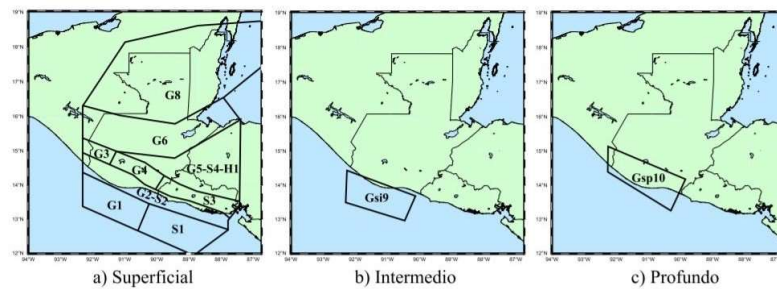
Para la zonificación de J. P. Ligorria & C. Lindora (1995), identifican diez zonas en el grupo superficial y lo asocian a la sismicidad que ocurre a una profundidad de 0 a 15 'o 20 km; en el grupo intermedio, identifican una zona, asociado a la sismicidad que ocurre entre 50 a 100 km de profundidad; y en el grupo profundo, identifican una zona, y lo asocian a la sismicidad que ocurre a una profundidad de 100 a 300 km (ver Figura 3).

*Figura no. 45: Zonificación sísmica propuesta por Ligorria.*



La zonificación de B. Benito & E. Molina (2009) identifican siete zonas en el grupo superficial y lo asocian a la sismicidad que ocurre a una profundidad de 0 a 25 km; en el grupo intermedio, identifican una zona, asociado a la sismicidad que ocurre entre 25 a 60 km de profundidad; y en el grupo profundo, identifican una zona, y lo asocian a la sismicidad que ocurre a partir de los 60 km de profundidad (ver Figura 4).

*Figura no. 46: Zonificación sísmica propuesta por Molina.*



En dos mil uno (2001) se realizó un proyecto donde se realizó una estimación analítica de la respuesta sísmica de los sitios característicos en la Región de Guatemala (Quetzaltenango, Escuintla, Zacapa, Cobán, y Antigua Guatemala).

Figura no. 47: Distribución geográfica de las distintas unidades geotécnicas que cubren la Ciudad de Guatemala y sus alrededores

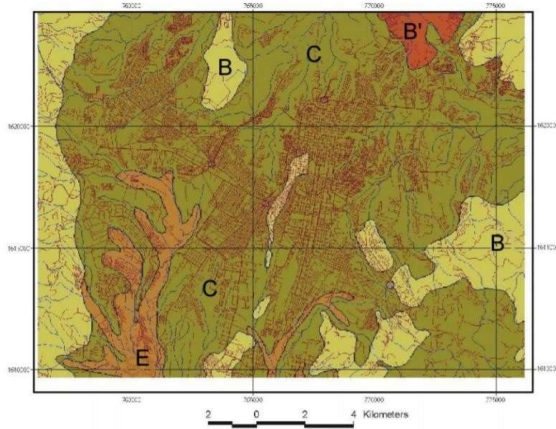
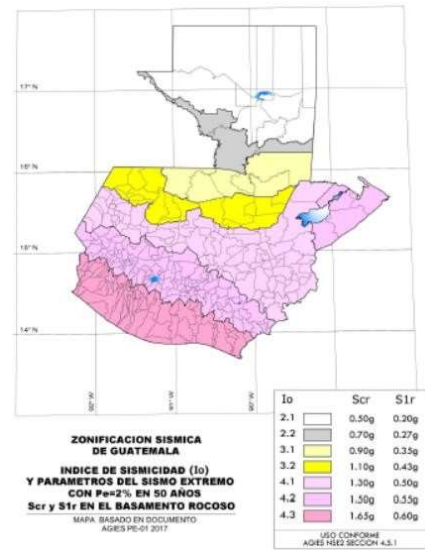


Figura no. 48: Zonificación sísmica de diseño para Guatemala



## **9. Diseño estructural de edificaciones en Guatemala**

### **9.1 Aspectos mínimos para tomar en cuenta para diseñar una edificación**

#### **9.1.1 Configuración estructural**

La norma menciona que el sistema estructural que se vaya a utilizar en la edificación deba cumplir y brindar una resistencia y rigidez vertical apropiada para soportar las cargas gravitacionales, así como las sollicitaciones laterales, respetando los límites de deriva que se mencionan más adelante.

#### **9.1.2 Trayectoria de las cargas**

La estructura deberá estar configurada de tal manera que la trayectoria de las cargas aplicadas a la estructura pueda ser transferidas correctamente a la cimentación.

Para las cargas horizontales se debe requerir una transferencia de la carga hacia la cimentación por medio de las losas que sirven como diafragma donde se pueda demostrar que la trayectoria de la carga no está siendo interrumpida.

#### **9.1.3 Rangos de desempeño**

Si la estructura es capaz de soportar los esfuerzos en los materiales inducidos por las combinaciones descritas en el capítulo ocho (8) en la NSE 2-17. Adicionalmente estas deben cumplir con los límites de deformaciones para cada material y sistema constructivo. Para el viento se deben verificar que los elementos no excedan el límite de deformación establecidos en el capítulo cinco (5) en la NSE 2 – 17.

Para las acciones de un terremoto una gran parte de los elementos de la edificación puedan trabajar en el rango post- elástico cuando ocurra el sismo de diseño esperado. esto se logra ya que las combinaciones de carga dentro de la norma están planteadas de tal manera que la estructura se desempeñe en el rango post-elástico. Adicionalmente la estructura debe cumplir con los requerimientos de los límites de derivas conforme a la sección 4.3 de la NSE 3 -17

### 9.1.4 Diafragma de la estructura

El diafragma en la edificación debe ser lo suficientemente rígido para garantizar la transferencia de y distribución de fuerzas horizontales a las subestructuras verticales con rigidez lateral. Cuando un diafragma carece de rigidez este es incapaz de redistribuir la fuerza de cortante en su propio plano para hacerle llegar la fuerza a la subestructura. Dependiendo del peralte y el tipo de losa de la edificación, se puede considerar como rígida, semirrígida, flexible.

### 9.1.5 Metodología de análisis

#### *Clase de obra*

Las obras se clasifican en categorías ocupacional para los requisitos de diseño por sismo, viento e inundaciones. Toda obra se clasifica en una categoría ocupacional según el impacto socioeconómico que implique la falla o cesión de las funciones de la obra.

#### *Categoría de obra*

*Cuadro No. 13: Categorización de edificaciones en Guatemala.*

<b>Categoría</b>	<b>Categoría de obra</b>	<b>Parámetro de diseño</b>
I	Obra utilitaria	Instalaciones agrícolas, ocupación incidental,
II	Obra ordinaria	No es categoría I, III, IV
III	Obra importante	Albergan a más de 300 personas.
IV	Obra esencial	Deben permanecer durante, y después de un desastre natural.

Para determinar la cantidad de personas albergadas en una edificación se puede utilizar la siguiente fórmula.

$$\text{Carga de ocupación} = \frac{\Sigma \text{Área bruta de piso}}{\text{Factor de carga de ocupación}}$$

### Niveles de protección sísmica

“El nivel de protección es una medida del grado de protección suministrado al público y a los usuarios de las obras nuevas o existentes contra los riesgos derivados de las solicitaciones de carga y de amenazas naturales. El nivel de protección requerido se especifica en la tabla 4.1 de NSE 2, y depende del grado de amenaza natural en el sitio y de la clasificación de la obra.” (AGIES, 2017)

- Nivel de protección “A”
- Nivel de protección “B”
- Nivel de protección “C”
- Nivel de protección “D”
- Nivel de protección “E”

Cuadro No. 14: Nivel de protección sísmica y probabilidades del sismo de diseño.

Índice de Sismicidad <sup>[b]</sup>	Clase de obra <sup>[a]</sup>			
	Esencial	Importante	Ordinaria	Utilitaria
Io = 4	E	D	D	C
Io = 3	D	C	C	B
Io = 2	C	B	B	A
Probabilidad de exceder el sismo de diseño <sup>[c]</sup>	5% en 50 años <sup>[d]</sup>	5% en 50 años <sup>[d]</sup>	10% en 50 años	No aplica

[a] Ver clasificación de obra en NSE 1 Capítulo 3

[b] Ver índice de sismicidad en Sección 4.2.1

[c] Ver Sección 4.4 para selección de espectro sísmico de diseño según probabilidad de excederlo.

[d] A las obras "Esenciales" e "Importantes" les corresponde un sismo con la misma probabilidad de excedencia – se diferencian en detalles del Nivel de Protección y en las deformaciones laterales permitidas.

#### Tipo de análisis

##### p) Sísmico

Los procedimientos para en el análisis sísmico de una estructura se encuentran en la norma de seguridad estructural NSE 3 - 17, donde estipula los diferentes análisis que se permite aplicar a una estructura en Guatemala.

##### (i) Análisis estático equivalente.

El análisis estático equivalente se permite siempre y cuando la estructura cumpla con las siguientes cláusulas.

- El análisis estático equivalente se es permitido cuando la estructura

tenga un nivel de protección “B”, “C”

- Edificaciones con tres (3) niveles contados desde la base nominal.
- Estructuras de categoría ordinaria.

#### (ii) Análisis modal espectral

El objetivo principal de un análisis modal espectral es determinar los modos naturales de vibración de una estructura en tercera dimensión, así como cada uno de los periodos de dichos modos de vibrar. Para determinar dichos modos de vibrar se permite utilizar dos metodologías

- Método de Ritz
- Método de Eigen vectores

El análisis de la estructura deberá incluir una cantidad de modos de vibrar suficiente donde se pueda asegurar que por lo menos el noventa por ciento (90%) de la masa de la edificación que se está analizando este participando en cada una de las direcciones de análisis

Para llevar este tipo de análisis se debe tener un programa que sea capaz de realizar un análisis integral en tres dimensiones, donde se pueda determinar la geometría de la estructura, que sea posible aplicarle las cargas a las que estará solicitada, y cada una de las rigideces sea global de la estructura o de cada elemento en particular que compone la estructura. La masa total del análisis corresponde al peso sísmico efectivo.

En toda estructura se debe tener una consideración de la excentricidad accidental, en la sección 2.3.2 de la NSE – 2 se establecen ciertos parámetros para determinar la excentricidad a considerar no reduciendo dicho valor por debajo del mínimo (AGIES, 2017).

#### (iii) Análisis no lineal (Push over)

El análisis estático no-lineal de carga incremental ("push-over") es posible utilizar dicho análisis para determinar e identificar los puntos de problema en la estructura.

La norma hace mención que actualmente no es permitido utilizar este análisis como método independiente de análisis.

(iv) Análisis por Método Alterno

Podrá utilizarse un método diferente a los descritos en dicha sección para establecer y distribuir las fuerzas sísmicas, siempre y cuando se cumpla con lo establecido en NSE 1 Sección 2.1.

(v) Respuesta dinámica (Lineal/No lineal)

Descritos en la norma complementaria NSE 3.2 de análisis avanzados. No obstante, los cortantes basales estáticos equivalentes se calcularán en todos los casos ya que sirven de referentes de calibración para las fuerzas y derivas de diseño (Sección 3.3.6) aunque no se utilice el análisis estático equivalente para obtener los resultados.

q) Viento

La norma de seguridad estructural NSE 3 -17 hace mención que el análisis por las solicitaciones generadas por la carga de viento que golpea a la estructura se permite ser obviado si se puede argumentar que los efectos de dicha carga son menores a los efectos generados por las solicitaciones de la fuerza sísmica. Adicionalmente la norma hace mención que para estructuras con poca masa se es obligatorio realizar el análisis por carga de viento (AGIES, 2017).

## 9.2 Cargas aplicables a la estructura

### 9.2.1 Cargas gravitacionales/dinámicas

*Cuadro No. 15: Tipos de carga consideradas en una edificación.*

<b>Tipo de carga</b>	<b>Simbología</b>	<b>Característica</b>
Carga muerta	M	Peso de los materiales y contenidos. Peso propio
<i>Carga viva</i>	V	Carga generada por la ocupación de la estructura

<i>Carga viva techo</i>	Vt	carga generada por tareas mantenimiento de la estructura
Carga sísmica horizontal	Shx, Shy	Carga equivalente de la fuerza sísmica. **** Esta se debe generar para cada uno de los ejes de la estructura. (Vx + 0.3Vy) y (Vy+0.3Vx) ****
Carga sísmica vertical	Sv	Carga equivalente de la fuerza sísmica en la componente vertical (Sentido de la gravedad)
Carga de viento	W	Carga de empuje de viento en las estructuras.

## 9.2.2 Combinaciones de carga

### Combinaciones de carga gravitacionales

- CR1 1.4M
- CR2 1.3M + 1.6V + 0.5Vt
- CR3 1.3M + 1.0V + 1.6Vt

### Combinaciones de carga sísmica

- CR4.1 1.2M + 1.0V + Svd + Sx
- CR4.2 1.2M + 1.0V + Svd + Sy
- CR5.1 0.9M - 1.0Sv + +Sx
- CR5.2 0.9M - 1.0Sv + +Sx

### Combinaciones de carga de viento

- CR6.1 1.2M + 1.0V + 1.3W + 0.5 Vt
- CR6.2 1.2M + 1.0V - 1.3W + 0.5 Vt

- CR7.1 0.9M + 1.3W
- CR7.2 0.9M - 1.3W

(AGIES, 2017)

## **10. Normas y códigos de diseño estructural para edificaciones en Guatemala**

### **10.1 AGIES**

Guatemala fundo la primera entidad no lucrativa en 1996 conocida como Asociación de Guatemala de Ingeniería estructural y sísmica (AGIES) con el fin de promover la investigación y divulgación de conocimientos científicos y tecnológicos en el campo de las estructuras, sismología y áreas afines.

AGIES lanzo las normas con el nombre de Normas de Seguridad estructural de Guatemala (NSE) y redacto una serie de normas estructurales especificando ciertas ramas de la ingeniería estructural en Guatemala.

Las normas de seguridad estructural en Guatemala se redactan en base a códigos internacionales como ASCE, AISC, ACI, IBC entre otros, la junta directiva realiza una evaluación de las consideraciones establecidas en los códigos mencionados anteriormente y en base a criterios de los ingenieros que integran la junta directiva y las condiciones de Guatemala, se reestablecen criterios de diseño estructural que mejor se apliquen para Guatemala.

Las normas que se encuentran en vigencia en este momento son las NSE 2017, aun que actualmente se encuentran en revisión y es posible que existan cambios drásticos en las mismas, pero no se encuentran en vigencia por lo que para este estudio se utilizaran las NSE 2010.

Debido a que las normas de seguridad estructural de Guatemala se redactan según los códigos internacionales mencionados anteriormente permiten que con juicio de ingeniería se modifiquen los parámetros en el diseño estructural siempre y cuando estos se puedan justificar con cálculos y el motivo del cambio.

### **10.2 AISC (American Institute of Steel Construction)**

The American Institute of Steel Construction (AISC) es una organización no lucrativa establecida en 1921 para aportar conocimiento en el diseño estructural de acero.

- Especificaciones para las edificaciones de acero estructural (360 – 16)

En dicha especificación provee los requerimientos generales aplicables para el diseño y construcción de edificaciones de acero estructural.

- Provisiones sísmicas para edificaciones de acero estructural (341 – 16)  
Detallamiento de los elementos dependiendo del tipo de estructura y sistema de resistencia lateral. Tiene el fin de evaluar que los elementos sean capaces de fluir en caso del viento de diseño. (AISC, 2016)
- 358
- Requerimientos para el diseño de las conexiones el detallamiento de los elementos aplicables.

### **10.3 ASCE (American Society of Civil Engineering)**

Provee los estándares más actualizados para determinar las cargas de diseño de las edificaciones, como, por ejemplo: carga muerta carga viva. Tsunami, suelos, nieve, lluvia, hielo atmosférico, terremotos, viento y fuego. (ASCE, 2010)

### **10.4 IBC (International Building Code)**

Código internacional de diseño de las edificaciones, se toman las consideraciones y criterios a tomar para restringir la deflexión de los elementos en la estructura y entre otras aplicaciones.

## **11. Descripción de la edificación por analizar**

### **11.1 Ubicación de la edificación**

#### **11.1.1 Razones de ubicación**

- El diseño estructural de la edificación se realizará ubicado en Peten, debido a que la gran mayoría de ciclones tropicales que tienen probabilidad de entrar a Guatemala se forman en el océano atlántico como se mostró en base al estudio del BID, Guatemala tiene altas probabilidades aumente la densidad de huracanes en Guatemala entre los años 2045 – 2055.
- El departamento de peten tiene una altitud de ciento veinte y siete metros sobre el nivel del mar (127 msnm). Por lo que se considera como tierras bajas, al igual que su extensión montañosa es relativamente baja y no variada por lo que es considerado una planicie. Al ser planicie y que un huracán entre al país este no pierde fuerza. El caso contrario para la capital de Guatemala, al estar rodeado de montañas estas rompen los vientos y logran disminuir la velocidad del viento.
- Debido a que un proyecto de esta magnitud sería financiado por una organización mundial, la edificación en caso de un desastre natural será utilizado como un albergue durante y después de la catástrofe.

#### **11.1.2 Tipo de suelo.**

Se realizó un estudio de suelos y se dictaminó según los estudios que el suelo donde se cimentará la edificación posee un suelo de clasificación de Sitio “E”

#### **11.1.3 Índice de sismicidad**

- $I_0 = 2.7$

### **11.2 Uso de la edificación**

La estructura será utilizada como un polideportivo para impulsar el desarrollo de las comunidades cercanas a la edificación a mejorar su condición física, no únicamente por tener un cuerpo más atractivo si no mejorar su bienestar en general. En caso de un evento sobre natural la estructura se utilizará como albergue para las personas damnificadas en los alrededores.

### **11.2.1 Nivel de protección**

Se utilizará un nivel de protección sísmica tipo “D” debido a la clase de obra de la edificación.

### **11.3 Sistema de resistencia lateral.**

El sistema de resistencia lateral en la edificación consiste en marcos concéntricos arriostrados. Este sistema se utilizó debido a que este sistema permite darla rigidez horizontal a la edificación a un costo razonable.

### **11.4 Edificación**

*Figura no. 49: Edificación real concluida..*



## 12. Cargas asumidas en la edificación.

### 12.1 Carga muerta

#### 12.1.1 Cubierta liviana

<i>Elementos.</i>	<i>Peso (psf)</i>
<i>Techo con fibra aislante</i>	2
<i>Lithonia Lighting – IBG High Bay (2' X 4') 60,000 Lm</i>	0.1
<i>Mechanical Duct Allowance (ASCE 7 -16)</i>	4
<b>Total</b>	<b>6.1</b>

#### 12.1.2 Terraza

<i>Elementos</i>	<i>Peso (Psf)</i>
<i>6 in lightweight concrete (Includes pitch of roof)</i>	48
<i>Loads of the AC (Air condition)</i>	32
<i>Water Proofing liquid Applied (ASCE 7 -10)</i>	1
<i>Mechanical Duct Allowance (ASCE 7 -16)</i>	4
	6
<b>Total</b>	<b>91</b>

#### 12.1.3 Entrepiso

<i>Elemento</i>	<i>Peso (psf)</i>
<i>6 in lightweight concrete (Includes pitch of roof)</i>	48
<i>Ceramic or Quarry tile (3/4") om 1" mortar Bed (ASCE 7 -10)</i>	23
<i>Mechanical Duct Allowance (ASCE 7 -10)</i>	4
<i>Gypsum Board (per 1/8" Thickness) (ASCE 7 -10)</i>	0.2
<i>Suspended Steel Channel System. (ASCE 7 -10)</i>	4
<i>Plaster Boards Separations</i>	15
<i>Ceramic quarry Tile in 7ft tall in the bathroom</i>	7
<b>Total</b>	<b>103.2</b>

El Código ASCE 7 – 10 en el capítulo 4 establece que la carga de 15 psf adicional por las particiones de tabla yeso se puede obviar si la carga viva de diseño excede los 80 psf.

#### 12.1.4 Forro de la edificación

<i>Elemento</i>	<i>Peso (psf)</i>
<i>Costaneras + panel sandwich</i>	2
<i>Porta Costaneras</i>	2
<i>Lovers</i>	5
<i>Natural Anodized Aluminum Profile Clear + Clear Camera Glass</i>	7
<i>2.5 meters of concrete wall 0.16 Weight pushing the columns</i>	8
<i>Dibujos en la fachada frontal.</i>	13
<b>Total</b>	<b>37</b>

## 12.2 Carga viva (carga de uso)

### 12.2.1 Cubierta liviana

Uso	Peso (psf)
Mantenimiento en cubierta liviana	15
<b>Total</b>	<b>15</b>

### 12.2.2 Terraza

Uso	Peso (psf)
Mantenimiento en <i>cubierta con acceso</i>	20
<b>Total</b>	<b>20</b>

### 12.2.3 Entrepiso

Uso	Peso (psf)
Vestidores.	100
<b>Total</b>	<b>100</b>

## 12.3 Carga de viento

A continuación, se presentan los resultados de la integración de la carga de viento por tres metodologías diferentes.

### 12.3.1 Integración del viento por diferentes metodologías

*Cuadro No. 16: Resultados del análisis del viento en la edificación.*

Norma/Código	Presión (psf)			
	Barlovento	Sotavento	Paredes Laterales	Cubierta
NSE	64	40	40	56
ASCE	44	31	40	49
Túnel de Viento	49	31	40	41

## **13. Resultados del análisis estructural de la edificación**

### **13.1 Metodología empleada**

Se definió el uso, la ubicación, la importancia de la edificación, en base a la arquitectura de esta. Luego se procedió a realizar un modelo tridimensional de la estructura propuesta, la edificación real se puede observar en el capítulo “H”; utilizando un programa el programa ETABS 2016, se hizo un análisis modal espectral para obtener un comportamiento muy aproximado de la estructura en caso esta esté sometida a esfuerzos generados por solicitaciones laterales de vientos extremos o el sismo de diseño.

Una vez se completó el modelado ingresando las cargas de viento, carga muerta, carga viva, la cual es la carga generada por el uso de esta, carga viva de techo, la cual es generada por el acceso de mantenimiento en el techo de la edificación. Se procedió a determinar qué elementos léase: vigas, columnas, riostras, tensores eran necesarios para soportar los esfuerzos inducidos por las cargas aplicadas.

Para tener una mayor certeza que el análisis de la estructura está bien realizado, se realizó un análisis por aparte utilizando la herramienta de “Microsoft Excel” para generar una memoria de cálculo de ciertos elementos estructurales y realizar una comparación entre el modelo tridimensional y un cálculo realizado a mano en base a ciertos códigos de diseño que se presentaran a continuación.

Los elementos rolados en caliente se analizaron según a los códigos de diseño internacional de estados unidos para el acero estructural. Lamentablemente como Guatemala no cuenta con la inversión necesaria para realizar investigación de los elementos de acero estructural en Guatemala, se tomaron los códigos de diseño internacional.

Posterior a determinar los elementos estructurales gravitacionales y los fusibles del sistema de resistencia lateral cumplieran con las solicitaciones establecidas se procedió a realizar un análisis por capacidad el cual utiliza la capacidad máxima que puede generar el fusible del sistema, en este caso el fusible del sistema de resistencia lateral fue riostras concéntricas en X, y tipo Chevron.

Los requerimientos de los elementos de resistencia lateral de la edificación se analizaron y diseñaron según a su nivel de detallamiento sísmico especificado en AISC 341 – 16, la cual dependiendo del nivel de ductilidad de la edificación castiga de cierta manera los elementos estructurales para que tengan un comportamiento aceptable en caso de sollicitaciones laterales generadas en caso de el sismo de diseño o la carga de viento.

Los elementos rolados en frío se diseñaron con base en los requerimientos establecidos en AISI, donde especifica los requisitos de un elemento rolado en frío ya que tiene un comportamiento distinto a los rolados en caliente, ya que al doblar un elemento en frío se modifican las propiedades del material por lo que este cambia su comportamiento al ser sometido a esfuerzos de tensión, compresión, flexión, o corte.

## **13.2 Modelado tridimensional de la edificación**

Dentro de las bondades de la ingeniería estructural, el diseñador estructural puede adoptar el uso de tecnología de hoy en día para realizar edificaciones más eficientes. Un programa de ingeniería nos permite hacer una simulación, estudio y comportamiento lineales y no lineales de los elementos estructurales que conforman la estructura. Dentro de estos programas es posible aplicarle a la estructura un tipo de diafragma (rígido o flexible).

Para el estudio presente se utilizó ETBAS 2016 el cual realiza un análisis tridimensional de las edificaciones y contiene en su base de datos los códigos más actualizados en este caso (AISC 360 – 16)

Dicho programa brinda un detalle en tiempo real ya sea en 2D o 3D de la edificación. ETBAS 2016 cuenta con todos los parámetros de aplicación para un análisis sísmico, tomando en cuenta un espectro de respuesta basado en las características del territorio donde estará ubicada la edificación. Adicionalmente cuenta con la opción de realizar un análisis P delta si en dado caso fuera necesario.

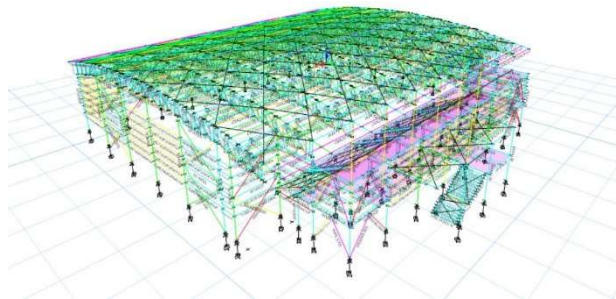
Para realizar un análisis modal espectral en un periodo corto de tiempo, es necesario utilizar un programa de elementos finitos. A continuación, se presentarán la metodología que se utilizó para

realizar dicho análisis.

Se realizó un modelo tridimensional de la estructura aplicando todas las cargas gravitacionales previamente descritas. Adicionalmente se le añadió la presión de viento integrada según la metodología del ASCE debido a que coincidió con la presión generada en las caras de dicha estructura al someterla en un análisis en una turbina de viento simulando el viento huracanado de 226 km/h. Adicionalmente se estableció el espectro de diseño para inducirle los efectos generados por las solicitaciones laterales de un sismo. Por último, se definieron las combinaciones de carga a cada modelo, uno respecto a la metodología del ASCE y otro modelo en base a la metodología de la NSE.

#### Análisis modal Espectral de la Edificación según a las combinaciones de Carga del ASCE

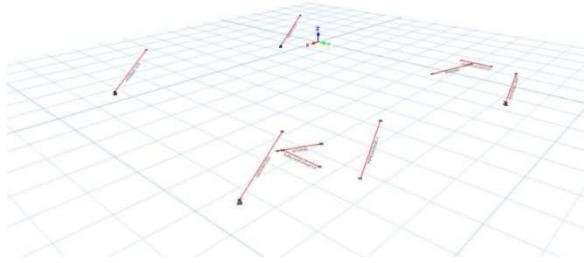
*Figura no. 50: Modelo tridimensional del análisis estructural con cargas ASCE*



Como se puede observar en la Figura no. 50: la edificación cumple con todas las cargas aplicadas en el programa según los elementos finitos.

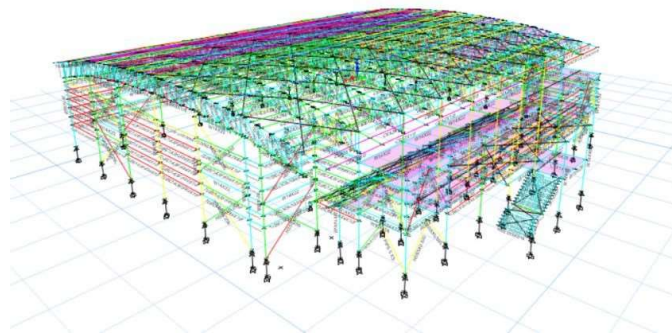
Al verificar que todos los elementos fueron capaces de cumplir con todas las cargas aplicadas, léase carga muerta, carga viva por uso, carga de viento podemos observar que los elementos encargados de la resistencia lateral están al cien por ciento de su capacidad, y al ser este el fusible del sistema no se sustituye. Y se considera como un diseño eficiente. Posteriormente se realizó un diseño por capacidad de los elementos encargados de soportar las solicitaciones laterales inducidas por el viento y/o por la carga sísmica.

Figura no. 51 Fusibles del sistema de resistencia lateral hasta un 1300% de uso51:



Después se analizó exactamente la misma estructura, únicamente sustituyendo las consideraciones establecidas en las normas NSE de Guatemala, y se puede observar que la situación cambió drásticamente para varios elementos de la edificación. Como se muestra en la figura número 52 se observa que una mayor cantidad de elementos están sobrepasados de su capacidad. Al observar seguidamente la figura número 53 se puede observar que los elementos encargados de la resistencia lateral están sobrepasados su capacidad hasta por un 130%. Adicionalmente también se pudo analizar en el modelo número dos según los parámetros de la NSE es que los elementos de fachada están sobre pasados su capacidad.

Figura no. 552: Modelo tridimensional del análisis estructural AGIES



Después de realizar una comparación entre ambos modelos se puede observar que los elementos del entre piso donde está concentrada la mayor parte del peso sísmico en el modelo numero dos muestras que su porcentaje de demanda disminuyo un 30% ya que las riostras en el modelo numero dos están trabajando a un 70% de su capacidad y en el modelo numero 1 están trabajando al 100%.

### 13.3 Consolidación de resultados

El análisis estructural se realizó con distintos códigos debido a que las edificaciones en Guatemala generalmente se construyen con concreto reforzado el cual es un material pesado en función de la resistencia de este. Una de las ventajas del concreto reforzado es que las solicitaciones laterales generadas por el viento son insignificantes comparadas con las solicitaciones laterales sísmicas inducidas a los elementos de resistencia lateral de la edificación. Por lo mencionado con anterioridad a una gran cantidad de ingenieros estructurales de Guatemala generalmente no toma en cuenta el diseño de las estructuras para las solicitaciones del viento.

Hoy en día con las nuevas tendencias arquitectónicas de hacer edificaciones con curvas y diseños modernos el concreto estructural pasa a segundo plano por la dificultad de generar físicamente los diseños arquitectónicos. Lo que obliga a utilizar otros materiales como el acero estructural y la madera. Lamentablemente dichos materiales son de peso liviano donde las solicitaciones de viento llegan a ser la carga dominante en el diseño estructural.

La velocidad de viento de diseño en Guatemala establecida en AGIES para el diseño de las estructuras, se obtuvo por medio de un barómetro ubicado a 10 metros sobre el nivel del suelo de referencia y comparado con los vientos promedios de la república de Guatemala. Como se indicó con anterioridad Guatemala se encuentra dentro de las 7 zonas con mayor riesgo a vientos huracanados. Adicionalmente Guatemala tiene costas con el océano pacífico y el océano atlántico. Donde el océano atlántico se ha caracterizado por ser una de las zonas con mayor actividad de ciclones tropicales. Según la ubicación geográfica de Guatemala no puede aplicar la metodología para determinar la velocidad promedio que utiliza actualmente esto debido a que según el código de diseño de viento del caribe todos los países del gran caribe se prohíbe la aplicación de barómetros para determinar la velocidad del viento de diseño, o utilizar el viento promedio del año si no que se debe reconocer la vulnerabilidad del territorio y determinar categoría de vientos huracanados se debe diseñar las estructuras.

Aunque la república de Guatemala no pertenezca al caribe tiene costas caribeñas donde es posible que entre un huracán directamente. Al igual que al costado este del territorio Guatemala tiene a Belice, el cual si pertenece directamente al caribe.

Debido a la orografía de los ambos territorios es posible que los vientos huracanados se trasladen de Belice al territorio de Guatemala, según el estudio del BID que se mencionó anteriormente Guatemala tiene altas probabilidades de ser un punto delicado en la trayectoria de los huracanes, esto debido al cambio climático. Se analizaron las velocidades de viento de ciclones tropicales en fase huracanes con repercusiones indirectas o directas en el territorio guatemalteco. Se analizó la velocidad máxima en su etapa de máximo y así como la velocidad media que mantuvo el huracán durante toda su trayectoria. Se observa que las velocidades de viento de diseño para Guatemala están por debajo de la velocidad media de los ciclones tropicales con repercusiones en Guatemala.

Esto provoca la pérdida de vidas humanas como pérdidas económicas ya que las edificaciones se diseñan bajo velocidades más bajas, por lo que, cuando se presente un fenómeno natural de esta magnitud varias edificaciones tenderán al colapso. Adicionalmente el Banco Internacional de Desarrollo, realizó un análisis de la tipología de construcción más común la república de Guatemala y analizó desde las edificaciones empíricas hasta las edificaciones con un cálculo estructural y determinó la vulnerabilidad de dichas edificaciones en caso se presente un evento similar. Se dictaminó que las edificaciones con cubierta flexibles presentaban una tendencia al colapso en caso de vientos huracanados.

La norma de seguridad estructural NSE 2 – 17 Capítulo número 5 sección 5.3.1 “Dado que este país no está expuesto a vientos huracanados de alta velocidad esta norma ha retenido una metodología simple tomada de UBC 1997 (Uniform Building Code, California). También contribuye a esta decisión el que la generalidad de las estructuras en el país tiene menos de 100 metros de altura sobre el terreno y que las estructuras habitables tienden a ser de concreto reforzado (con mayor amortiguamiento inherente que el acero estructural) por lo tanto son dinámicamente menos sensitivas al viento.” Según el comentario de la sección 5.3.1 se puede observar que efectivamente las normas de seguridad estructural de Guatemala están dirigida a construcciones rígidas por ejemplo concreto reforzado. Donde la acción del viento no presenta un papel importante más que para la fachada arquitectónica del mismo.

La metodología presente en las normas de seguridad estructural de Guatemala no hace mención en las restricciones o aspectos mínimos que debe cumplir una edificación antes de emplear dicha metodología en el cálculo estructural. Un ejemplo se establece en el capítulo no. 5 sección 5.1.2 “...tomando en cuenta la rugosidad del terreno a barlovento. Los empujes y succiones exteriores

sobre la estructura principal serán considerados simultáneamente.” (AGIES, 2017) hace mención que se debe tomar en cuenta la rugosidad del territorio aledaño a la edificación y claramente en la metodología del código del caribe establece que la metodología únicamente aplica para ubicaciones sin efecto topográfico.

La velocidad de diseño para este estudio se realizó con 226 km/hr la cual se integró en base a dos metodologías diferentes establecidas en códigos o normas de distinto origen y la edificación se sometió a un túnel de viento para observar que el comportamiento del viento. De esta manera verificar que el comportamiento del viento que se asumió fue acertado. Estas metodologías corresponden a la metodología simplificada obtenida del “Código Modelo de Construcción Para Carga de Viento” que establece de carácter obligatorio AGIES para las edificaciones construidas en el territorio guatemalteco, y la metodología que establece el ASCE donde toma en cuenta toda la geometría de la edificación.

Figura no. 53: Integración de la carga de viento por ASCE

Paso No. 2: Definir la velocidad básica del viento.	
$v$	226
Paso No. 3: Determinar la presión de Viento que genera la velocidad	
$q_s$	50.26
Paso No. 4: Determinar el Coeficiente $C_{ez}$	

Figura no. 54: Integración de la carga de viento por AGIES

Paso No.6: Determinar el Factor Topografico de la edificación.	
$K_{zt}$	1
Paso No. 7: Determinar la presión de viento que afecta la estructura.	
$q_z$	51.44 psf
Paso No. 8: Determinar el factor de rafaga del viento	
$G_{yf}$	0.85

Durante la integración de la carga de viento se pudo observar que ambos métodos (ASCE, NSE) generaban la misma presión de viento la cual los resultados fueron 51.44 psf, 50.26 psf respectivamente.

Es posible que la variación de la integración de la carga de viento entre el método que establece el ASCE, sea más eficiente ya que esta presenta varios parámetros que dependen primordialmente de la geometría de la edificación y de su ubicación. Debido a que la NSE tomo la metodología del caribe como obligatorio la integración de la carga de viento

Se analizó la norma referenciada en la NSE y se observa una cláusula importante para dicha metodología. El manual establece que para los países que tengan un alto índice de huracanes o que estén dentro del gran caribe queda totalmente prohibido utilizar la velocidad de viento que se obtenga por medio de un barómetro o cualquier otro instrumento. Por lo que la velocidad de viento que se debe establecer como mínimo es la velocidad de viento que se puede generar en base a la categoría probable que afecte el territorio.

Leyendo el manual del método simplificado como se mencionó en el capítulo de generalidades de viento, tiene varias restricciones que en la norma NSE nunca se hacen mención a los requisitos que se deben cumplir para optar a integrar la carga de viento con dicho método.

Es importante que las entidades encargadas de redactar dichas normas de seguridad estructural

estén conscientes que la integración de la carga de viento que se establece como obligatoria tuvo su última actualización en el año 2003 por lo que son 15 años de antigüedad que durante este periodo de tiempo se ha continuado investigando la reacción de las edificaciones por lo que el método queda de cierta manera obsoleto.

## 14. Conclusiones

- Los parámetros de la integración de la carga de viento establecidos en las normas de la NSE de Guatemala son adecuados para el diseño de estructuras de peso liviano
- La velocidad del viento de diseño establecidas en las NSE de Guatemala no puede ser utilizada para diseñar estructuras de peso liviano ya que es un valor muy por debajo de los vientos esperados en la República de Guatemala.
- Se debe evaluar nuevamente la velocidad de diseño de viento en la República de Guatemala ya que en el estudio del BID se observa que la República de Guatemala tiene tendencia a presentar velocidades de viento mayores a las establecidas actualmente.

## 15. Recomendaciones

### Profesionales

- Se les recomienda a los diseñadores estructurales que utilicen las velocidades del viento de los mapas del código ASCE.
- Se recomienda que los diseñadores estructurales sometan la estructura a un túnel de viento para poder asegurarse de que las presiones de viento que se obtienen de la integración de la carga de viento por medio de la NSE sea lo más parecido a la realidad.

### Instituciones

- Se recomienda que se evalúe nuevamente los parámetros de la velocidad de viento, ya que los estudios hacen mención de que la velocidad del viento en la República de Guatemala aumentará.

## 16. Literatura citada

AISC. (2016). *AISC*. USA: AISC.

Arquitectura Sin Fronteras en Guatemala. (18 de diciembre de 2013). *Arquitectura Sin Fronteras en Guatemala*. Obtenido de Salud sismorresistente en Chinique: <http://asfguatemala.blogspot.com/2013/>

ASCE. (2018). *MINIMUM DESIGN LOADS AND ASSOCIATED CRITERIA FOR BUILDINGS AND OTHER STRUCTURES (7-16)*. USA: 2017.

BID. (2014). *Mitigación y adaptación al cambio climático a través de la vivienda pública*. Guatemala: IADB.

Bórras, C. (15 de diciembre de 2017). *Ecología Verde*. Obtenido de Zonas con Peligro de Huracanes: <https://www.ecologiaverde.com/zonas-con-peligro-de-huracanes-72.html>

Cronica de Xalapa. (15 de marzo de 2015). *El Reflejo de su gente Crónica de Xalapa*. Obtenido de Se debe homologar la ley de derechos de salud y vivienda digna: Nueva Alianza: <http://cronicadexalapa.com/se-debe-homologar-la-ley-de-derechos-de-salud-y-vivienda-digna-nueva-alianza/>

Government of Canada. (19 de septiembre de 2018). *Enhanced Fujita scale for wind damage*. Obtenido de Government of Canada: <https://www.canada.ca/en/environment-climate-change/services/seasonal-weather-hazards/enhanced-fujita-scale-wind-damage.html>

INE. (2002). *CENSO 2002*. GUATEMALA: INE. Obtenido de CE.

INSIVUMEH. (s.f.). *INSIVUMEH*. Obtenido de Información Historica: [http://www.insivumeh.gob.gt/?page\\_id=1713](http://www.insivumeh.gob.gt/?page_id=1713)

Kwei, I. (11 de septiembre de 2017). *Aprende Guatemala*. Obtenido de Departamentos de Guatemala y sus Cabeceras: <https://aprende.guatemala.com/historia/geografia/departamentos-de-guatemala-cabeceras/>

Sanchez, E. (s.f.). *Change Makers*. Obtenido de Mejoramiento de viviendas para familias en extrema pobreza:

<https://www.changemakers.com/es/sustainableurbanhousing/entries/mejoramiento-de-viviendas-para-familias-en-extrema>

SE, N. (s.f.).

Truesdale, J. (s.f.).

## 17. Glosario

1. Distancia epicentral: Es la distancia medida en línea recta entre el epicentro y la estación de observación.
2. Epicentro: Es el punto situado verticalmente encima del hipocentro –es decir, en la superficie de la Tierra– únicamente se representa por latitud y longitud.
3. Falla: Es una fractura en las rocas a lo largo de la cual ha habido movimiento por lo menos en los últimos 10,000 años.
4. Hipocentro: Es el punto del interior de la Tierra de donde se origina la onda sísmica, y se localiza con latitud, longitud y profundidad.
5. Intensidad: Escala utilizada para medir la fuerza con que se sintió un sismo, o los daños ocasionados. La más utilizada actualmente es la Escala de Mercalli Modificada.
6. Latitud: Distancia medida hacia el Norte o el Sur, respecto al paralelo 0 (cero) –Ecuador– expresada generalmente en grados y minutos.
7. Longitud: Distancia medida hacia el Este o el Oeste, respecto al Meridiano de Greenwich expresada generalmente en grados y minutos.
8. Magnitud: Escala utilizada para medir el tamaño de un sismo, es decir, la cantidad de energía que liberó. La más conocida es la Escala de Richter.
9. Sismógrafo: Aparato que registra en papel la señal del sismómetro.
10. Sismograma: Gráfica producida por el sismógrafo que representa el movimiento del suelo.
11. Sismómetro: Instrumento mecánico o electrónico que detecta el movimiento del suelo ocasionado por las ondas sísmicas.
12. Terremoto: Cualquier movimiento sísmico de gran magnitud que produce daños de importancia en la infraestructura y pérdidas humanas.
13. Tiempo de origen: Es el instante en que el sismo se produce en el hipocentro.
14. Tiempo de recorrido: Es el lapso desde que se origina el sismo, hasta el arribo de las ondas sísmicas al punto de observación.
15. Tsunami: Es el resultado del movimiento sísmico del fondo oceánico transmitido a la masa del agua, produciendo las olas sísmicas marinas.
16. Zonificación sismo-genética: Delimita zonas con una geometría definida, las cuales responden a un patrón de sismicidad similar que lo caracteriza y distingue.