



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA  
INGENIERIA CIVIL – ESTRUCTURAS

**EVALUACIÓN DE EDIFICACIONES DE VIVIENDA ANTE LA  
INCIDENCIA DEL VIENTO**

**T E S I S**

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

**MAESTRO EN INGENIERÍA**

PRESENTA:

**JOSÉ LUIS SÁNCHEZ GONZÁLEZ**

TUTOR PRINCIPAL

**DR. OSCAR ALBERTO LÓPEZ BÁTIZ,**  
CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN DE DESASTRES

MÉXICO, D. F., JUNIO 2013



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

**JURADO ASIGNADO:**

Presidente: DRA. SONIA ELDA RUIZ GÓMEZ  
Secretario: DR. JUAN JOSÉ PEREZ GAVILÁN ESCALANTE.  
Vocal: DR. OSCAR ALBERTO LÓPEZ BÁTIZ.  
1<sup>er.</sup> Suplente: M. I. OCTAVIO GARCIA DOMÍNGUEZ  
2<sup>d o.</sup> Suplente: DR. EDUARDO REINOSO ANGULO

Lugar o lugares donde se realizó la tesis: CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN DE DESASTRES, (CENAPRED). MÉXICO D. F.

**TUTOR DE TESIS:**

DR. OSCAR ALBERTO LÓPEZ BÁTIZ

---

**FIRMA**

## DEDICATORIAS

Este logro lo dedico a Dios principalmente, pues sin él nada de esto hubiese sido posible, él fue quien me dio la sabiduría necesaria para poder desarrollar no solo este trabajo, sino que todo lo necesario para culminar esta etapa de mi vida. Su mano me ha sostenido a lo largo de toda mi carrera, este triunfo es gracias a él.

A mis padres Epifanio y Enedina, por el cariño y amor que durante cada instante de mi vida me han hecho sentir, así como por habernos dado a mí y a mis hermanos lo mejor que en sus manos han tenido, no solo cuestiones materiales sino la educación y valores que siempre nos inculcaron y que han constituido la base de nuestra familia. Lo mucho o poco que pueda alcanzar en mi vida, será gracias a ustedes.

A Bulmaro, Joel, Raúl, Patricia y Ricardo, por el apoyo que siempre me han brindado y el cariño que siempre ha existido entre nosotros, pero sobre todo por la confianza que como familia siempre hemos tenido.

A Laura, Mary y Luisito mi familia, por su cariño, ellos quienes fueron mi principal motivación, por su paciencia y apoyo en los momentos más difíciles, gracias por estar siempre y en todo momento.

A la familia, Aguirre Escobar, por brindarme su apoyo en cualquier instante, gracias a todos y cada uno de ustedes.

*Ing. José Luis Sánchez González.*

*Ciudad Universitaria, México, D.F., Junio 2013.*

## AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Autónoma de México y a la División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería por darme la oportunidad de ingresar a sus aulas, proporcionarme una sólida formación profesional y así dar un paso más en este largo camino de conocimientos y aprendizaje.

A mis profesores de aula quienes tuvieron la confianza en mí, por sus consejos y conocimientos que día con día en clase me regalaban, muy en especial al M. I. Octavio García Domínguez por haber creído en mí, por haberme dado la oportunidad de ingresar a mis estudios de Maestría ya que sin esa motivación y ese ímpetu que me obsequio, no me habría preparado ni terminado esta etapa tan importante de mi vida,.....gracias.

Al Dr. Oscar A. López Bátiz por haberme dado la oportunidad de desarrollar esta tesis y darme la oportunidad de trabajar con él, así como también conocer y aprender día con día un poco más, gracias por haberme brindado un poco de su tiempo y por tener siempre un momento para dedicarlo a la revisión de mi trabajo, pero sobre todo por compartirme sus conocimientos, ya que su ejemplo y dedicación me motivaron a culminar este trabajo, de antemano muchas gracias.

A todos mis compañeros de posgrado, a Salvador Barrios, Joel Aragón y al Sr. Pablo Olmos por su amistad y su apoyo moral, así como también a Raúl Sánchez García, José Barradas, Yasser Picasso, Josué Garduño, José Carson Torres, Samuel García Gutiérrez y Carlos Villaseñor, entre otros por el apoyo moral e incondicional que me brindaron día con día y que fueron de gran apoyo durante mi estancia en Posgrado.

Al Ing. José María Rioboo por permitir desarrollarme como profesionista en su empresa y al mismo tiempo llevar a acabo mis estudios de posgrado, por sus sabios consejos y por tener siempre un momento para escuchar mis inquietudes, pero sobre todo por permitirme conocer un poco más de su sencillez, de esa dedicación y ese espíritu que tiene en el conocimiento y profesionalismo de la ingeniería.

A la empresa GRUPO RIOBOO por permitirme ingresar a su equipo de trabajo, pero principalmente al Ing. Eleazar Sáenz Carretero por darme la confianza, la oportunidad y el tiempo necesario para culminar mis estudios, al M. I. José Carlos Arce Rioboo, Ing. Jorge Arturo López, Ing. Carlos Porrón Villasana, M. I. Salatiel Castellanos, M. I. Jaime Marcelino, M. I. Juan Reyes Alvarado, Ing. Cuauhtémoc Ríos y al Sr. Luis Monroy por sus valiosos consejos y el gran apoyo moral que me brindaron hasta este momento.

*Ing. José Luis Sánchez González.*

*Ciudad Universitaria, México, D.F., Junio 2013.*

---

---

# EVALUACION DE EDIFICACIONES DE VIVIENDA ANTE LA INCIDENCIA DEL VIENTO

## ÍNDICE

Página

<b>RESUMEN EJECUTIVO.....</b>	<b>I</b>
<b>INDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>II</b>
<b>INDICE DE TABLAS.....</b>	<b>IV</b>
<b>SIMBOLOGIA.....</b>	<b>VI</b>
<b>1. INTRODUCCION Y OBJETIVOS.....</b>	<b>1</b>
1.1. INTRODUCCION.....	1
1.2. OBJETIVOS Y ALCANCES.....	2
1.3. ORGANIZACIÓN DEL TRABAJO.....	2
<b>2. ASPECTOS GENERALES DEL VIENTO.....</b>	<b>3</b>
2.1. INTRODUCCION AL FENOMENO DE VIENTO.....	3
2.2. CARACTERISTICAS DE LA VELOCIDAD DE REYNOLDS.....	3
2.3. VARIACION DE LA VELOCIDAD CON LA ALTURA.....	4
2.4. CRITERIOS Y TRABAJOS PREVIOS DE LA VELOCIDAD MEDIA DEL VIENTO.....	5
2.4.1. PERFIL PROPUESTO POR DAVENPORT A. G.....	5
2.4.2. PERFIL LOGARITMICO.....	5
2.4.3. PERFIL PROPUESTO POR EL EUROCODE 1.....	6
2.4.4. PERFIL LOGARITMICO CORREGIDO.....	7
2.4.5. PERFIL POPUESTO POR EL CODIGO CANADIENSE (NBC 1990).....	7
2.5. VELOCIDAD DEL VIENTO EN FUNCION DE LA TOPOGRAFIA.....	8
2.6. VIENTO TURBULENTO.....	10
2.7. EFECTO DE RAFAGAS EN EL REGIMEN DE VELOCIDADES.....	10
<b>3. EFECTOS DEL VIENTO SOBRE LA EDIFICACION DE VIVIENDA.....</b>	<b>13</b>
3.1. INTRODUCCION.....	13
3.2. AERODINAMICA EN LA EDIFICACION.....	13
3.2.1. FLUJO DEL VIENTO ALREDEDOR DE LA EDIFICACION.....	13
3.2.2. EFECTO DE LA INCLINACION DEL TECHO.....	14
3.2.3. TECHOS EN VOLADIZO.....	15
3.3. VELOCIDAD DE DISEÑO DEL VIENTO.....	15
3.4. PRESION DE DISEÑO.....	18
3.4.1. PRESION DINAMICA.....	18
3.4.2. COEFICIENTES DE PRESION.....	19
3.4.3. PRESION INTERNA.....	22
<b>4. CRITERIOS PARA ANALIZAR LA ACCION DEL VIENTO SOBRE LA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDA.....</b>	<b>24</b>
4.1. INTRODUCCION.....	24
4.2. REGIONALIZACION DE LA REPUBLICA MEXICANA.....	24

4.3. ANALISIS COMPARATIVO DE DISEÑO DE MUROS POR VIENTO, MEDIANTE EL MANUAL DE COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD Y LAS NORMAS TECNICAS COMPLEMENTARIAS.....	26
4.3.1. COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD (CFE).....	26
4.3.2. NORMAS TECNICAS COMPLEMENTARIAS (NTC).....	30
4.3.3. COMENTARIOS.....	33
<b>5. EVALUACION DEL GRADO DE VULNERABILIDAD DE LA VIVIENDA DE BAJO COSTO ANTE EL EFECTO DEL VIENTO.....</b>	<b>36</b>
5.1. INTRODUCCION.....	36
5.2. ESTRUCTURAS MUY VULNERABLES.....	36
5.3. CONCEPTOS GENERALES DE VULNERABILIDAD Y ESCENARIOS DE RIESGO.....	38
5.3.1. CONCEPTOS GENERALES PARA EVALUAR LA VULNERABILIDAD.....	38
5.3.2. CONSTRUCCION DE ESCENARIOS.....	39
5.4. ASPECTOS GENERALES DE LA RESPUESTA DE LA VIVIENDA ANTE LA ACCION DEL VIENTO.....	40
5.4.1. REQUERIMIENTOS Y FUENTES DE INFORMACIÓN.....	40
5.4.2. EFECTOS QUE INFLUYEN EN LA VULNERABILIDAD SOBRE LA VIVIENDA.....	40
5.4.3. CLASIFICACIÓN DE LA VIVIENDA DE BAJO COSTO SEGÚN LA ACCIÓN DEL VIENTO.....	42
5.4.4. FORMATO DE LEVANTAMIENTO DE TIPOLOGÍA.....	44
<b>6. EVALUACION DEL NIVEL DE DAÑO EN VIVIENDAS AFECTADAS POR VIENTO.....</b>	<b>46</b>
6.1. INTRODUCCION.....	46
6.2. ESCALAS DE DAÑO POR VIENTO EN FUNCION DE SU VELOCIDAD.....	46
6.3. DAÑOS GENERADOS POR EFECTO DEL VIENTO.....	48
6.3.1. DAÑOS EN EDIFICACION DE VIVIENDA DE BAJO COSTO.....	48
6.4. CRITERIO SIMPLIFICADO PARA EVALUAR CUALITATIVAMENTE LA SUSCEPTIBILIDAD DE DAÑO DE LA VIVIENDA DE BAJO COSTO ANTE LA ACCION DEL VIENTO.....	51
6.4.1. CRITERIO CUALITATIVO PARA EVALUAR LA SUSCEPTIBILIDAD DE DAÑO DE LA VIVENDA DE BAJO COSTO ANTE LA ACCION DEL VIENTO.....	51
6.4.2. NIVELES DE PELIGRO POR VIENTO.....	52
6.4.3. APLICACIONES DEL INDICE DE SUSCEPTIBILIDAD DE DAÑO FISICO, $ISD_{VF}$ .....	55
6.4.4. CRITERIO PARA ESTIMAR EL ÍNDICE DE RIESGO DE FORMA CUALITATIVA.....	56
6.4.5. EJEMPLO DE APLICACIÓN: HURACAN ISIDORE.....	56
<b>7. EVALUACION MEDIANTE LA TEORIA DE PLACAS DE MUROS DE MAMPOSTERIA SUJETOS A FLEXION CON DIVERSAS CONDICIONES DE BORDE.....</b>	<b>63</b>
7.1. INTRODUCCION.....	63
7.2. ESTUDIOS DE TIMOSHENKO Y S. WOINOWSKY-KRIEGER.....	63
7.3. MODELACION MATEMATICA EN FLEXION DE PLACAS RECTANGULARES POR MOMENTOS REPARTIDOS A LO LARGO DE SUS BORDES.....	64
7.3.1. FLEXIÓN DE PLACAS RECTANGULARES CON DOS BORDES OPUESTOS SIMPLEMENTE APOYADOS, UNO LIBRE Y EL CUARTO EMPOTRADO.....	65
7.3.2. FLEXIÓN DE PLACAS RECTANGULARES CON TRES BORDES SIMPLEMENTE APOYADOS Y UNO EMPOTRADO.....	66
7.3.3. FLEXIÓN DE PLACAS RECTANGULARES CON DOS BORDES OPUESTO SIMPLEMENTE APOYADOS Y LOS OTROS DOS EMPOTRADOS.....	66
7.3.4. FLEXIÓN DE PLACAS RECTANGULARES CON TRES BORDES EMPOTRADOS Y EL CUARTO LIBRE.....	67

7.3.5. FLEXIÓN DE PLACAS RECTANGULARES EMPOTRADAS EN TODO EL CONTORNO.....	68
7.4. CARACTERÍSTICAS DE LOS MUROS ESTUDIADOS ANTE LA INCIDENCIA DEL VIENTO.....	69
7.5. ANÁLISIS DE MUROS ANTE LA INFLUENCIA DEL VIENTO CON DISTINTOS CASOS DE BORDE UTILIZANDO LA TEORIA DE PLACAS.....	70
7.5.1. MURO CON UN BORDE EMPOTRADO, DOS SIMPLEMENTE APOYADOS Y UNO LIBRE.....	71
7.5.2. MURO CON TRES BORDES SIMPLEMENTE APOYADOS Y UNO EMPOTRADO.....	73
7.5.3. MURO CON DOS BORDES SIMPLEMENTE APOYADOS Y DOS EMPOTRADOS.....	74
7.5.4. MURO CON TRES BORDES EMPOTRADOS Y UNO LIBRE.....	75
7.5.5. MURO CON CUATRO BORDES EMPOTRADOS.....	77
7.5.6. COMENTARIOS.....	78
7.6. ANALISIS DE MUROS DE MAMPOSTERIA SIMPLE Y CONFINADA ANTE LA INCIDENCIA DEL VIENTO.....	79
7.6.1. ANALISIS DE LA VELOCIDAD REGIONAL CON RESPECTO A LA ALTURA EN MUROS DE MAMPOSTERIA SIMPLE, (VELOCIDAD REGIONAL-ALTURA).....	79
7.6.2. ANALISIS DE LA ALTURA CON RESPECTO AL ESPESOR EN MUROS DE MAMPOSTERIA SIMPLES, (ALTURA-ESPESOR).....	80
7.6.3. ANALISIS DE LA VELOCIDAD REGIONAL CON RESPECTO A LA ALTURA EN MUROS CONFINADOS, (VELOCIDAD REGIONAL-ALTURA).....	82
7.6.4. ANALISIS DE LA VELOCIDAD REGIONAL EN DISTINTAS CIUDADES COSTERAS EN LA REPUBLICA MEXICANA, (VELOCIDAD REGIONAL-ANCHO).....	83
7.6.5. ANALISIS DEL ANCHO CON RESPECTO A LA ALTURA EN MUROS DE MAMPOSTERIA CONFINADOS EN CIUDADES COSTERAS, (ANCHO-ALTURA).....	85
<b>8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>88</b>
<b>APÉNDICES.....</b>	<b>92</b>
APÉNDICE A. TABLAS DE VULNERABILIDAD PARA DIFERENTES TIPOS DE ELEMENTOS Y VELOCIDADES REGIONALES.....	92
APÉNDICE B. TABLA DE VELOCIDADES REGIONALES EN LA REPUBLICA MEXICANA, COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD, (CFE-2008).....	105
<b>REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>107</b>

---

---

## RESUMEN EJECUTIVO

En esta tesis con objeto de reducir los daños en las viviendas de bajo costo ante la incidencia de fuertes vientos, producto de fenómenos meteorológicos extremos, se presenta una interpretación sencilla sobre el fenómeno que origina el viento, así como el efecto de éste sobre las construcciones.

Se señalan aspectos importantes para lograr un buen diseño y una construcción de mampostería de buena calidad. Primeramente se describen las características y los aspectos que identifican al viento, así como los efectos y comportamiento que tiene la vivienda cuando es afectada por este fenómeno, de esta manera se observa a la mampostería que es la comúnmente más usada en la vivienda de bajo costo, señalando así de acuerdo a cada tipo de vivienda, la vulnerabilidad y susceptibilidad de daño a la que estará sometida. Se dan los criterios y requisitos para evaluar y diseñar la vivienda ante la incidencia del viento presentando así las expresiones y especificaciones reglamentarias para llevar a cabo la revisión estructural. Se muestran ejemplos haciendo énfasis sobre los sistemas de mampostería existentes y más afectados por fuertes vientos que dañan en todo momento a la vivienda.

Se efectúa la revisión de resultados, de los trabajos referentes a resistencia ante la fuerza de viento sobre muros de mampostería, considerados de manera simple o bien considerando la presencia de elementos confinantes como son las dadas y castillos, con la finalidad de apreciar la diferencia que existe entre los resultados que se obtienen de aplicar la actual reglamentación para el diseño de estructuras por viento. También se establecen ecuaciones alternativas para la determinación de la resistencia ante el viento, con base en considerar la presión determinada por distintas velocidades regionales, sobre las superficies de la vivienda aplicando así conceptos sobre la teoría de placas. Además, se establece la comparación entre resultados obtenidos con las expresiones propuestas por la teoría de placas y los resultados obtenidos con la formulación de los reglamentos que aplican en la República Mexicana, con la finalidad de evaluar el análisis que existe entre ambas propuestas y que pueda servir de pauta para una modificación reglamentaria. De la misma forma se trata de analizar la reglamentación existente para los manuales dentro de la República Mexicana, como lo son el Reglamento de Construcciones del Distrito Federal y El Manual de Obras Civiles de la Comisión Federal de Electricidad, siendo estos los más importantes para el análisis por viento.

Finalmente, se presenta una serie de recomendaciones y soluciones ante el daño por viento en vivienda para la República Mexicana.

Ciudad Universitaria,  
México, D. F.  
2013.

## ÍNDICE DE FIGURAS

		Página
Figura 2.1	Variación de los valores de $n$ para diferentes tipos de turbulencia.....	4
Figura 2.2	Comparativa de Resultados Expresión Logarítmica–Datos Experimentales.....	6
Figura 2.3	Variación de la velocidad del viento con la altura de acuerdo al Eurocode 1.....	6
Figura 2.4	Comparación del Modelo Exponencial, el Modelo Logarítmico y el Modelo Logarítmico Corregido.....	8
Figura 2.5	Variación de Velocidad del Viento en Distintas Superficies.....	8
Figura 2.6	Velocidad del Viento a Distintas Alturas.....	9
Figura 2.7	Perfil de Velocidad Media y Ráfagas de Viento.....	9
Figura 2.8	Variación de la Velocidad Media del Viento con la Rugosidad del Terreno.....	10
Figura 3.1	Modelo de Flujo típico y Presiones en las Superficies.....	14
Figura 3.2	Torbellinos a lo Largo del Borde del Techo cuando el Viento Sopla hacia la Esquina.....	14
Figura 3.3	Áreas de Succiones Intensas.....	15
Figura 3.4	Valores para el coeficiente $S_3$ .....	17
Figura 3.5	Flujo Alrededor de un Plano Ancho .....	19
Figura 3.6	Distribución de presiones en función de la dirección del viento.....	20
Figura 3.7	Planta de Cubierta para coeficientes locales.....	22
Figura 3.8	Presiones internas en las construcciones.....	22
Figura 4.1	Análisis Estático de Viento, manual CFE .....	28
Figura 4.2	Análisis Dinámico de Viento, manual CFE .....	29
Figura 4.3	Análisis Estático de Viento, manual RCDF.....	31
Figura 4.4	Análisis Dinámico de Viento, manual RCDF.....	32
Figura 4.5	Variación de las fuerzas dinámicas y estáticas por Viento, manual NTC y CFE.....	35
Figura 5.1	Daños en muros de mampostería por efecto de viento .....	37
Figura 5.2	Daños y falla en muros de mampostería usados en bardas de colindancia.....	37
Figura 5.3	Falla por flexión del muro debido al giro de la cimentación en una estructura de mampostería confinada .....	38
Figura 5.4a	Función de vulnerabilidad para elemento con falla frágil .....	39
Figura 5.4b	Función de vulnerabilidad para elemento con falla dúctil .....	39
Figura 5.5	Representación esquemática del efecto de viento sobre una vivienda.....	41
Figura 5.6	Representación esquemática de la distribución de presiones .....	41
Figura 5.7	Formato para clasificar la vivienda empleando el criterio formal .....	45
Figura 6.1	Daño en vivienda de mampostería confinada con material precario en techo.....	49
Figura 6.2	Daño en la techumbre de edificación de vivienda tipología de la región, constituida a base de material precario en muros y techos.....	49
Figura 6.3	Falla de vivienda con material precario en techos y mampostería confinada en los muros.....	49
Figura 6.4	Daños en muros de mampostería confinada empleados como bardas de colindancia.....	50
Figura 6.5	Mapa de Isotacas de un periodo de retorno de 50 años, para estimar la Velocidad Regional a 10m de altura sobre el terreno.....	53

Figura 6.6	Mapa de Isotacas de un periodo de retorno de 200 años, para estimar la Velocidad Regional a 10m de altura sobre el terreno.....	54
Figura 6.7	Curvas de Isócronas para diferentes velocidades de viento registradas durante el Huracán Isidore en la península de Yucatán.....	58
Figura 7.1	Placa con dos bordes simplemente apoyados, uno libre y uno empotrado.....	65
Figura 7.2	Placa con tres bordes simplemente apoyados y uno empotrado .....	66
Figura 7.3	Placa con dos bordes simplemente apoyados y dos empotrados.....	67
Figura 7.4	Placa con tres bordes empotrados y uno libre .....	68
Figura 7.5	Placa con cuatro bordes empotrados .....	68
Figura 7.6	Muro de Mampostería Simple .....	70
Figura 7.7	Muro de Mampostería Confinado .....	70
Figura 7.8	Gráfica de resultados para un muro con dos bordes simplemente apoyados, uno libre y uno empotrado.....	72
Figura 7.9	Gráfica de resultados para un muro con un borde empotrado y tres simplemente apoyados .....	74
Figura 7.10	Gráfica de resultados para un muro con dos bordes empotrados y dos simplemente apoyados .....	75
Figura 7.11	Gráfica de resultados para un muro con tres bores empotrados y uno libre.....	76
Figura 7.12	Grafica de resultados para un muro con cuatro bordes empotrados .....	77
Figura 7.13	Gráfica general para muros con distintos tipos de apoyos en los bordes.....	78
Figura 7.14	Influencia del viento sobre las estructuras .....	79
Figura 7.15	Gráfica Velocidad Regional-Altura para Mampostería Simple.....	80
Figura 7.16	Gráfica Altura-Espesor para Mampostería Simple .....	81
Figura 7.17	Gráfica Velocidad Regional-Altura para Mampostería Confinada.....	82
Figura 7.18	Gráfica comparativa para Mampostería Simple y Confinada .....	83
Figura 7.19	Gráfica Velocidad Regional-Ancho de muro para distintas ciudades costeras.....	85
Figura 7.20	Gráfica Ancho-Altura con castillo de 15x15cm.....	86
Figura 7.21	Gráfica Ancho-Altura con castillo de 20x20cm.....	87
Figura A.1	Representación esquemática de los parámetros considerados para la función de Vulnerabilidad de techos de vivienda.....	92
Figura A.2	Representación esquemática de los muros de bardas aisladas, y de vivienda.....	93

## ÍNDICE DE TABLAS

		Página
Tabla 2.1	Parámetros para evaluar la expresión de Davenport .....	5
Tabla 2.2	Longitud de Rugosidad para Distintas Categorías de Terreno .....	5
Tabla 2.3	Parámetros del Eurocode 1 para el Cálculo del Perfil de Velocidades.....	7
Tabla 3.1	Valores para el coeficiente $S_1$ .....	16
Tabla 3.2	Valores para el coeficiente $S_2$ .....	16
Tabla 3.3	Coeficientes de presión para muros verticales y construcciones de forma rectangular.....	20
Tabla 3.4	Coeficientes de presión para cubiertas con ángulo de inclinación.....	21
Tabla 4.1	Criterio para elegir la Velocidad Regional (CFE).....	24
Tabla 4.2	Velocidades regionales (CFE).....	25
Tabla 4.3	Criterio para la Velocidad Regional (RCDF).....	26
Tabla 4.4	Obtención de las fuerzas Estáticas de Viento, manual CFE.....	28
Tabla 4.5	Obtención de las fuerzas Dinámicas de Viento, manual CFE .....	29
Tabla 4.6	Obtención de las fuerzas Estáticas de Viento, manual RCDF.....	31
Tabla 4.7	Obtención de las fuerzas Dinámicas de Viento, manual RCDF.....	32
Tabla 4.8	Comparación de los análisis Estático y Dinámico, manual RCDF y CFE.....	34
Tabla 5.1	Tipos de vivienda con base en información técnica.....	42
Tabla 6.1	Escala de categorización de eventos meteorológicos de Saffir-Simpson.....	47
Tabla 6.2	Escala de categorización de eventos meteorológicos de Fujita.....	47
Tabla 6.3	Niveles de Riesgo en la Vivienda .....	56
Tabla 6.4	Tipo de vivienda a base de muros de mampostería simple (muros de adobe).....	59
Tabla 6.5	Tipo de vivienda a base de muros de mampostería con refuerzo tradicional.....	60
Tabla 6.6	Tipo de vivienda a base de muros de mampostería con refuerzo pre-armado.....	60
Tabla 6.7	Resultado Global del Índice de Susceptibilidad de Daño para la Vivienda.....	60
Tabla 7.1	Flechas y Momentos flectores en placa uniformemente cargada con dos bordes simplemente apoyados, el tercer borde libre y el cuarto empotrado.....	65
Tabla 7.2	Flechas y Momentos en placa rectangular con un borde empotrado y tres simplemente apoyados.....	66
Tabla 7.3	Flechas y Momentos en placa rectangular con dos bordes simplemente apoyados y dos bordes empotrados .....	67
Tabla 7.4	Flechas, Momentos flectores y reacciones de placas rectangulares uniformemente cargadas con tres bordes empotrados y el cuarto libre .....	68
Tabla 7.5	Flechas y Momentos en placa rectangular uniformemente cargada con cuatro bordes empotrados .....	69
Tabla 7.6	Resultados de dimensiones y momentos en muros con dos bordes simplemente apoyados, uno libre y uno empotrado.....	72
Tabla 7.7	Resultados de dimensiones y momentos en muros con tres bordes simplemente apoyados y uno empotrado .....	73
Tabla 7.8	Resultados de dimensiones y momentos en muros con dos bordes simplemente apoyados y dos empotrados.....	74
Tabla 7.9	Resultados de dimensiones y momentos en muros con tres bordes empotrados y uno libre.....	76

Tabla 7.10	Resultados de dimensiones y momentos en muros con cuatro bordes empotrados...	77
Tabla 7.11	Alturas para Mampostería Simple en función de la Velocidad Regional.....	80
Tabla 7.12	Velocidades y presiones de viento para Muros Simples.....	81
Tabla 7.13	Alturas en función del esfuerzo y velocidad regional en mampostería simple.....	81
Tabla 7.14	Porcentaje de alturas en mampostería simple.....	82
Tabla 7.15	Comparación de Alturas para Mampostería Simple y Confinada.....	83
Tabla 7.16	Alturas para Mampostería Confinada en función de la Velocidad Regional.....	83
Tabla 7.17	Dimensiones para muros de Mampostería con castillos de 15cm x 15cm y acero de 3/8".....	84
Tabla 7.18	Dimensiones para muros de Mampostería con castillos de 15cm x 15cm y acero de 1/2".....	84
Tabla 7.19	Velocidades y presiones de viento para muros confinados.....	85
Tabla 7.20	Dimensiones de muros con castillo de 15cm x15cm en función de la velocidad Regional y la cantidad de acero.....	86
Tabla 7.21	Dimensiones de muros con castillo de 20cm x20cm en función de la velocidad Regional y la cantidad de acero.....	87
Tabla AP.1	Simbología para la tabla A.1 relacionada con los elementos techo.....	92
Tabla AP.2	Simbología para las tablas 1.A.1 a 1.A.4 relacionadas con los elementos muros de Adobe.....	93
Tabla AP.3	Simbología para las tablas 1.A.5 a 1.A.7 relacionadas con los elementos muros de Tabique con refuerzo de varilla .....	93
Tabla AP.4	Simbología para las tablas 1.A.8 a 1.A.10 relacionadas con los elementos muros de Tabique con refuerzo a base de elementos pre-armados .....	93
Tabla A.1	Vulnerabilidad de techos para diferentes velocidades regionales de viento.....	94
Tabla A.2	Vulnerabilidad de muros aislados (bardas de colindancia) de adobe, para diferentes velocidades regionales de viento .....	95
Tabla A.3	Vulnerabilidad de muros de adobe de vivienda con techo flexible, para diferentes velocidades regionales de viento.....	96
Tabla A.4	Vulnerabilidad de la vivienda hecha con muros de adobe de vivienda con techo rígido, para diferentes velocidades regionales de viento.....	97
Tabla A.5	Vulnerabilidad de muros aislados (bardas de colindancia) de tabique con refuerzo tradicional de varilla, para diferentes velocidades regionales de viento .....	98
Tabla A.6	Vulnerabilidad de muros de tabique con refuerzo tradicional de varilla para vivienda con techo flexible, para diferentes velocidades regionales de viento .....	99
Tabla A.7	Vulnerabilidad de la vivienda hecha con muros de tabique con refuerzo tradicional de varilla, con techo rígido, para diferentes velocidades regionales de viento.....	100
Tabla A.8	Vulnerabilidad de muros aislados (bardas de colindancia) de tabique con refuerzo pre-armado, para diferentes velocidades regionales de viento.....	102
Tabla A.9	Vulnerabilidad de muros de tabique con refuerzo pre-armado para vivienda con techo flexible, para diferentes velocidades regionales de viento.....	103
Tabla A.10	Vulnerabilidad de la vivienda hecha con muros de tabique con refuerzo pre-armado, con techo rígido, para diferentes velocidades regionales de viento.....	104
Tabla B.1	Velocidades Regionales, (Comisión Federal de Electricidad, 2008).....	105

## SIMBOLOGIA EMPLEADA

<b><math>A_{st}</math></b>	Área de acero del castillo.	<b><math>ISD_{TECHO}</math></b>	Índice que mide la vulnerabilidad del Techo de la Casa.
<b><math>A_t</math></b>	Área tributaria de entrepiso.	<b><math>ISD_{UH}</math></b>	Índice que mide la vulnerabilidad física de la Unidad-Habitación.
<b><math>a</math></b>	Ancho del muro en estudio.	<b><math>ISD_{VIVIENDA}</math></b>	Índice que mide la vulnerabilidad de la edificación con techo rígido.
<b><math>b</math></b>	Altura del muro en estudio.	<b><math>ISD_{VF-VS}</math></b>	Índice de susceptibilidad de daño de la Unidad-Habitación con la j-ésima propiedad.
<b><math>b_R</math></b>	Separación de vigas o largueros en cubiertas.	<b><math>I_z</math></b>	Índice de turbulencia.
<b><math>C_a</math></b>	Coeficiente de arrastre.	<b><math>K-1</math></b>	Castillo de 15cmx15cm.
<b><math>C_{at}</math></b>	Coeficiente que depende del aspecto topográfico.	<b><math>K-2</math></b>	Castillo de 20cmx20cm.
<b><math>C_p</math></b>	Coeficiente de presión que depende de la forma de la estructura.	<b><math>k</math></b>	Factor de topografía.
<b><math>C_{pe}</math></b>	Coeficiente de presión externa.	<b><math>M</math></b>	Momento flector.
<b><math>C_{pi}</math></b>	Coeficiente de presión interna.	<b><math>M_{cr}</math></b>	Momento flexionante resistente aplicado en la mampostería.
<b><math>C_r</math></b>	Coeficiente de ráfaga.	<b><math>M_R</math></b>	Momento flexionante resistente aplicado en el concreto.
<b><math>C^V(t)</math></b>	Función de Auto-covarianza.	<b><math>M_u</math></b>	Momento actuante último.
<b><math>c</math></b>	Ancho del castillo.	<b><math>M_x</math></b>	Momento con respecto a al eje x.
<b><math>D</math></b>	Espesor del muro en estudio.	<b><math>M_y</math></b>	Momento con respecto a al eje y.
<b><math>d</math></b>	Peralte efectivo del castillo.	<b><math>N_N</math></b>	Número de niveles de la edificación.
<b><math>F</math></b>	Fuerza actuante en el muro.	<b><math>N_T</math></b>	Número total de construcciones consideradas en el análisis.
<b><math>F_c</math></b>	Factor de tamaño de la estructura.	<b><math>N_{Tj}</math></b>	Número de viviendas con el j-ésimo tipo de construcción.
<b><math>F_g</math></b>	Factor de respuesta dinámica.	<b><math>N_{TIPOS}</math></b>	Número de tipos de construcción considerados en el análisis.
<b><math>F_{rz}, F_{TR}</math></b>	Factor de rugosidad y altura.	<b><math>n</math></b>	Parámetro de turbulencia.
<b><math>f_c</math></b>	Parámetro de la fuerza de Coriolis.	<b><math>P</math></b>	Intensidad de la presión.
<b><math>f'c</math></b>	Esfuerzo de resistencia del concreto.	<b><math>P_z</math></b>	Presión de entrepiso.
<b><math>ft</math></b>	Esfuerzo de ruptura de la mampostería.	<b><math>p</math></b>	Cuantía del acero de refuerzo longitudinal
<b><math>fy</math></b>	Esfuerzo de fluencia del acero.	<b><math>q</math></b>	Carga uniformemente distribuida actuando perpendicularmente al plano.
<b><math>G</math></b>	Factor de corrección por temperatura	<b><math>q_a</math></b>	Índice de refuerzo.
<b><math>H, h</math></b>	Altura de entrepiso de la estructura.	<b><math>q_d</math></b>	Intensidad de la presión dinámica.
<b><math>ISD</math></b>	Índice de susceptibilidad de daño.		
<b><math>ISD_{BC}</math></b>	Índice que mide la vulnerabilidad física de la Barda de Colindancia.		
<b><math>ISD_{EC}</math></b>	Índice que mide la vulnerabilidad física de la Casa.		
<b><math>ISD_G</math></b>	Índice que mide la susceptibilidad de daño en la Localidad.		
<b><math>ISD_{MURO}</math></b>	Índice que mide la vulnerabilidad de los Muros.		

---

$q_z$	Presión dinámica de base.
$S$	Separación de los puntos de fijación en láminas de cubierta.
$S_1$	Factor de influencia local topográfico.
$S_2$	Factor de rugosidad del entorno, duración de ráfagas al tamaño de la construcción y altura de la estructura.
$S_3$	Factor de vida útil del edificio.
$\tau_0$	Esfuerzo cortante en la superficie del suelo.
$u^*$	Velocidad de fricción definida
$V_{bas}$	Velocidad de diseño en un intervalo de observación de 10 minutos a una altura de 10m.
$V_D$	Velocidad de diseño.
$V_G$	Velocidad gradiente.
$V_m$	Velocidad media.
$V_R$	Velocidad regional.
$V_{re}$	Velocidad de Reynolds.
$V_t$	Velocidad total.
$V_z$	Velocidad media de viento a la altura z.
$z_G$	Altura gradiente.
$z_0$	Longitud de un vórtice formado por la fricción del aire y superficie del suelo.
$\alpha$	Exponente para definir la variación de la velocidad del viento con la altura.
$\beta_1$	Coeficiente para flexión de muros.
$\beta_2$	Coeficiente para flexión de muros.
$\beta_3$	Coeficiente para flexión de muros.
$\beta_4$	Coeficiente para flexión de muros.
$\beta_5$	Coeficiente para flexión de muros
$\delta$	Factor que representa la altura gradiente.
$\sigma$	Desviación estándar.
$\rho$	Densidad del aire.
$\rho^v(\tau)$	Función de Auto-correlación.
$\vartheta$	Velocidad angular de la tierra.
$\omega$	Flecha máxima de la placa.

# CAPITULO 1

## INTRODUCCION Y OBJETIVOS

### 1.1 INTRODUCCION.

Históricamente en nuestro país, al igual que en gran parte de los países en vías de desarrollo, se observan consistentemente daños en las edificaciones ante la incidencia de eventos naturales, como sismos y fenómenos meteorológicos. Dentro de las edificaciones mayormente afectadas se encuentran las viviendas de bajo costo, la mayoría de las cuales son de autoconstrucción y en ellas se emplean materiales de baja calidad, es decir, materiales que pueden denominarse como materiales de características “precarias”.

En cuanto a los fenómenos meteorológicos, el aspecto que mayormente genera daño es el viento. El viento, junto con la lluvia, es una de las principales manifestaciones de los fenómenos meteorológicos. Los vientos son movimientos horizontales de masas de aire debidos a diferencias de presión en las distintas zonas de la atmósfera y a la rotación terrestre. Estos movimientos ocurren constantemente; sin embargo, para el diseño estructural interesan esencialmente los vientos que tienen velocidades muy grandes y que se asocian a fenómenos atmosféricos excepcionales. En las diferentes regiones existen distintas probabilidades de que se presente la acción de vientos extraordinarios, dependiendo de la ubicación geográfica y de las condiciones topográficas locales, por ejemplo las costas del Golfo de México son afectadas en el verano y el otoño por huracanes que transitan de sur a norte y provocan vientos de muy altas velocidades. Al penetrar estos huracanes tierra adentro, pierden rápidamente su potencia; por lo tanto, la probabilidad de que se presenten vientos de muy altas velocidades es mucho menor en el interior del país que en las costas. El flujo de aire para estos fenómenos naturales no es uniforme debido a que los gradientes de temperatura y la rugosidad de la superficie del terreno causan turbulencias, provocando así un incremento en la inseguridad de la vivienda.

Para asegurar el funcionamiento de la vivienda, la vulnerabilidad ante los huracanes no debe limitarse a reducir solo los daños estructurales. Es necesario considerar la vivienda como un complejo conjunto integrado por elementos estructurales, no estructurales y funcionales. Esto permitirá que la estructura permanezca en pie. Entre estos elementos se encuentran los muros, las dadas, los castillos y los techos o cubiertas, entre otros. Su principal función consiste en absorber y transmitir diversos tipos de cargas (incluido el peso propio, o “peso muerto”, las cargas sísmicas, eólicas y de otra índole) hacia los cimientos, en donde el suelo las absorberá y neutralizará eficazmente, es por eso que uno de los propósitos fundamentales de este trabajo es conocer el comportamiento de los muros como elemento de seguridad en la vivienda. En este trabajo en particular se estudiarán los muros afectados por la incidencia del viento.

De los trabajos recientes, aparentemente no existen antecedentes respecto a la consideración de la contribución de los muros en la resistencia ante cargas laterales y sujetos a flexión fuera del plano. Existe además poca información acerca de una relación fundamental entre los elementos estructurales y los elementos no estructurales de una edificación. Ciertas fachadas arquitectónicas, por ejemplo pueden modificar sustancialmente el comportamiento esperado del sistema estructural de una vivienda, esto lleva a realizar un análisis de viento más exhaustivo, de no ser así la vivienda o el grupo de viviendas podrían tener un mayor riesgo de daño. Así, resulta evidente estudiar más a fondo las características y el comportamiento de la vivienda de bajo costo ante este fenómeno ya que este tipo de vivienda es la que resulta más afectada en cierto momento.

## 1.2 OBJETIVOS Y ALCANCES.

El propósito principal de este trabajo es dar a conocer a la población en general, y partes interesadas, que no necesariamente poseen conocimientos especializados en materia de riesgo en nuestro país, los principales efectos de los huracanes sobre los elementos principales y secundarios o no estructurales de una vivienda. Estos eventos que suelen estar acompañados de lluvias torrenciales, producen inundaciones y deslizamientos de terrenos. Las tormentas y marejadas pueden provocar daños a las estructuras construidas cerca de la costa. Sin embargo, el elemento característico de estos fenómenos son los vientos huracanados que, por lo general, son la causa directa o indirecta de la mayoría de los daños estructurales en edificaciones de vivienda de autoconstrucción. De ahí, que el presente documento aborde la vulnerabilidad de elementos estructurales en viviendas generalmente de bajo costo ante los efectos importantes del viento.

De manera general se pueden observar algunos de los objetivos que se pretenden al realizar el presente estudio. a) Establecer una comparativa entre la propuesta reglamentaria para diseño por viento del Reglamento de Construcciones del Distrito Federal y lo que sucede en la revisión del método para el Manual de Obras Civiles de la Comisión Federal de Electricidad, para lo cual se revisan algunos de los resultados obtenidos. b) Aprovechar los conceptos de la teoría de placas para el planteamiento teórico y matemático del fenómeno de resistencia a flexión, al considerar diferentes tipos de apoyos. c) Obtener en forma genérica el comportamiento de falla para el sistema de muros, con base en las relaciones altura-ancho de los muros ( $b/a$ ); así como valorar su comportamiento ante distintas velocidades de viento. d) Establecer en base a las características de la vivienda un índice que nos permita aproximarnos al daño que se pueda ocasionar al tener contacto con altas velocidades de viento.

Para poder efectuar una adecuada predicción del comportamiento en conjunto de la vivienda, se hace una revisión de trabajos relativos al tema realizados con anterioridad; se presenta un panorama global de los estudios que han sido presentados en publicaciones, en los cuales se presenta la información necesaria para conocer de manera detallada el fenómeno de Viento.

## 1.3 ORGANIZACIÓN DEL TRABAJO.

El trabajo está dividido en ocho capítulos. En el capítulo 1, se hace una breve introducción acerca del comportamiento de las estructuras de vivienda y su relación con el viento. En el capítulo 2, se presenta una descripción de la naturaleza y de las características fundamentales de las masas de aire. En el capítulo 3, se describe la evaluación y el comportamiento de la vivienda ante la incidencia del viento. En el capítulo 4, se dan los criterios y procedimientos de diseño que se requieren para analizar la acción del viento en la República Mexicana haciendo una comparativa de los reglamentos existentes en nuestro país. En el capítulo 5, se dan a conocer los aspectos generales de la vulnerabilidad de la vivienda ante el viento. En el capítulo 6, se informa acerca de la susceptibilidad a sufrir daño en la vivienda cuando se ve afectada por vientos extremos. En el capítulo 7, se realiza mediante la Teoría de Placas, una evaluación en los muros de mampostería afectados por el viento y sujetos a diversas condiciones de borde. Finalmente en el capítulo 8, se presentan las conclusiones y recomendaciones obtenidas de este trabajo.

## CAPITULO 2

### ASPECTOS GENERALES DEL VIENTO

#### 2.1 INTRODUCCION AL FENOMENO DE VIENTO.

Existe evidencia de que el viento es parte de la circulación general de la atmosfera, la cual es producto de la acción de la gravedad en masas de aire de diferente densidad y de gradientes térmicos. La temperatura de las capas bajas de aire depende de la radiación solar ya que esta calienta la superficie de la tierra y los mares, en un efecto que disminuye con la altura y establece un gradiente de presión. De acuerdo con las referencias [18], [24], el viento circula desde los puntos de alta presión barométrica hacia los puntos de baja presión; la intensidad del movimiento depende del gradiente barométrico y de la latitud geográfica. Si la tierra no girase, el viento se dirigiría siempre del centro de altas al centro de bajas presiones, sin embargo la rotación del planeta desvía los vientos del hemisferio boreal hacia la derecha, y los del hemisferio austral hacia la izquierda, para dar lugar a presiones perpendiculares al flujo del aire definidas como acción de Coriolis [14], [24]. La aceleración de Coriolis, la presión atmosférica y la fuerza centrífuga debida a la rotación del planeta, afectan de manera combinada el flujo de aire y dan lugar a corrientes de distintas características, localizadas a diferentes alturas dentro de la atmosfera. Esto produce el movimiento de las masas de aire que se conoce como viento.

#### 2.2 CARACTERISTICAS DE LA VELOCIDAD DE REYNOLDS.

Hoy en la actualidad se tienen dispositivos que miden el nivel de la velocidad del viento en algún punto de la atmosfera, así como el registro de la dirección en cada instante, estos son empleados para conocer la velocidad del viento medio y de las ráfagas que se presentan a través del tiempo. La velocidad que representa la influencia de las ráfagas en la velocidad total se conoce como Velocidad de Reynolds. La velocidad del viento representa variaciones al contacto con superficies. En superficies paralelas a la corriente, se tienen fuerzas de fricción proporcionales a la viscosidad del aire, que se oponen a las fuerzas de inercia generadas por la aceleración de las masas de aire, que disminuyen con la distancia a la superficie [24]. La relación entre las fuerzas de inercia y las viscosas se conoce como numero de Reynolds; un valor alto de este número indicaría que la viscosidad no es significativa; sin embargo, en las regiones cercanas al suelo, donde la topografía da lugar a variaciones importantes en la velocidad del viento, se tienen efectos viscosos significativos. Esta región se conoce como capa limite y se caracteriza porque el viento total se puede describir en términos de su valor medio ( $V_m$ ) y su valor variable en el tiempo ( $V_R$ ), ecuación (2.1); este último se denomina velocidad de Reynolds. Para caracterizar la turbulencia se recurre al concepto de desviación estándar ( $\sigma$ ), la cual es la raíz cuadrada de la varianza de la velocidad de Reynolds (donde  $V_m$ =Velocidad Media,  $V_R$ =Velocidad de Reynolds).

$$V_t = V_m + V_R \dots\dots\dots(2.1)$$

Al asumir que el terreno presenta uniformidad en su topografía, se tendrá un flujo horizontalmente homogéneo. De acuerdo con esto la *desviación estándar* de la velocidad de Reynolds solo depende de la altura sobre el suelo; su valor es prácticamente cero a gran altura, aunque resultados experimentales realizados por Davenport, Harris y Armitt [18], muestran que la desviación estándar usualmente decrece con la altura de manera muy suave hasta la altura de estructuras ordinarias. Para alturas que oscilan entre 100 y 200 metros en promedio, la desviación estándar de la velocidad de Reynolds es aproximadamente:

$$\sigma = Au^* \dots\dots\dots(2.2)$$

donde  $A \approx 2.5$  si la longitud rugosa del suelo  $z_0 = 0.05m$ ,  $A \approx 1.8$  si  $z_0 = 0.3m$  y  $u^*$  es la velocidad de fricción definida en 2.4.2. La *intensidad de turbulencia*  $I_z$  para la componente turbulenta en dirección del viento se define como:

$$I_z = \sigma_z / V_m \dots\dots\dots(2.3)$$

donde  $\sigma_z$  y  $V_m$  son la desviación estándar y velocidad media a una altura  $z$ . El índice de turbulencia  $I_z$  es una medida de la variabilidad de la velocidad de Reynolds en el intervalo de observación.

### 2.3 VARIACION DE LA VELOCIDAD CON LA ALTURA.

Existe evidencia de que al cambiar los gradientes térmicos en la vecindad de la superficie terrestre se generan cambios significativos en la estratificación de las masas de aire. El viento que se mueve libremente bajo la influencia de esos gradientes de presión se denomina *viento gradiente*, el cual está libre además de los esfuerzos cortantes que resultan de su interacción con la superficie que habitamos. Cerca del suelo el viento es retardado por la fricción con la superficie, y parte de su energía se disipa mediante turbulencia. La disminución de velocidad del viento cuando entra en contacto con el suelo es gradual, tomando como punto de referencia la altura donde se ha registrado la menor velocidad. Gran cantidad de investigación se ha obtenido para determinar el cambio de velocidad del viento con la altura, encontrado así que la pérdida de velocidad se manifiesta en cualquier superficie con variaciones de tipo local. El estudio del viento se ha desarrollado bajo la hipótesis de que tiene dos componentes de velocidad: velocidad media y turbulenta [18], [24], las cuales al ser combinadas dan lugar a la velocidad total. La velocidad media es considerada invariable en el tiempo, por lo que su efecto sobre las estructuras se representa a través de fuerzas estáticas orientadas en la dirección del flujo, con una variación en la altura debida a la fricción del viento con el suelo: la velocidad media es cero a una altura  $z_0$  sobre el terreno y máxima a la altura  $z_G$ , donde se localiza el viento gradiente. Mediante planteamientos estadísticos de correlación entre velocidades verticales y horizontales, al considerar el intercambio de energía entre diversas capas pero considerando que la capa permanece constante y que la correlación es decreciente con la altura, se puede establecer la siguiente ecuación (2.4) que controla la variación horizontal de la velocidad media del viento, en función de la altura  $z$ .

$$M = \left(\frac{\partial u}{\partial z}\right)^{4-3n} \left(\frac{\partial^2 u}{\partial z^2}\right)^{2n-2} \dots\dots\dots(2.4)$$

donde  $M$  es una constante,  $u$  es la velocidad media horizontal,  $n$  es el parámetro que mide la turbulencia  $0 < n \leq 1$ .

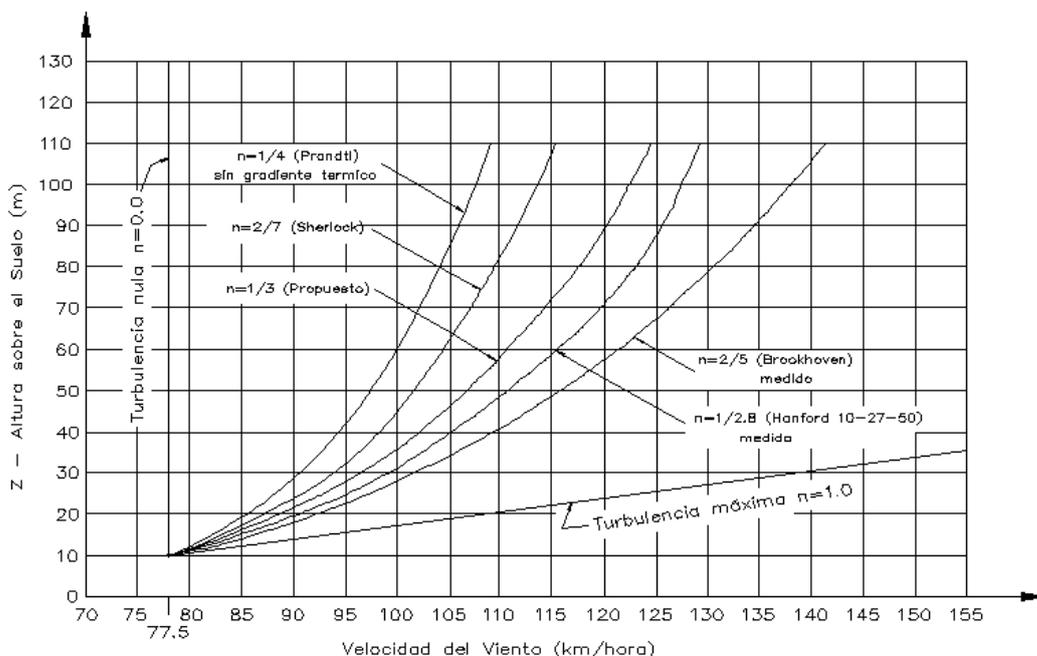


Figura 2.1. Variación de los valores de  $n$  para diferentes tipos de turbulencia.

Se puede demostrar por sustitución que la función  $u = QZ^{\frac{n}{2-n}} \dots\dots\dots(2.5)$ , satisface la ecuación diferencial, donde  $Q$  es una constante,  $Z$  es la altura del terreno y  $n$  es el parámetro que

mide la rugosidad del terreno. De la ecuación anterior (2.6) considerando una atmosfera donde la covarianza entre velocidades disminuya con la altura, es posible definir que:

$$V_z = V_{10} \left( \frac{Z}{10} \right)^{2-n} \dots\dots\dots(2.6)$$

donde  $n$  como ya se dijo es un parámetro que oscila entre 0 y 1 (figura 2.1), se han desarrollado varios modelos para representar la variación de la velocidad media con la altura, algunos de los cuales forman parte de las recomendaciones de diseño de códigos para diseño por viento [16], [12].

## 2.4 CRITERIOS Y TRABAJOS PREVIOS DE LA VELOCIDAD MEDIA DEL VIENTO.

### 2.4.1 PERFIL PROPUESTO POR DAVENPORT A. G.

Davenport A.G. [12] propone representar el perfil de velocidad de viento medio, mediante la siguiente función exponencial, donde  $z_G$  es la altura gradiente y  $\alpha$  un coeficiente que depende de la rugosidad de la superficie  $k$ , (tabla 2.1):

$$V_z = V_G \left( \frac{z}{z_G} \right)^\alpha \dots\dots\dots(2.7)$$

Tipo de Superficie	Exponente $\alpha$	Altura Gradiente $z_G$ (m)	Factor de Topografía $k$
a) Campos abiertos planos como playas, praderas, etc.	0.16	900ft = 274.5	0.005
b) Terreno uniformemente cubierto con una altura de 10-15 m de altura, suburbios y pequeños poblados.	0.28	1300ft = 396.5	0.015
c) Terreno con grandes irregularidades en la superficie como centros de grandes ciudades donde se dan construcciones de gran tamaño.	0.40	1400ft = 427	0.05

Tabla 2.1. Parámetros para evaluar la expresión de Davenport, (Martínez P., 2001).

### 2.4.2 PERFIL LOGARITMICO.

En Europa el perfil de la velocidad media variable con la altura, se puede obtener al aplicar el resultado de la teoría de Kolmorovov, que se puede representar con la función de tipo logarítmico, ecuación (2.8).

$$V_z = \frac{u^*}{k} \ln \left( \frac{z}{z_0} \right) \dots\dots\dots(2.8)$$

donde en esta expresión  $k=0.4$  (constante adimensional de Von Kármán),  $z$  es la altura sobre la superficie,  $z_0$  es la longitud de rugosidad del suelo,  $V_z$  es la velocidad media del viento a una altura  $z$  y  $u^*$  es la velocidad de fricción definida como  $\varepsilon/(kz)$ ; los valores de  $\varepsilon$ , se muestran en la tabla 2.3, mientras que la tabla 2.2 contiene valores de  $z_0$  para distintos tipos de terreno.

Longitud de Rugosidad $z_0$ (m)	Tipo de Terreno
$10^{-5}$	- Hielo plano
$10^{-4}$	- Mar abierto sin olas
$10^{-3}$	- Zona costera, viento en la playa
0.01	- Campo abierto con poca vegetación y construcciones
0.05	- Áreas agrícolas con pocas construcciones y rompe-vientos
0.03	- Villas y zonas agrícolas con alta densidad de rompe-vientos
1 a 10	- Zona urbana

Tabla 2.2. Longitud de Rugosidad para Distintas Categorías de Terreno, (Dyrbye C., 1997).

La longitud  $z_0$  puede ser interpretada como el tamaño de un vórtice formado por la fricción en el aire y la superficie del suelo, de manera que para alturas menores a este valor, se considera velocidad media igual a cero. De acuerdo con [14], se ha observado que la función logarítmica coincide con registros de campo hasta una altura determinada, fuera de este límite de velocidad es

conservador e impreciso (figura 2.2); en 1980 Harris y Daves desarrollaron una expresión que proporciona mejores resultados.

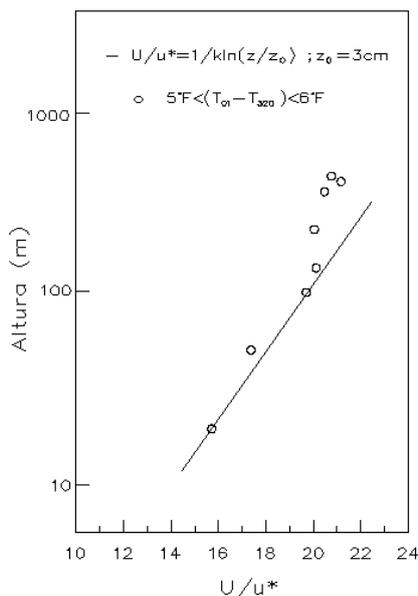


Figura 2.2. Comparativa de Resultados Expresión Logarítmica – Datos Experimentales, (Ghiocel Dan, 1975).

### 2.4.3 PERFIL PROPUESTO POR EL EUROCODE 1.

Este código propone el perfil logarítmico para calcular la velocidad media al tomar en cuenta la limitación de altura señalada [2.8] para los siguientes intervalos

$$V_z = V_{bas} k_T \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \quad z_{\min} \leq z \leq 200m \quad \dots\dots(2.9a)$$

$$V_z = V(z_{\min}) \quad z < z_{\min} \quad \dots\dots(2.9b)$$

donde  $V_{bas}$  es la velocidad del viento de referencia. La tabla 2.3 nos muestra los valores de  $k_T$ ,  $z$ ,  $z_0$  y  $\alpha$  para distintos tipos de terreno; el exponente  $\alpha$  (no incluida en el Eurocode 1), es usado en el código NBC para calcular el perfil de velocidad media, sección 2.4.5. La relación  $V_z/V_{bas}$  se muestra en la siguiente figura 2.3 para las cuatro categorías del Eurocode 1.

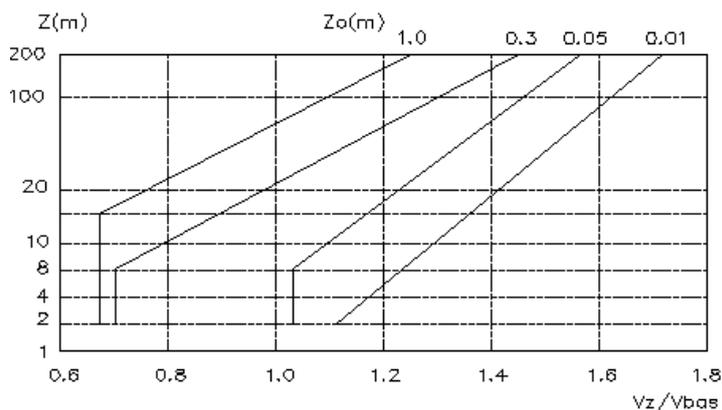


Figura 2.3. Variación de la velocidad del viento con la altura de acuerdo al Eurocode 1, (Lungu Dan, 1975).

El código establece una velocidad de diseño  $V_{bas}$  correspondiente a un intervalo de observación de 10 minutos a una altura de 10m sobre el nivel del suelo, una longitud de rugosidad  $z_0=0.05m$  y una probabilidad de excedencia anual de 0.02, (periodo de retorno de 50 años). La ecuación (2.10) define  $V_{bas}$  de la manera siguiente:

$$V_{bas} = c_{DIR} c_{TEM} c_{ALT} V_{bas0} \dots\dots\dots(2.10)$$

- dónde:
- $C_{DIR}$  Factor de Dirección. Toma en cuenta el cambio del valor de velocidad con su dirección.
  - $C_{TEM}$  Factor Temporal. Considera etapas constructivas de la estructura.
  - $C_{ALT}$  Factor de Altitud. Toma en cuenta la altitud del sitio.
  - $V_{bas'0}$  Valor básico de  $V_{bas}$ .

El Eurocode 1, proporciona valores de  $V_{bas'0}$  para diferentes países europeos, los cuales oscilan entre 19 y 36 m/s.

Categoría del Terreno		$k_T$	$z_0 (m)$	$z_{min} (m)$	$\epsilon$	$\alpha$
I	- Mar abierto, tierra plana, sin obstáculos	0.17	0.01	2.0	0.13	0.12
II	- Campos de cultivo, cercados con construcciones, arboles ó estructuras de pequeña dimensión	0.19	0.05	4.0	0.26	0.16
III	- Áreas suburbanas o industriales, bosques	0.22	0.3	8.0	0.37	0.22
IV	- Áreas urbanas donde al menos 15% de la superficie está cubierta por edificios con una altura media mayor a 15m	0.24	1.0	16.0	0.46	0.30

Tabla 2.3. Parámetros del Eurocode 1 para el Cálculo del Perfil de Velocidades, (Eurocode 1, 1995).

#### 2.4.4 PERFIL LOGARITMICO CORREGIDO.

La expresión (2.8) usada en el Perfil Logarítmico no es aplicable para grandes alturas. Una expresión más precisa basada en el modelo matemático realizado por Harris y Deaves en 1980, proporciona mejores resultados siendo esta la siguiente

$$V_z = \frac{u^*}{k} \left[ \ln \left( \frac{z-d}{z_0} \right) + 5.75a - 1.88a^2 - 1.33a^3 + 0.25a^4 \right] \dots\dots\dots(2.11) \quad \text{donde} \quad a = \frac{z-d}{z_G}$$

con  $z$ ,  $z_G$  y  $d$  en unidades de longitud ( $L$ ), y  $V_z$  en ( $L/T$ ).

El parámetro  $d$  en (2.11) representa la altura sobre el suelo a partir de la cual se mide  $z_0$  (tabla 2.3) en [14] se dan las expresiones para calcular  $d$ , para el caso particular en que un grupo de obstáculos cambia el perfil de velocidades, de manera que este es considerado con un valor nulo por debajo de  $z_0+d$ . La altura gradiente  $z_G$  se define en (2.12),  $z$  es la altura sobre el suelo y  $f_c$  es el parámetro de la fuerza de Coriolis. En (2.15)  $\vartheta$  es la velocidad angular de la tierra ( $7.27e-5$  rad/seg) y  $\lambda'$  es la latitud (como ejemplo, la latitud Greenwich es  $51^\circ$ ), y  $u^*$  es la velocidad de fricción definida en como  $(\tau_0/\rho)^{1/2}$ ,  $\tau_0$  es el esfuerzo cortante en la superficie del suelo y  $\rho$  es la densidad del aire.

$$z_G = \frac{u^*}{6f_c} \dots\dots\dots(2.12) \quad f_c = 2\vartheta \text{sen} \lambda' \dots\dots\dots(2.13)$$

#### 2.4.5 PERFIL POPUESTO POR EL CODIGO CANADIENSE (NBC 1990).

Este código [25] propone un modelo de potencia semejante al modelo empírico de Davenport [12] en él se tiene que:

$$V_Z = V(z_{ref}) \left( \frac{z}{z_{ref}} \right)^\alpha \dots\dots\dots(2.14)$$

donde  $z_{ref}$  es una altura de referencia que normalmente corresponde a 10 metros. Los valores del exponente  $\alpha$  se observan en la tabla 2.3.

En este modelo, al considerar  $z_0=0.05m$  se obtiene resultados comparables con el perfil logarítmico del Eurocode 1. Esto se aprecia en la figura 2.4, donde se ha considerado  $z_0=0.05m$ , latitud de  $50^\circ$  y un exponente  $\alpha=0.16$ , en la figura incluye el perfil logarítmico corregido calculado para una velocidad de fricción  $u^*=2.0$  m/s.

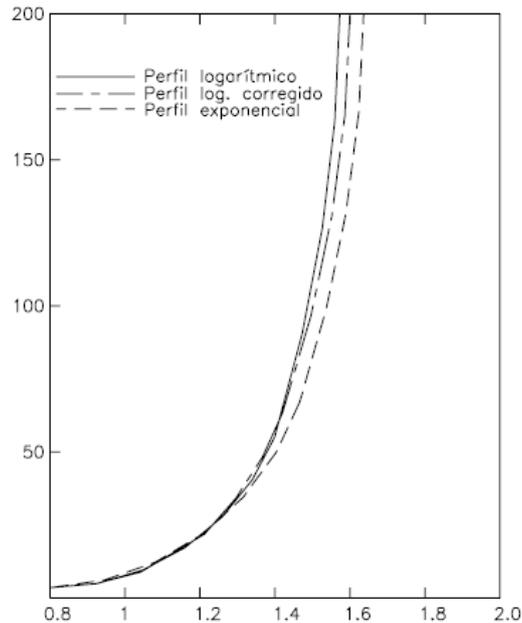


Figura 2.4. Comparación del Modelo Exponencial, el Modelo Logarítmico, el Modelo Logarítmico Corregido, (NBC. National Research Council of Canada).

**2.5 VELOCIDAD DEL VIENTO EN FUNCION DE LA TOPOGRAFIA.**

La intensidad de la presión en algún punto de un obstáculo depende de la velocidad e intensidad del flujo del viento, del ángulo con el que llega y de la forma y rigidez de los mismos obstáculos. Si el flujo del aire no encuentra un obstáculo, este se mueve bajo la acción del gradiente de presión con una velocidad la cual es conocida como velocidad gradiente. Este hecho es debido a la fricción que se presenta con la irregularidad de la superficie del suelo, el flujo de aire es detenido en su proceso en docenas y aun en cientos de metros sobre el suelo. La rapidez disminuye en comparación con el flujo libre, las ráfagas y vórtices son agregados al flujo. De esta forma el flujo de aire se hace turbulento. A través de la investigación [18] y [19] se ha encontrado una clara relación entre la velocidad del viento y el tipo de superficie en que circula. La velocidad del aire es mayor en zonas con poca densidad de construcciones y terrenos planos, mientras que en zonas de alta densidad de construcción, (centro de grandes ciudades), es notable la disminución de velocidad media de viento y el incremento de turbulencia

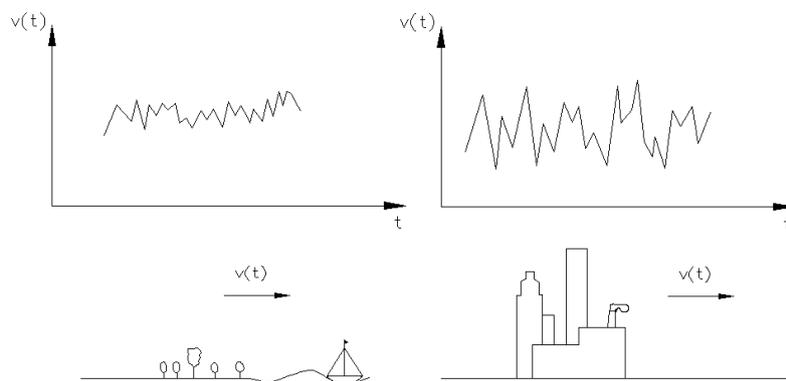


Figura 2.5. Variación de Velocidad del Viento en Distintas Superficies, (Ghiocel Dan, 1975)

En las figuras 2.5 se presentan dos registros de velocidad que muestran cómo afecta la topografía del sitio a la velocidad del viento. Las gráficas de velocidad de viento para una misma altura en dos sitios con diferente grado de rugosidad, muestran que la amplitud y frecuencia de la velocidad de Reynolds en un intervalo de tiempo son menores en el sitio con pocos obstáculos en

comparación con la zona de alta densidad de construcción. Se observa también que la velocidad media es mayor en la zona con pocas obstrucciones. La figura 2.6 presenta varios registros de velocidad para un solo lugar en tres distintas alturas. Se observa claramente que la velocidad media se incrementa con la altura y las fluctuaciones de velocidad máxima respecto a la velocidad media (turbulencia) decrecen.

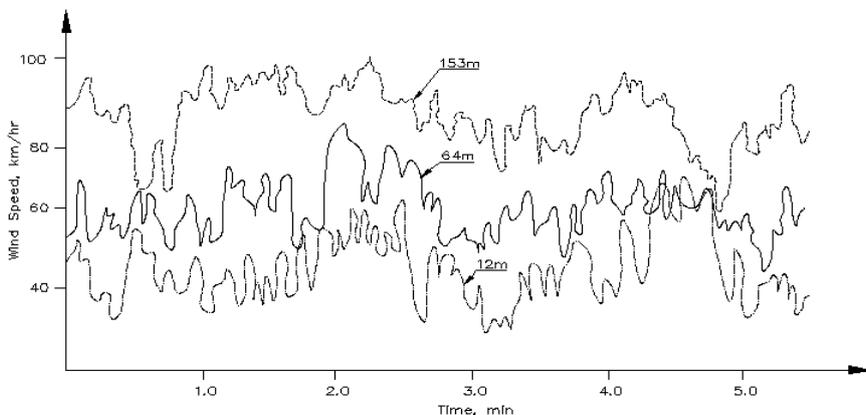


Figura 2.6. Velocidad del Viento a Distintas Alturas, (Ghiocel Dan, 1975).

En la figura 2.7 se muestra un perfil de turbulencia-altura sobre el suelo, donde se observa que sobre la altura gradiente  $z_G$ , la influencia de rugosidad del suelo es despreciable y el aire se mueve solo bajo la influencia de los gradientes de presión; en esta zona, la velocidad del viento se denomina velocidad gradiente  $V_G$ . Davenport propone para distintos terrenos la expresión (2.15) (figura 2.8) para calcular la velocidad media a una altura  $z$  en función de la velocidad gradiente:

$$V_z = V_G \left( \frac{z}{z_G} \right)^\alpha \dots\dots\dots(2.15)$$

De igual manera en la tabla 2.1 se aprecian los valores de  $z_G$  y  $\alpha$  para diferentes tipos de superficie. Una expresión útil para calcular el perfil de velocidad media se conoce como Aproximación Clásica y está normalizada con registros de velocidad media a una altura de 10 m sobre el terreno (donde  $V_{10}$  es la Velocidad registrada a una altura de 10m y 10 es la altura a estudiar en metros).

$$V_z = V_{10} \left( \frac{z}{10} \right)^\alpha \dots\dots\dots(2.16)$$

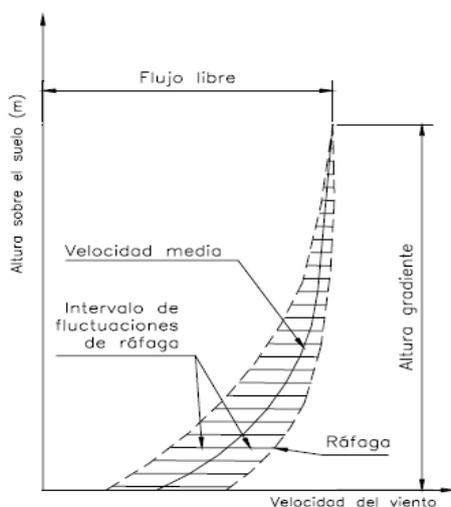


Figura 2.7. Perfil de Velocidad Media y ráfagas de Viento, (Lungu Dan, 1975).

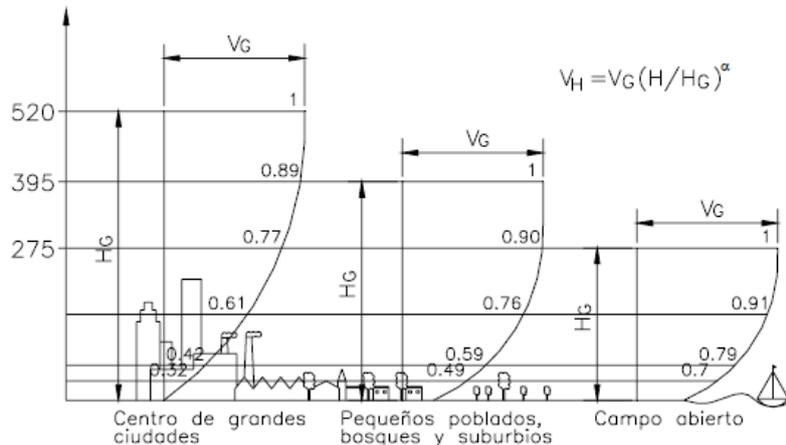


Figura 2.8. Variación de la Velocidad Media del Viento con la Rugosidad del Terreno, (Eurocode 1, 1995).

## 2.6 VIENTO TURBULENTO.

La estructura del viento en la vecindad de la superficie terrestre (por debajo de la región de viento gradiente), presenta corrientes ortogonales al flujo principal provocadas por cambios en la velocidad del viento, variación en la densidad del aire y la interacción con la superficie del lugar. En la vecindad de la superficie se han hecho mediciones en torres instrumentadas [19], [26], para describir los cambios de velocidad en distintos instantes de medición y se ha encontrado que en los primeros 75m sobre el terreno, hay una notable turbulencia. Si las corrientes de viento no encuentran obstáculos, se mueven bajo la acción de los gradientes de presión con una velocidad conocida como velocidad gradiente. Sin embargo, cerca de la superficie de la tierra se presenta un fenómeno de fricción con el suelo el flujo del aire es detenido en docenas o aun en cientos de metros sobre el nivel del terreno, por lo que la velocidad es menor que la velocidad gradiente. Por otro lado, incluyendo efectos de ráfagas y vórtices de aire, el flujo se hace turbulento. La turbulencia del viento se ha idealizado para su estudio con componentes en tres dimensiones: longitudinal, lateral y vertical; las fluctuaciones más importantes ocurren en la dirección principal de viento. La amplitud y frecuencia de estas fluctuaciones dependen de la densidad de obstrucciones en la tierra.

## 2.7 EFECTO DE RAFAGAS EN EL REGIMEN DE VELOCIDADES.

A partir de modelos físicos de vientos altos, de acuerdo a la información obtenida en [19], se ha podido establecer que las ráfagas dependen de dos parámetros, que son la velocidad media horaria del viento y la rugosidad de la superficie. La velocidad del viento en un punto arbitrario puede ser definida de forma vectorial como la suma de la rapidez media del viento (escalar) y el vector de velocidad de la ráfaga en sus tres componentes escalares relativas.

$$V(x_1, x_2, x_3; t) = \bar{V}(x_3) + v(x_1, x_2, x_3; t) \dots \dots \dots (2.17)$$

Cuando no existen ráfagas, ni el cambio en la dirección del viento, se puede asumir que la velocidad media horaria del viento es una cantidad escalar y es una función de la altura sobre el suelo. Las propiedades en tiempo promedio del vector de ráfaga, corresponden a las registradas por un instrumento colocado en la dirección del viento. Por lo que en forma vectorial en función del tiempo se puede expresar como:

$$v(t) = [v_1(t) + v_2(t) + v_3(t)] \dots \dots \dots (2.18)$$

siendo la rapidez de la ráfaga, el módulo de dicho vector:

$$|v(t)| = \sqrt{v_1^2(t) + v_2^2(t) + v_3^2(t)} \dots \dots \dots (2.19)$$

Se ha observado que la variación de la velocidad estándar de la rapidez de ráfaga con la altura decrece muy lentamente con la misma, mostrando que la turbulencia y por consiguiente la rapidez de ráfaga tiende a cero a alturas que se acercan a la altura gradiente.

Davenport desarrollo un amplio estudio de las propiedades promedio de la rapidez de ráfagas, a partir de múltiples registros de varias partes del mundo, con lo que pudo deducir expresiones para cada una de las propiedades promedio relevantes de la rapidez de ráfagas, válidas para todo tipo de terreno y todos los niveles de altura de la rapidez del viento. Estas expresiones implican a la rapidez media horaria del viento, así como a un coeficiente de rugosidad del terreno (k). Posteriormente Harris modifico el tratamiento obtenido por Davenport, llegando a la siguiente expresión para la desviación estándar de la rapidez de ráfaga. Donde  $\sigma(v)$  es invariante con la altura:

$$\sigma(v_1) = 2.58k^{1/2}\bar{V}_{10} \approx \sigma(v).....(2.20)$$

Escribiendo la ley de potencia para el incremento de la rapidez media del viento con la altura en términos del gradiente de rapidez del viento, donde  $V_G$  depende solo del mapa de isobaras y es independiente del terreno, esta expresión queda:

$$\sigma(v) = 2.58k^{1/2}\left(\frac{10}{z_G}\right)^\alpha \bar{V}_G.....(2.21)$$

Con los valores propuestos de Davenport para k y  $z_G$  y para varios tipos de terreno, en la expresión anterior se puede obtener para:

*Campo abierto:*  $\sigma(v) = 0.106\bar{V}_G$  *Bosque:*  $\sigma(v) = 0.110\bar{V}_G$  *Centro de ciudad:*  $\sigma(v) = 0.115\bar{V}_G$

Por su parte el índice de turbulencia para tres sitios es la siguiente:

*Campo abierto:*  $\sigma(v)/\bar{V}_{10} = 0.18$  *Bosque:*  $\sigma(v)/\bar{V}_{10} = 0.32$  *Centro de ciudad:*  $\sigma(v)/\bar{V}_{10} = 0.58$

Una ráfaga máxima puede ser definida de la siguiente manera, considerando un grupo de registros de vientos altos, ocurridos a la misma hora y teniendo idénticos valores de dirección y rapidez media del viento, para cada uno de estos registros debe existir un valor máximo de la rapidez del viento. Estos valores pueden diferir de registro en registro ya que cada valor máximo es aleatoriamente variable. Un valor máximo promedio de ráfaga  $\hat{v}$  (medido desde una velocidad cero), y un correspondiente valor máximo promedio de incremento de ráfaga  $\hat{v}$  pueden ser definidos como el valor promedio de estas cantidades tomadas de los registros. Lo anterior implica que los valores  $\hat{v}$  o  $\hat{v}$  corresponden a un valor de la velocidad media de la desviación estándar de ráfaga  $\sigma(v)$ , que mide el tamaño de las fluctuaciones de la rapidez del viento cercana a la media, y  $v$  puede ser múltiplo constante de  $\sigma(v)$ , por consiguiente del viento medio horario. El valor máximo promedio de ráfaga para cualquier tipo de terreno y a una altura de 10m, es la siguiente:

$$\hat{V}_{2s}(x_3) = \left(\frac{x_3}{10}\right)^\alpha \bar{V}_{10}(\text{sitio}) + 0.60\bar{V}_{10}(\text{campoabierto}).....(2.22)$$

En otras palabras un incremento constante de ráfaga se suma a la rapidez media horaria del viento, apropiada al sitio y a la altura sobre el terreno. La expresión anterior puede ser rescrita en términos del gradiente de viento como:

$$\hat{V}_{2s}(x_3) = \bar{V}_G \left[ \left(\frac{x_3}{10}\right)^\alpha + 0.35 \right].....(2.23)$$

Una completa descripción del promedio temporal y espacial de las propiedades de las ráfagas, adecuado para todos los propósitos, requiere del conocimiento entre sí de cada una de las tres componentes de la velocidad en un punto  $(x_1, x_2, x_3)$ , a las correspondientes componentes en otro punto distinto  $(x'_1, x'_2, x'_3)$ , siendo 1 el sentido principal del viento, 2 el sentido horizontal ortogonal al anterior y 3 un sentido ortogonal vertical. Lo anterior implica la especificación de nueve diferentes funciones, cada una de las cuales dependerá de siete variables  $x_1, x_2, x_3, x'_1, x'_2, x'_3$  y el tiempo  $t$ . Para el tratamiento de estas funciones es necesario del empleo de matemáticas vectoriales. La mayoría de problemas prácticos de cargas debidas al viento requiere solamente del conocimiento de la componente longitudinal de la ráfaga del vector  $v_1(t)$ . Por lo que solamente una de las nueve posibles funciones será requerida. En muchos casos esta función se puede observar que es independiente de alguna de las siete variables. Por ejemplo de cargas debidas a viento actuando en torres envuelve únicamente una componente como serie de puntos en línea vertical. Por lo cual en este caso solo dependerá de las variables  $x_3, x'_3$  y el tiempo.

Dentro de los métodos aleatorios para correlacionar las señales se encuentra la Función de Auto-covarianza  $v(t)$  definida como:

$$C^v(\tau) = \langle v(t)v(t+\tau) \rangle_t \dots\dots\dots(2.24)$$

donde  $\langle \rangle_t$  indica promedio con respecto al tiempo y  $\tau$  tiempo de retraso. Los promedios son tomados sobre periodos de una hora. De la definición de  $C^v(\tau)$ :

$$C^v(0) = \langle v^2(t) \rangle_t = \sigma^2(v) \dots\dots\dots(2.25)$$

La función de auto-correlación por su parte es una función de  $\rho^v(\tau)$  y está definida por:

$$\rho^v(\tau) = \frac{C^v(\tau)}{C^v(0)} = \frac{C^v(\tau)}{\sigma^2(v)} \dots\dots\dots(2.26)$$

Esta función puede ser estimada como una medida de información de un registro de la señal  $v(t)$  en un instante determinado, con respecto a un registro distinto tomando en ese mismo punto  $\tau$  segundos después. Si  $\tau$  es pequeño, el segundo valor será similar al primero, en cambio si  $\tau$  es grande entonces  $\rho^v(\tau) \approx 0$ , lo que indica que los dos valores son virtualmente independientes y que la primera medición no proporciona información acerca de la segunda. La función de auto-correlación se utiliza a su vez para definir la escala de tiempo  $T$ , cuyo valor indica si la medición de  $v(t)$  en un punto fijo proporcionara información razonable ( $\tau < T$ ) o escasa ( $\tau > T$ ) acerca de la señal registrada unidades de tiempo después [2.4], la función  $T$  está definida por la ecuación (2.27).

$$T = \int_0^{\infty} \rho^v(\tau) d\tau \dots\dots\dots(2.27)$$

Si se conoce la función de auto-correlación de un conjunto de evento siempre es posible obtener el área bajo la función que resulta un número. Es posible demostrar que en procesos aleatorios se puede obtener como el área del rectángulo equivalente de altura 1.0 y ancho  $T$  que tenga la misma área bajo la curva de auto-correlación. La escala de tiempo multiplicada por la velocidad del viento se considera como una medida del tamaño de la ráfaga en dirección del viento. Debido a la similitud entre el valor teórico y las mediciones de campo ha sido posible establecer una escala de tiempo indicativa del tamaño de la ráfaga en un registro de viento. Al aplicar este tiempo de razonamiento a mediciones de campo ha sido posible establecer el tamaño de la ráfaga correspondiente a diversos tipos de terrenos.

## CAPITULO 3

### EFFECTOS DEL VIENTO SOBRE LA EDIFICACION DE VIVIENDA

#### 3.1 INTRODUCCION.

Para estudiar el comportamiento de la edificación ante viento, resulta necesario determinar si la velocidad media de viento medida en un punto de la biosfera, y a una altura determinada sobre la superficie del terreno, será la misma para cualquier otro punto ubicado en la misma capa de la atmósfera terrestre. De estudios de laboratorio y de mediciones controladas en campo, se ha podido determinar que la distribución de velocidades de viento en la altura resulta variable. Este hecho se menciona en la parte de la Física que estudia a los fluidos en movimiento, donde se indica que un fluido que está en contacto con un cuerpo o superficie fija, también se encontrará inmóvil, y que paulatinamente el nivel de inmovilidad variara hasta una cierta altura sobre el nivel de terreno, donde se podrá aceptar que la velocidad del viento es uniforme y, por lo tanto, el flujo se considerara como libre (Rosengaus, 1998) [32]. Es necesario tomar en cuenta los factores dependientes de la forma de la estructura y coeficientes de ráfaga, así como los coeficientes por aspectos topográficos cercanos; ya que la infinita variedad de situaciones de la naturaleza local, de la topografía hace necesario tratar este fenómeno en términos generales. Debido a esto las estructuras deben ser diseñadas y construidas para resistir las presiones mínimas de viento recomendadas en los códigos correspondientes de cada zona. En el diseño de una estructura, deberá analizarse en primer lugar el efecto global de las presiones de viento sobre la estabilidad de la construcción completa, o sus partes más grandes (muros, techos).

#### 3.2 AERODINAMICA EN LA EDIFICACION.

El viento alrededor de la edificación es un proceso extremadamente complejo, y no puede ser descrito por reglas simples o fórmulas matemáticas. Las amplias variedades en tamaño y forma de las construcciones, tipo de exposición al viento, topografía local, así como la naturaleza fortuita del viento, tienden a complicar el problema. Las características de estos flujos solo se pueden establecer a través de observaciones directas de situaciones en tamaño natural o recurriendo a procedimientos adecuados de experimentos en túneles de viento. Sin embargo, la conducta puede ser fija considerando algunas situaciones de flujo típicas [4].

##### 3.2.1 FLUJO DEL VIENTO ALREDEDOR DE LA EDIFICACION.

Una situación de flujo típico se ilustra en la figura 3.1, donde el viento está soplando sobre una estructura con techo a dos aguas y geometría de planta más o menos rectangular, en una de sus caras. Los flujos son lentos, se reduce la velocidad contra la cara frontal con un consecuente aumento de la presión sobre esa superficie a medida que se acercan al edificio. Creada la obstrucción por causa del edificio, este flujo al mismo tiempo se desvía y acelera alrededor de los muros laterales, esquinas y sobre el techo con una consecuente reducción de presión (succión) ejercida en estas áreas. El flujo separado en estos puntos y la baja presión, por debajo de la atmosférica, origina una presión negativa o succión en los muros extremos y en cierta porción del techo.

Una gran zona de presión baja de flujo retardado es creada a sotavento del edificio, la cual produce una succión en el muro de sotavento y en la cara a sotavento del techo. Las velocidades más altas son debidas a succión. Las presiones en esta zona no son uniformes ni estables, debido a la turbulencia, característica del viento y a los diferentes tamaños y formas de dicha zona. Sin embargo, está establecido que los modelos y flujos de viento alrededor de los edificios no se alteran apreciablemente con un cambio en la velocidad del viento. Es de gran importancia considerar los espacios que quedan entre las estructuras, ya que esto genera severas cargas de

succión en las caras vecinas. La diferencia de presiones entre la cara frontal y trasera de un edificio producen altas velocidades en accesos abiertos; las caras de tales aberturas son propensas a altas cargas de succión que pueden dañar los elementos de recubrimiento. En general, la presión del viento es máxima cerca al centro de barlovento y decae rápidamente cerca de las esquinas. Las presiones en los costados o muros extremos no son también uniformes; la succión más intensa ocurre justamente aguas debajo de las esquinas de barlovento.

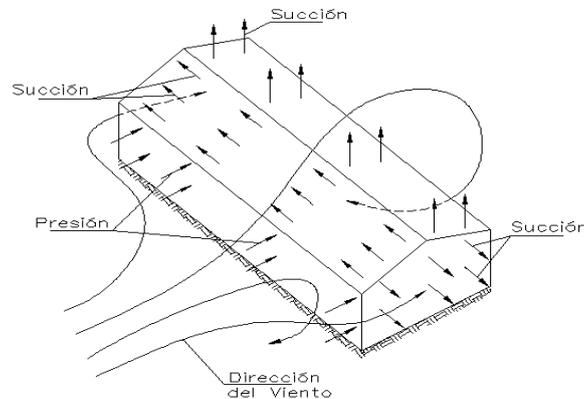


Figura 3.1. Modelo de Flujo típico y Presiones en las Superficies, (British Standard Code, 1970).

### 3.2.2 EFECTO DE LA INCLINACION DEL TECHO.

El efecto del viento en los techos inclinados son las presiones actuantes que dependen completamente del ángulo de inclinación; son generalmente positivas sobre la zona de barlovento, para inclinaciones mayores que 30 grados se presenta suficiente oposición al viento generando presiones positivas y succiones importantes cerca de los bordes que pueden desprenderlas si no son sujetas adecuadamente (figura 3.2). Para inclinaciones menores que 30 grados, la inclinación a barlovento puede estar sujeta a succiones severas y que alcanza un máximo a una inclinación de 10 grados aproximadamente. Bajo condiciones de viento extremo, estas succiones pueden ser lo suficientemente intensas para vencer el peso muerto del edificio, este efecto ante vientos fuertes puede ser la experiencia más severa ante cualquier parte de la estructura por lo que se requerirá un adecuado anclaje tanto del techo a la estructura como de la estructura a la cimentación.

Es probable que ocurran succiones intensas a lo largo de las orillas del techo y línea de cumbrera debido a la separación del flujo del viento en estos puntos. Para ciertas combinaciones de inclinación y dirección del viento, puede desarrollarse un torbellino cónico a lo largo de los bordes de techo de barlovento (figura 3.2). Esta es una envolvente del flujo dentro de un modelo helicoidal, con velocidades muy altas y consecuentemente, succiones muy intensas. Si estos torbellinos no se toman en cuenta adecuadamente, pueden causarse primeramente fallas locales y hasta perdidas completa del techo. Las áreas donde pueden esperarse succiones intensas se muestran en la figura 3.3.

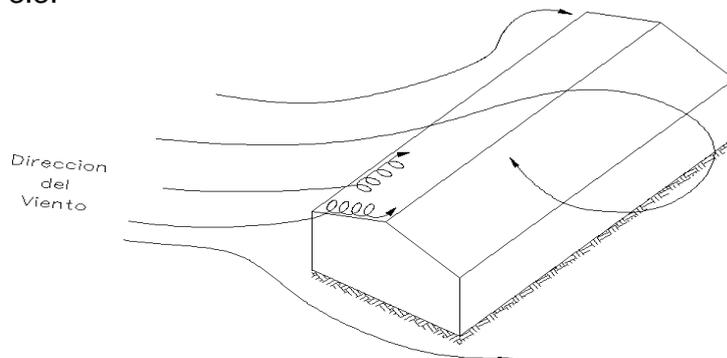


Figura 3.2. Torbellinos a lo Largo del Borde del Techo cuando el Viento Sopla hacia la Esquina, (Building Research Station Digest, 1970).

### 3.2.3 TECHOS EN VOLADIZO.

Al mismo tiempo que se calcula la carga total de elevación en un techo, se debe incluir también la presión actuante sobre la superficie inferior del techo en voladizo. Estas presiones son usualmente positivas y la fuerza resultante actúa en la misma dirección que la fuerza de levantamiento debido a succión sobre la superficie superior del techo. Las presiones actuantes sobre el interior del edificio pueden también contribuir a la fuerza total de elevación y deben ser igualmente tomadas en cuenta.

La variación o distribución de las presiones o succiones sobre la superficie de un muro o cubierta generalmente no es uniforme. En un muro la presión tiende a ser más grande cerca del centro y decae hacia los bordes. La succión más severa es generalmente en las esquinas a lo largo de los bordes de muros y techo; se deberá prestar atención a los elementos de fijación en los extremos de esas zonas. Mientras tanto el efecto que produce el viento en una cubierta cuando circula por debajo de esta, es decir, que trata de levantarla a menudo se pasa por alto. La cubierta sufre por debajo una presión y ese efecto se incrementa notablemente con la succión que puede presentarse sobre la cubierta en su parte superior.

Cuando sopla el viento oblicuamente sobre una construcción, es desviado alrededor y sobre ella. Las presiones sobre los muros son generalmente mucho más severas que en los casos previos, vórtices fuertes elevan las succiones en los bordes de las cubiertas los cuales pueden ser resistidos con una fijación adecuada de techos. Dado que el viento sopla en cualquier dirección, se deben tomar provisiones que tomen en cuenta el efecto de las succiones en todas las esquinas y bordes de la estructura (figura 3.3).

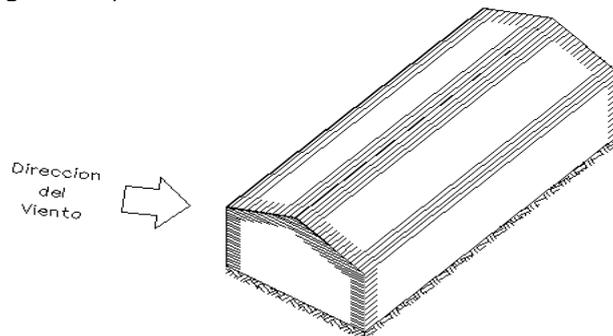


Figura 3.3. Áreas de Succiones Intensas, (*Building Research Station Digest*, 1970).

### 3.3 VELOCIDAD DE DISEÑO DEL VIENTO.

El primer paso en la evaluación de las cargas de viento es determinar la velocidad del viento máxima apropiada para la estructura. Niels Franck (1965) [21] se basa en la velocidad máxima de ráfaga obtenida de mapas de isotacas. Se deben considerar diversos factores en la selección de una velocidad de viento, sobre la cual se basan las cargas de diseño para edificación u otras estructuras. En ellos se incluyen la climatología del área geográfica, la rugosidad del terreno en general, el aspecto de la topografía local, la altura de la edificación, la vida esperada del edificio y el nivel aceptable de riesgo de exceder la carga de diseño. Para convertirla en la velocidad de diseño deberán afectarse por los siguientes tres factores:

- $S_1$  factor de influencias locales de topografía.
- $S_2$  factor de rugosidad del entorno, duración de ráfagas apropiadas al tamaño de la construcción y altura de la estructura.
- $S_3$  factor de vida útil del edificio.

**Factor de Topografía  $S_1$ .** La velocidad básica del viento dada en los mapas de isotacas no toma en cuenta los efectos locales de valles y crestas. Por tanto deberá ajustarse de acuerdo al

factor  $S_1$ . Registros de velocidades de viento muestran que la altura del sitio sobre el nivel del mar no afecta la velocidad del viento a menos que existan efectos locales especiales, en estos casos (tabla 3.1) el valor de  $S_1$  debe tomarse igual a 1.0. Colinas expuestas, elevadas sobre el nivel general del terreno circundante pueden acelerar los vientos, de igual modo en muchos valles particularmente con forma de túnel, cuando sopla por arriba de ellos. Para cualquiera de estas situaciones, se deberá tomar como 1.1. Por otro lado existen algunos terrenos empinados y valles cerrados donde las velocidades de viento será menor que lo normal, se deberá tener precaución al aplicar un factor reducido, para tales sitios  $S_1$  puede usarse un valor de 0.9. Valores más extremos pueden ser necesarios en algunos sitios anormales, pero hasta tener más datos disponibles, es recomendable que los valores fuera del rango de 0.85 a 1.2 no deben ser usados.

Topografía	Valor de $S_1$
- Todos los casos excepto los indicados abajo.	1.0
- Colinas y crestas muy expuestas. - Valles. - Sitios donde se sabe de la aparición de vientos debido a influencias locales.	1.1
- Valles cerrados.	0.9

Tabla 3.1. Valores para el coeficiente  $S_1$ , (Niels Franck, 1965).

**Factores de Rugosidad del Terreno  $S_2$ .** La velocidad de viento aumenta con la altura sobre el suelo, en función de la rugosidad del terreno, la cual se divide en cuatro categorías.

- 1.- Campo abierto sin obstrucciones al flujo del viento, como costas, llanos, campos.
- 2.- Terrenos planos u ondulados con poca obstrucción al viento, acantilados y peñascos, algunos árboles y construcciones de poca altura.
- 3.- Superficie cubierta por numerosas obstrucciones, como parques, áreas boscosas, pueblos y suburbios, así como zonas a las afueras de las ciudades donde por lo general el techo de las construcciones no pasa de 10 m de altura.
- 4.- Superficies cubiertas por numerosas obstrucciones con altura mayor de 25 metros o más. Esta categoría cubre los centros de grandes ciudades y pueblos donde los edificios no solo son altos, sino que el espacio está muy cerrado.

Categoría de la superficie	1. Lugares con escasas o nulas obstrucciones al flujo del viento, como campo abierto.			2. Lugares con terreno plano con pocas obstrucciones al flujo del viento.			3. Zona rodeada predominantemente por construcciones de mediana y baja altura o por áreas arboladas.			4. Superficie con gran densidad de edificios altos y numerosas obstrucciones, como ciudades muy céntricas.		
	Ráfaga			Ráfaga			Ráfaga			Ráfaga		
Altura sobre el nivel del suelo (m)	3 seg	5 seg	15 seg	3 seg	5 seg	15 seg	3 seg	5 seg	15 seg	3 seg	5 seg	15 seg
3 o menos	0.83	0.78	0.73	0.72	0.67	0.63	0.64	0.60	0.55	0.56	0.52	0.47
5	0.88	0.83	0.78	0.79	0.74	0.70	0.70	0.65	0.60	0.60	0.55	0.60
10	1.00	0.95	0.90	0.93	0.88	0.83	0.78	0.74	0.69	0.67	0.62	0.58
15	1.03	0.99	0.94	1.03	0.95	0.91	0.88	0.83	0.78	0.74	0.69	0.64
20	1.06	1.01	0.96	1.03	0.98	0.94	0.95	0.90	0.85	0.79	0.75	0.70
30	1.09	1.05	1.00	1.07	1.03	0.98	1.01	0.97	0.92	0.90	0.85	0.79
40	1.12	1.08	1.03	1.10	1.06	1.01	1.05	1.01	0.96	0.97	0.93	0.89
50	1.14	1.10	1.06	1.12	1.08	1.04	1.08	1.04	1.00	1.02	0.98	0.94
60	1.15	1.12	1.08	1.14	1.10	1.06	1.10	1.06	1.02	1.05	1.02	0.98
80	1.18	1.15	1.11	1.17	1.13	1.09	1.13	1.10	1.06	1.10	1.07	1.03
100	1.20	1.17	1.13	1.19	1.16	1.12	1.16	1.12	1.09	1.13	1.10	1.07
120	1.22	1.19	1.15	1.21	1.18	1.14	1.18	1.15	1.11	1.15	1.13	1.10
140	1.24	1.20	1.17	1.22	1.19	1.16	1.20	1.17	1.13	1.17	1.15	1.12
160	1.25	1.22	1.19	1.24	1.21	1.18	1.21	1.18	1.15	1.19	1.17	1.14
180	1.26	1.23	1.20	1.25	1.22	1.19	1.23	1.20	1.17	1.20	1.19	1.16
200	1.27	1.24	1.21	1.26	1.24	1.21	1.24	1.21	1.18	1.22	1.21	1.18

Tabla 3.2. Valores para el coeficiente  $S_2$ , (Niels Franck, 1965).

Aunque se ha hecho una clasificación de la rugosidad del suelo, debe reconocerse que el cambio de una categoría a otra es necesariamente un proceso gradual. El viento debe cruzar una

cierta distancia a partir del suelo, antes de que se establezca el equilibrio en un nuevo perfil de velocidad. El cambio inicia primero en la capa del viento cercana al suelo y el nuevo perfil se extiende a una capa cada vez más profunda a medida que la distancia crece. El tiempo de registro de velocidad de viento, dicho en otras palabras la variación de la velocidad del viento con la altura es dependiente del tamaño de la ráfaga que se considera, es decir, el tiempo de registro de velocidades medias que se tiene. Las ráfagas registradas de 3 segundos (tabla 3.2) deben ser usadas en el diseño de todas las unidades de revestimientos, vidrios y cubierta, cualquier tamaño o proporción del edificio entero. Para el diseño estructural, una ráfaga de 5 segundos debe ser usada para edificación cuya dimensión horizontal o vertical no exceda 50 metros; una ráfaga de 15 segundos debe usarse para edificios cuya longitud horizontal o vertical es mayor que 50 metros.

**Factor de vida de la estructura  $S_3$ .** Cualquiera que sea la velocidad de viento adoptada para propósitos de diseño, habrá siempre un elemento de riesgo que puede exceder en una tormenta la velocidad extraordinaria. El registro de fenómenos naturales tiende hacia valores más extremos con el paso de tiempo y métodos estadísticos han sido utilizados para estimar la tendencia de los valores extremos. Por esta razón no es posible establecer con certeza un valor máximo que nunca sea excedido. Esto implica que en la determinación de la velocidad de diseño de una estructura también se debe tomar un factor de riesgo como lo es la vida útil de la estructura. Por ejemplo si se escoge que el evento máximo solo se exceda una vez durante 50 años, se estará apostando por una probabilidad de 0.02 para cada uno de los años existentes dentro del periodo de los 50 años para que dicho evento sea excedido (figura 3.4). Estadísticamente se tiene que en un periodo de 50 años hay una probabilidad de 0.63 que sea excedido.

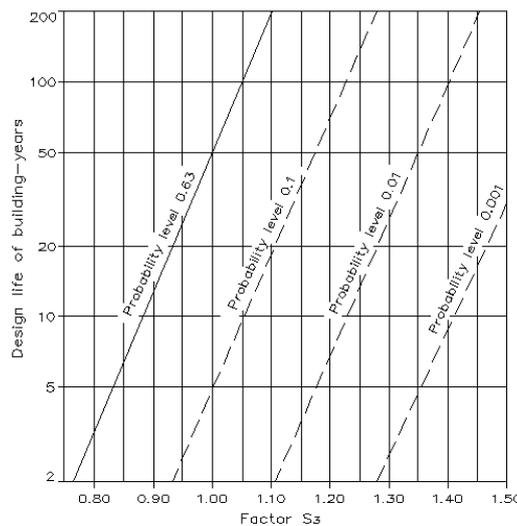


Figura 3.4. Valores para el coeficiente  $S_3$ , (Niels Franck, 1965).

Existen gráficas para determinar los valores de  $S_3$  en función de la vida útil de la estructura y del nivel de seguridad que se requiere. Normalmente las cargas de viento se calculan usando  $S_3=1.0$ , pero existen las siguientes excepciones:

- a) Estructuras temporales.
- b) Estructuras para los cuales una seguridad de vida menor a 50 años es adecuada.
- c) Estructuras con una vida útil anormal.
- d) Estructuras donde se requieren niveles de seguridad adicionales.

Para estos casos especiales, tanto de vida útil y niveles de probabilidad pueden variar de acuerdo a circunstancias. Finalmente la velocidad de diseño  $V_s$  puede calcularse como:

$$V_s = V \times S_1 \times S_2 \times S_3 \dots\dots\dots (3.1)$$

### 3.4 PRESION DE DISEÑO.

Cuando el libre flujo del viento se ve obstaculizado por un objeto fijo, tiene que desviarse para rodearlo, por lo cual produce presiones sobre el objeto. Las partículas de aire golpean la cara expuesta directamente al efecto del viento, cara de barlovento, ejerciendo sobre ella un empuje (figura 3.5). En la cara opuesta, se sotavento, las estelas del flujo se separan del objeto provocando una succión. Los dos efectos se suman dando lugar a una fuerza de arrastre sobre el objeto [23]. Por tanto las fuerzas de viento sobre un cuerpo sumergido en una corriente de viento resultan de los cambios de velocidad alrededor del cuerpo. Sobre objetos planos, el arrastre se produce debido, primeramente, a la separación del flujo en los bordes, la formación de estela, y la consiente diferencia entre presiones superficiales sobre la cara de barlovento y sotavento. Resultan otras fuerzas adicionales, generalmente menores, como la fricción entre el aire y el cuerpo. Usualmente, para propósitos de diseño de estructuras, es bastante exacto considerar la fuerza de viento como una presión estática equivalente. En algunos casos, sin embargo, se debe considerar el tiempo de variación de la fuerza; esto puede deberse a velocidades no constantes o a fuerzas alternantes que resultan de la formación de vórtices o torbellinos periódicos. Lo último se aplica, principalmente a estructuras flexibles tales como chimeneas, puentes colgantes, torres de líneas de transmisión, miembros individuales de estructuras reticuladas y otras. Teniendo seleccionada una velocidad de viento para diseño, se pueden entonces determinar tanto las presiones (3.2) como las fuerzas resultantes sobre la estructura.

$$p = C_p C_{at} C_r q_d \dots\dots\dots (3.2)$$

- dónde:
- $p$  es la Intensidad de la presión estática equivalente.
  - $C_p$  es un coeficiente que depende de la forma de la estructura.
  - $C_{at}$  es un coeficiente que depende del aspecto topográfico.
  - $C_r$  es un coeficiente de ráfaga que depende de la magnitud de velocidades de ráfaga y del tamaño de la estructura.
  - $q_d$  es la Intensidad de la presión dinámica.

#### 3.4.1 PRESION DINAMICA.

Tratando al aire como un flujo ideal (no viscoso e incompresible), la ley de conservación de energía se representa con la ecuación de Bernoulli:

$$\frac{1}{2} \rho v_0^2 + p_0 = \frac{1}{2} \rho v^2 + p \dots\dots\dots (3.3)$$

En la cual  $v_0$  es la velocidad de la corriente libre próxima,  $p_0$  denota la presión estática de la corriente libre próxima y  $p$  es la presión estática en un punto sobre el objeto. El término  $1/2\rho v_0^2$  es la presión dinámica de la corriente libre y se designa por  $q_d$ . El término  $1/2\rho v^2$  es la presión dinámica en algún punto sobre el objeto. Así la suma de las presiones dinámicas y estáticas es una constante en todos los puntos. Si el aire es paralizado por chocar contra un cuerpo inmóvil (figura 3.5), entonces  $v_2=0$  y la presión local deberá ser mayor que la presión de corriente libre por un valor  $1/2\rho v_1^2$ ; de la ecuación (3.4):

$$\rho_2 + 0 = p_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 \dots\dots\dots (3.4)$$

En el centro de la parte frontal de un plano. El incremento en presión estática debe igualar la presión dinámica de la corriente próxima. En los bordes y en el sotavento del plano, la velocidad se hace más grande que la de la corriente libre y se desarrolla una presión negativa (es decir, menor que la atmosférica). Este cambio de presión produce un arrastre o fuerza nula sobre el objeto. En suma, hay fuerzas de fricción pero estas son generalmente pequeñas para elementos estructurales.

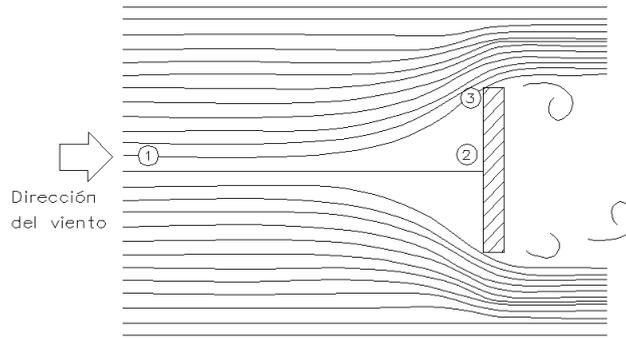


Figura 3.5. Flujo Alrededor de un Plano Ancho, (Meli Piralla R., 2001).

La presión dinámica convertida a partir de la energía cinética de movimiento del aire se determinara, de la ecuación 3.5:

$$q_d = \frac{1}{2} \frac{\gamma_o}{g} v^2 \dots\dots\dots(3.5)$$

donde para condiciones normales,  $q_d$  es la presión dinámica ( $\text{kg/m}^2$ ),  $\gamma_o$  es el peso específico del aire= $1.23 \text{ kg/m}^3$ ,  $g$  es la aceleración de la gravedad= $9.81 \text{ m/seg}^2$ ,  $v$  es la velocidad del viento en ( $\text{m/seg}$ ). Entonces  $v$  es el flujo libre e imperturbable de la velocidad del aire. La densidad de masa del aire ( $\rho$ ) varía con la temperatura y la presión barométrica. En el caso de tempestades tropicales, la densidad puede ser de 5% o 10% más baja; sin embargo, esto es compensado en algo por el efecto de fuerte aguaceros y el valor anteriormente citado deberá ser usado. Entonces la presión del viento puede expresarse como:

$$q_d = \frac{v^2}{16} (\text{kg} / \text{m}^2) \dots\dots\dots(3.6) \quad \text{o también} \quad q_d = 0.005v^2 \dots\dots\dots(3.7)$$

Las estructuras son esforzadas por diferencias en presión sobre dos superficies entre la presión local y la presión de flujo libre. Así la presión dinámica puede ser la presión efectiva sobre una superficie. La presión dinámica es así entonces la intensidad de presión local y no es directamente indicativa de la fuerza total sobre un cuerpo, tal como se muestra en la figura 3.5. La fuerza depende del modelo total del flujo alrededor del plano; es decir, la descripción completa de la variación de  $v$  y  $p$ . Es evidente, por ejemplo, que por el punto 3, donde el flujo se arremolina alrededor del borde del cuerpo, la velocidad  $v_3$  debe ser mayor que la velocidad  $v_1$  del flujo libre y la presión  $p_3$  deberá ser menor que la presión  $p_1$  puesto que

$$p_3 + \frac{1}{2} \rho v_3^2 = p_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 \dots\dots\dots(3.8) \quad p_3 = p_1 - \frac{1}{2} \rho (v_3^2 - v_1^2) \dots\dots\dots(3.9)$$

De este modo, existe una succión local y una tendencia a arrastrar aquel punto sobre la cara frontal del cuerpo en la dirección viento arriba. La fuerza total sobre el cuerpo mostrado es el efecto integrado de las presiones y succiones sobre ambas caras, frontal y posterior.

### 3.4.2 COEFICIENTES DE PRESION.

Los coeficientes de presión están especificados para superficies particulares o elementos de una estructura cuando se multiplican por el área de la superficie y la presión dinámica, dan las cargas de viento actuantes en una dirección normal a aquella superficie o elemento. La resultante total de fuerzas y momentos actuantes sobre el edificio pueden entonces ser determinados considerando las componentes de estas cargas sobre cada una de las superficies o elementos. Los valores de  $C_p$  han sido determinados en modelos experimentales para un buen número de formas de edificios y direcciones del viento. Se han expresado en varias formas en diferentes compilaciones de datos. La información más completa relativa a la presión sobre una superficie puede darse por un diagrama de contornos (figura 3.6). Estas muestran, para una determinada dirección del viento, la distribución de presiones sobre la construcción, donde se observa que la presión está lejos de ser uniforme.

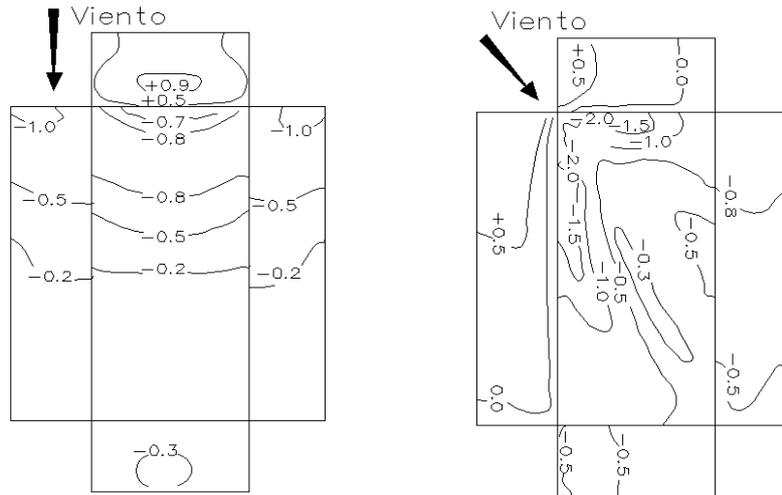


Figura 3.6. Distribución de presiones en función de la dirección del viento, (M. Packer, Whitbread, 1961).

Relación del edificio Ancho-Altura	Relación del edificio Largo-Ancho	Elevación	Planta	Ángulo de Viento $\theta$	Coeficiente de Superficie Cpe				Local Cpe
					A	B	C	D	
$\frac{h}{w} < \frac{1}{2}$	$1 < \frac{L}{w} < \frac{3}{2}$			0°	0.7	-0.2	-0.5	-0.5	-0.8
				90°	-0.5	-0.5	0.7	-0.2	
	$\frac{3}{2} < \frac{L}{w} < 4$			0°	0.7	-0.25	-0.6	-0.6	-1.0
				90°	-0.5	-0.5	0.7	-0.1	
$\frac{1}{2} < \frac{h}{w} < \frac{3}{2}$	$1 < \frac{L}{w} < \frac{3}{2}$			0°	0.7	-0.25	-0.6	-0.6	-1.1
				90°	-0.6	-0.6	0.7	-0.25	
	$\frac{3}{2} < \frac{L}{w} < 4$			0°	0.7	-0.3	-0.7	-0.7	-1.1
				90°	-0.5	-0.5	0.7	-0.1	
$\frac{3}{2} < \frac{h}{w} < 6$	$1 < \frac{L}{w} < \frac{3}{2}$			0°	0.8	-0.25	-0.8	-0.8	-1.2
				90°	-0.8	-0.8	0.8	-0.25	
	$\frac{3}{2} < \frac{L}{w} < 4$			0°	0.7	-0.4	-0.7	-0.7	-1.2
				90°	-0.5	-0.5	0.8	-0.1	

Tabla 3.3. Coeficientes de presión para muros verticales y vivienda de forma rectangular, (M. Packer, 1961).

Packer M. y Whitbread (1961) en estudios recientes determinan coeficientes para la distribución de presiones y el ángulo de inclinación en la cara significativa de la estructura (tabla 3.3 y tabla 3.4). Para cada forma de edificio, se presentan valores para los coeficientes de presión en cada superficie individual para distintas direcciones de viento que producen cargas críticas. Esto permite que los cálculos se hagan para la máxima carga individual en cada superficie, y con la suma vectorial de las cargas individuales podemos encontrar la carga total en la construcción [39].

En zonas de muros o techos con protuberancias tales como chimeneas, pueden ser afectadas por severas succiones causadas por la acción de vórtices. No es posible definir exactamente la extensión de esta influencia, pero sería prudente permitir un coeficiente local de presión  $C_{pe}=-1.2$  para una distancia alrededor de la obstrucción igual a la menor dimensión de la obstrucción perpendicular al viento. Se encuentran entonces, empíricamente determinadas presiones o coeficientes de forma esenciales, particularmente aquellas que relacionan presiones o fuerzas normales con una superficie bajo la presión dinámica. Estos coeficientes, llamados también Factores de Forma, pueden ser factores de arrastre (presión sobre un muro a barlovento o succión sobre un muro de sotavento, por ejemplo), factores de elevación (succión sobre un techo plano) o una combinación de los dos, es de suma importancia tomar muy en cuenta estos factores ya que depende de estos la determinación de presiones y fuerzas resultantes en cada estructura de edificación.

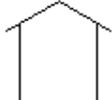
Relación de altura del edificio	Ángulo de la cubierta	Ángulo del viento		Ángulo del viento		Coeficientes Locales (Ver Figura 3.7)			
		0°		90°					
		EF	GH	FG	FH				
$\frac{h}{w} < \frac{1}{2}$ 	0°	-0.8	-0.4	-0.8	-0.4	-2	-2	-2	
	5°	-0.9	-0.4	-0.8	-0.4	-1.4	-1.2	-1.2	-1
	10°	-1.2	-0.4	-0.8	-0.6	-1.4	-1.4		-1.2
	20°	-0.4	-0.4	-0.7	-0.6	-1			-1.2
	30°	0	-0.4	-0.7	-0.6	-0.8			-1.1
	45°	0.3	-0.5	-0.7	-0.6				-1.1
$\frac{1}{2} < \frac{h}{w} < \frac{3}{2}$ 	0°	-0.8	-0.6	-1.0	-0.6	-2	-2	-2	
	5°	-0.9	-0.6	-0.9	-0.6	-2	-2	-1.5	-1
	10°	-1.1	-0.6	-0.8	-0.6	-2	-2	-1.5	-1.2
	20°	-0.7	-0.5	0.8	-0.6	-1.5	-1.5	-1.5	-1
	30°	-0.2	-0.5	-0.8	-0.8	-1			-1
	45°	-0.2	-0.5	0.8	-0.8				
$\frac{3}{2} < \frac{h}{w} < 6$ 	0°	-0.7	-0.6	-0.9	-0.7	-2	-2	-2	
	5°	-0.7	-0.6	-0.8	-0.8	-2	-2	-1.5	-1
	10°	-0.7	-0.6	-0.8	-0.8	-2	-2	-1.5	-1.2
	20°	-0.8	-0.6	-0.8	-0.8	-1.5	-1.5	-1.5	-1.2
	30°	-1	-0.6	-0.8	-0.7	-1.5			
	40°	-0.2	-0.6	-0.8	-0.7	-1			
	50°	-0.2	-0.6	-0.8	-0.7				

Tabla 3.4. Coeficientes de presión para cubiertas con ángulo de inclinación, (Packer M., Whitbread, 1961).

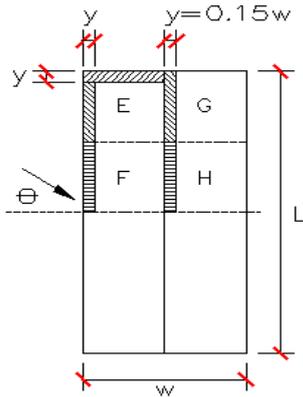


Figura 3.7. Planta de Cubierta para coeficientes locales.

### 3.4.3 PRESION INTERNA.

La carga neta o fuerza actuante sobre el techo o muros de un edificio no solo dependen de las presiones en las superficies externas, sino también de la presión interna. La magnitud de la presión interna depende de la geometría del edificio, tamaño y localización de las aberturas y velocidad y dirección del viento. Es conveniente expresar las presiones internas como se hizo con las presiones externas; en términos de la presión dinámica y un coeficiente de presión  $C_{p_i}$  que puede ser positivo o negativo. La presión neta actuante sobre un elemento del edificio es la suma algebraica de las presiones externas e internas [19], (donde  $C_{p_e}$  coeficiente de presión externa,  $C_{p_i}$  coeficiente de presión interna,  $q_d$  es la presión):

$$p = (C_{p_e} - C_{p_i})q_d \dots \dots \dots (3.10)$$

De este modo, una presión interna positiva incrementa las cargas sobre aquellas áreas de techos y muros sujetas a succión externa. Así entonces una construcción dependerá grandemente de la diferencia entre la presión interna y externa que exista en las caras afectadas. Puertas abiertas, ventanas o ventilas en el lado de barlovento, incrementan la presión al interior del edificio y esto incrementa la carga en aquellas partes de muros o techos que están sujetas a succión externa (figura 3.8a), por otro lado se reduce la succión de la cubierta si se tiene en el interior del edificio presiones negativas como se aprecia en la figura 3.8b.

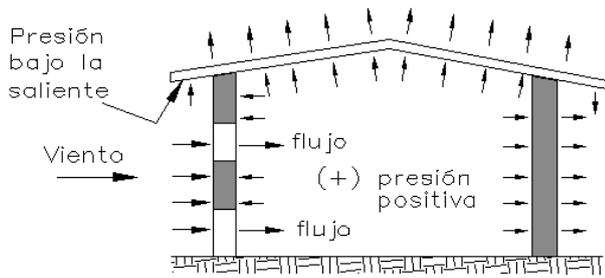


Figura 3.8a. Presiones internas positivas.

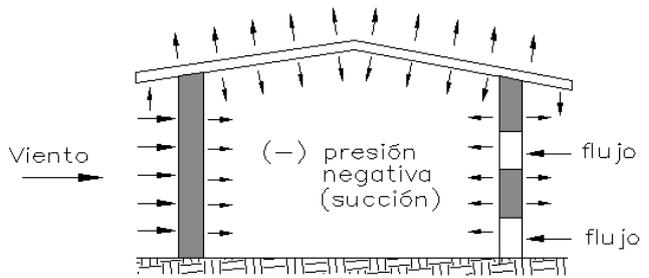


Figura 3.8b. Presiones internas negativas.

Figura 3.8. Presiones internas en las construcciones.

La mayoría de los edificios tiene algún grado de permeabilidad en cada cara, a través de ventanas, áreas de ventilación y fugas entre los huecos de puertas y ventanas. En este contexto, la permeabilidad se mide por el área total de aberturas en una cara. El problema es determinar el balance interno resultante de toda la contribución de puntos de fuga y para fines de diseño, valuar la peor combinación probable de circunstancias que puede surgir. Con todas las ventanas nominalmente cerradas, la permeabilidad de una casa u oficina es probable que se encuentre dentro del rango 0.01% a 0.05% del área total de la cara.

Para una construcción rectangular con dos caras opuestas con la misma permeabilidad, el valor de  $C_{pi}$  deberá tomarse igual a +0.2 si la dirección del viento es normal a la cara permeable, o bien -0.3 si el viento es normal a una cara impermeable. Cuando la permeabilidad difiere de cara a cara, el valor de  $C_{pi}$  cambiara dependiendo del tamaño y posición de la abertura. Cuando no es posible, o no se considera justificado, la estimación del rango de  $C_{pi}$  para un edificio en particular, el coeficiente deberá basarse en alguno de los párrafos siguientes:

- a) Cuando solo hay una pequeña probabilidad de ocurrencia de aberturas dominantes durante una tormenta severa,  $C_{pi}$  deberá tomarse como el más desfavorable de +0.2 y -0.3.
- b) Para situaciones donde las aberturas dominantes son probables que ocurran,  $C_{pi} = 0.75C_{pe}$ . las condiciones extremas serán determinadas para varias direcciones del viento que ocasionan cargas críticas.

El valor de  $C_{pi}$  puede algunas veces limitarse o controlarse ventajosamente por la sensata distribución de permeabilidad en muros y techos o por la deliberada provisión de dispositivos de ventilación los cuales pueden servir como aberturas dominantes en la posición que tenga el apropiado coeficiente de presión externa.

## CAPITULO 4

### CRITERIOS PARA ANALIZAR LA ACCION DEL VIENTO SOBRE LA CONSTRUCCION DE VIVIENDA

#### 4.1 INTRODUCCION

Los métodos especificados por los códigos para el diseño por viento se derivan de los conceptos generales expuestos en los capítulos anteriores. La diversidad de formas geométricas y de problemas específicos hace necesario un gran número de requisitos detallados, por lo que se presentaran las recomendaciones para los casos más comunes. Un reglamento muy completo sobre este tema son las normas ANSI-A 58.1 [2], aunque los procedimientos allí especificados parecen excesivamente elaborados y laboriosos para la mayoría de los casos comunes. Los procedimientos que se expondrán aquí son esencialmente los del Reglamento de Construcciones del Distrito Federal (RCDF) [30] con algunas variantes adicionales basadas en el Manual de Comisión Federal de Electricidad (CFE) [6], ya que el primero contiene aspectos que son aplicables solamente a la Ciudad de México.

#### 4.2 REGIONALIZACION DE LA REPUBLICA MEXICANA

Para fines de diseño por viento, en la República Mexicana se han determinado velocidades regionales de las ciudades más importantes de nuestro país. En la tabla 4.2 (Comisión Federal de Electricidad, 1993), se indican las Velocidades Regionales  $V_R$  para periodos de recurrencia de 10, 50, 100, 200 y 2000 años que deberán elegirse de acuerdo a las características indicadas en el código. La elección de la velocidad regional para diseño se hará considerando tanto la localización geográfica del sitio de desplante de la estructura como su destino. Cabe mencionar que la Comisión Federal de Electricidad, ha actualizado el Manual de Diseño por Viento, de tal manera que obtiene en algunos casos incrementos en las velocidades regionales para distintas ciudades del país (Cozumel Q. Roo,  $V_R=158\text{km/hr}$  CFE-1993 y  $V_R=200\text{km/hr}$  CFE-2008), mientras que en otros casos la velocidad disminuye (Mazatlán Sinaloa,  $V_R=213\text{km/hr}$  CFE-1993 y  $V_R=179\text{km/hr}$  CFE-2008), en este trabajo se utilizó el Manual de CFE-1993, debido a que la información requerida se ha manejado desde antes de la publicación del manual de CFE-2008 [43].

La importancia de las estructuras dictamina los periodos de recurrencia que deberán considerarse para el diseño por viento, de acuerdo al criterio de la tabla 4.1.

Estructuras del Grupo:	$V_R$ con periodo de recurrencia de:
A	200 años
B	50 años
C	10 años

Tabla 4.1. Criterio para Elegir la Velocidad Regional  $V_R$ . (Comisión Federal de Electricidad, 1993).

Las velocidades regionales que aquí se establecen son representativas de toda una zona y pueden no ser estrictamente aplicables en localidades específicas dentro de ella. Dichas velocidades, entonces, han de considerarse como mínimas. En lugares donde se tengan registros de vientos mayores, estos deberán usarse para estimar las velocidades de diseño. Mientras tanto para fines de diseño por viento en el Distrito Federal (Reglamento de Construcciones del Distrito Federal, 2004), los valores de dicha Velocidad Regional se obtendrán de acuerdo a la Importancia de la Construcción y la zonificación eólica (tabla 4.3). Dichos valores incluyen el efecto de ráfaga que corresponde a tomar el valor máximo de la velocidad media durante un intervalo de tres segundos. Para las estructuras temporales que permanezcan por más de una estación del año se seleccionara la velocidad con periodo de retorno de 10 años.

CIUDAD	VELOCIDAD REGIONAL $V_R$ (km/hr)				
	$V_{10}$	$V_{50}$	$V_{100}$	$V_{200}$	$V_{2000}$
Acapulco Guerrero.	129	162	172	181	209
Aguascalientes, Ags.	118	141	151	160	189
Campeche, Camp.	98	132	146	159	195
Cd. Guzmán, Jal.	101	120	126	132	155
Cd. Juárez, Chih.	116	144	152	158	171
Cd. Obregón, Son.	147	169	177	186	211
Cd. Victoria, Tamps.	135	170	184	197	235
Coatzacoalcos, Ver.	117	130	137	145	180
Colima, Col.	105	128	138	147	174
Colotlán, Oax.	131	148	155	161	178
Comitán, Chis.	72	99	112	124	160
Cozumel, Q. Roo	124	158	173	185	213
Cuernavaca, Mor.	93	108	114	120	139
Culiacán, Sin.	94	118	128	140	165
Chapingo, Edo. Méx.	91	110	118	126	150
Chetumal, Q. Roo.	119	150	161	180	220
Chihuahua, Chih.	122	136	142	147	165
Chilpancingo, Gro.	109	120	127	131	144
Durango, Dgo.	106	117	122	126	140
Ensenada, B. C.	100	148	170	190	247
Guadalajara, Jal.	146	164	170	176	192
Guanajuato, Gto.	127	140	144	148	158
Guaymas, Son.	130	160	174	190	237
Hermosillo, Son.	122	151	164	179	228
Jalapa, Ver.	118	137	145	152	180
La paz, B. C.	135	171	182	200	227
Lagos de Moreno, Jal.	118	130	135	141	157
León, Gto.	127	140	144	148	157
Manzanillo, Col.	110	158	177	195	240
Mazatlán, Sin.	145	213	225	240	277
Mérida, Yuc.	122	156	174	186	214
Mexicali, B. C.	100	149	170	190	240
México D. F.	98	115	120	129	150
Monclova Coah.	123	145	151	159	184
Monterrey, N. L.	123	143	151	158	182
Morelia, Mich.	79	92	97	102	114
Nuevo Casas Grandes, Chih.	117	134	141	148	169
Oaxaca, Oax.	104	114	120	122	140
Orizaba, Ver.	126	53	163	172	198
Pachuca, Hgo.	117	128	133	137	148
Parral de Hidalgo, Chih.	121	141	149	157	181
Piedras Negras, Coah.	137	155	161	168	188
Progreso, Yuc.	103	163	181	198	240
Puebla, Pue.	93	106	112	117	132
Puerto Cortés, B. C.	129	155	164	172	196
Puerto Vallarta, Jal.	108	146	159	171	203
Querétaro, Qro.	103	118	124	131	147
Río Verde, SLP.	84	111	122	130	156
Salina Cruz, Oax.	109	226	135	146	182
Saltillo, Coah.	111	124	133	142	165
S. C. de las Casas, Chis.	75	92	100	105	126
S. Luis Potosí, SLP.	126	141	147	153	169
S. la Marina, Tamps.	130	167	185	204	252
Tampico, Tamps.	129	160	177	193	238
Tamaulín, SLP.	121	138	145	155	172
Tapachula Chis.	90	111	121	132	167
Tepic, Nay.	84	102	108	115	134
Tlaxcala, Tlax.	87	102	108	113	131
Toluca, Edo. Méx.	81	93	97	102	115
Torreón, Coah.	136	168	180	193	229
Tulancingo, Hgo.	92	106	110	116	130
Tuxpan, Ver.	122	151	161	172	204
Tuxtla Gutiérrez., Chis.	90	106	110	120	141
Valladolid, Yuc.	100	163	180	198	240
Veracruz, Ver.	150	175	185	194	222
Villahermosa, Tab.	114	127	132	138	151
Zacatecas, Zac.	110	122	127	131	143

Tabla 4.2. Velocidades Regionales, (Comisión Federal de Electricidad, 1993).

VELOCIDAD REGIONAL (m/seg)	Importancia de la Construcción		
	A	B	Temporal
Periodo de Retorno, años	200	50	10
Zona I: Delegaciones de Álvaro Obregón, Azcapotzalco, Benito Juárez, Coyoacán, Cuauhtémoc, G. A. Madero, Iztacalco, Iztapalapa, Miguel Hidalgo y Venustiano Carranza	39	36	31
Zona II: Delegaciones de Magdalena Contreras, Cuajimalpa, Milpa Alta, Tlalpan y Xochimilco.	35	32	28

Tabla 4.3. Criterio para la Velocidad Regional (Reglamento de Construcciones del Distrito Federal, 2004).

### 4.3 ANALISIS COMPARATIVO DE DISEÑO DE MUROS POR VIENTO, MEDIANTE EL MANUAL DE COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD (CFE) Y LAS NORMAS TECNICAS COMPLEMENTARIAS (RCDF-NTC).

Estos manuales contienen los procedimientos necesarios para determinar las velocidades de diseño por viento y las fuerzas mínimas que deben emplearse en el diseño de diferentes estructuras. En este capítulo se presentan los procedimientos necesarios para determinar la resistencia de elementos de mampostería sujetos a la acción de carga perpendicular a su plano, se consideran aquí únicamente elementos muy esbeltos, se supondrán conocidas la geometría y las características del muro, considerando el problema de un modo general, se puede suponer que la fuerza transversal  $F$  al muro y el momento flexionante  $M$  varían independiente. El problema planteado en su forma general no es fácil de tratar, dado el estado actual de nuestros conocimientos, por lo que comúnmente se intenta resolver considerando muros hipotéticos que nos avalan una vivienda real. Así por ejemplo en el capítulo 7 de manera similar se establecen procedimientos para predecir la resistencia de elementos sujetos a las acciones del viento mediante la Teoría de Placas.

A continuación se resuelven algunos muros de vivienda con un ancho de 1.0m, la altura ira variando hasta sobrepasar la altura gradiente de 390m y así llegar a 540m, se tomaran en cuenta los tres rangos que nos marca el reglamento para obtener la variación de la velocidad del viento con la altura  $Z$ , se tomó en cuenta un lugar del Distrito Federal que es la zona que tienen en común los dos reglamentos RCDF-NTC y CFE, los parámetros se obtuvieron de acuerdo a esta zona, la rugosidad del terreno y la topografía del lugar son semejantes de acuerdo a las tablas que nos marcan los reglamentos, se revisa el análisis estático y dinámico para obtener así la presión de diseño y con esta obtener la fuerza para diferentes alturas con el fin de observar la variación en el incremento de la velocidad de diseño, la presión y por lo tanto las fuerzas que actúan con respecto a la altura.

#### 4.3.1 COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD (CFE)

- *Características de la localidad:*

Estructura según su Importancia, Grupo: B  
 Respuesta ante el Viento, Tipo: 2  
 Periodo Retorno: 50  
 Rugosidad de Terreno Categoría: 3  
 Topografía Tipo: Terreno plano, campo abierto, pendiente menor al 5%  
 Estructura según su Tamaño, Clase: A

- *Parámetros:*

Factor de variación con la altura:  $\alpha=0.156$   
 Altura Gradiente:  $\delta=390$  m  
 Factor de Tamaño:  $F_C=1.0$   
 Factor de Topografía:  $F_T=1.0$   
 Velocidad Regional:  $V_R=115$  km/hr

Velocidad de Diseño:	$V_D = F_T F_a V_R$
Factor de Corrección:	G (por temperatura y altura)
Factor de Respuesta Dinámica:	$F_g$ (Análisis Dinámico)
Coeficientes de Presión:	Barlovento $C_p = 2$
	Sotavento $C_p = 0$

y finalmente

<i>Presión Dinámica de Base:</i>	$q_z = 0.0048 G V_D^2 \dots\dots\dots (4.1)$
<i>Presión de Diseño (Estática):</i>	$P_z = 0.0048 G V_D^2 C_p \dots\dots\dots (4.2)$
<i>Presión de Diseño (Dinámica):</i>	$P_z = 0.0048 G V_D^2 C_p F_g \dots\dots\dots (4.3)$
<b>Fuerza:</b>	<b><math>F = P_z * A_T</math></b>

Los coeficientes de presión para muros aislados que se proporcionan provienen de los estudios en túneles de viento realizados por Holmes y Letchford (Manual de Obras Civiles de la CFE, 1993)). Las presiones que se presentan cuando el flujo de viento actúa paralelo a un muro, son causadas por los efectos de la turbulencia y del flujo de viento inestable, por ello, las cargas por viento en las direcciones paralela y normal al plano del muro deberán considerarse independientemente, se considera que la dirección paralela se omite, solo la dirección normal al plano del muro participa debido a que en la vivienda las presiones normales interesan más para cuestión de diseño. El análisis de la velocidad de diseño nos lleva a determinar el valor cuantitativo de varios aspectos que se deben tomar en cuenta, como lo es el tamaño de la construcción donde se calcula el tiempo de ráfaga que envuelve a la estructura, la variación de la velocidad del viento con respecto de la altura en donde ésta variación se da para características de rugosidad del terreno, así como los efectos locales que la topografía del lugar induce sobre ella.

En la tabla 4.4 se puede observar el incremento de la velocidad, en ella se tiene que a baja altura aproximadamente de 2.0m a 10.0m se tiene una velocidad mínima de 101.3 km/hr, mientras que al incrementar la altura se tiene una velocidad máxima de 179.4 km/hr. Se aprecia también que, a medida que la relación entre el ancho y la altura de un muro decrece, la presión neta que se genera cuando el viento actúa en dirección normal al muro se incrementa considerablemente esto se puede apreciar en la tabla donde para la relación ancho/altura=0.40 se tiene una presión de 76.0 kg/m<sup>2</sup> y una fuerza resultante de 0.19 ton, sin embargo para una relación baja de 0.0019 (Z=510m) se obtiene una presión de 238.2 kg/m<sup>2</sup> y una fuerza máxima de 7.15 ton. La figura 4.1 nos muestra la gráfica correspondiente al análisis estático, se observa un ligera curva hasta la altura de 60m y muy pronunciada hasta la altura gradiente (390m), posteriormente las fuerzas de viento permanecen constantes debido a que esta zona ya no está influenciada por la topografía y la fricción que se presenta con la irregularidad de la superficie del suelo es nula. Cabe mencionar que el análisis estático es adecuado para las construcciones relativamente rígidas, como las de baja y mediana altura. A fin de aplicar este método no es necesario tener un conocimiento detallado de las propiedades dinámicas de las construcciones, ya que la contribución de las presiones medias (estáticas) producidas por el viento es la de mayor trascendencia. Aun cuando se hayan dado recomendaciones para evitar el cálculo del periodo fundamental de la estructura, es deseable que, en la medida de lo posible, este se determine para seleccionar en forma más precisa el procedimiento de obtención de cargas (estático y dinámico) ya que se han registrado fallas en construcciones de baja altura y muy flexibles como almacenes, en las cuales se han constatado problemas de resonancia.

Por otra parte al trabajar con estructuras esbeltas es necesario considerar el análisis dinámico, cabe mencionar que el análisis dinámico deberá emplearse principalmente en el diseño de construcciones que sean sensibles a las vibraciones producidas por los efectos dinámicos del viento. Este procedimiento permite evaluar las cargas de diseño por viento y la respuesta dinámica amplificada, particularmente las de las estructuras altas y esbeltas con amortiguamiento bajo. Para determinar los efectos del viento utilizando este método se deben tomar en cuenta tanto las características del viento en el sitio de desplante, como las de la estructura.

**ANALISIS ESTATICO:**

Z (m)	Frz	F $\alpha$	V <sub>D</sub> (km/hr)	q <sub>z</sub> (kg/m <sup>2</sup> )	C <sub>pe</sub>	P <sub>z</sub> (kg/m <sup>2</sup> )	h (m)	At (m <sup>2</sup> )	Fuerza (Ton)
540.0	1.56	1.56	179.4	119.1	2.0	238.2	30.0	15.0	3.57
510.0	1.56	1.56	179.4	119.1	2.0	238.2	30.0	30.0	7.15
480.0	1.56	1.56	179.4	119.1	2.0	238.2	30.0	30.0	7.15
450.0	1.56	1.56	179.4	119.1	2.0	238.2	30.0	30.0	7.15
420.0	1.56	1.56	179.4	119.1	2.0	238.2	30.0	30.0	7.15
390.0	1.56	1.56	179.4	119.1	2.0	238.2	30.0	30.0	7.15
360.0	1.54	1.54	177.2	116.2	2.0	232.4	30.0	30.0	6.97
330.0	1.52	1.52	174.8	113.1	2.0	226.1	30.0	30.0	6.78
300.0	1.50	1.50	172.2	109.8	2.0	219.5	30.0	30.0	6.59
270.0	1.47	1.47	169.4	106.2	2.0	212.4	30.0	30.0	6.37
240.0	1.45	1.45	166.3	102.4	2.0	204.7	30.0	30.0	6.14
210.0	1.42	1.42	162.9	98.2	2.0	196.4	30.0	30.0	5.89
180.0	1.38	1.38	159.0	93.6	2.0	187.2	30.0	30.0	5.61
150.0	1.34	1.34	154.6	88.4	2.0	176.8	30.0	30.0	5.30
120.0	1.30	1.30	149.3	82.5	2.0	164.9	30.0	30.0	4.95
90.0	1.24	1.24	142.7	75.4	2.0	150.8	30.0	30.0	4.52
60.0	1.16	1.16	134.0	66.4	2.0	132.9	30.0	30.0	3.99
30.0	1.05	1.05	120.2	53.5	2.0	107.0	20.0	25.0	2.68
10.0	0.88	0.88	101.3	38.0	2.0	76.0	2.5	11.3	0.85
7.5	0.88	0.88	101.3	38.0	2.0	76.0	2.5	2.5	0.19
5.0	0.88	0.88	101.3	38.0	2.0	76.0	2.5	2.5	0.19
2.5	0.88	0.88	101.3	38.0	2.0	76.0	2.5	2.5	0.19
0.0	0.88	0.88	101.3	38.0	2.0	76.0	0.0	1.25	0.09
sumas								540.00	106.62

Tabla 4.4. Obtención de las fuerzas Estáticas de Viento, (Manual de Obras Civiles de CFE, 1993).

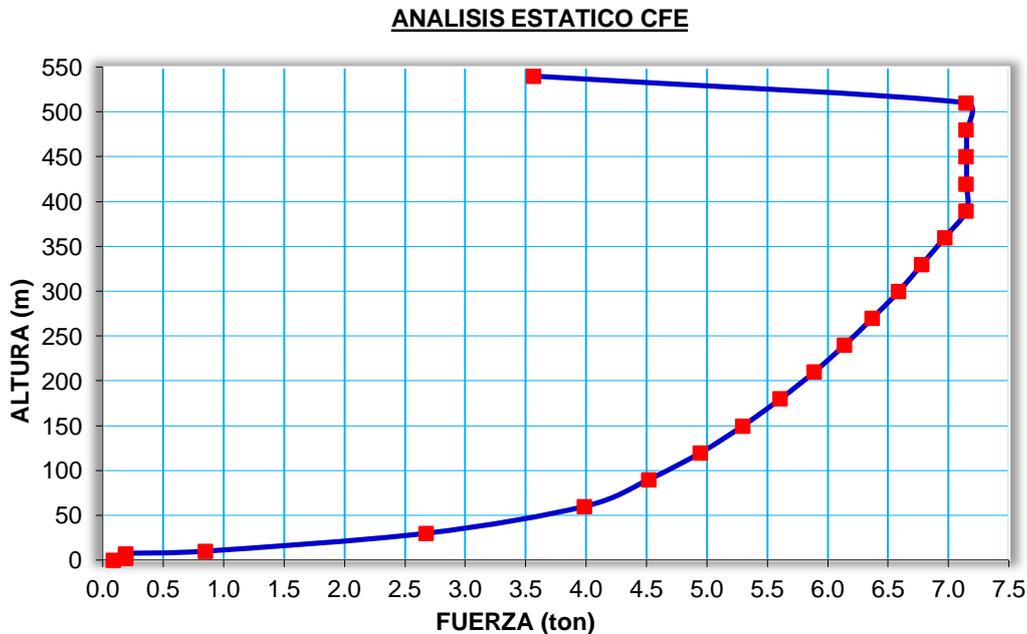


Figura 4.1. Análisis Estático de Viento, (Manual de Obras Civiles de CFE, 1993).

**ANALISIS DINAMICO:**

Z (m)	Frz	F $\alpha$	V <sub>H</sub> (km/hr)	qz (kg/m <sup>2</sup> )	Ca'	Fg	Ca	Pz (kg/m <sup>2</sup> )	At (m <sup>2</sup> )	Fuerza (ton)	
540.0	1.56	1.56	179.4	119.1	3.46	0.96	2.0	231.5	15	3.43	
510.0	1.56	1.56	179.4	119.1	3.46	0.96	2.0	231.5	30	6.87	
480.0	1.56	1.56	179.4	119.1	3.46	0.96	2.0	231.5	30	6.87	
450.0	1.56	1.56	179.4	119.1	3.46	0.96	2.0	231.5	30	6.87	
420.0	1.56	1.56	179.4	119.1	3.46	0.96	2.0	231.5	30	6.87	
390.0	1.56	1.56	179.4	119.1	3.46	0.96	2.0	231.5	30	6.87	
360.0	1.54	1.54	177.2	116.2	3.33	0.95	2.0	224.4	30	6.65	
330.0	1.52	1.52	174.8	113.1	3.19	0.95	2.0	216.9	30	6.43	
300.0	1.50	1.50	172.2	109.8	3.04	0.94	2.0	208.9	30	6.19	
270.0	1.47	1.47	169.4	106.2	2.89	0.93	2.0	200.5	30	5.94	
240.0	1.45	1.45	166.3	102.4	2.73	0.92	2.0	191.6	30	5.68	
210.0	1.42	1.42	162.9	98.2	2.55	0.92	2.0	182.0	30	5.39	
180.0	1.38	1.38	159.0	93.6	2.37	0.91	2.0	171.6	30	5.08	
150.0	1.34	1.34	154.6	88.4	2.17	0.89	2.0	160.1	30	4.74	
120.0	1.30	1.30	149.3	82.5	1.94	0.88	2.0	147.1	30	4.36	
90.0	1.24	1.24	142.7	75.4	1.69	0.86	2.0	132.1	30	3.91	
60.0	1.16	1.16	134.0	66.4	1.38	0.84	2.0	113.8	30	3.37	
30.0	1.05	1.05	120.2	53.5	0.98	0.82	2.0	88.6	25	2.18	
10.0	0.88	0.88	101.3	38.0	0.57	0.78	2.0	60.5	11.25	0.67	
7.5	0.88	0.88	101.3	38.0	0.57	0.78	2.0	60.5	2.5	0.15	
5.0	0.88	0.88	101.3	38.0	0.57	0.78	2.0	60.5	2.5	0.15	
2.5	0.88	0.88	101.3	38.0	0.57	0.78	2.0	60.5	2.5	0.15	
0.0	0.88	0.88	101.3	38.0	0.57	0.78	2.0	60.5	1.25	0.07	
										540	100.10

Tabla 4.5. Obtención de las fuerzas Dinámicas de Viento, (Manual de Obras Civiles de CFE, 1993).

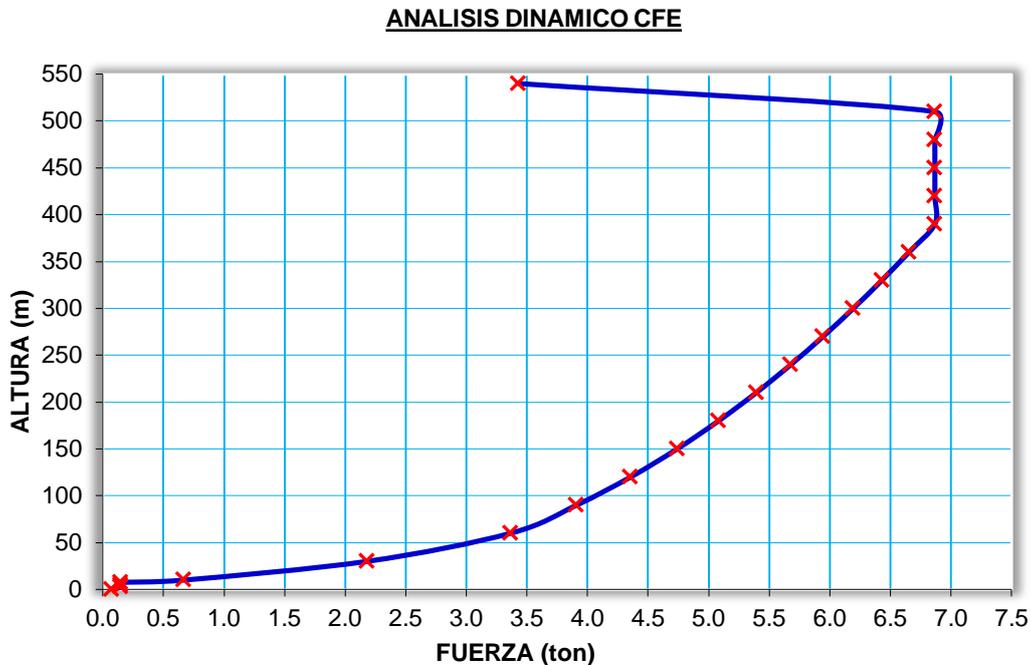


Figura 4.2. Análisis Dinámico de Viento, (Manual de Obras Civiles de CFE, 1993).

Entre ellos puede mencionarse; la intensidad de la turbulencia en el aire en el sitio de interés, la cual está en función de la altitud y de la rugosidad de la superficie del terreno circundante; otra son las características de la construcción, como altura, ancho, frecuencia natural de vibración, amortiguamiento, etc. Al tener en cuenta estos parámetros conjuntamente, el resultado que se obtiene es un factor de respuesta dinámica debida a ráfagas. Este factor permite determinar el valor de la respuesta máxima probable que debe considerarse para el diseño. En la tabla 4.5 se aprecia el factor de ráfaga  $F_g$  obtenido, que oscila entre 0.96 y 0.78, estos valores al ser multiplicados por la presión de diseño nos da como resultado la presión dinámica, así para una altura de 2.5m se obtiene una presión de 60.5 kg/m<sup>2</sup> y al incrementarse la altura esta la presión resulta como máxima de 231.5 kg/m<sup>2</sup>, las fuerzas resultantes se observan al final de la tabla, estas varían desde 0.15 ton para alturas menores a 8m, y de 6.95 ton para alturas mayores a la altura gradiente. La figura 4.2 nos muestra el análisis dinámico, la gráfica presenta una curva ligeramente tenue de 2.5m a 390.0m después de esta altura se aprecia una línea recta en la fuerzas resultantes, en los últimos punto sobre la altura de 390m le corresponden fuerzas de 6.87 ton.

#### 4.3.2 REGLAMENTO DE CONSTRUCCIONES DEL DISTRITO FEDERAL (RCDF-NTC)

- *Características de la localidad:*
  - Grupo: B
  - Estructura Tipo: 2
  - Periodo de Retorno: 50
  - Rugosidad de Terreno: R3 y (R4)
  - Topografía Tipo: T3 (Terreno plano, campo abierto, pendiente menor al 5%)
- *Parámetros:*
  - Factor de Variación por Altura:  $\alpha=0.156$  y ( $\alpha=0.170$ )
  - Altura Gradiente:  $\delta=390$  m y ( $\delta=455$  m)
  - Factor de Topografía:  $F_{TR}=0.88$  y ( $F_{TR}=0.82$ )
  - Velocidad Regional:  $V_R=32$  m/s, y ( $V_R=36$  m/s)
  - Velocidad de Diseño:  $V_D=F_{TR}F_\alpha V_R$
  - Factor de Respuesta Dinámica: G (Análisis Dinámico)
  - Coeficientes de Presión: Barlovento  $C_p=2$   
Sotavento  $C_p=0$

y finalmente

$$\text{Presión de Diseño (Estática): } P_Z=0.048V_D^2C_p \dots\dots\dots (4.4)$$

$$\text{Presión de Diseño (Dinámica): } P_Z=0.048V_D^2C_pG \dots\dots\dots (4.5)$$

$$\text{Fuerza: } F = P_Z * A_T$$

Los parámetros mencionados anteriormente se obtuvieron de las Normas Técnicas Complementarias (Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal, 2004), se realizó el análisis para los tres intervalos con respecto a la altura que establece el manual para las velocidades regionales de 32m/s y 36m/s respectivamente, obteniendo así el factor de variación para cada una de ellas, la altura varia de 2.5m hasta los 540m y con un ancho de 1.0m, es necesario mencionar que en este ejemplo se visualiza el comportamiento del muro al obtener las fuerzas generadas por el viento.

Por otra parte existen coeficientes que son factores correctivos con respecto al caso básico de exposición que es el de campo abierto (caso C). A este caso corresponden, por ejemplo las velocidades especificadas en el Manual de CFE, mientras que las especificaciones del RCDF se basan en una velocidad de viento de diseño de 80km/hr, derivada de las mediciones en las estaciones locales y que corresponde a una condición de exposición de área urbana (caso B) y no de campo abierto como en otros códigos. Difieren por eso las velocidades regionales del Reglamento de Construcciones del Distrito Federal de las que se tienen en el Manual de Comisión Federal de Electricidad.

**ANALISIS ESTATICO:**

Z (m)	F $\alpha$	V <sub>D</sub> (m/s)	P <sub>Z</sub> (kg/m <sup>2</sup> )	Z' (m)	h (m)	At (m <sup>2</sup> )	Fuerza (ton)
540	1.77	49.9	238.75	525.0	30	15.0	<b>3.58</b>
510	1.77	49.9	238.75	495.0	30	30.0	<b>7.16</b>
480	1.77	49.9	238.75	465.0	30	30.0	<b>7.16</b>
450	1.77	49.9	238.75	435.0	30	30.0	<b>7.16</b>
420	1.77	49.9	238.75	405.0	30	30.0	<b>7.16</b>
390	1.77	49.9	238.75	375.0	30	30.0	<b>7.16</b>
360	1.75	49.3	232.86	345.0	30	30.0	<b>6.99</b>
330	1.73	48.6	226.63	315.0	30	30.0	<b>6.80</b>
300	1.70	47.9	219.99	285.0	30	30.0	<b>6.60</b>
270	1.67	47.1	212.87	255.0	30	30.0	<b>6.39</b>
240	1.64	46.2	205.19	225.0	30	30.0	<b>6.16</b>
210	1.61	45.3	196.82	195.0	30	30.0	<b>5.90</b>
180	1.57	44.2	187.58	165.0	30	30.0	<b>5.63</b>
150	1.53	43.0	177.21	135.0	30	30.0	<b>5.32</b>
120	1.47	41.5	165.29	105.0	30	30.0	<b>4.96</b>
90	1.41	39.7	151.10	75.0	30	30.0	<b>4.53</b>
60	1.32	37.2	133.14	45.0	30	30.0	<b>3.99</b>
30	1.19	33.4	107.25	20.0	20	25.0	<b>2.68</b>
10	1.0	28.2	76.13	8.75	2.5	11.3	<b>0.86</b>
7.5	1.0	28.2	76.13	6.25	2.5	2.5	<b>0.19</b>
5.0	1.0	28.2	76.13	3.75	2.5	2.5	<b>0.19</b>
2.5	1.0	28.2	76.13	1.25	2.5	2.5	<b>0.19</b>
0.0	1.0	28.2	76.13	0.0	0.0	1.3	<b>0.10</b>
sumas							<b>106.86</b>

Tabla 4.6. Obtención de las fuerzas Estáticas de Viento, (Reglamento de Construcciones del Distrito Federal, 2004).

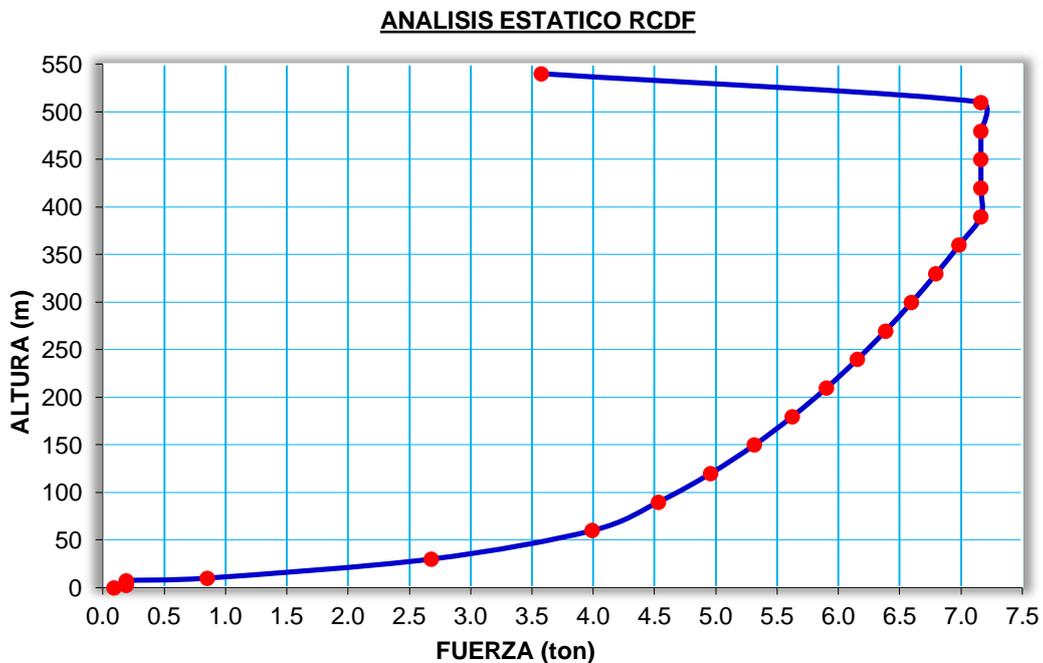


Figura 4.3. Análisis Estático de Viento, (Reglamento de Construcciones del Distrito Federal, 2004).

**ANALISIS DINAMICO:**

Z (m)	F $\alpha$	V <sub>D</sub> (m/s)	C <sub>p</sub>	G	P <sub>z</sub> (kg/m <sup>2</sup> )	Z' (m)	h (m)	At (m <sup>2</sup> )	Fuerza (ton)
540	1.77	49.9	2.00	1.00	238.75	525.0	30	15.0	<b>3.58</b>
510	1.77	49.9	2.00	1.00	238.75	495.0	30	30.0	<b>7.16</b>
480	1.77	49.9	2.00	1.00	238.75	465.0	30	30.0	<b>7.16</b>
450	1.77	49.9	2.00	1.00	238.75	435.0	30	30.0	<b>7.16</b>
420	1.77	49.9	2.00	1.00	238.75	405.0	30	30.0	<b>7.16</b>
390	1.77	49.9	2.00	1.00	238.75	375.0	30	30.0	<b>7.07</b>
360	1.75	49.3	2.00	1.00	232.86	345.0	30	30.0	<b>6.89</b>
330	1.73	48.6	2.00	1.00	226.63	315.0	30	30.0	<b>6.70</b>
300	1.70	47.9	2.00	1.00	219.99	285.0	30	30.0	<b>6.49</b>
270	1.67	47.1	2.00	1.00	212.87	255.0	30	30.0	<b>6.27</b>
240	1.64	46.2	2.00	1.00	205.19	225.0	30	30.0	<b>6.03</b>
210	1.61	45.3	2.00	1.00	196.82	195.0	30	30.0	<b>5.77</b>
180	1.57	44.2	2.00	1.00	187.58	165.0	30	30.0	<b>5.47</b>
150	1.53	43.0	2.00	1.00	177.21	135.0	30	30.0	<b>5.14</b>
120	1.47	41.5	2.00	1.00	165.29	105.0	30	30.0	<b>4.75</b>
90	1.41	39.7	2.00	1.00	151.10	75.0	30	30.0	<b>4.26</b>
60	1.32	37.2	2.00	1.00	133.14	45.0	30	30.0	<b>3.61</b>
30	1.19	33.4	2.00	1.00	107.25	20.0	20	25.0	<b>2.29</b>
10	1.0	28.2	2.00	1.00	76.13	8.75	2.5	11.3	<b>0.86</b>
7.5	1.0	28.2	2.00	1.00	76.13	6.25	2.5	2.5	<b>0.19</b>
5	1.0	28.2	2.00	1.00	76.13	3.75	2.5	2.5	<b>0.19</b>
2.5	1.0	28.2	2.00	1.00	76.13	1.25	2.5	2.5	<b>0.19</b>
0.5	1.0	28.2	2.00	3.13	76.13	0.0	0.0	1.2	<b>0.30</b>
sumas									104.70

Tabla 4.7. Obtención de las fuerzas Dinámicas de Viento, (Reglamento de Construcciones del Distrito Federal, 2004).

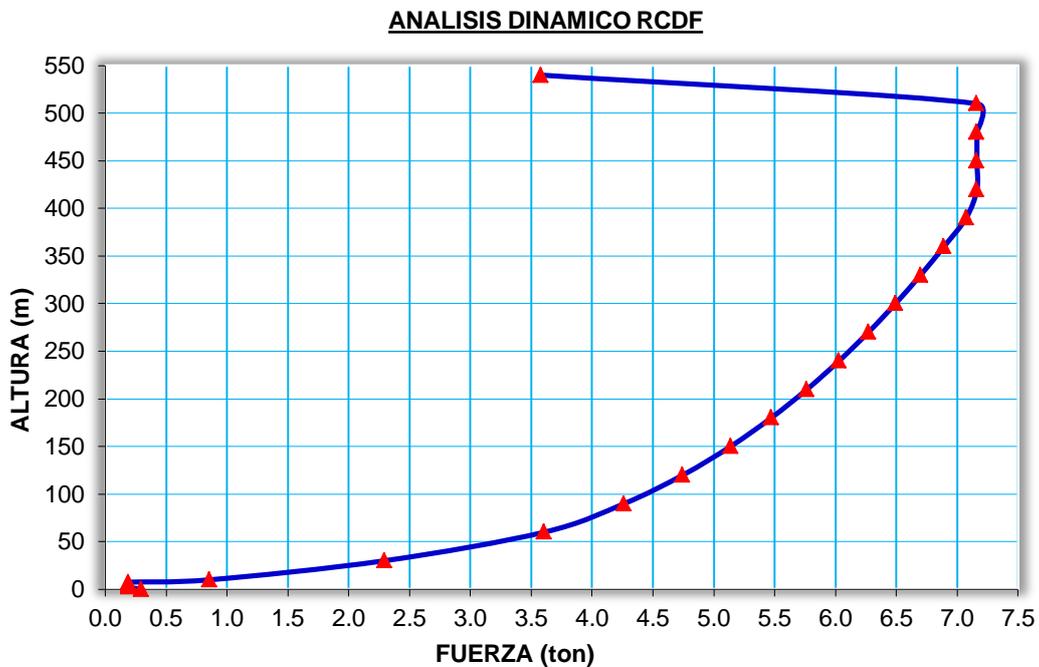


Figura 4.4. Análisis Dinámico de Viento, (Reglamento de Construcciones del Distrito Federal, 2004).

En primer lugar se realizó el análisis para la velocidad regional de 32m/s, en el análisis estático (tabla 4.6) se observa cómo se incrementa la velocidad de diseño de 28.2m/s hasta los 49.9m/s, la presión mínima que se tiene es de 76.13 kg/m<sup>2</sup> para los primeros 10.0m de altura y para la altura gradiente de 390m es de 238.75 kg/m<sup>2</sup>, posteriormente es constante la presión, el reglamento para muros o anuncios solo menciona un coeficiente de presión siendo este Cp=2 ya que la relación d/H<1.0, (donde *d* es el ancho del muro y *H* es la altura, NTC 2004), de esta manera se obtiene las fuerzas en el muro, esta es la fuerza actuante mínima de 0.19 ton para una altura de 2.5m y la fuerza máxima es de 7.16 ton al llegar a los 510m, esto se aprecia en la tabla 4.5 y en la figura 4.4 donde se observa una curva muy pronunciada hasta los 390m y rango en el que la altura es afectada por el factor de variación  $\alpha$ , después de esta altura, la serie de puntos tiende a ser una línea recta y constante, esto debido a que el viento circula en este punto sin que la influencia de la topografía le afecte.

Por otra parte se tienen los resultados para el análisis dinámico (tabla 4.7), en este punto las fuerzas obtenidas se puede decir son iguales comparándolas con las del estático, la presión de diseño se tiene entonces de 76.13 kg/m<sup>2</sup> para una altura de 2.5m y de 238.75 kg/m<sup>2</sup> para altura superior a los 390m, con fuerzas de F=0.19 ton para una altura de 2.5m a 10m y F=7.16 ton para una altura de 390m a 510m. La figura 4.4 muestra que para valores menores de 390m se tiene una curva muy tenue, las fuerzas que van de 30m hasta 160m presentan un incremento muy pequeño, después de este valor y al llegar a los 390m se aprecia un cambio muy brusco en la curva de datos, esto nos muestra la influencia al tener cierta rugosidad en la superficie terrestre, por otra parte al igual que en los casos anteriores el ultimo nivel de entepiso se consideró de la mitad que los anteriores es por eso el área tributaria disminuye y por ende la fuerza es la mitad de los niveles anteriores.

### 4.3.3 COMENTARIOS

A continuación se presenta a manera de resumen cada reglamento de la República Mexicana tanto para el análisis estático y dinámico. En la tabla 4.8 se muestran los resultados de las fuerzas máximas, perpendiculares al plano del muro para distintos intervalos de altura; las fuerzas resultantes obtenidas para el manual de Comisión Federal de Electricidad y el Reglamento del Distrito Federal para la velocidad de 32 m/s resultaron ligeramente parecidas, en el análisis estático la variación es del 0.002% en promedio, mientras que para la respuesta dinámica se obtuvieron incrementos un poco mayores, que van desde un 4.3% para valores mayores a 390m y un 27.88% para altura menores a 10m. Por otra parte al analizar solo el RCDF se encontró que sus fuerzas estáticas varían solamente hasta en un 17% sobre sus fuerzas dinámicas en el rango de 10m a 390m y para alturas mayores a los 390m y menores a 10m las fuerzas resultan prácticamente iguales. De la misma manera se tiene que para el reglamento de CFE, para alturas mayores a la altura gradiente (390m) se tiene en un 4.1% de las fuerzas estáticas mayores sobre las fuerzas dinámicas, al igual se observa que para valores menores a 10m se tiene un 27.7% y en el rango intermedio varía desde un 4.1% hasta un 22.6%.

Por otra parte el RCDF marca en el código otra velocidad regional de  $V_R=36\text{m/s}$ , velocidad con la cual se realizaron el análisis y los cálculos de la misma manera que en el caso anterior, en donde se aprecia que las fuerzas resultantes en el análisis estático del RCDF varían alrededor del 28.8% por arriba del de CFE para alturas mayores a los 390m y del 10% para altura por debajo de los 10m, mientras que para el análisis dinámico la variación fue desde un 41.3% para alturas menores a 10m y 34.1% para alturas mayores a 390m. Observando las fuerzas estáticas y dinámicas en el RCDF para la velocidad de 36m/s, la variación es la misma al caso anterior, como se aprecia en la tabla 4.8.

**COMPARACION ENTRE EL ANALISIS ESTATICO Y EL ANALISIS DINAMICO:**

Z (m)	RCDF			RCDF			CFE			Vr <sub>(RCDF)</sub> =32m/s		Vr <sub>(RCDF)</sub> =36m/s	
	Vr = 32 m/s		Est/Din	Vr = 36 m/s		Est/Din	Vr = 115 km/hr		Est/Din	ESTATICO	DINAMICO	ESTATICO	DINAMICO
	Estático	Dinámico		Estático	Dinámico		Estático	Dinámico					
	F (Ton)	F (Ton)		F (Ton)	F (Ton)		F (Ton)	F (Ton)		RCDF/CFE	RCDF/CFE	RCDF/CFE	RCDF/CFE
540	3.58	3.58	1.000	4.60	4.60	1.000	3.57	3.43	1.041	1.0028	1.044	1.2885	1.341
510	7.16	7.16	1.000	9.19	9.19	1.000	7.15	6.87	1.041	1.0018	1.043	1.2859	1.338
480	7.16	7.16	1.000	9.19	9.17	1.002	7.15	6.87	1.041	1.0018	1.043	1.2859	1.335
450	7.16	7.16	1.000	9.16	9.05	1.012	7.15	6.87	1.041	1.0018	1.043	1.2817	1.318
420	7.16	7.16	1.000	8.94	8.83	1.012	7.15	6.87	1.041	1.0018	1.043	1.2509	1.286
390	7.16	7.07	1.013	8.72	8.60	1.014	7.15	6.87	1.041	1.0018	1.030	1.2201	1.252
360	6.99	6.89	1.015	8.49	8.36	1.016	6.97	6.65	1.048	1.0028	1.036	1.2180	1.256
330	6.80	6.70	1.015	8.24	8.11	1.016	6.78	6.43	1.055	1.0024	1.042	1.2146	1.261
300	6.60	6.49	1.017	7.98	7.84	1.018	6.59	6.19	1.063	1.0023	1.048	1.2118	1.266
270	6.39	6.27	1.019	7.70	7.55	1.020	6.37	5.94	1.072	1.0028	1.055	1.2084	1.270
240	6.16	6.03	1.022	7.39	7.23	1.022	6.14	5.68	1.082	1.0029	1.062	1.2031	1.273
210	5.90	5.77	1.023	7.07	6.89	1.026	5.89	5.39	1.093	1.0014	1.070	1.2000	1.278
180	5.63	5.47	1.029	6.71	6.50	1.032	5.61	5.08	1.105	1.0027	1.076	1.1950	1.279
150	5.32	5.14	1.035	6.30	6.07	1.038	5.30	4.74	1.119	1.0029	1.084	1.1877	1.281
120	4.96	4.75	1.044	5.84	5.57	1.048	4.95	4.36	1.136	1.0025	1.091	1.1803	1.279
90	4.53	4.26	1.063	5.30	4.96	1.069	4.52	3.91	1.157	1.0016	1.090	1.1718	1.269
60	3.99	3.61	1.105	4.62	4.13	1.119	3.99	3.37	1.184	1.0011	1.073	1.1592	1.227
30	2.68	2.29	1.170	3.04	2.56	1.188	2.68	2.18	1.226	1.0017	1.050	1.1363	1.173
10	0.86	0.86	1.000	0.94	0.94	1.000	0.85	0.67	1.277	1.0064	1.285	1.1000	1.405
7.5	0.19	0.19	1.000	0.21	0.21	1.000	0.19	0.15	1.277	1.0005	1.278	1.1059	1.413
5.0	0.19	0.19	1.000	0.21	0.21	1.000	0.19	0.15	1.277	1.0005	1.278	1.1059	1.413
2.5	0.19	0.19	1.000	0.21	0.23	0.913	0.19	0.15	1.277	1.0005	1.278	1.1059	1.547
0.0	0.19	0.30	0.633	0.10	0.39	0.256	0.09	0.07	1.277	2.0011	4.036	1.0532	5.246

Tabla 4.8. Comparación de los análisis Estático y Dinámico, (manual CFE Y RCDF-NTC).

Cabe mencionar que en teoría el método dinámico, si bien es cierto debería de ser más rígido que el método estático, no necesariamente siempre se cumple esta condición, como se vio en el punto anterior en donde las fuerzas dinámicas fueron menores que las fuerzas estáticas y que es válido, ya que el reglamento (RCDF) en sus Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo (apartado 9.3) hace mención “Si con el método de análisis dinámico que se haya aplicado se encuentra que, en la dirección que se considera, la fuerza cortante dinámica es menor que 0.8 de la fuerza estática, es decir  $F_{DIN} < 0.8F_{EST}$ , se incrementaran todas las fuerzas de diseño y desplazamientos laterales correspondientes, en una proporción tal que las fuerzas dinámicas iguallen a las fuerzas estáticas”. Esto nos hace mención que el resultado antes visto será aceptable siempre y cuando no sobre pase este valor, y como se observa, esto solo aplicaría a alturas menores a 10m para el análisis de CFE, por lo demás cumple con la condición.

Por otra parte, después de analizar los resultados obtenidos de los muros con el reglamento del Distrito Federal y el de la Comisión Federal, se encontró que para el análisis estático se obtiene fuerzas iguales tomando en cuenta que la zona sea la misma para los dos reglamentos, es decir la zona del Distrito Federal y tomando en este caso particular una velocidad de 32m/s (Zona II). Por otra parte si la estructura se encuentra en Zona I se tendrá una velocidad regional de 36m/s y por tanto las fuerzas se incrementaran notablemente sobre las obtenidas por el de CFE como se observa en la tabla 4.8, un 28.8% para las fuerzas estáticas y un 34.1% para las fuerzas dinámicas, por consiguiente, se sugiere entonces utilizar el reglamento RCDF-NTC cuando se trate la estructura en la ciudad de México, ya que como se observa en este trabajo tanto las fuerzas estáticas como dinámicas del Reglamento del Distrito Federal rigen sobre el diseño del Manual de Comisión Federal de Electricidad sobre las fuerzas estáticas y dinámicas.

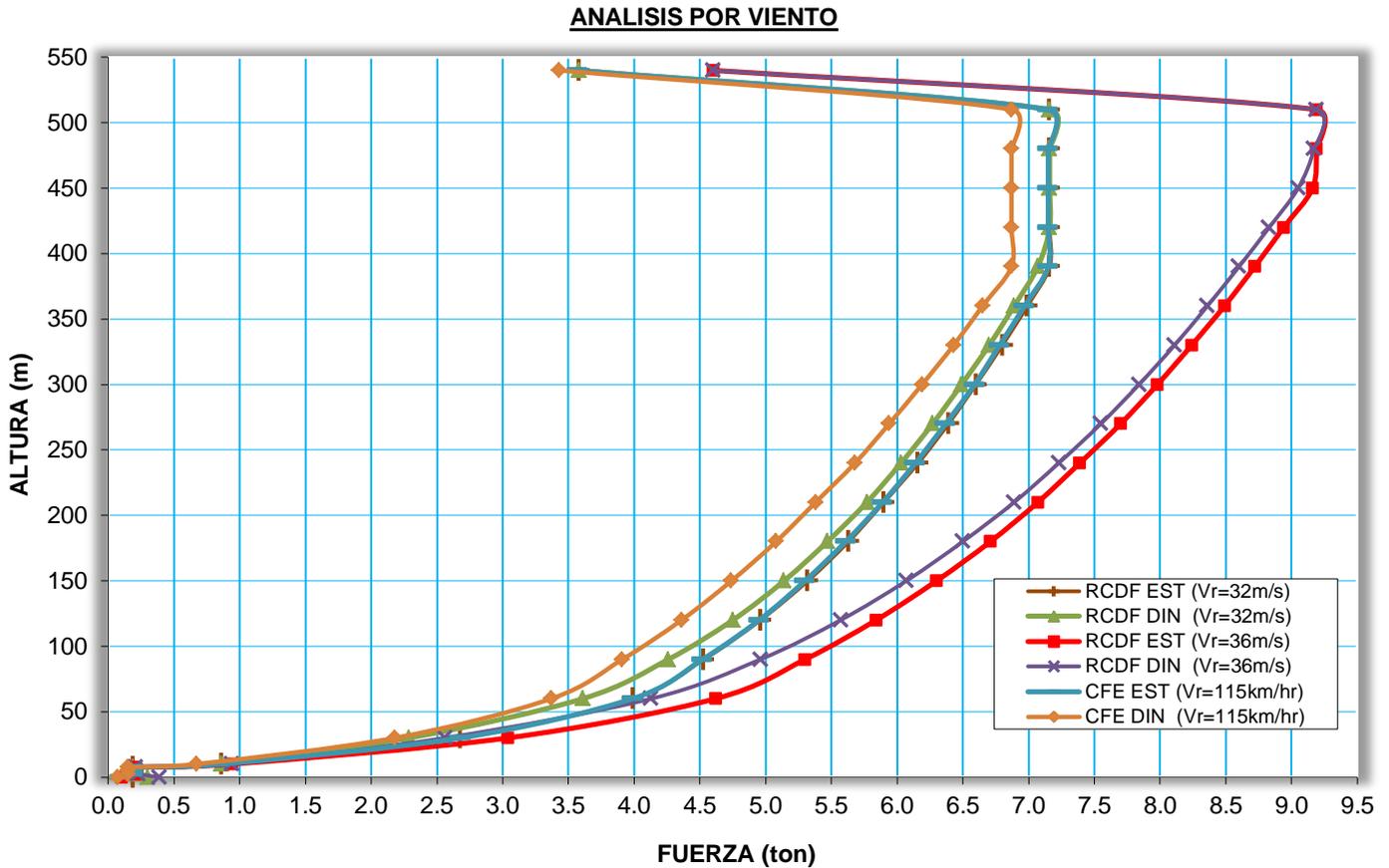


Figura 4.5. Variación de las fuerzas dinámicas y estáticas por Viento, (Manual de CFE y RCDF).

En la figura 4.5 se muestra la configuración desplazada de las fuerzas en el muro para los dos tipos de análisis (estático y dinámico), las fuerzas en el estático son mayores ligeramente sobre el dinámico en ambos reglamentos, sin embargo la configuración del análisis estático entre NTC y CFE se encuentra muy disparado, se aprecia en la gráfica para el RCDF ( $V_r=36\text{m/s}$ ) que la curva tiende a ser mayor para las mismas alturas, se observa cómo influye el tipo y la rugosidad del terreno ya que para esta curva se tomó una zona tipo R4 es decir, una zona de gran densidad de edificios altos, en donde por lo menos la mitad de las edificaciones que se encuentran en un radio de 500m alrededor de la estructura en estudio tiene altura superior a 20m, tal como lo es el centro del Distrito Federal; por otra parte para el análisis dinámico hasta los 390.0m se presentan fuerzas con cierta variación, después de esta altura en los dos casos las fuerzas son constantes se aprecia un decremento por parte de CFE, la mayor influencia de la presión se tiene en el lado superior del muro. Este tipo de comportamiento demuestra que el viento influye en gran medida con la altura de la estructura.

## **CAPITULO 5**

### **EVALUACION DEL GRADO DE VULNERABILIDAD DE LA VIVIENDA DE BAJO COSTO ANTE EL EFECTO DEL VIENTO**

#### **5.1 INTRODUCCIÓN.**

Para realizar análisis de riesgo es necesario abarcar tres grandes campos de estudio: el peligro, la vulnerabilidad y el costo. En cuanto al peligro, históricamente en nuestro país, al igual que en gran parte de los países en vías de desarrollo, se observan consistentemente daños en las edificaciones e infraestructura en general ante la incidencia de eventos naturales, como son los fenómenos meteorológicos del tipo de vientos intensos generados por ciclones tropicales. Dentro de las edificaciones que resultan más afectadas se encuentran principalmente las viviendas de bajo costo la mayoría de las cuales son consideradas como construcción informal, caracterizadas por emplear materiales de baja calidad y por no tener un diseño estructural formal, resultando altamente susceptibles a ser dañadas. El término vulnerabilidad se refiere a la susceptibilidad que tiene una construcción a presentar algún tipo de daño, provocado por la acción de algún fenómeno natural, en este capítulo únicamente se cubre el tema de la vulnerabilidad de la vivienda que es uno de los sectores que resultan con las mayores afectaciones ante la acción del fenómeno de viento generado por huracanes, produciéndose anualmente cuantiosas pérdidas económicas. En relación con el termino costos, dentro de las definiciones de riesgo más conocidas (p. ej. Ordaz, 1997), se refiere al presupuesto necesario para reponer lo dañado [3], [11]. Así, la finalidad de esta sección es establecer, criterios cualitativos generales para evaluar la vulnerabilidad física de la vivienda de bajo costo ante la acción de viento. Sin embargo, en la sección que sigue (capitulo 6) se hace una revisión de algunos conceptos que sirven de base para evaluar la vulnerabilidad y el riesgo de forma cualitativa.

#### **5.2 VULNERABILIDAD EN ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERIA.**

Las estructuras de mampostería, que generalmente se asocian a viviendas con una alta densidad de muros en ambas direcciones, producto de las recomendaciones para diseño por sismo en las regiones de la costa Pacífico, en la mayoría de los casos no se revisan ante la incidencia del viento. Sin embargo, es de la mayoría conocido el hecho de que un muro en la dirección de su plano tiene generalmente rigidez y resistencia suficiente para soportar las demandas; pero no necesariamente el mismo muro tendrá la misma capacidad para lograr un comportamiento adecuado ante la incidencia de fuerzas perpendiculares a su plano (denominadas también fuera del plano). Esta omisión en la revisión y diseño del comportamiento de muros ante fuerzas fuera del plano se acentúa cuando la edificación es producto de la autoconstrucción, procedimiento de construcción muy socorrido para resolver la demanda de vivienda de bajo costo. Una característica de la autoconstrucción es la ausencia de detalles adecuados para soportar los efectos de fuerzas laterales, como las generadas por viento. Debido a sus características, las mamposterías no tienen resistencias a tensión; así, para solventar la demanda de esfuerzos por momento de flexión debido a fuerzas de viento, generalmente se requiere de la presencia de elementos confinantes de la mampostería, como castillos y dalas, contrafuertes y columnas. Muros que pudieran verse suficientemente resistentes para soportar fuerzas laterales, pudieran resultar vulnerables al efecto de fuerzas laterales fuerza de su plano. Aunado a lo anterior, el peso de los componentes de un muro de mampostería generalmente es grande, y la falla pudiera ocasionar daños considerables e incluso se constituye en un peligro para la población. Hay casos en eventos recientes, como Gilbert, Pauline (en México) o Andrew (en los Estados Unidos de América), en que se observaron fallas parciales de muros de mampostería sujetos a velocidades de viento muy altas (figura 5.1). En la mayoría de los casos la falla ocurre entre los elementos estructurales de concreto reforzado si

éstos existen, o en la mitad del muro cuando no existan. El problema en muros de mampostería de vivienda se acentuará cuando no se tengan elementos confinantes de concreto reforzado. Por lo tanto, con objeto de reducir los niveles de vulnerabilidad de las edificaciones de mampostería, de manera similar a lo propuesto para este tipo de estructuras sujetas a las fuerzas laterales provocadas por sismo, resultan necesarios refuerzos estructurales suficientemente cercanos e idealmente formando marcos perimetrales confinantes [20].



Figura 5.1. Daños en muros de mampostería por efecto de viento (Huracán Andrew, Florida, USA, 08/24/1992; Fotografía tomada de FEMA News Photo).

Igualmente, los muros de mampostería usados como bardas de colindancia o como simples fachadas aisladas, independientemente de la altura de las mismas, resultan altamente vulnerables ante el empuje del viento en la dirección fuera del plano. En todos los huracanes reportados, el porcentaje de daño en muros de barda resulta de consideración (figura 5.2).



Figura 5.2. Daños y falla en muros de mampostería usados en bardas de colindancia, (H. Toledo; Huracán Pauline, Oaxaca, México, 1999).

En este tipo de muros resulta más crítico el uso inadecuado de elementos confinantes de concreto reforzado (castillos y dalas de cerramiento) que para los muros de edificación. Dado que en este tipo de estructuras no existe la restricción que proporcionan los muros ortogonales, las demandas de momentos de volteo y rotación en la base resultan muy altas para ser soportadas adecuadamente por los castillos tradicionales y, sobre todo, para los castillos pre-armados, que generalmente se emplean para resolver este tipo de elementos muchas veces considerados como no estructurales. Este tipo de daños se observó con frecuencia en la costa del estado de Oaxaca ante la incidencia del huracán Pauline (figura 5.3).



*Figura 5.3. Falla por flexión del muro debido al giro de la cimentación en una estructura de mampostería confinada (H. Toledo; Huracán Pauline, Oaxaca, México, 1999).*

Otro parámetro que resulta importante para poder establecer una propuesta inicial de la relación peligro-susceptibilidad lo constituye la distribución de viviendas en zonas de alto peligro por viento (nivel de exposición). Será muy diferente el nivel de riesgos y la densidad de daño esperado en una región donde las velocidades máximas esperadas (nivel de peligro ante el evento estudiado) sean bajas y la calidad de construcción y nivel de seguridad de la vivienda sean altas, (vulnerabilidad baja) aun cuando la densidad de vivienda (exposición) sea también alta; de otra zona donde las velocidades de viento resulten altas y la calidad de la vivienda sea considerablemente baja. Probablemente el nivel de riesgo y la densidad y nivel del daño esperado en el segundo caso resultará mayor.

### **5.3 CONCEPTOS GENERALES DE VULNERABILIDAD Y ESCENARIOS DE RIESGO.**

#### **5.3.1 CONCEPTOS GENERALES PARA EVALUAR LA VULNERABILIDAD.**

La manera formal de cuantificar la vulnerabilidad es a través de funciones del mismo nombre, expresiones matemáticas que tratan de establecer una relación entre el nivel del parámetro o variable considerada para representar la intensidad del fenómeno que representa el peligro (por ejemplo, la velocidad del viento en caso de huracanes o la aceleración espectral en el caso de sismos) y la probabilidad de que se presente daño, en este estudio se consideró el porcentaje de daño esperado sobre los diferentes tipos de construcción.

La construcción de funciones de vulnerabilidad, independiente del fenómeno, que se considere, implica una clasificación de los sistemas expuestos. En el caso de viento, tanto los tipos de daños que pueden causar las presiones generadas por el movimiento del aire en una construcción, como la selección de las variables del mismo movimiento y de las propiedades del sistema o de la obra en cuestión que conduzcan a las estimaciones más confiables de las funciones de vulnerabilidad, dependen del tipo de sistema considerado. De acuerdo con esto, el tipo de construcción considerada es de casa habitación unifamiliar de hasta tres niveles construidos con muros de mampostería simple o reforzada, adobe o de madera; así como edificios vivienda, oficinas y escuelas, construidos con concreto reforzado, mampostería reforzada o sistemas prefabricados de concreto reforzado.

Así mismo, de acuerdo con su tipo, las estructuras en general pueden experimentar distintas formas de falla o de daños físicos, los que a su vez pueden conducir a consecuencias de diversas clases, entre las que se encuentran los costos directos, como los de reparación, o los indirectos, como los asociados a la interrupción de las funciones del sistema y las pérdidas de vidas humanas. Para la metodología que se presenta, tomando en cuenta que se trabajara únicamente con estructuras de edificación y que se tomaran en cuenta principalmente los costos directos, las formas de falla que pueden ser consideradas son las siguientes:

- Falla total de la estructura o de la cimentación
- Daños en elementos estructurales (muro y techos)
- Daños en elementos no estructurales (bardas, vidrios, acabados)
- Daños en instalaciones, equipo y contenidos

Los modos de falla condicionan fuertemente la forma de una función de vulnerabilidad. Por ejemplo, si una construcción es altamente vulnerable alcanzara su colapso para intensidades relativamente bajas, en tanto que una construcción con baja vulnerabilidad lo alcanzara para intensidades altas. Además, si el tipo de falla es frágil o abrupto, la función de vulnerabilidad presentara una configuración parecida a un pulso (figura 5.4.a); además de manera contraria, si el tipo de falla resulta dúctil o paulatino con grandes deformaciones y desplazamientos, la función de vulnerabilidad tendría una configuración más atenuada parecida a una letra “s” (figura 5.4.b) [10].

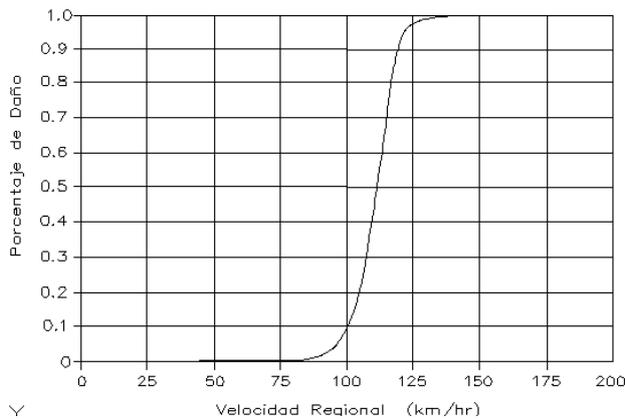


Figura 5.4.a. Función de vulnerabilidad para elemento con falla frágil, (CENAPRED, 2006).

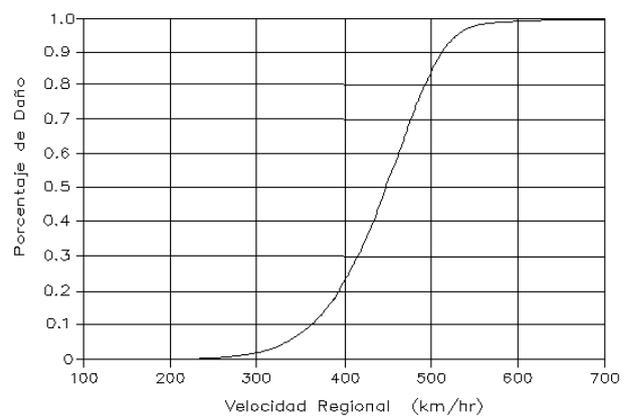


Figura 5.4.b. Función de vulnerabilidad para elemento con falla dúctil, (CENAPRED, 2006).

### 5.3.2 CONSTRUCCION DE ESCENARIOS.

Los criterios que se adopten para formular descripciones cuantitativas de riesgo dependen de las aplicaciones que se prevean. Los que proporcionan información más directamente aplicable para fines de preparación para la atención de emergencias ante fenómenos naturales son los de construcción de escenarios posibles ante alguna de las siguientes condiciones (Instituto de Ingeniería, UNAM-CENAPRED, 2003):

- Escenario en una localidad ante una intensidad asociada a un intervalo de recurrencia. Por ejemplo, si se esperan vientos con velocidades regionales (básica) de 200 km/h, al menos una vez en 200 años en la región costera de la frontera entre los estados de Guerrero y Michoacán.
- Escenario en una localidad ante la ocurrencia de un fenómeno natural. Por ejemplo, si ocurriera un sismo de magnitud y foco conocidos.
- Escenario regional ante la ocurrencia de fenómeno natural o antropogenico.

Para los fines de los escenarios anteriores, se entenderá como una localidad desde un solo inmueble hasta una extensión territorial pequeña (unos cuantos kilómetros o decena de kilómetros de longitud) en donde la intensidad generada por la ocurrencia de un fenómeno natural se pueda considerar constante, salvo por los efectos de las condiciones locales. Por ejemplo, en el caso del viento las irregularidades topográficas que puedan modificar considerablemente la intensidad del mismo.

## 5.4 ASPECTOS GENERALES DE LA RESPUESTA DE LA VIVIENDA ANTE LA ACCION DEL VIENTO.

### 5.4.1 REQUERIMIENTOS Y FUENTES DE INFORMACIÓN.

Existe información básica (CENAPRED, 2004) de las características de las viviendas reportadas en el censo de población y vivienda, disponible en el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). Esta fuente permite realizar una evaluación simplificada y cualitativa de la vulnerabilidad a nivel estatal o municipal si se usan los resultados generales del censo. La información con que cuenta el INEGI, clasifica a la vivienda por el material usado en techos, pisos y muros (paredes). Para los fines de vulnerabilidad ante viento, son de interés únicamente los datos de techos y muros. Desafortunadamente, los varios tipos de muros y techos considerados, aunque desglosan los datos por separado para diversos materiales ligeros (de desecho, lamina, madera, palma adobe y teja), no hacen diferencia entre los muros y techos “solidos” ya que reportan un solo dato para muros de materiales solidos: tabique, ladrillo, block, piedra, cantera, cemento y concreto, así como un solo dato para techos rígidos: losa de concreto, tabique, ladrillo y terrado de vigería.

Los criterios de evaluación que se describen requiere de una inspección en campo, que consiste en hacer un levantamiento clasificando cada vivienda en alguno de los tipos que se mencionan tomando en cuenta tres puntos de vista: la estructura del techo, los muros de la vivienda y los muros o bardas de colindancia.

### 5.4.2 EFECTOS QUE INFLUYEN EN LA VULNERABILIDAD SOBRE LA VIVIENDA.

La forma en que se describa la vivienda ante las consecuencias del viento, dependerá del tipo de sistema expuesto. La configuración y las características del mismo nos describirán la vulnerabilidad que se tenga ante este fenómeno. De acuerdo con esto, los sistemas expuestos se pueden clasificar como se describe a continuación (Instituto de Ingeniería UNAM-CENAPRED, 2003). De acuerdo con el tipo de su arreglo estructural, las construcciones se clasifican como:

- **Tipo I.** Casas para habitación unifamiliar, construidas con muros de mampostería simple o reforzada, adobe, madera o sistemas prefabricados.
- **Tipo II.** Edificios para vivienda, oficinas y escuelas, construidos con concreto reforzado, acero, mampostería reforzada o sistemas prefabricados. También pertenecen a este tipo las chimeneas, los tanques elevados y otros tipos de construcciones cuyos modos dominantes de falla puedan relacionarse con la ocurrencia de desplazamientos excesivos de su extremo superior.
- **Tipo III.** Construcciones especiales: teatros y auditorios, iglesias, naves industriales, construcciones antiguas, y construcciones que presenten riesgo significativo de falla en modos que no impliquen necesariamente la ocurrencia de desplazamientos excesivos en su extremo superior.
- **Tipo IV.** Sistemas de gran extensión o con apoyos múltiples: puentes.
- **Tipo V.** Tuberías superficiales o enterradas

Es de interés mencionar que en este apartado se hará referencia solo a las construcciones clasificadas como *Tipo I* debido a que en el estudio de viento la mayor afectación y los daños severos se centran en estructuras de vivienda de bajo costo.

La incidencia del viento es cada vez mayor en este tipo de estructuras, las irregularidades en ella hacen que la perdida de los bienes sea cada vez mayor, si bien es cierto que la experiencia que existe en el país es poca, la necesidad de estudiar a la vivienda y al viento es altamente grande.

Al igual que cualquier otro flujo, el viento atmosférico se ajusta para pasar alrededor de obstáculos, y este ajuste produce zonas con vientos de menor velocidad y otras con vientos de mayor velocidad que los que se esperarían en una zona completamente plana sin obstáculos. Algo similar ocurre a nivel local con las edificaciones, como se muestra en la figura 5.5 en este caso, tanto las zonas de barlovento como de sotavento de la edificación presentan velocidades de viento menores al flujo libre y pueden ser utilizadas como refugio emergente para personas que fueron sorprendidas en exteriores por vientos severos [8]. Sin embargo, es necesario recordar que este tipo de refugio opera solo con edificaciones que, en principio, sí resistirían las fuerzas de viento sobre ellas. Lo anterior no puede aplicarse a bardas o muros aislados, pues por su natural esbeltez no son muy resistentes al viento. Cuando el viento incide sobre cualquier superficie provoca en éste cierta presión adicional a la de la atmosfera. Si se desea evaluar la fuerza total que un cierto viento ejerce sobre una estructura, se deben sumar las fuerzas individuales sobre cada una de sus superficies. Además, por efecto de la turbulencia que se genera al pasar el viento librando la superficie de barlovento, se generan efectos de succión en la superficie de sotavento, que ejerce una fuerza en la misma dirección y sentido que las fuerzas que se generan por la presión en la cara de barlovento (CFE, 1993; RCDF-NTC, 1993).

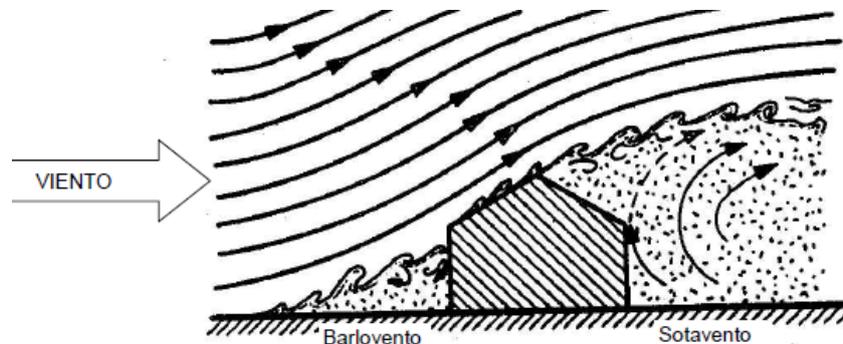


Figura 5.5. Representación esquemática del efecto de viento sobre una vivienda, (Toledo Sánchez H., 2003).

En la figura 5.5 se observa el tipo de presiones a las que estaría sujeta una estructura como la mostrada en la figura 5.6 inmersa en un viento intenso. Ante este tipo de solicitaciones generalmente no se considera que estructuras de mampostería, y sobre todo de mampostería confinada, pudieran representar una falla porque las fuerzas resultantes por presión de viento son generalmente menores que las fuerzas estáticas equivalentes que se consideran para diseño por sismo. Sin embargo, producto del huracán Pauline, en el estado de Oaxaca, se pudieron observar daños de importancia en este tipo de estructuras; un ejemplo se puede observar en la figura 5.3, en donde el movimiento del viento a velocidades elevadas (superiores a 150 km/h), genera fuerzas que se distribuyen en las construcciones. De acuerdo con esa distribución de fuerzas, los elementos estructurales en los que se debe centrar la atención son los muros y techos; de manera especial los techos son los que mayores daños presentan durante la acción de un fenómeno meteorológico.

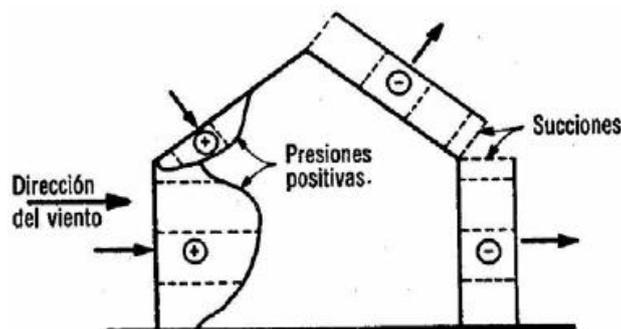


Figura 5.6. Representación esquemática de la distribución de presiones (Sotelo, 1979) y efecto del viento sobre una vivienda.

### 5.4.3 CLASIFICACIÓN DE LA VIVIENDA DE BAJO COSTO SEGÚN LA ACCIÓN DEL VIENTO.

Con base en los puntos débiles de una vivienda ante la acción del viento se propone la siguiente clasificación para varios tipos de vivienda según sus aspectos estructurales. Para la aplicación de este criterio se requiere de una inspección en campo, vivienda por vivienda o bien un muestreo. Los diferentes tipos de piezas de mampostería que comúnmente son empleados en la construcción de vivienda son los siguientes:

- Tabique rojo recocido.
- Tabique multiperforado de barro recocido.
- Tabique hueco de barro recocido.
- Piezas macizas de cemento arena (Tabicón).
- Bloque de concreto.
- Mampostería de piedras naturales.

Tabla 5.1 Tipos de vivienda con base en información técnica.

Tipo	Características de la Vivienda	Fotografía Representativa
1	<p><b>Muros:</b> Mampostería reforzada con castillos y dalas. Mampostería reforzada con castillos y dalas, con malla y mortero. Mampostería de piezas huecas con refuerzo interior.</p> <p><b>Techo:</b> Techo y entrepisos rígidos.</p> <p><b>Cimentación:</b> Zapata corrida de concreto o mampostería.</p> <p><b>Altura:</b> Uno a cinco niveles.</p>	
2	<p><b>Muros:</b> Mampostería reforzada con castillos y dalas. Mampostería de piezas huecas con refuerzo interior.</p> <p><b>Techo:</b> Flexibles.</p> <p><b>Cimentación:</b> Zapata corrida de mampostería.</p> <p><b>Altura:</b> Un nivel.</p>	
3	<p><b>Muros:</b> Mampostería deficientemente reforzada con castillos y dalas. Mampostería de piezas huecas con refuerzo interior insuficiente.</p> <p><b>Techo:</b> Techos y entrepisos rígidos.</p> <p><b>Cimentación:</b> Zapata corrida de mampostería.</p> <p><b>Altura:</b> Uno a cinco niveles.</p>	
4	<p><b>Muros:</b> Mampostería deficientemente reforzada con castillos y dalas. Mampostería de piezas huecas con refuerzo interior insuficiente.</p> <p><b>Techo:</b> Flexibles.</p> <p><b>Cimentación:</b> Zapata corrida de mampostería.</p> <p><b>Altura:</b> Un nivel.</p>	

5	<p><b>Muros:</b> Mampostería simple.</p> <p><b>Techo:</b> Techos y entrepisos rígidos.</p> <p><b>Cimentación:</b> Zapata de mampostería.</p> <p><b>Altura:</b> Uno a tres niveles.</p>	
6	<p><b>Muros:</b> Mampostería simple.</p> <p><b>Techo:</b> Flexible.</p> <p><b>Cimentación:</b> Zapata de mampostería.</p> <p><b>Altura:</b> Un nivel.</p>	
7	<p><b>Muros:</b> Adobe.</p> <p><b>Techo:</b> Rígido.</p> <p><b>Cimentación:</b> Cuando existe, de mampostería.</p> <p><b>Altura:</b> Uno a dos niveles.</p>	
8	<p><b>Muros:</b> Adobe.</p> <p><b>Techo:</b> Flexible.</p> <p><b>Cimentación:</b> Cuando existe, de mampostería.</p> <p><b>Altura:</b> Un nivel.</p>	
9	<p><b>Muros:</b> De madera con cubierta de lámina (asbesto, metálica, o de madera), Estructura metálica con cubierta de lamina (Asbesto, metálica o madera).</p> <p><b>Techo:</b> Flexible.</p> <p><b>Cimentación:</b> Cuando existe, zapata corrida de mampostería.</p> <p><b>Altura:</b> Un nivel.</p>	
10	<p><b>Muros:</b> Flexibles: material de desecho, lámina de cartón, lamina de asbesto y metálica, palma, tejamanil, bajareque (enramado cubierto de arcilla).</p> <p><b>Techo:</b> Flexible.</p> <p><b>Cimentación:</b> Cuando existe, zapata corrida de mampostería.</p> <p><b>Altura:</b> Un nivel.</p>	

Tabla 5.1. Tipos de vivienda con base en información técnica (continuación).

#### 5.4.3.1 Características del techo.

Todos los tipos de estructuras para edificación presentadas en los puntos anteriores se clasifican básicamente tomando en cuenta las características de los muros; sin embargo, en nuestro país, independientemente del tipo de solución usada para los muros de carga, se pueden tener diferentes sistemas de techo. Así, para cada una de los tipos de estructuras mencionadas, se

puede agregar una sub-clasificación: el sistema de techos rígido o flexible, para lo cual puede considerarse como primera opción la clasificación del INEGI que se resume enseguida:

- Aquellos que forman diafragmas que se pueden deformar fuera su plano. Los techos flexibles son aquellos hechos de los siguientes materiales: material de desecho, lámina de cartón, lamina de asbesto y metálica, palma, tejamanil, madera, teja, etc.
- Aquellos que prácticamente no se deforman fuera su plano. Los techos rígidos considerados son aquellos hechos a base de: losas de concreto en cualquier modalidad (maciza, vigueta y bovedilla, etc.), y sistemas de piso tradicionales a base de tabique, ladrillo y terrado con vigueta y bóveda catalana, por ejemplo.

#### 5.4.4 FORMATO DE LEVANTAMIENTO DE TIPOLOGÍA.

En este trabajo con el fin de facilitar la clasificación de la vivienda, se propone el uso del formato planteado en la sección anterior relacionada con el estudio ante el fenómeno de viento, en la figura 5.7 se presenta un formato de identificación para tipología de la vivienda. Este formato permite levantar en campo los datos suficientes para clasificar el tipo de vivienda, según la tabla 5.1, con fines de aplicar la metodología de cálculo del índice de riesgo descrito en las secciones siguientes. Una vez contemplados los formatos de cada una de las viviendas para una zona en estudio, se debe conformar una base de datos y representarla en un sistema de información geográfica. Adicionalmente para el estudio de viento se requerirá recopilar la siguiente información (no se propone un formato determinado):

Para la parte correspondiente a Muros, aceptando que estos estén debidamente diseñados como lo manda el reglamento y que son principalmente para muros que forman parte de la estructura de edificación, si el muro de la vivienda es de mampostería con refuerzo, deberá revisarse además:

*El refuerzo de dalas y castillos es:* a) *A base de varillas y armado en campo*  
b) *Con refuerzo pre-armado de fábrica*

Se deberá reportar la existencia de muros o bardas de colindancia, indicando también las propiedades de los mismos siguiendo el patrón y formato mostrado dentro de la parte correspondiente a “Muros” y requiriendo también la información que sobre el tipo de refuerzo para castillos y dalas se solicita por viento.

Para la parte correspondiente a Techos se deberá revisar:

*Los elementos de soporte (largueros y vigas) son de:*

- a) *Madera, con separación promedio de \_\_\_\_\_ (cm)*  
b) *Metal, con separación promedio de \_\_\_\_\_ (cm)*

*Los dispositivos de fijación son:*

- a) *Clavo-rocholata, con separación promedio de \_\_\_\_\_(cm)*  
b) *Tornillo-rondana, con separación promedio de \_\_\_\_\_(cm)*  
c) *Varilla- rondana-tuerca, con separación promedio de \_\_\_\_\_(cm)*

Además, debido a que el efecto del viento sobre las edificaciones resulta significativamente afectado por las características topográficas de la zona, se deberá reportar, como un aspecto adicional al formato, lo siguiente:

*Topografía de la zona de estudio:* a) *Litoral promontorio*  
b) *Planicie o campo abierto*  
c) *Área urbana o suburbana*

Este formato, permite levantar en campo los datos suficientes para clasificar el tipo de vivienda con el propósito de calcular el índice de susceptibilidad de daño descrito en la siguiente sección.

<b>FORMATO PARA TIPOLOGIA DE VIVIENDA</b>	
<b>INFORMACION GENERAL</b>	
Fecha: <input style="width: 80%;" type="text"/>	
Propietario: <input style="width: 90%;" type="text"/>	(Anotar: calle, no., lote, manzana, colonia, municipio/delegación, población/ciudad, estado. Entre calles A y B)
Dirección oficial: <input style="width: 95%;" type="text"/>	
Edad de la construcción: <input style="width: 20%;" type="text"/>	Coordenadas (geo-referencia): Longitud: <input style="width: 15%;" type="text"/> °N, Latitud <input style="width: 15%;" type="text"/> °O
Modificaciones sufridas: <input style="width: 95%;" type="text"/>	
<b>ASPECTOS ARQUITECTONICOS</b>	
Regularidad en planta: buena (simétrica) <input style="width: 10%;" type="text"/> , mala: <input style="width: 10%;" type="text"/>	Muros suficientes en dos direcciones: <input style="width: 10%;" type="text"/> si <input style="width: 10%;" type="text"/> no
Número de niveles: <input style="width: 10%;" type="text"/> Altura de entrepiso <input style="width: 15%;" type="text"/> m	Dimensiones generales: Frente: <input style="width: 15%;" type="text"/> m; Largo: <input style="width: 15%;" type="text"/> m
<b>ASPECTOS ESTRUCTURALES</b>	
Contó con asesoría profesional: <input style="width: 10%;" type="text"/> si <input style="width: 10%;" type="text"/> no	
<b>MUROS</b>	
<b>Piezas de mampostería</b> <input type="checkbox"/> Tabique macizo de barro recocido <input type="checkbox"/> Tabique hueco de barro recocido (extruido "tabique aparente") <input type="checkbox"/> Tabique multiperforado de barro recocido <input type="checkbox"/> Tabique macizo de concreto (tabicon de cemento-arena) <input type="checkbox"/> Bloque hueco de concreto <input type="checkbox"/> Piedras naturales	<b>Ligeros o débiles</b> <input type="checkbox"/> Enramado cubierto de palma o fibra vegetal <input type="checkbox"/> Enramado cubierto de lodo (embarro o bajareque) <input type="checkbox"/> De madera de materiales precarios <input type="checkbox"/> De madera con diagonales <input type="checkbox"/> De madera contrachapada (triplay) y diagonales  <b>Adobe</b> <input type="checkbox"/> Simple (sin elementos de refuerzo) <input type="checkbox"/> Confinado con castillos y alambres de malla y mortero  <b>Mampostería</b> <input type="checkbox"/> Simple (sin elementos de refuerzo o confinamiento) <input type="checkbox"/> Con refuerzo interior dudoso y sin supervisión profesional <input type="checkbox"/> Deficientemente confinada (aberturas sin refuerzo) <input type="checkbox"/> Reforzada interiormente (hay supervisión profesional) <input type="checkbox"/> Adecuadamente confinada (refuerzo en aberturas)  <b>Concreto</b> <input type="checkbox"/> Concreto colado en el lugar <input type="checkbox"/> Paneles prefabricados
Espesor de muros: <input style="width: 15%;" type="text"/> cm	
<b>TECHOS</b>	
<b>Flexible</b> <input type="checkbox"/> Material de desecho <input type="checkbox"/> Enramado cubierto de palma o fibra vegetal (Palma, Tejamanil, etc) <input type="checkbox"/> Madera <input type="checkbox"/> Lamina de carton asfaltico <input type="checkbox"/> Lamina de plasticos o fibra de vidrio <input type="checkbox"/> Lamina metalica (zinc) <input type="checkbox"/> Lamina de asbesto <input type="checkbox"/> Teja de barro	<b>Rigido</b> <input type="checkbox"/> Vigas de acero con bveda de tabique <input type="checkbox"/> Vigas de acero con delada de tabique (boveda catalana) <input type="checkbox"/> Losa de concreto reforzado <input type="checkbox"/> Prefabricados  <b>Geometría</b> <input type="checkbox"/> Plano (horizontal) <input type="checkbox"/> A una agua <input type="checkbox"/> A dos aguas <input type="checkbox"/> Otro: <input style="width: 80%;" type="text"/>
Tipo de anclaje del techo hacia los muros: <input style="width: 80%;" type="text"/>	
Espesor de la losa de concreto o tabique: <input style="width: 15%;" type="text"/> cm	
<b>CIMENTACION</b>	
Descripción: <input style="width: 95%;" type="text"/>	
<b>CLASIFICACION SEGÚN LA TIPOLOGÍA:</b> <input style="width: 10%;" type="text"/> _1 <input style="width: 10%;" type="text"/> _2 <input style="width: 10%;" type="text"/> _3 <input style="width: 10%;" type="text"/> _4 <input style="width: 10%;" type="text"/> _5 <input style="width: 10%;" type="text"/> _6 <input style="width: 10%;" type="text"/> _7 <input style="width: 10%;" type="text"/> _8 <input style="width: 10%;" type="text"/> _9 <input style="width: 10%;" type="text"/> _10 <b>Viento</b>	
<b>ASPECTOS SOCIOECONÓMICOS</b>	
No. de habitantes: <input style="width: 20%;" type="text"/>	Servicios: <input style="width: 10%;" type="text"/> agua entubada <input style="width: 10%;" type="text"/> drenaje <input style="width: 10%;" type="text"/> luz

Figura 5.7. Formato para clasificar la vivienda empleando el criterio formal.

## CAPITULO 6

### EVALUACION DEL NIVEL DE DAÑO EN VIVIENDAS AFECTADAS POR VIENTO

#### 6.1 INTRODUCCIÓN.

Año con año, los efectos del viento sobre las estructuras civiles mal diseñadas y construidas producen grandes daños estructurales, pérdidas de vidas humanas y económicas, directa e indirectamente. Debido a los cambios climáticos que se generan en la tierra, las velocidades de viento de diseño han aumentado en los últimos años, colocando más estructuras civiles en altos niveles de riesgo. Es por eso que una vez determinados los efectos del viento sobre los objetos que obstaculizan su libre flujo, es necesario considerar algunos de los mecanismos generadores de daño más comunes. El mecanismo más común es el que se presenta en las superficies planas, que son un obstáculo para el flujo del viento, como pueden ser las bardas y los anuncios publicitarios, por ejemplo. Además de los daños estructurales, existen daños en los elementos no estructurales, como son los vidrios de ventanas, caídas de elementos prefabricados de fachadas y daños en las losas de techo producto del daño generado en apéndices tales como anuncios publicitarios, entre otros. Nuevamente resulta importante tratar de concientizar a los habitantes de regiones con altos niveles de peligro por efecto de viento que, cumpliendo con un mínimo de recomendaciones para la construcción de sus viviendas, pueden evitar o reducir considerablemente la pérdida de todo su patrimonio.

#### 6.2 ESCALAS DE DAÑO POR VIENTO EN FUNCION DE SU VELOCIDAD.

Desde el punto de vista de la definición de peligro para este tipo de agente perturbador los eventos meteorológicos se denominan de diferente manera en función de la intensidad que alcanzan; intensidad que también se relaciona con el nivel de velocidad del viento y, por lo tanto, el efecto destructivo que llegase a tener sobre las estructuras diseñadas y construidas. Así, si un evento definido como tormenta llega a intensificarse suficiente como para tener vientos que rebasen los 119 km/hr, entonces se le clasifica como huracán. El termino huracán corresponde a una categoría de ciclón tropical; todos los huracanes son ciclones tropicales, pero no todos los ciclones tropicales alcanzan la intensidad necesaria para ser denominados huracanes. Conforme se intensifica un evento, la presión central (es decir la presión a nivel del mar sobre el centro de giro) se reduce, alcanzando hasta un déficit de presión del orden de 10% de la presión atmosférica normal a nivel del mar. Conforme de intensifica, su apariencia en imágenes de satélite, aumenta en cuanto a organización espiral y empieza a resultar obvio el centro de giro a través de una zona con nubes más bajas o ausencia total de ellas, coincidente con el llamado ojo del ciclón.

A principios de la década de los años 70s, Herbert Saffir y Robert Simpson (Centro Nacional de Huracanes de Estados Unidos, 1969) [41], elaboraron una tabla de clasificación que incluyen los daños asociados a cada una de las categorías de huracanes, hoy en día el continente americano ha adoptado esta escala (NHC, 2006). La escala de Herbert Saffir y Robert Simpson permite establecer una relación entre velocidades de viento y nivel de daño probable esperado en las edificaciones. Esta escala se presenta en forma resumida en la Tabla 6.1 (Ahrens, 2001; Borroughs, 1998; CENAPRED, 2001; Eagleman, 1985), [20].

Es muy importante no sobreestimar la importancia de la clasificación oficial de un ciclón en detrimento de una comprensión fundamental de sus características. Es preciso observar que una tormenta tropical con vientos de 116 km/h es prácticamente igual de peligrosa que un huracán con

vientos de 121 km/h. Al mismo tiempo, un huracán de categoría V puede ser decenas de veces más destructivo que uno de categoría I.

Categoría	Presión (milibar)	Velocidad del viento (km/hr)	Marea (m)	Características y Observaciones
Huracán I	> 980	119 - 153	1.5	<i>Moderado destructivo</i> No se presenta daño real en estructuras de edificios. Esquinas de techos removidas, chimeneas colapsadas en casas, casas móviles arrastradas. Daño en infraestructura urbana inadecuadamente construida.
Huracán II	965 - 980	154 - 177	2.0 - 2.5	<i>Destructivo</i> Daño en materiales de techos, puertas y ventanas de edificios. Daño considerable en casas móviles y en infraestructura urbana.
Huracán III	945 - 965	178 - 209	2.6 - 3.7	<i>Altamente destructivo</i> Daño estructural en pequeñas casas habitación y edificación tipo bodega. Destrucción total de casas y móviles e infraestructura urbana.
Huracán IV	925 - 945	210 - 249	4.5 - 5.0	<i>Extremadamente destructivo</i> Fallas y daño extenso en muros de colindancia, con algunas fallas completas en estructuras de techo y pequeñas casas habitación. Falla de gran parte en la infraestructura urbana.
Huracán V	< 920	> 250	> 5.0	<i>El mas destructivo</i> Daño y falla completa en techumbres, edificios industriales y casa habitación. Falla completa de edificaciones ligeras y temporales. Daño ligero en elementos no estructurales de edificación.

Tabla 6.1 Escala de categorización de eventos meteorológicos de Saffir-Simpson, (Ahrens, 2001).

Por otro lado, existen otro tipo de escalas de clasificación de los eventos meteorológicos en cuanto a su destructividad de las edificaciones y obras civiles. Una de las más mencionadas es la escala de Fujita (Tabla 6.2), la cual regularmente es usada para determinar la intensidad de los tornados (originalmente tifones) por medio del examen del nivel de daño generado por el evento en estructuras creadas por el hombre (Ahrens, 2000; Borrouhgs, 1998).

Categoría	Denominación del tornado	Velocidad del viento (km/hr)	Características y Observaciones
F0	Ligero	64 - 115	Algún daño en chimeneas; rotura de ramas de los arboles; daño en señalamiento de tránsito.
F1	Moderado	116 - 179	El límite inferior de velocidad es el correspondiente a la velocidad de huracán; desprendimiento de la superficie de techos; desprendimientos de los cimientos de edificaciones ligeras; desplazamiento de autos.
F2	Significativo	180 - 250	Daño considerable. Desprendimiento de estructuras de techo; casas móviles demolidas; desprendimiento de árboles; generación de proyectiles con objetos ligeros.
F3	Severo	251 - 329	Desprendimiento y colapso de techos y muros de edificación bien construida; volteo de trenes; desprendimiento de árboles.
F4	Devastador	330 - 415	Desplome de edificaciones bien construidas; edificaciones con cimentación débil, desprendidas y arrojadas a distancia; generación importante de proyectiles con objetos grandes.
F5	Increíble	416 - 508	Falla de la cimentación de edificación ingenieril, depositada a distancia y severamente dañada: automóviles de considerable tamaño convertidos en proyectiles y lanzados a mas de 100 m; daño en estructuras de concreto reforzado.
F6	Inconcebible	509 - 606	Daño total.

Tabla 6.2 Escala de categorización de eventos meteorológicos de Fujita, (Borrouhgs, 1998).

La escala de Fujita (también conocida como Escala de Fujita-Pearson) puede ser un sistema no perfecto de liga entre velocidades de viento y nivel de daño en edificación, pero ha mostrado ciertos avances en cuanto a los procedimientos de clasificación comparativamente con escalas anteriores; sin embargo, el consenso entre el medio académico es la consideración de velocidades de viento superiores a las que regularmente se observan y reportan durante fenómenos meteorológicos. Uno de los aspectos más interesantes de la escala de Fujita es la premisa de poder estimar las velocidades de viento probables ocurridas durante un evento a partir de la revisión de los daños observados durante el paso de un fenómeno natural. La escala de Fujita establece una relación entre la intensidad de un tornado, los daños observables al paso del mismo y las velocidades probables del viento que ocurrieron durante el mismo.

### 6.3 DAÑOS GENERADOS POR EL EFECTO DEL VIENTO.

Una estructura totalmente dañada puede presentar su falla debido a velocidades de viento relativamente bajas, y a problemas locales en los sujetadores de las láminas de cubierta por ejemplo. Sin embargo, también pudo haber ocurrido por la incidencia de velocidades de viento cuyos efectos superaran ampliamente las fuerzas de diseño consideradas originalmente y, por lo tanto, producirse la falla en los elementos estructurales por insuficiencia en la resistencia ante la fuerza demandada, independientemente del comportamiento adecuado o no de los sujetadores de las láminas de la cubierta. Obviamente, para poder emitir una opinión concluyente al respecto, será entonces necesario observar, si es posible, el comportamiento de las estructuras en la vecindad de la estructura dañada, de igual manera que el comportamiento de la vegetación en la zona, identificando el tipo, nivel y densidad de daño. A partir de ello se podrá suponer un cierto valor de la velocidad del viento. En estados con un alto nivel de peligro, como es Oaxaca, ante el huracán Pauline, se determinaron daños en estructuras hechas con materiales competentes, tanto en muros como en techos. Este tipo de comportamiento se puede asociar básicamente a dos aspectos: 1) Dificultad en la unión entre la estructura de la losa de techo con los muros, que permita una libre rotación entre los elementos ante el impacto de viento, lo cual coloca en una situación crítica de comportamiento a los muros; y 2) Insuficiente estructura de cimentación ante la demanda de volteo, que permite la rotación de la base del sistema muro-cimentación ante el impacto de viento en la dirección perpendicular al plano del muro.

#### 6.3.1 DAÑOS EN EDIFICACION DE VIVIENDA DE BAJO COSTO.

La mayor parte de los daños observados en viviendas ante un huracán se relaciona con aquellas constituidas con materiales precarios tanto en techos como en muros (entendiéndose como material precario al material hecho a base soportes de madera, lámina acanalada, láminas de cartón enchapopotado, palma, etc.). Se identifican tres tipos de vivienda cada una con distintas características.

- 1) Vivienda de mampostería confinada en muros y concreto reforzado en losas, localizada principalmente en la zona urbana de las grandes ciudades.
- 2) Vivienda de mampostería confinada en muros y material precario en techos (principalmente lamina acanalada, apoyada en una estructura de madera o una retícula de elementos de acero), tipo que generalmente se localiza en la zona rural y poblaciones pequeñas.
- 3) Vivienda de material precario en muros (siendo este desde bajareque, hasta mampostería simple) y materiales precarios en techos (siendo estos a base de una estructura soporte de madera, sobre la cual se coloca desde palma, hasta láminas de cartón enchapopotado), tipo de vivienda que se localiza en la zona rural y en pequeño porcentaje en pequeñas poblaciones.

Para la vivienda del **Tipo 1**, no se han detectado daños estructurales de importancia, excepto en aquellos casos donde, por la caída de árboles, se ven afectadas. Este tipo de daño en vivienda *formal* se identifica en un muy bajo porcentaje tanto en zonas urbanas, como en regiones rurales.

Para vivienda de **Tipo 2**, se ha identificado que en, la mayoría de los casos (aproximadamente del 80%) aunque exista una estructura reticular de madera o acero para soporte y fijación del material de la techumbre (predominantemente lamina), la tendencia es que esta únicamente éste sobrepuesta, sin elementos de fijación, salvo algunos tabicones a modo de contrapeso. Esta costumbre en diferentes regiones, originada probablemente por la falta de recursos económicos, genera un alto grado de vulnerabilidad en vivienda de este tipo; aunado a lo anterior, el hecho de que también muchas de las viviendas no cuenten con vidrios en las ventanas, incrementa considerablemente la vulnerabilidad de las mismas ante la incidencia de vientos intensos. Daños típicos en las techumbres de este tipo de vivienda se presentan en la figura 6.1.

Es preciso mencionar que aunque se presentan las fallas en la techumbre de un porcentaje alto de este tipo de edificación, no se ha observado la falla de los muros. En estas viviendas, los elementos confinantes son castillos y dalas de cerramiento en los extremos y en la parte superior e inferior de los muros; el hecho de que no se presenten daños, aún después de la falla del techo, es indicativo del buen comportamiento de las edificaciones en las que se tienen elementos confinantes de concreto reforzado en la mampostería.



Figura 6.1. Daño en vivienda de mampostería confinada con material precario en techo.

Para la vivienda del **Tipo 3**, a base de material precario en muros y techos, el porcentaje de daño resulta del orden de 70 a 80% (Fuente: Protección Civil del Estado de Yucatán y Área de Riesgos Hidrometeorológicos del CENAPRED) [9]. Para las viviendas de mampostería simple en muros y techumbre con una inadecuada fijación, la falla o desprendimiento de la estructura del techo acarrea la falla total de la estructura, como se indica en la figura 6.2. Este tipo de fallas o daños se observa en un porcentaje muy bajo de vivienda (inferior al 20%).



Figura 6.2. Daño en la techumbre de edificación de vivienda tipología de la región, constituida a base de adobe en los muros y material precario en techos.



Figura 6.3. Falla de vivienda con material precario en techos y mampostería confinada en los muros, (H. Toledo, 1999).

Dentro de la edificación para vivienda con material precario en muros y techos, existen viviendas con adobe de gran espesor o bajareque en los muros, y madera y palma en los techos. Este tipo de edificación presenta una gran densidad de daño total en las viviendas, desde la falla de los muros de soporte, hasta únicamente la falla de la techumbre. En las figuras 6.2 y 6.3 se ejemplifican dos casos, uno de una estructura con muros de adobe, y otra con muros de bajareque; en la de muros de adobe, la techumbre está constituida por madera y palma, y en la estructura con bajareque, el techo es a base de láminas de cartón, soportado por una estructura de madera. Las dos estructuras presentan falla total. Finalmente, y no por eso deja de ser importante y significativo, las bardas de borde o colindancia de los terrenos de casas habitación en zonas urbanas y rurales indistintamente, presentan problemas de comportamiento fuera de su plano (figura 6.4). La mayoría de las recomendaciones para diseño de bardas y muros de mampostería confinada (en la que existen dalas y castillos) se basan en el comportamiento esperado de estos ante cargas laterales

aplicadas en la dirección de su plano (por ejemplo las fuerzas de inercia que genera de un movimiento sísmico). Para este tipo de bardas de colindancia, es el castillo el elemento que contribuye a resistir el momento de volteo provocado por las fuerzas laterales debidas a viento.



- a) Muro con falla fuera del plano. El muro tenía aproximadamente 3 m de altura, y los elementos confinantes eran de concreto reforzado con cuatro barras del no. 3. La separación de los castillos era del orden de 4m, (H. Toledo, 1999).



- b) Muro con falla fuera del plano. El muro tenía aproximadamente 1.8 m de altura, y los elementos confinantes tenían refuerzo prefabricado. La separación de los castillos era del orden de 3 m.

Figura 6.4. Daños en muros de mampostería confinada empleados como bardas de colindancia.

Otro aspecto de importancia que repercute en un comportamiento inadecuado es el uso de elementos de refuerzo prefabricado para castillos y dalas (como se puede ver en la figura 6.4). Estos refuerzos, generalmente a base de barras del número 2.4 y 2.5 (con diámetros de 6.3 mm y 7.9 mm, respectivamente), resultan insuficientes para resistir la demanda de momento flexionante a la que se verían sometidos por la presión del viento, impactando perpendicularmente a su plano. Además, se puede observar en la mayoría de las bardas con problemas de comportamiento, que la falla presenta un comportamiento frágil, conclusión a la que se llega de observar las barras de refuerzo en los castillos dañados, donde se aprecia el fracturamiento de la barra preferentemente en la sección crítica (en la base de la barda), pero sin indicios de alargamiento del acero. Por las características de este tipo de refuerzo, que resulta en una cuantía de refuerzo en tensión muy baja, el comportamiento de los castillos debió ser dúctil; sin embargo, se puede pensar que las características de ductilidad del acero de refuerzo se reducen drásticamente en la región por la agresividad de los agentes intempéricos. Este aspecto se puede comprobar en la mayoría de los elementos dañados, donde el proceso de corrosión en las varillas de refuerzo presenta indicios de gran avance en el deterioro del acero de las varillas y en la reducción de la sección neta de las mismas.

## **6.4 CRITERIO SIMPLIFICADO PARA EVALUAR CUALITATIVAMENTE LA SUSCEPTIBILIDAD DE DAÑO DE LA VIVIENDA DE BAJO COSTO ANTE LA ACCIÓN DEL VIENTO.**

Se propone un procedimiento para determinar un índice, cuya finalidad es estimar de manera cualitativa la susceptibilidad de daño de la vivienda ante la acción del viento. Dicho índice permite identificar las zonas con mayor susceptibilidad al daño y no permite, por el momento, llevar a cabo un análisis de riesgo; por ejemplo, estimar pérdidas ante eventos postulados o bien asociados a un periodo de retorno determinado.

### **6.4.1 CRITERIO CUALITATIVO PARA EVALUAR LA SUSCEPTIBILIDAD DE DAÑO DE LA VIVIENDA DE BAJO COSTO ANTE LA ACCION DEL VIENTO.**

En esta sección se describe un índice que permite evaluar la susceptibilidad de daño de la vivienda cuando es sometida a la acción del viento. Se inicia planteando la evaluación del índice de susceptibilidad de daño (ISD) propuesto a nivel individual, y en seguida se plantea la evaluación del índice a nivel manzana, o localidad (cualquier zona urbana, desde pequeños poblados hasta ciudades de cualquier tamaño) y luego a nivel municipal.

Para la determinación del ISD, se partirá de la definición del evento o agente perturbador (que será una velocidad de viento básica o regional según CFE, 1993, asociada a un periodo de retorno, o bien probabilidad que ocurra en un cierto lapso, generalmente indicado en años, (López-Bátiz et al., 2006) [10]. Este parámetro, índice del nivel de peligro se podrá obtener a partir de la información que proporciona el Manual de Diseño por viento de la Comisión Federal de Electricidad (CFE, 1993); en las figuras 6.5 y 6.6 se muestran los mapas de isotacas, o mapas de curvas de igual velocidad regional (definida también como velocidad básica) para dos periodos de retorno, 50 años (valor típico considerado para casa habitación; Meli, 200) y 200 años (valor que se usa para edificación de infraestructura u obra civil). Con base en el valor de la velocidad básica, y tomando en cuenta los resultados obtenidos a partir de las “Funciones de Vulnerabilidad” generadas específicamente para estos valores que se muestran para las diferentes tipologías de estructuras y elementos estructurales que se consideraron en el estudio los cuales se indican en las tablas A.1 a A.10 del apéndice A que se indica más adelante, el ISD para cada elemento de la muestra de viviendas se maneja en una forma simplificada, como el valor asociado dentro de la tabla. Estos valores resultan entre cero, que significa daño nulo en la edificación o elemento de la misma, y uno, que significaría daño total o falla total de la edificación o elemento de la misma. Para el procedimiento de evaluación planteado, se usara el concepto Unidad-Habitación, que puede constar de los siguientes componentes:

- La casa (EC)
- La barda (BC)

A su vez, la EC podrá ser de uno hasta tres niveles, se acepta que para EC de más de un nivel, las losas de piso serán sistemas rígidos (tipo losas macizas), y solamente las losas de azotea podrán ser flexibles (techo a base de polines o montenes y láminas, por ejemplo). Los elementos verticales de las casa serán muros básicamente. El análisis más refinado de los parámetros y conceptos planteados en esta sección se podrán revisar en la referencia 6.5.

#### **6.4.1.1 Índice de susceptibilidad de daño (ISD).**

Como ya se mencionó, el ISD será un valor acotado entre cero y uno. Si bien el índice toma valores en el intervalo mencionado, solo representa una medida cualitativa de la evaluación del riesgo. Es decir, es un indicativo que detecta las zonas que pueden tener más susceptibilidad de daño por la acción del viento. Si el índice, se acerca a un valor de uno, solo significa que la vivienda, o conjunto de viviendas, analizada es la que presenta la mayor susceptibilidad de daño, y el nivel de destrucción esperado es alto.

### 6.4.1.2 Estimación del índice que toma en cuenta la Vulnerabilidad Física.

Para tener en cuenta la vulnerabilidad física de la vivienda, se usaron las funciones de vulnerabilidad propuestas para edificación de vivienda y sus componentes ante la incidencia del viento (López Bátiz y Sánchez, 2006). La Unidad-Habitación estará compuesta por dos elementos básicos EC y BC, conociendo el valor de la velocidad (peligro) de interés, de las tablas A.1 a A.10 del apéndice se obtiene el ISD correspondiente a cada elemento, a partir de lo cual el ISD toma la forma:

$$ISD_{UH} = \frac{ISD_{EC} + ISD_{BC}}{2} \dots\dots\dots(6.1)$$

- dónde:
- $ISD_{UH}$ : representa el índice que mide la vulnerabilidad física de la Unidad-Habitación ante el nivel de intensidad seleccionado
  - $ISD_{EC}$ : representa el índice que mide la vulnerabilidad física de la vivienda (la casa) ante el nivel de intensidad seleccionado
  - $ISD_{BC}$ : representa el índice que mide la vulnerabilidad física de la pared de colindancia (si existe) ante el nivel de intensidad seleccionado. Si no existe este elemento, entonces se considerará  $ISD_{EC}=ISD_{BC}$  por lo que resultaría  $ISD_{UH}=ISD_{EC}$

Para determinar el índice de vulnerabilidad física de la vivienda, se deberá tomar en cuenta el número de niveles de la misma, y el valor de  $ISD_{BC}$  se obtendrá con las siguientes expresiones:

- Para vivienda con *techo flexible*:

$$ISD_{EC} = \frac{ISD_{TECHO} + ISD_{MURO}}{2 * N_N} \dots\dots\dots(6.2)$$

- dónde:
- $ISD_{TECHO}$ : representa el índice que mide la vulnerabilidad física del techo de la casa ante el nivel de intensidad seleccionado.
  - $ISD_{MURO}$ : representa el índice que mide la vulnerabilidad física de los muros ante el nivel de intensidad seleccionado.
  - $N_N$ : es el número de niveles que tiene la edificación (la casa); en este caso lo que se conoce como planta baja, será el nivel 1.

- Para vivienda con *techo rígido*:

$$ISD_{EC} = \frac{ISD_{VIVIENDA}}{N_N} \dots\dots\dots(6.3)$$

- dónde:  $ISD_{VIVIENDA}$ : representa el índice que mide la vulnerabilidad física de las edificaciones con techo rígido que está trabajando conjuntamente con los muros.

### 6.4.2 NIVELES DE PELIGRO POR VIENTO.

El territorio de la República Mexicana es afectado año con año por huracanes que generan distintos niveles de intensidad de vientos, en especial las zonas costeras del país son las más afectadas por este tipo de fenómenos. Sin embargo, en el interior del territorio nacional también se llegan a generar vientos de intensidad importante producto de otros fenómenos atmosféricos (CENAPRED, 2001).

Para fines de ingeniería, la regionalización de peligro por viento que se usa, es la propuesta por la Comisión Federal de Electricidad para distintos periodos de retorno. El periodo de retorno comúnmente usado para diseño de edificación es 50 años (Meli, 2001) [23].

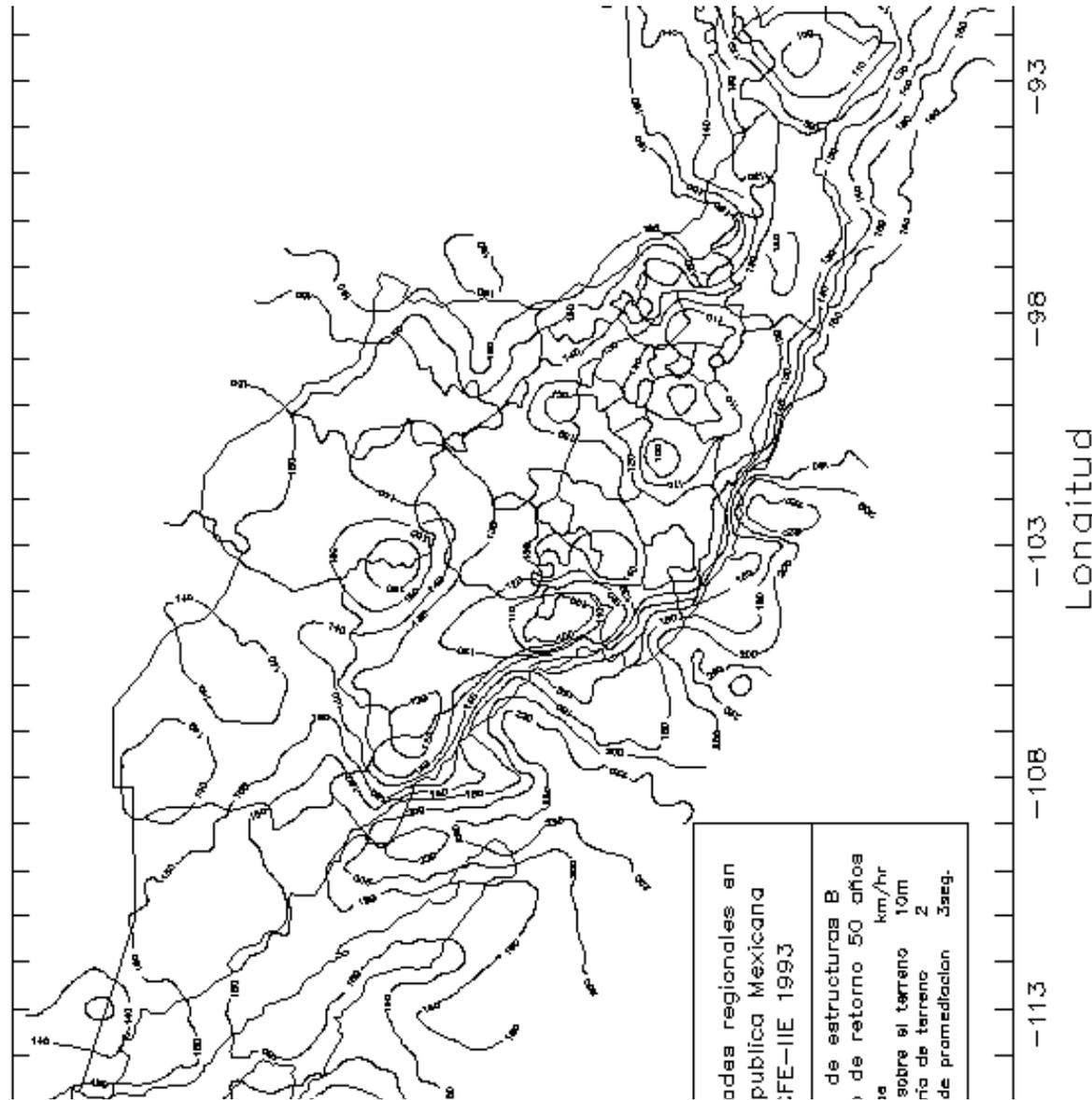


Figura 6.5. Mapa de Isotacas de un periodo de retorno de 50 años, para estimar la velocidad regional a 10m de altura sobre el terreno (CFE, 1993).

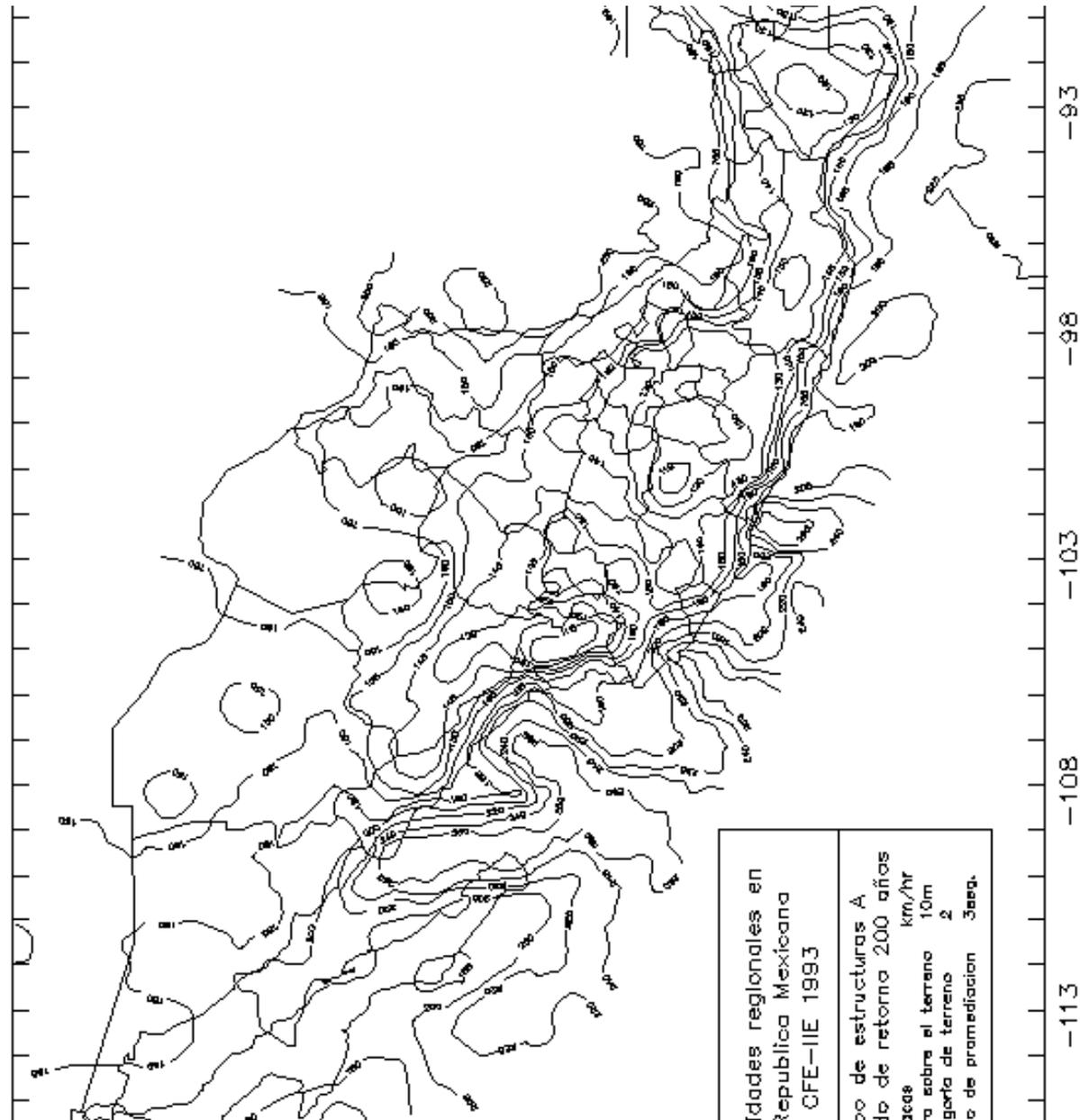


Figura 6.6. Mapa de Isotacas de un periodo de retorno de 200 años, para estimar la velocidad regional a 10m de altura sobre el terreno (CFE, 1993).

En este sentido resulta importante mencionar que aunque el periodo de vida útil de las edificaciones generalmente se acepta como 50 años, en las condiciones de nuestro país la vivienda es el patrimonio único de las familias y, por lo tanto, en la mayoría de los casos se constituye en el patrimonio único de los descendientes, por lo que considerar un periodo de retorno mayor a 50 años pudiera considerarse como un valor más adecuado para algunas de las regiones del país. Para los fines de la propuesta del presente trabajo, se considerarán como base los mapas de peligro de la Comisión Federal de Electricidad. Usando los mapas de isotacas que se muestran en las figuras 6.5 y 6.6, como mapas de peligro, la localidad de interés pudiera estar ubicada entre dos curvas de igual velocidad; en dicho caso se recomienda considerar el mayor de los valores de velocidad regional (básica) reportada.

#### 6.4.3 APLICACIONES DEL ÍNDICE DE SUSCEPTIBILIDAD DE DAÑO FÍSICO, $ISD_{VF}$ .

Esta sección explica de manera detallada cómo estimar el índice de susceptibilidad de daño físico, denominado como  $ISD_{VF}$ , para los casos siguientes:

- a) Una vivienda
- b) Una manzana, AGEB, localidad o un municipio

**6.4.3.1 Evaluación del índice de susceptibilidad de daño  $ISD_{UH}$  ( $ISD_{VF-UH}$ ) para una vivienda.**

Para el cálculo del índice  $ISD_G$  se seguirán los siguientes pasos:

1. Localizar el sitio donde se tiene la Unidad-Habitación (o el conjunto de Unidades-Habitación si se trata de una manzana, o municipio) correspondiente en los mapas de peligro por viento (los de isotacas de la Comisión Federal de Electricidad, fig. 6.5 y 6.6).
2. Determinar el valor del nivel de peligro asociado al municipio en estudio y a un periodo de retorno prefijado; es decir, el valor de la velocidad regional (básica) máxima esperada en el sitio al menos una vez en un cierto intervalo de años.
3. Evaluar el índice relacionado con la vulnerabilidad física,  $ISD_{UH}$  o bien ( $ISD_{VF-UH}$ ).
4. Finalmente evalúese el índice de susceptibilidad de daño global, considerando el aspecto físico para la manzana, localidad o municipio,  $ISD_G$ .

**6.4.3.2 Evaluación del índice de susceptibilidad de daño para una manzana, localidad o municipio.**

En una localidad se puede calcular un índice de susceptibilidad de daño de manera individual o para un grupo de viviendas asociado a un área geográfica que puede ser una manzana, o un municipio. Cuando se elija evaluar el  $ISD_{VF-UH}$  para cada una de las viviendas, se debe aplicar lo descrito en la sección anterior.

Cuando se elija analizar las viviendas por manzana, o localidad, se debe construir una base de datos con el total de viviendas por manzana, o localidad, así como con el número de viviendas según la tipología de la clasificación indicada en la tabla 5.1, recopilando la información con base en lo propuesto en el formato de la figura 5.7, tomando en cuenta los aspectos adicionales que por viento se deberán contemplar y que se indican en el punto 5.4.4 “Formato de Levantamiento de Tipología” del capítulo correspondiente.

Esta clasificación en los tipos de construcción se plantea con base en el criterio de que el aspecto de costos para cada uno de los tipos puede resultar diferente. Así, si se puede determinar el costo para cada tipo de vivienda en la región de estudio, puede determinarse un índice de riesgo en términos de costos de construcción, suponiendo, por el momento, que son iguales los costos de reposición y de nueva edificación.

Para este caso, el índice de susceptibilidad de daño para la manzana, o localidad se obtendrá haciendo un promedio pesado del  $ISD_{VF-UH}$  asociado a cada tipo de vivienda, esto significa que:

$$ISD_G = \frac{\sum_{i=1}^{N_{Tipos}} \left\{ \frac{\sum_{j=1}^{N_{Tj}} (ISD_{VF-UH})_j}{N_{Tj}} \right\}_i}{N_{Tipos}} \dots\dots\dots(6.4)$$

dónde:  $N_{TIPOS}$  : es el número de tipos de construcción considerados en el análisis.  
 $N_{Tj}$  : es el número de viviendas con el j-ésimo tipo de construcción.  
 $N_T$  : es el número total de construcciones consideradas en el análisis, igual a la suma de todas las  $N_{Ti}$ .

$(ISD_{VF-UH})_j$ : Índice de susceptibilidad de daño de la Unidad-Habitación con la j-ésima propiedad.

La expresión anterior, que implica una clasificación en función del tipo de edificación para vivienda, resulta de utilidad cuando se contempla el aspecto de costos de reposición. Pero, si lo que interesa es obtener únicamente el porcentaje de daño en las viviendas de una localidad, la expresión anterior se podría simplificar de la siguiente manera:

$$ISD_G = \frac{\sum_{j=1}^{N_T} (ISD_{VF-UH})_j}{N_{Tipos}} \dots\dots\dots(6.5)$$

dónde  $N_T$ : es el número total de construcciones consideradas en el análisis, igual a la suma de todas las  $N_{Ti}$

**6.4.4 CRITERIO PARA ESTIMAR EL ÍNDICE DE RIESGO DE FORMA CUALITATIVA.**

Una vez que se evalúa el índice de susceptibilidad de daño global, a través del índice  $ISD_G$ , para una vivienda en forma individual, o bien para un grupo de ellas, o para una localidad o municipio, es posible establecer, según el valor de dicho índice, un “nivel de riesgo” totalmente cualitativo que permitirá a las autoridades correspondientes establecer criterios de semaforización para tomar acciones preventivas de emergencia, inmediatas o paulatinas. Para ello se proponen, de forma arbitraria, los cinco niveles que se presentan en la tabla 6.3.

Valor del índice $ISD_G$	Nivel de Riesgo
$0.0 \leq ISD_G < 0.2$	Muy bajo
$0.2 \leq ISD_G < 0.4$	Bajo
$0.4 \leq ISD_G < 0.6$	Medio
$0.6 \leq ISD_G < 0.8$	Alto
$0.8 \leq ISD_G \leq 1.0$	Muy alto

Tabla 6.3 Niveles de Riesgo, CENAPRED, (2006).

**6.4.5 EJEMPLO DE APLICACIÓN: HURACAN ISIDORE.**

Del 21 al 24 de septiembre de 2002, la península de Yucatán fue azotada por un huracán de gran capacidad destructiva: Isidore. La depresión tropical No.10 del Atlántico se generó a partir de una onda tropical el 14 de septiembre; su región ciclogénica fue el Mar Caribe, su centro de circulación se inició sobre la costa suroeste de la isla de Trinidad, con vientos máximos sostenidos de 45km/h y ráfagas de 65km/h. Durante el día 19, la ya denominada tormenta tropical “Isidore” avanzó hacia el Noroeste y por la tarde, cuando se encontraba al suroeste de Cuba y a 510km de Cozumel, Quintana Roo, se intensificó a huracán con categoría I en la escala de Saffir-Simpson. (Servicio Meteorológico Nacional, SMN, 2002).

El día 20 en la madrugada, cuando el centro del huracán se encontraba cerca de las costas occidentales de Cuba, “Isidore” alcanzó la categoría II en la misma escala, presentando vientos máximos sostenidos de 165 km/h y ráfagas de 205km/h. El 21 por la mañana el meteoro se localizó en la parte media del Canal de Yucatán, donde alcanzó la categoría III en la escala Saffir-Simpson, estando a una distancia de 120km al Este-Noreste de Cabo Catoche, Quintana Roo, con vientos máximos sostenidos de 185km/h, y ráfagas de 220km/h. En la tarde del día 22 de septiembre, se detectó, con las imágenes de radar de Cancún, que la muralla que rodea al ojo del huracán golpeaba la costa norte de Yucatán. Después, el ojo del huracán impactó sobre tierra firme, en Telchac Puerto, aproximadamente a 45km al Este del puerto Progreso, Yucatán, estando en la categoría III de la escala de Saffir-Simpson con vientos máximos sostenidos de 205km/h y ráfagas de 250km/h. Durante el resto del día, el centro de “Isidore” se desplazó sobre tierra con rumbo

Suroeste, afectando con fuerte intensidad a toda la península de Yucatán. (Servicio Meteorológico Nacional, SMN, 2002).

Durante el día 23 por la mañana, en su avance sobre tierra hacia el sur, cuando se encontraba a 100km al sur de Mérida, el huracán se degradó a tormenta tropical con vientos máximos sostenidos de 110km/h y ráfagas de 140km/h. Durante ese día "Isidore" mantuvo una trayectoria errática moviéndose sobre la parte occidental de Yucatán. Después de describir un rizo en sentido contrario a las manecillas del reloj, el día 24 por la mañana, "Isidore" retornó al mar, localizándose a 55km al norte de Progreso, con vientos máximos sostenidos de 85km/h. (Servicio Meteorológico Nacional, SMN, 2002).

El huracán "Isidore" fue el primero de la temporada 2002 que entró a tierra directamente en México. Es el primer huracán intenso (categoría III o superior) que afecta directamente a México, en el periodo de 1980 a 2002, sólo es superado por "Gilbert" de septiembre de 1988, el cual registró vientos máximos de 270km/h (Servicio Meteorológico Nacional, SMN, 2002). Después de impactar en tierra el día 22, "Isidore" se mantuvo alrededor de 35 horas sobre el estado de Yucatán principalmente, afectando a toda la península con vientos máximos sostenidos propios de huracán categoría III en la escala de Saffir-Simpson (205km/h) al momento de entrar a tierra, y vientos propios de tormenta tropical (85km/h) al momento de su salida al mar en la madrugada del día 24. Durante su trayecto sobre tierra, "Isidore" se mantuvo como huracán por aproximadamente 14 horas, y como tormenta tropical por cerca de 21 horas. A diferencia de otros fenómenos de esta misma naturaleza, la conjunción de la incidencia de un huracán con una velocidad de traslación extremadamente baja, en una región con orografía prácticamente plana, provocó que gran parte de la península de Yucatán estuviera sujeta a vientos fuertes (por ejemplo, superiores a los vientos para diseño en el Distrito Federal) durante un largo periodo de tiempo (alrededor de 35 horas). Esta característica de "Isidore" probablemente lo hace un huracán con mayor capacidad de destrucción y daño que el mismo "Gilbert", generando grandes inundaciones y pérdidas en el hato ganadero y la producción agrícola, así como en los sistemas de infraestructura eléctrica y telefónica, al mismo tiempo que un gran nivel y densidad de daño en vivienda.

Con vientos superiores a los reportados para diseño en los manuales correspondientes (Manual de Diseño de Obras Civiles de la Comisión Federal de Electricidad, 1993), durante tiempos prolongados, y precipitaciones acumuladas en 24 horas del orden de 150mm (para la ciudad de Mérida, SMN, 2002), Isidore causó la pérdida de vidas y daños económicos superiores al millar de pesos (Bitrán et al, 2002). Desquició las actividades de toda índole en al menos los tres estados que conforman la península de Yucatán, fue el primer afectado por las características de la trayectoria del meteoro, generando daño en instalaciones eléctricas, industriales y turísticas. Los vientos y lluvias perjudicaron seriamente la producción agrícola y apícola, en grandes extensiones la vegetación fue arrasada generando la posibilidad de incendios en la temporada de sequía.

En esta parte del trabajo se presentan comentarios generales sobre el comportamiento de las edificaciones en general, y de las de vivienda en particular durante la incidencia del huracán Isidore en la península de Yucatán. La finalidad es llegar a una mejor comprensión del tipo de configuración que deberá tener este tipo de estructuras para lograr niveles de seguridad adecuados ante el embate de un evento de esta estado de Yucatán, tratando de ilustrarlos de manera lo más extensa posible. Para verificar la efectividad en la estimación de la metodología del Índice de Susceptibilidad de Daño propuesto anteriormente, se seleccionó un padrón de datos proporcionados, a partir de información recabada sobre el porcentaje de vivienda con material precario en techos y muros que fueron afectados por el Huracán Isidore. Dicha información es correspondiente a una muestra de 100 viviendas afectadas por el fenómeno meteorológico, ya que el fenómeno de viento es considerado una de las amenazas que llega a causar la mayor afectación en zonas de costa en nuestro país, y las pérdidas que este puede generar llegan a ser considerablemente mayores que los provocados por otros fenómenos naturales que se presentan en México, y cuya probabilidad de ocurrencia es menor a las de los demás eventos, por lo que es importante conocer lo indispensable sobre ellos. Para su selección de estas viviendas, se tomó en

cuenta la calidad de las imágenes fotográficas así como la fácil visualización del daño en los elementos estructurales y el material del que están constituidos de tal forma que se reduzcan, en gran medida, las suposiciones al momento de llenado del *Formato para Tipología de Vivienda*, para definir el estado actual de la vivienda.

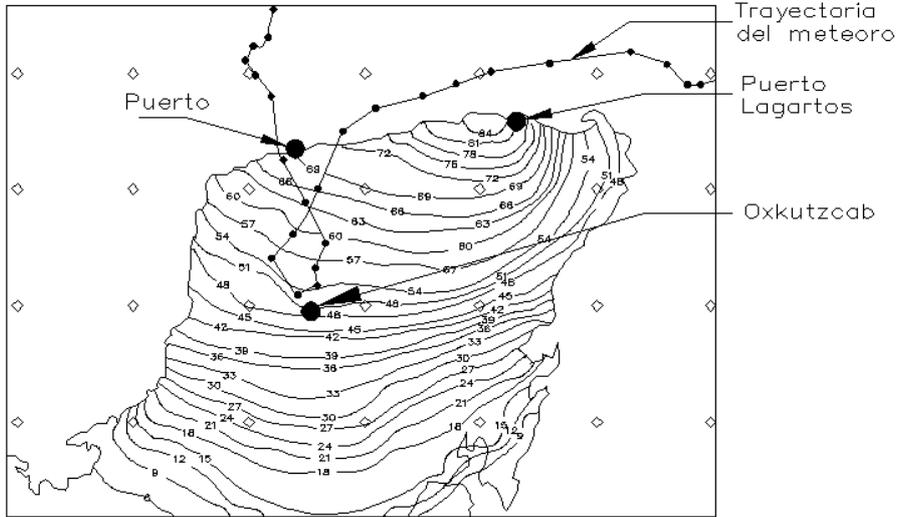


Figura 6.7.a. Velocidad considerada 64 km/h.

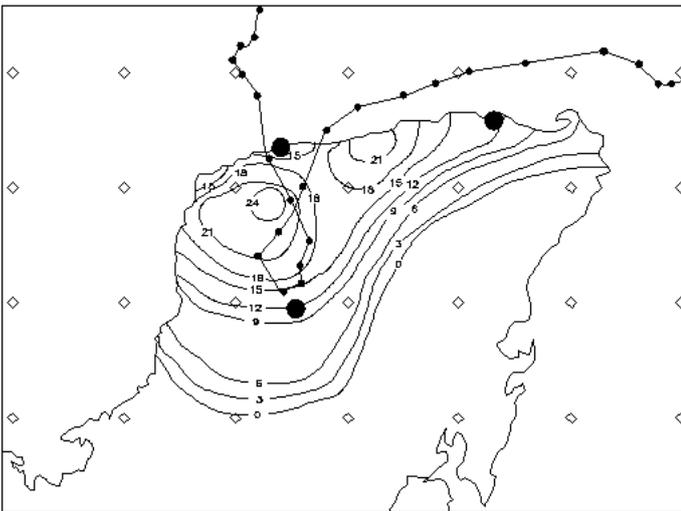


Fig.6.7.b. Velocidad considerada 94 km/h.

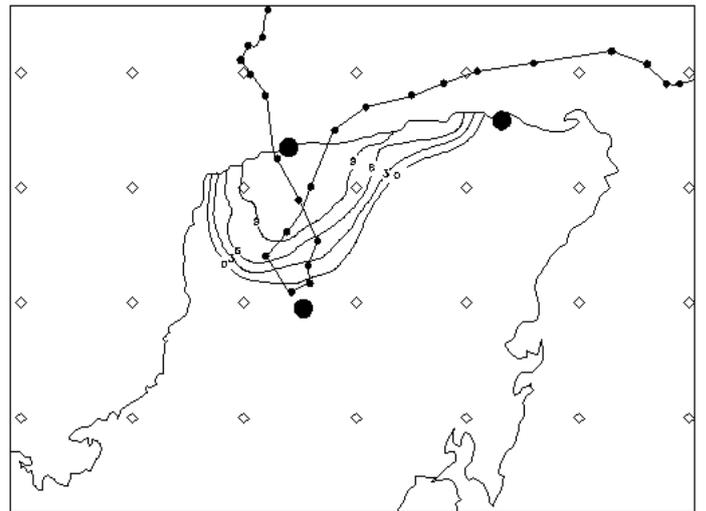


Fig.6.7.c. Velocidad considerada 120 km/h.

Figura 6.7. Curvas de Isócronas para diferentes velocidades de viento registradas durante el huracán "Isidore" en la península de Yucatán (SMN, 2002).

**A) TIPO DE CONSTRUCCION: MAMPOSTERIA SIMPLE (MUROS DE ADOBE)**

VIVIENDA #	Nn	PLANICIE O CAMPO ABIERTO, V <sub>R</sub> = 205 km/hr				TECHO FLEXIBLE		TECHO RIGIDO		ISD <sub>EC</sub>	ISD <sub>UH</sub>
		BARDA DE COLINDANCIA		SOLO TECHO		MURO DE LA CASA		MURO DE LA CASA			
		CASO	ISD <sub>Bc</sub>	CASO	ISD <sub>TECHO</sub>	CASO	ISD <sub>MURO</sub>	CASO	ISD <sub>VIVIENDA</sub>		
1	1	5	1.0000	8	0.4791	7	0.4679	-	-	0.4735	0.7368
2	1			9	0.9772	7	0.4679	-	-	0.7226	0.3613
3	1	3	0.9955	4	0.0100	7	0.4679	-	-	0.2390	0.6172
4	1	3	0.9955	9	0.9772	7	0.4679	-	-	0.7226	0.8590
5	1			5	0.0181	7	0.4679	-	-	0.2430	0.1215
6	1			8	0.4791	7	0.4679	-	-	0.4735	0.2368
7	1			4	0.0100	7	0.4679	-	-	0.2390	0.1195
8	1	7	1.0000	5	0.0181	7	0.4679	-	-	0.2430	0.6215
9	1			6	0.0386	7	0.4679	-	-	0.2533	0.1266
10	1	5	1.0000	8	0.4791	7	0.4679	-	-	0.4735	0.7368
11	1			9	0.9772	7	0.4679	-	-	0.7226	0.3613
12	1			4	0.0100	7	0.4679	-	-	0.2390	0.1195
13	1			7	0.1405	7	0.4679	-	-	0.3042	0.1521
14	1			4	0.0100	7	0.4679	-	-	0.2390	0.1195
15	1			6	0.0386	7	0.4679	-	-	0.2533	0.1266
16	1	3	0.9955	6	0.0386	7	0.4679	-	-	0.2533	0.6244
17	1			9	0.9772	7	0.4679	-	-	0.7226	0.3613
18	1			9	0.9772	7	0.4679	-	-	0.7226	0.3613
19	1			7	0.1405	7	0.4679	-	-	0.3042	0.1521
20	1			7	0.1405	7	0.4679	-	-	0.3042	0.1521
21	1	5	1.0000	8	0.4791	7	0.4679	-	-	0.4735	0.7368
22	1			4	0.0100	7	0.4679	-	-	0.2390	0.1195
23	1	7	1.0000	9	0.9772	7	0.4679	-	-	0.7226	0.8613
24	1			9	0.9772	7	0.4679	-	-	0.7226	0.3613
25	1			9	0.9772	7	0.4679	-	-	0.7226	0.3613
26	1			5	0.0181	7	0.4679	-	-	0.2430	0.1215
27	1			6	0.0386	7	0.4679	-	-	0.2533	0.1266
28	1	5	1.0000	8	0.4791	7	0.4679	-	-	0.4735	0.7368
29	1			4	0.0100	7	0.4679	-	-	0.2390	0.1195
30	1	7	1.0000	7	0.1405	7	0.4679	-	-	0.3042	0.6521
31	1			8	0.4791	7	0.4679	-	-	0.4735	0.2368
32	1			9	0.9772	7	0.4679	-	-	0.7226	0.3613
33	1			9	0.9772	7	0.4679	-	-	0.7226	0.3613
34	1			4	0.0100	7	0.4679	-	-	0.2390	0.1195
35	1			4	0.0100	7	0.4679	-	-	0.2390	0.1195
36	1	5	1.0000	4	0.0100	7	0.4679	-	-	0.2390	0.6195
37	1			7	0.1405	7	0.4679	-	-	0.3042	0.1521
38	1	3	0.9955	8	0.4791	7	0.4679	-	-	0.4735	0.7345
39	1			9	0.9772	7	0.4679	-	-	0.7226	0.3613
40	1			6	0.0386	7	0.4679	-	-	0.2533	0.1266
41	1	3	0.9955	4	0.0100	7	0.4679	-	-	0.2390	0.6172
42	1			7	0.1405	7	0.4679	-	-	0.3042	0.1521
43	1			7	0.1405	7	0.4679	-	-	0.3042	0.1521
44	1			5	0.0181	7	0.4679	-	-	0.2430	0.1215
45	1	7	1.0000	8	0.4791	7	0.4679	-	-	0.4735	0.7368
46	1			9	0.9772	7	0.4679	-	-	0.7226	0.3613
47	1			4	0.0100	7	0.4679	-	-	0.2390	0.1195
48	1			7	0.1405	7	0.4679	-	-	0.3042	0.1521
49	1			4	0.0100	7	0.4679	-	-	0.2390	0.1195
50	1	5	1.0000	8	0.4791	7	0.4679	-	-	0.4735	0.7368
51	1			5	0.0181	7	0.4679	-	-	0.2430	0.1215
52	1			8	0.4791	7	0.4679	-	-	0.4735	0.2368
53	1	3	0.9955	9	0.9772	7	0.4679	-	-	0.7226	0.8590
54	1			7	0.1405	7	0.4679	-	-	0.3042	0.1521
55	1			6	0.0386	7	0.4679	-	-	0.2533	0.1266
Suma =										19.2204	
Suma/No.Viv.=										0.3495	

1	1	7	1.0000	-	-	-	-	7	0.0344	0.0344	0.5172
2	1			-	-	-	-	7	0.0344	0.0344	0.0172
3	1			-	-	-	-	7	0.0344	0.0344	0.0172
4	1			-	-	-	-	7	0.0344	0.0344	0.0172
5	1	5	1.0000	-	-	-	-	7	0.0344	0.0344	0.5172
6	1			-	-	-	-	7	0.0344	0.0344	0.0172
7	1			-	-	-	-	7	0.0344	0.0344	0.0172
8	1	3	0.9955	-	-	-	-	7	0.0344	0.0344	0.5150
Suma =										1.6354	
Suma/No.Viv.=										0.2044	

<b>ISD(VF-UH) =</b>										<b>0.2769</b>
---------------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	---------------

Tabla 6.4 Tipo de Vivienda a base de Muros de Mampostería Simple (Muros de Adobe).  
**B) TIPO DE CONSTRUCCION: MUROS CON REFUERZO TRADICIONAL (MUROS CONFINADOS)**

VIVIENDA #	Nn	PLANICIE O CAMPO ABIERTO, Vr = 205 km/hr				TECHO FLEXIBLE		TECHO RIGIDO		ISDEC	ISDUH
		BARDA DE COLINDANCIA		SOLO TECHO		MURO DE LA CASA		MURO DE LA CASA			
		CASO	ISDBc	CASO	ISDTTECHO	CASO	ISDMURO	CASO	ISDVIVIENDA		
1	1	6	0.0076	8	0.4791	8	0.0382	-	-	0.2587	0.1331
2	1			4	0.0100	8	0.0382	-	-	0.0241	0.0121
3	2	4	0.0030	6	0.0386	8	0.0382	-	-	0.0192	0.0111
4	1			6	0.0386	8	0.0382	-	-	0.0384	0.0192
5	2	8	0.8396	8	0.4791	8	0.0382	-	-	0.1293	0.4845
6	1			5	0.0181	8	0.0382	-	-	0.0282	0.0141
7	1			7	0.1405	8	0.0382	-	-	0.0894	0.0447
8	1			6	0.0386	8	0.0382	-	-	0.0384	0.0192
9	1	4	0.0030	9	0.9772	8	0.0382	-	-	0.5077	0.2554
10	1			9	0.9772	8	0.0382	-	-	0.5077	0.2539
11	2			9	0.9772	8	0.0382	-	-	0.2539	0.1269
12	1	6	0.0076	5	0.0181	8	0.0382	-	-	0.0282	0.0179
13	1	4	0.0030	6	0.0386	8	0.0382	-	-	0.0384	0.0207
14	2			8	0.4791	8	0.0382	-	-	0.1293	0.0647
15	1	4	0.0030	7	0.1405	8	0.0382	-	-	0.0894	0.0462
16	1			4	0.0100	8	0.0382	-	-	0.0241	0.0121
17	1	8	0.8396	7	0.1405	8	0.0382	-	-	0.0894	0.4645
18	2			6	0.0386	8	0.0382	-	-	0.0192	0.0096
19	1			8	0.4791	8	0.0382	-	-	0.2587	0.1293
Suma =										2.1390	
Suma/No. Viv.=										0.1126	

1	1			-	-	-	-	6	0.0009	0.0009	0.0005
2	1	4	0.0030	-	-	-	-	6	0.0009	0.0009	0.0020
3	1			-	-	-	-	6	0.0009	0.0009	0.0005
4	2			-	-	-	-	6	0.0009	0.0005	0.0002
5	1	8	0.8396	-	-	-	-	6	0.0009	0.0009	0.4203
6	1			-	-	-	-	6	0.0009	0.0009	0.0005
7	1			-	-	-	-	6	0.0009	0.0009	0.0005
8	1	6	0.0076	-	-	-	-	6	0.0009	0.0009	0.0043
9	2			-	-	-	-	6	0.0009	0.0005	0.0002
10	1	4	0.0030	-	-	-	-	6	0.0009	0.0009	0.0020
11	2			-	-	-	-	6	0.0009	0.0005	0.0002
12	1	6	0.0076	-	-	-	-	6	0.0009	0.0009	0.0043
13	1			-	-	-	-	6	0.0009	0.0009	0.0005
14	1	8	0.8396	-	-	-	-	6	0.0009	0.0009	0.4203
Suma =										0.8561	
Suma/No. Viv.=										0.0612	

ISD(VF-UH) = 0.0869

Tabla 6.5 Tipo de Vivienda de Mampostería con Muros de Refuerzo Tradicional.

C) TIPO DE CONSTRUCCION: MUROS PRE-ARMADOS (MUROS CONFINADOS)

VIVIENDA #	Nn	PLANICIE O CAMPO ABIERTO, Vr = 205 km/hr				TECHO FLEXIBLE		TECHO RIGIDO		ISDEC	ISDUH
		BARDA DE COLINDANCIA		SOLO TECHO		MURO DE LA CASA		MURO DE LA CASA			
		CASO	ISDBc	CASO	ISDTTECHO	CASO	ISDMURO	CASO	ISDVIVIENDA		
1	1			5	0.0181	8	0.0256	-	-	0.0219	0.0109
2	1	4	0.1248	4	0.0100	8	0.0256	-	-	0.0178	0.0713
Suma =										0.0822	
Suma/No. Viv.=										0.0411	
1	2	8	1.0000	-	-	-	-	6	0.000021	0.0000	0.5000
2	1	4	0.1248	-	-	-	-	6	0.000021	0.0000	0.0624
Suma =										0.5624	
Suma/No. Viv.=										0.2812	

ISD(VF-UH) = 0.1612

Tabla 6.6 Tipo de Vivienda de Mampostería con Muros Pre-armados.

INDICE DE SUSCEPTIBILIDAD DE DAÑO PARA LA LOCALIDAD	
ISD <sub>G</sub> (VF) =	0.1750

Tabla 6.7 Resultado Global del Índice de Susceptibilidad de Daño para la Vivienda.

6.4.5.1 Conclusiones.

Generalmente los procedimientos de evaluación de desastres se concretan en cuantificar las edificaciones dañadas y el costo del daño en las mismas, así como el de su posible reposición. Cuando se trata de edificaciones de bajo costo, producto de la autoconstrucción, su costo es extremadamente bajo comparado, por ejemplo, con el costo de construcción y reparación de los edificios de un complejo hotelero; sin embargo, lo que generalmente no se contempla es lo que significa la pérdida respecto al porcentaje relativo del capital del dueño. Así, para una casa de autoconstrucción, el porcentaje de lo perdido generalmente es del 100% del capital; sin embargo, para un complejo hotelero, la pérdida relativa puede resultar significativamente inferior. Pero, si se sigue como guía la expresión para determinar el riesgo producto de un evento o fenómeno natural, donde éste resulta del producto de la vulnerabilidad, el nivel de peligro y el costo de la edificación (nivel de exposición), a los fríos ojos de los evaluadores podría resultar en un mayor nivel de riesgo para los complejos hoteleros que para algunas cuantas casas de autoconstrucción.

De acuerdo a lo mencionado anteriormente, se trata de establecer un indicador en la posibilidad de que se genere gran nivel y densidad de daño en las viviendas de bajo costo. Este indicador definido como susceptibilidad de daño, resulta del producto de la vulnerabilidad y el peligro. Con base en este indicador se han elaborado las tablas (6.4, 6.5 y 6.6) con la muestra de las 100 viviendas afectadas por el viento y para distintos tipos de materiales, en donde se puede observar el resultado del Índice de Susceptibilidad de Daño esperado en viviendas para esta zona del estado.

Empleando la escala Saffir-Simpson, por razones de sencillez la más empleada en nuestro país que permite identificar cuantos y cuales estados se ubican en alguna de las clasificaciones zonales de nivel y densidad de daño probable. Se localizó el sitio de interés donde se tiene el conjunto de viviendas (Unidad Habitacional) correspondiente en los mapas de peligro por viento, es decir el mapa de isotacas. Se observó que la zona de Yucatán se encuentra con velocidades entre los 180km/hr y 190km/hr para un periodo de retorno de 200 años, de la información recabada se sabe que el meteoro sobrepasa por muy poco estas velocidades, incrementando así el riesgo en la zona. Mediante las expresiones (6.1 a 6.3) se determinó el índice que mide la vulnerabilidad física tanto en muro como en techos de las viviendas tomando en cuenta los tipos de materiales.

Se observó que para la vivienda de mampostería con material a base de **Adobe** en los muros se obtuvo un índice  $ISD_{VF-UH}=0.2769$ , de la misma manera para el tipo de vivienda hecha a base de muros con **Refuerzo Tradicional** el valor fue de  $ISD_{VF-UH}=0.0869$  y para la vivienda hecha a base de muros con **Refuerzo Pre-armado** el valor del índice fue de  $ISD_{VF-UH}=0.1612$ . De esta manera y finalmente para determinar el índice de susceptibilidad de daño para toda la localidad en general, se obtuvo mediante la expresión (6.4) el promedio del  $ISD_{VF-UH}$  asociado a cada tipo de vivienda donde el resultado total fue de  $ISD_{G(VF-UH)}=0.1750$ . Por lo tanto esto nos lleva a concluir que en la zona afectada por el huracán Isidore, de acuerdo con la tabla 6.3 se podía esperar densidad y Nivel de Riesgo Muy Bajo, debido a que el índice de susceptibilidad de daño general se encuentra entre los valores de 0.0 y 0.2 (tabla 6.3), cabe recordar que aunque la zona sufrió grandes daños en otros aspectos, los muros de vivienda no tuvieron graves problemas excepto la vivienda constituida por material precario en donde el daño fue alrededor de un 70%, mientras que la mampostería simple con un porcentaje muy bajo, inferior al 30% (según información técnica del INEGI, 2003).

Por otra parte, el huracán Isidore mostró que no necesariamente el parámetro básico de caracterización de este tipo de meteoros, que es la velocidad de vientos sostenidos según las escalas de Saffir-Simpson, es indicativo del nivel de daño esperado ante el impacto en edificaciones y otro tipo de estructuras. Gran parte del daño en vivienda se observó en los techos.

Muchas de las viviendas determinadas como dañadas estaban constituidas por muros de mampostería confinada (material sólido en muros según la clasificación del INEGI, 1998) y sobre ellos se sobrepone una estructura ligera de acero. La lámina del techo, en un porcentaje del orden del 80% de este tipo de vivienda, se colocaba sobre la estructura de acero sin elementos de fijación. Esta costumbre motivó que prácticamente ese porcentaje de la vivienda experimentara daño en el techo. Este tipo de vivienda se observó predominantemente afuera de las ciudades grandes del estado, lo cual es indicativo de autoconstrucción, y, por lo tanto, sin cumplimiento de la normatividad vigente al momento de la construcción. En cuanto a la vivienda en la que se tiene una estructura de techo metálica o de madera, sobre la que se coloca el material de cubierta, siendo este de cartón, asbesto o lámina de acero; se deberá recomendar a los habitantes de dichas viviendas que, aunque tengan el carácter temporal, deberán tener las características de resistencia adecuadas contra el efecto del viento para evitar su desprendimiento y el daño total del menaje que se encuentre dentro de ellas. Una buena fuente de detalles y procedimientos respecto a este tipo de recomendaciones, se dan en la referencia [20], en donde se muestran a detalle las características de conexión entre las cubiertas de techo y los muros de la vivienda.

Durante la incidencia del huracán Isidore no se reportaron fallas de los muros de viviendas, salvo aquellas que estaban constituidas por mampostería simple. Sin embargo, para los muros empleados en las bardas de colindancia, los cuales reportaron daños en un porcentaje superior al 70%, resultó notable la insuficiencia de la resistencia de los castillos, que son los elementos que deberán soportar el momento de volteo que le provocará el viento incidiendo en la dirección perpendicular a su plano.

Finalmente, en general tanto en vivienda como en estructuras de carácter industrial fue notable el efecto nocivo del intemperismo, aunado a una pobre cultura de mantenimiento de las estructuras. Fue claro en el comportamiento de las edificaciones en Telchac Puerto, el hecho de que viviendas en las que se hizo un trabajo de mantenimiento adecuado, hayan soportado satisfactoriamente el embate del viento, contrariamente a las edificaciones en las que no se hizo trabajo alguno.

## CAPITULO 7

### EVALUACION MEDIANTE LA TEORIA DE PLACAS DE MUROS DE MAMPOSTERIA SUJETOS A FLEXION CON DIVERSAS CONDICIONES DE BORDE

#### 7.1 INTRODUCCIÓN.

En las construcciones de mampostería, el principal elemento estructural es el muro de carga, mismo que puede ser construido con tabiques sólidos o huecos. Los muros a su vez transfieren las cargas laterales debida a sismo o viento a la cimentación. Como consecuencia de la unión débil entre los muros de carga y los diafragmas (losas rígidas o flexibles) o la falta de refuerzo, estos pueden colapsar o desprenderse de los edificios por la acción de cargas en el plano o fuera de éste. Las fallas asociadas a cargas en el plano, se caracterizan por un patrón de agrietamiento en forma diagonal, mientras que a las debidas a cargas fuera del plano por un patrón de agrietamiento a lo largo de las juntas de mortero y en algunos casos grietas inclinadas [15]. Durante los recientes terremotos, muchos edificios de mampostería que fueron reforzados sufrieron daños de consideración (Kehoe, 1996). Indicando esto que el comportamiento de muros de mampostería reforzados con diferentes procedimientos no ha sido cabalmente entendido.

En el presente trabajo, usa la Teoría de Placas para modelar el comportamiento de muros de mampostería reforzados y sujetos a flexión fuera del plano. La modelación se hace usando una solución aplicada a placas ortotrópicas, elástico-lineales, simplemente apoyadas en los extremos, empotrados en otros y libres en algunos.

En otra parte del trabajo, se trata de entender el comportamiento que tiene tanto la mampostería simple como la mampostería confinada, al encontrar la relación que se da en las dimensiones propias de los muros con el efecto que tienen ante cargas laterales en un fenómeno natural como lo es el viento, esto conlleva a realizar análisis que nos indican un estimado de que tan seguros puedan ser estos elementos (muros) en la vivienda de bajo costo.

#### 7.2 ESTUDIOS DE TIMOSHENKO Y S. WOINOWSKY-KRIEGER (1959).

En esta parte, se presentan de manera general los pasos desarrollados para la obtención de los modelos matemáticos que permiten estimar tanto la carga de agrietamiento como la carga última de muros de mampostería. La modelación matemática, se hace mediante el uso de la Teoría de Placas (Timoshenko, 1959). El objetivo general es la de modelar mediante esta Teoría el comportamiento a flexión de muros de mampostería reforzados, sujetos a cargas fuera del plano y como objetivos específicos, se tiene:

- Evaluar el comportamiento de los muros mediante la Teoría de Placas para predecir la carga de agrietamiento de estos.
- Predecir mediante la Teoría de Placas las dimensiones máximas que soporta un muro de mampostería ya sea simple o reforzado.

Investigaciones demuestran que las propiedades de flexión de una placa dependen grandemente de su espesor en comparación con las restantes dimensiones. En dichas investigaciones se muestran estudios en los que se distinguen tres clases de placas: Placas delgadas con pequeñas flechas; Placas delgadas con grandes flechas y Placas gruesas. Para cuestión de estudio en esta parte se mencionara solo la *Teoría de Placas Delgadas con pequeñas flechas*. Si las flechas  $w$  de una placa son pequeñas en comparación con su espesor o canto  $h$ ,

puede desarrollarse una teoría suficiente aproximada para flexión bajo cargas laterales, haciendo las siguientes hipótesis:

- 1.- No hay deformación en el plano medio de la placa. Este plano permanece neutro durante la flexión.
- 2.- Los puntos situados inicialmente en una normal al plano medio de la placa, permanecen después de la flexión en una normal a la superficie media de la placa.
- 3.- Las tensiones normales en la dirección transversal de la placa son despreciables.

Apoyándose en estas hipótesis, todas las tensiones pueden expresarse en función de la flecha  $w$  de la placa que a su vez es función de las coordenadas en el plano de la placa. La primera función tiene que satisfacer una ecuación diferencial lineal en derivadas parciales que junto con las condiciones de contorno, define completamente  $w$  axial la solución de esta ecuación da toda la información necesaria para el cálculo de las tensiones en cualquier punto de la placa. La segunda hipótesis equivale a despreciar el efecto de los esfuerzos cortantes en la deformación de las placas. Esta hipótesis es ordinariamente aceptable, pero en algunos casos (por ejemplo en los casos de placas con agujeros) el efecto del esfuerzo cortante llega a ser importante y es preciso introducir algunas correcciones en la teoría de placas delgadas. Si además de las cargas laterales, hay fuerzas externas que actúan en el plano medio de la placa, la primera hipótesis ya no es aceptable, y es necesario tener en cuenta el efecto que producen sobre la flexión, las tensiones que actúan en el plano medio de la placa. Esto puede hacerse introduciendo términos adicionales en la ecuación diferencial de las placas antes citada.

### **7.3 MODELACION MATEMATICA EN FLEXIÓN DE PLACAS RECTANGULARES POR MOMENTOS REPARTIDOS A LO LARGO DE SUS BORDES.**

Este caso corresponde a un modelo simplificado y que permite predecir la carga de falla, su análisis se hace suponiendo que el muro es una placa con un comportamiento elástico-lineal. Haciendo uso de la Teoría de Placas [34], se obtienen modelos para predecir la carga de agrietamiento de muros de mampostería y sujetos a flexión fuera de su plano. Para cada caso, se asumen las consideraciones correspondientes:

- Una carga  $q$  uniformemente distribuida y actuando perpendicularmente al plano.
- Placa con Bordes libres en algunos casos.
- Apoyos simples a lo largo de los bordes de la placa.
- Apoyos empotrados a lo largo de algunos de los bordes de la placa.

Para el análisis de este tipo de placas se han desarrollado varias teorías, tanto lineales como no lineales, así como numéricas -Elemento Finito-, que se aplican en diversos niveles de profundidad, según las características geométricas de la placa, clasificándose como ya se mencionó en placas delgadas y gruesas. Además, estas pueden ser simétricas y no simétricas. El análisis de placas delgadas es el más utilizado, tal vez por su relativa sencillez, ya que a diferencia de las placas gruesas no incluye deformaciones por cortante, ni normales [37].

En el presente trabajo, el método usado en la *Teoría de Placas* para modelar el comportamiento de placas sujetas a flexión fuera del plano, se puede revisar minuciosamente en la referencia [34] (Timoshenko, Woinowsky-Krieger, 1959) para la determinación de los puntos siguientes (7.3.1 a 7.3.5), en esta se observan los estudios en donde mediante la formulación de ecuaciones diferenciales se determinan las expresiones matemáticas para obtener las flechas y los momentos flectores máximos permitidos para estos elementos, en este apartado las tablas presentadas son el resultado de los estudios realizados, este trabajo se enfoca básicamente al análisis de las ecuaciones presentadas en las tablas siguientes, como a continuación se muestra.

### 7.3.1 FLEXIÓN DE PLACAS RECTANGULARES CON DOS BORDES OPUESTOS SIMPLEMENTE APOYADOS, UNO LIBRE Y EL CUARTO EMPOTRADO.

Supongamos por ejemplo los bordes  $x=0$  y  $x=a$  (figura 7.1) simplemente apoyados, el borde  $y=b$  libre y el borde  $y=0$  empotrado. En este caso, las condiciones de borde serán

$$\varpi = 0 \quad \frac{\partial^2 \varpi}{\partial x^2} = 0; \text{ para } x=0 \text{ y } x=a \dots\dots(7.1)$$

$$\text{y} \quad \varpi = 0 \quad \frac{\partial \varpi}{\partial y} = 0; \text{ para } y=0 \dots\dots(7.2)$$

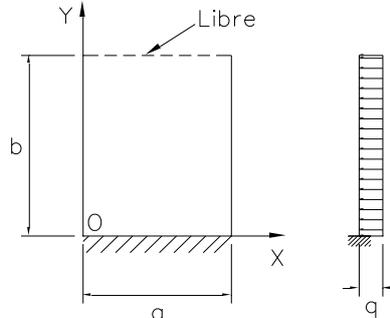


Figura 7.1. Placa con dos bordes simplemente apoyados, uno libre y uno empotrado, (S. Timoshenko, 1959).

En el caso particular de una carga uniformemente repartida se supone que la flecha está compuesta de dos partes, donde  $\omega_1$  y  $\omega_2$  representan las flechas de una franja uniformemente cargada y simplemente apoyada de ancho  $a$  que puede escribirse en forma de serie. La flecha máxima se produce en el centro del borde libre. Si  $b$  es muy grande en comparación con  $a$ , es decir si el borde libre está lejos del borde empotrado, la flecha del borde libre es la misma que la de una franja de longitud  $a$ , uniformemente cargada y simplemente apoyada, multiplicándola por el factor constante  $(3-\nu)(1+\nu)/(3+\nu)$ . Resultando de la presencia de este factor que la flecha máxima es un 64% mayor que la de la franja, para  $\nu = 0.3$ . Esto se explica fácilmente si se tiene en cuenta que junto al borde libre la placa esta flexada según una superficie anticlástica. Consideremos otro caso extremo, en el que  $a$  es muy grande en comparación con  $b$ , la flecha máxima de la placa es evidentemente la misma que la de una franja de longitud  $b$  uniformemente cargada, empotrada en un extremo libre y en otro.

La tabla 7.1 proporciona valores de la flecha máxima calculados para diferentes relaciones  $b/a$ . proporciona también valores máximos de los momentos flectores que se calculan igualmente a partir de la expresión de la deformada (ver referencia 34). Los cálculos muestran que  $M_{x_{max}}$  se produce en el centro del borde libre. El máximo valor absoluto del momento  $M_y$  se sitúa en el centro del borde empotrado.

TABLA 7.1.

$b/a$	$(\varpi)_{max}$	$x=a/2, y=b$ $M_x$	$x=a/2, y=0$ $M_y$
0.0	$0.125qb^4/D$	0	$-0.500qb^2$
$1/3 = 0.33$	$0.094qb^4/D$	$0.0078qa^2$	$-0.428qb^2$
$1/2 = 0.50$	$0.0582qb^4/D$	$0.0293qa^2$	$-0.319qb^2$
$2/3 = 0.66$	$0.0335qb^4/D$	$0.0558qa^2$	$-0.227qb^2$
1.0	$0.0113qb^4/D$	$0.0972qa^2$	$-0.119qb^2$
$3/2 = 1.5$	$0.0141qa^4/D$	$0.123qa^2$	$-0.124qa^2$
2.0	$0.0150qa^4/D$	$0.131qa^2$	$-0.125qa^2$
3.0	$0.0152qa^4/D$	$0.133qa^2$	$0.125qa^2$
$\infty$	$0.0152qa^4/D$	$0.133qa^2$	$-0.125qa^2$

Flechas y Momentos flectores en placa uniformemente cargada con dos bordes opuestos simplemente apoyados, el tercer borde libre y el cuarto empotrado, (Timoshenko, 1959).

### 7.3.2 FLEXIÓN DE PLACAS RECTANGULARES CON TRES BORDES SIMPLEMENTE APOYADOS Y UNO EMPOTRADO.

Considerando una placa rectangular a empotrada a lo largo de un lado  $y=b/2$  y simplemente apoyada sobre los otros tres (figura 7.2). La flecha de la placa sometida a una carga transversal cualquiera se obtiene combinando la solución de una placa simplemente apoyada en la que los momentos flectores están repartidos a lo largo de un lado de la placa.

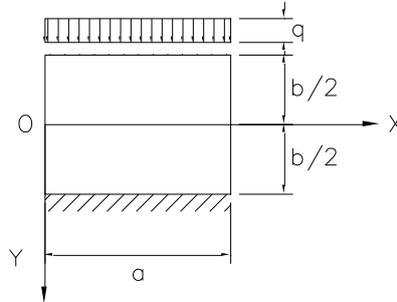


Figura 7.2. Placa con tres bordes simplemente apoyados y uno empotrado, (S. Timoshenko, 1959).

La pendiente en el borde empotrado debida a una carga uniformemente repartida, se puede calcular mediante un procedimiento establecido igual al caso anterior que conlleva a determinar la expresión de los momentos flectores en cada borde distinto de la placa. La tabla 7.2 da los valores de la flecha y los momentos flectores para diversos valores de la relación  $a/b$ .

TABLA 7.2.

$a/b$	$(\varpi)_{x=a/2, y=0}$	$(M_y)_{x=a/2, y=b/2}$	$(M_x)_{x=a/2, y=0}$	$(M_y)_{x=a/2, y=0}$
$\infty$	$0.0130qa^4/D$	$-0.125qa^2$	$0.125qa^2$	$0.037qa^2$
2.0	$0.0093qa^4/D$	$-0.122qa^2$	$0.094qa^2$	$0.047qa^2$
1.5	$0.0064qa^4/D$	$-0.112qa^2$	$0.069qa^2$	$0.048qa^2$
1.4	$0.0058qa^4/D$	$-0.109qa^2$	$0.063qa^2$	$0.047qa^2$
1.3	$0.0050qa^4/D$	$-0.104qa^2$	$0.056qa^2$	$0.045qa^2$
1.2	$0.0043qa^4/D$	$-0.098qa^2$	$0.049qa^2$	$0.044qa^2$
1.1	$0.0035qa^4/D$	$-0.092qa^2$	$0.041qa^2$	$0.042qa^2$
1.0	$0.0028qa^4/D$	$-0.084qa^2$	$0.034qa^2$	$0.039qa^2$
$1/1.1 = 0.90$	$0.0032qb^4/D$	$-0.092qb^2$	$0.033qb^2$	$0.043qb^2$
$1/1.2 = 0.84$	$0.0035qb^4/D$	$-0.098qb^2$	$0.032qb^2$	$0.047qb^2$
$1/1.3 = 0.77$	$0.0038qb^4/D$	$-0.103qb^2$	$0.031qb^2$	$0.050qb^2$
$1/1.4 = 0.72$	$0.0040qb^4/D$	$-0.108qb^2$	$0.030qb^2$	$0.052qb^2$
$1/1.5 = 0.67$	$0.0042qb^4/D$	$-0.111qb^2$	$0.028qb^2$	$0.054qb^2$
0.5	$0.0049qb^4/D$	$-0.122qb^2$	$0.023qb^2$	$0.060qb^2$
0.0	$0.0052qb^4/D$	$-0.125qb^2$	$0.019qb^2$	$0.062qb^2$

Flechas y Momentos en placa rectangular con un borde empotrado y tres simplemente apoyados,  $\nu=0.3$ .

### 7.3.3 FLEXIÓN DE PLACAS RECTANGULARES CON DOS BORDES OPUESTOS SIMPLEMENTE APOYADOS Y LOS OTROS DOS EMPOTRADOS.

Supongamos ahora que los bordes  $x=0$  y  $x=a$  de una placa rectangular (figura 7.3) están simplemente apoyados y que los otros dos están empotrados. Se puede observar la flecha de la placa sometida a una carga transversal cualquiera, resolviendo el problema como si los cuatro bordes estuvieran simplemente apoyados y, aplicando después los momentos flectores a lo largo de los bordes  $y=\pm b/2$  cuyo valor sea tal que eliminen el giro de estos, producido por la acción de la carga transversal.

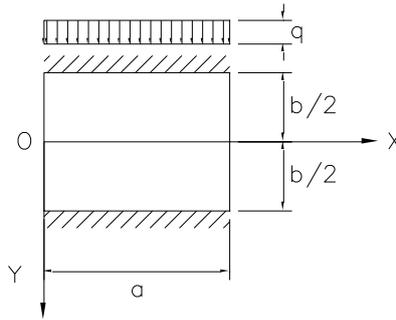


Figura 7.3. Placa con dos bordes simplemente apoyados y dos empotrados, (Timoshenko, 1959).

El valor máximo del momento se sitúa en el centro de los lados, en los que  $x=a/2$ . La serie converge rápidamente y el momento máximo se calcula así en cada caso particular. La tabla 7.3 da varios valores para este coeficiente.

TABLA 7.3.

**$b < a$**

$b/a$	$x=a/2, y=0$ $w_{\max} = \alpha \frac{qb^4}{D}$ $\alpha$	$x=a/2, y=0$ $Mx = \beta_1 qb^2$ $\beta_1$	$x=a/2, y=0$ $My = \beta_2 qb^2$ $\beta_2$	$x=a/2, y=b/2$ $My = \gamma qb^2$ $\gamma$
$\infty$	0.00260	0.0125	0.0417	-0.0833
2.0	0.00260	0.0142	0.0420	-0.0842
1.5	0.00247	0.0179	0.0406	-0.0822
1.4	0.00240	0.0192	0.0339	-0.0810
1.3	0.00234	0.0203	0.0388	-0.0794
1.2	0.00223	0.0215	0.0375	-0.0771
1.1	0.00209	0.0230	0.0355	-0.0739

**$b > a$**

$b/a$	$x=a/2, y=0$ $w_{\max} = \alpha \frac{qa^4}{D}$ $\alpha$	$x=a/2, y=0$ $Mx = \beta_1 qa^2$ $\beta_1$	$x=a/2, y=0$ $My = \beta_2 qa^2$ $\beta_2$	$x=a/2, y=b/2$ $My = \gamma qa^2$ $\gamma$
1.0	0.00192	0.0244	0.0332	-0.0697
1.1	0.00251	0.0307	0.0371	-0.0787
1.2	0.00319	0.0376	0.0400	-0.0868
1.3	0.00388	0.0446	0.0426	-0.0938
1.4	0.00460	0.0514	0.0448	-0.0998
1.5	0.00531	0.0585	0.0460	-0.1049
1.6	0.00603	0.0650	0.0469	-0.1090
1.7	0.00668	0.0712	0.0475	-0.1122
1.8	0.00732	0.0768	0.0477	-0.1152
1.9	0.00790	0.0821	0.0476	-0.1174
2.0	0.00844	0.0869	0.0474	-0.1191
3.0	0.01168	0.1144	0.0419	-0.1246
$\infty$	0.01302	0.1250	0.0375	-0.1250

Flechas y Momentos, en placa rectangular con dos bordes simplemente apoyados y dos bordes empotrados.

### 7.3.4 FLEXIÓN DE PLACAS RECTANGULARES CON TRES BORDES EMPOTRADOS Y EL CUARTO BORDE LIBRE.

Para placas, con tales condiciones en los bordes presentan un interés particular como partes integrantes de depósitos rectangulares o muros de contención. Por consiguiente, se considera en este caso, de manera muy especial, las cargas uniformemente repartidas. Supongamos el contorno de la placa empotrada en  $y = 0, x = \pm a/2$  y libre en  $y = b$  (figura 7.4).

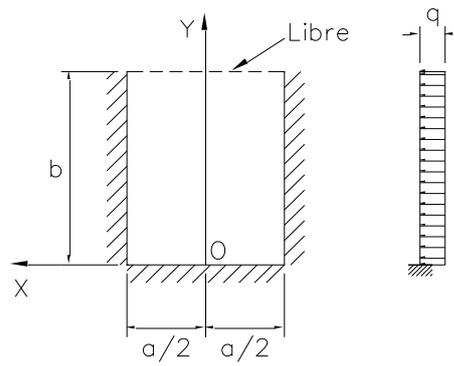


Figura 7.4. Placa con tres bordes empotrados y uno libre, (Timoshenko, 1959).

Se supone una carga de intensidad  $q$ , uniformemente repartida, a partir de las condiciones de borde se emplean ecuaciones lineales que al resolverlas se pueden expresar los valores que se observan en la tabla 7.4.

TABLA 7.4.

$\frac{b}{a}$	$X = 0, y = b$		$X = 0, y = b/2$			$X = a/2, y = b$		$X = a/2, y = b/2$		$X = 0, y = 0$	
	$\varpi$ $= \alpha_1 \frac{qa^4}{D}$	$M_x$ $= \beta_1 qa^2$	$\varpi$ $= \alpha_2 \frac{qa^4}{D}$	$M_x$ $= \beta_1 qa^2$	$M_y$ $= \beta'_2 qa^2$	$M_x$ $= \beta_3 qa^2$	$V_x$ $= \gamma_3 qa$	$M_x$ $= \beta_4 qa^2$	$V_x$ $= \gamma_4 qa$	$M_x$ $= \beta_5 qa^2$	$V_x$ $= \gamma_5 qa$
	$\alpha_1$	$\beta_1$	$\alpha_2$	$\beta_2$	$\beta'_2$	$\beta_3$	$\gamma_3$	$\beta_4$	$\gamma_4$	$\beta_5$	$\gamma_5$
0,6	0,00271	0,0336	0,00129	0,0168	0,0074	-0,0745	0,750	-0,0365	0,297	-0,0554	0,416
0,7	0,00292	0,0371	0,00159	0,0212	0,0097	-0,0782	0,717	-0,0439	0,346	-0,0545	0,413
0,8	0,00308	0,0401	0,00185	0,0252	0,0116	-0,0812	0,685	-0,0505	0,385	-0,0535	0,410
0,9	0,00323	0,0425	0,00209	0,0287	0,0129	-0,0836	0,656	-0,0563	0,414	-0,0523	0,406
1,0	0,00333	0,0444	0,00230	0,0317	0,0138	-0,0853	0,628	-0,0614	0,435	-0,0510	0,401
1,25	0,00345	0,0467	0,00269	0,0374	0,0142	-0,0867	0,570	-0,0708	0,475	-0,0470	0,388
1,5	0,00335	0,0454	0,00290	0,0402	0,0118	-0,0842	0,527	-0,0755	0,491	-0,0418	0,373

Flechas, Momentos flectores y reacciones de placas rectangulares uniformemente cargadas con tres bordes empotrados y el cuarto libre, (Timoshenko, 1959).

### 7.3.5 FLEXIÓN DE PLACAS RECTANGULARES EMPOTRADAS EN TODO EL CONTORNO.

Para estudiar este problema, se utilizara el mismo método utilizado para los casos precedentes. Se comienza por resolver el problema para una placa rectangular simplemente apoyada y superponiendo a la flecha de esta placa, la flecha de la placa, debida a los momentos repartidos a lo largo de los bordes. Estos momentos son tales que cumplen la condición en el contorno de la placa empotrada ( $\partial\omega/\partial n=0$ ). El método puede aplicarse a toda clase de carga transversal. Para simplificar nuestro estudio, se resuelve el problema para una carga uniformemente repartida. Las flechas y los momentos en este caso son simétricos con respecto a los ejes de coordenadas indicados en la figura 7.5.

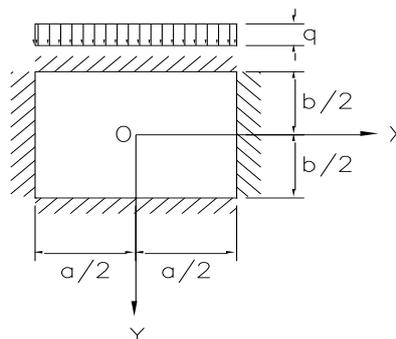


Figura 7.5. Placa con cuatro bordes empotrados, (Timoshenko, 1959).

Se pueden efectuar cálculos semejantes a los casos anteriores, para cualquier relación de los lados de una placa rectangular. Los resultados de estos cálculos están dados en la tabla 7.5.

TABLA 7.5.

$b/a$	$(\varpi)_{x=0,y=0}$	$(M_x)_{x=a/2,y=0}$	$(M_y)_{x=0,y=b/2}$	$(M_x)_{x=0,y=0}$	$(M_y)_{x=0,y=0}$
1.0	$0.00126qa^4/D$	$-0.0513qa^2$	$-0.0513qa^2$	$0.0231qa^2$	$0.0231qa^2$
1.1	$0.00150qa^4/D$	$-0.0581qa^2$	$-0.0538qa^2$	$0.0264qa^2$	$0.0231qa^2$
1.2	$0.00172qa^4/D$	$-0.0639qa^2$	$-0.0554qa^2$	$0.0299qa^2$	$0.0228qa^2$
1.3	$0.00191qa^4/D$	$-0.0387qa^2$	$-0.0563qa^2$	$0.0327qa^2$	$0.0222qa^2$
1.4	$0.00207qa^4/D$	$-0.0726qa^2$	$-0.0568qa^2$	$0.0349qa^2$	$0.0212qa^2$
1.5	$0.00220qa^4/D$	$-0.0757qa^2$	$-0.0570qa^2$	$0.0368qa^2$	$0.0203qa^2$
1.6	$0.00230qa^4/D$	$-0.0780qa^2$	$-0.0571qa^2$	$0.0381qa^2$	$0.0193qa^2$
1.7	$0.00238qa^4/D$	$-0.0799qa^2$	$-0.0571qa^2$	$0.0392qa^2$	$0.0182qa^2$
1.8	$0.00245qa^4/D$	$-0.0812qa^2$	$-0.0571qa^2$	$0.0401qa^2$	$0.0174qa^2$
1.9	$0.00249qa^4/D$	$-0.0822qa^2$	$-0.0571qa^2$	$0.0407qa^2$	$0.0165qa^2$
2.0	$0.00254qa^4/D$	$-0.0829qa^2$	$-0.0571qa^2$	$0.0412qa^2$	$0.0158qa^2$
$\infty$	$0.00260qa^4/D$	$-0.0833qa^2$	$-0.0571qa^2$	$0.0417qa^2$	$0.0125qa^2$

Flechas y Momentos flectores en placa rectangular uniformemente cargada con cuatro bordes empotrados, (Timoshenko, 1959).

#### 7.4 CARACTERÍSTICAS DE LOS MUROS ESTUDIADOS ANTE LA INCIDENCIA DEL VIENTO.

De acuerdo al reglamento de CFE, (Manual de Obras Civiles de la CFE, 1993), se obtuvo la velocidad regional para la zona ubicada en Acapulco Guerrero, lugar en la que se tiene un gran número de fallas en vivienda de mampostería, causa por la cual se realiza el presente trabajo, en la zona se tiene un promedio de velocidad regional de  $V_R=162\text{km/hr}$ , la cual le corresponde una presión de  $115.90\text{ kg/m}^2$ , con esta presión se obtiene la carga distribuida ( $q$ ) en el muro y con ésta carga el momento actuante que estará en función de la altura, el ancho, y el coeficiente de momento dado para cada condición. En síntesis, el momento resistente de la mampostería se encuentra en función de la resistencia y el ancho del muro, se observaran adelante los distintos casos mencionados anteriormente. En las gráficas obtenidas se aprecian los muros para presiones calculadas de acuerdo al reglamento de CFE, el reglamento proporciona los parámetros correspondientes como la velocidad regional, rugosidad del terreno, topografía del lugar, temperatura, presión barométrica coeficiente de arrastre, etc. Como ya se mencionó se estudia un muro idealizado, esto nos lleva a obtener el Momento Actuante ( $M_u$ ) en función de la presión, carga distribuida, altura y ancho de muro y por otra parte el Momento Resistente ( $M_{cr}$ ) que estará en función del espesor, área y fluencia de acero, etc., éste nos dará el valor máximo que soportara el muro para una altura y una velocidad regional dada.

En este apartado se hace referencia a la *Mampostería Simple* (figura 7.6), se hace una comparación entre el momento resistente y el momento actuante para muros de mampostería con distintas dimensiones, [29]. Se tomaron diferentes casos en los que el muro se encuentra apoyado en sus cuatro bordes de diferente manera ya sea un apoyo empotrado, libre o simplemente apoyado. En los muros estudiados se tiene un momento actuante generado por la carga perpendicular al plano y por otra parte el momento resistente generado por la resistencia de los materiales empleados en el muro, de los cuales al igualar estas dos ecuaciones y mediante una serie de cálculos se podrá conocer el valor del ancho ( $a$ ), así de esta manera se entra a la tabla correspondiente para cada condición de muro que nos proporciona el autor y se obtiene de la relación ancho/altura ( $b/a$ ) el coeficiente de momento para cada condición de borde, de esta manera entonces se podrá conocer la altura ( $b$ ) que corresponde a la relación  $b/a$  del muro. El muro consta con ciertas dimensiones y características, como lo es su espesor y resistencia, se tomo un espesor de  $15\text{cm}$  y una resistencia de  $3.4\text{ kg/cm}^2$  para *mampostería convencional* así como  $1.1\text{ kg/cm}^2$  para el tipo de *adobe*.

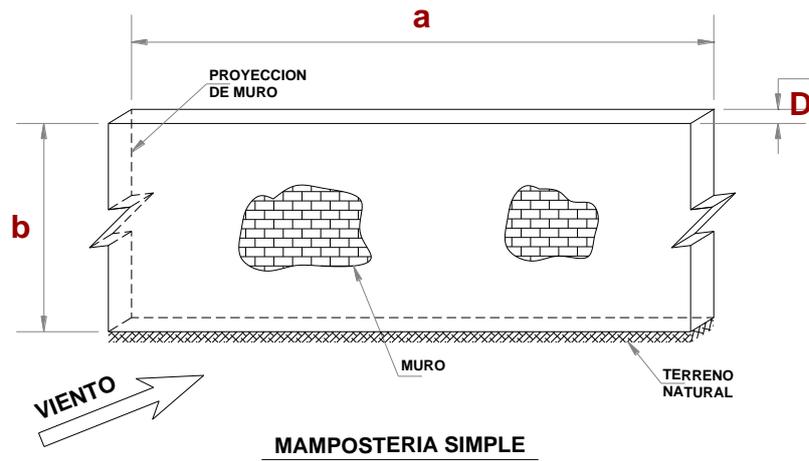


Figura 7.6. Muro de Mampostería Simple.

Por otra parte se analiza un estudio para la *Mampostería Confinada* (figura 7.7) muros con refuerzo en los castillos. Las curvas que representan las figuras para cada caso corresponden a un ensaye de muro efectuado con mampostería reforzada. En el análisis el momento resistente será mayor que el momento actuante en el muro, éste deberá ser capaz de soportar las diferentes presiones de viento, debido a la baja resistencia a flexión que presenta será necesario reforzarla con barras de acero, estas ayudaran al elemento a lograr una resistencia mayor.

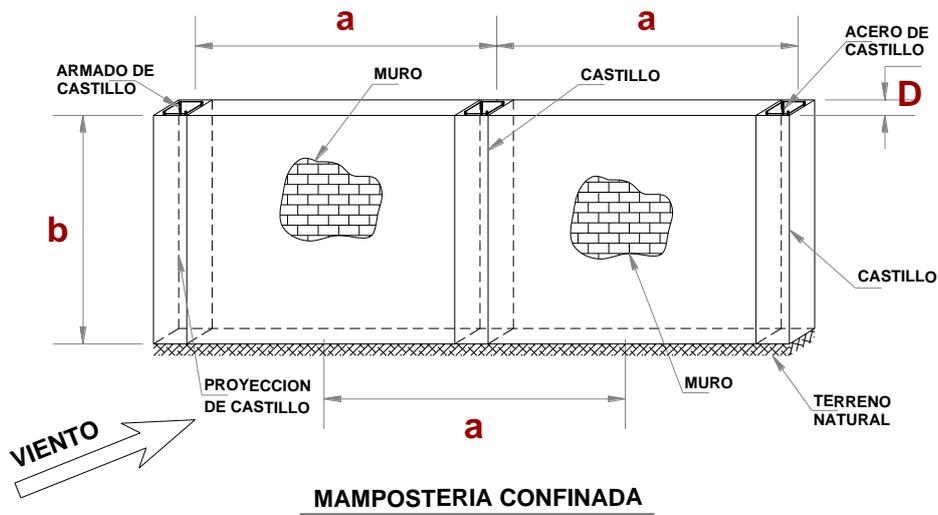


Figura 7.7. Muro de Mampostería Confinado.

## 7.5 ANALISIS DE MUROS ANTE LA INFLUENCIA DEL VIENTO CON DISTINTOS CASOS DE BORDE UTILIZANDO LA TEORIA DE PLACAS.

En este capítulo se describe el análisis visto anteriormente para ejemplos en muros de vivienda con las características definidas por su geometría y las propiedades de los materiales que lo forman. Las propiedades de flexión de una placa como se mencionó anteriormente dependen grandemente de su espesor ( $D$ ) en comparación con las restantes dimensiones tales como son la altura ( $b$ ) y el ancho ( $a$ ). En el estudio visto anteriormente (Timoshenko, 1959) la teoría da solución a placas con distintos bordes de apoyo, obteniendo así coeficientes en función de la relación altura/ancho ( $b/a$ ), estos valores de coeficientes ayudaran a obtener el momento último que actúa en un elemento afectado por una carga lateral, en este caso la presión del viento.

En este punto se requiere encontrar el valor máximo de las dimensiones del muro en estudio para cada caso, de tal manera que no se excedan las fatigas límites. En cada condición la presión sobre el muro es invariable es decir se mantiene constante y las dimensiones cambiarán para esta misma presión de viento. Se tiene entonces que la tabla en el análisis nos marca diferentes coeficientes para obtener el momento que actúa en el centro y en cada borde del muro y para cada relación ancho/altura. Al trabajar con la mampostería simple se tiene que su resistencia será la que resista solamente el tabique del muro.

A manera de visualizar el desarrollo para obtener las dimensiones de los muros mostrados en las tablas siguientes, se ejemplifica y se da solución a un caso en particular que a continuación se muestra:

Para el caso en donde se tiene un muro con “Un borde empotrado, dos simplemente apoyados y uno libre”, de la tabla 7.1, para una relación  $b/a=0.66$  y un momento  $My_{(x=a/2, y=0)}$  se determina la carga distribuida ( $q$ ), el ancho del muro ( $a$ ) y un coeficiente que señala el autor, esto es  $My_{(x=a/2, y=0)}=0.227qb^2$  en donde  $q=Pa$  y  $P$  es la presión del viento. Por otra parte se sabe que el momento resistente de un muro de mampostería estará en función del espesor ( $D$ ) del muro, el ancho del mismo y la resistencia de la mampostería ante la fuerza del viento, que en este caso será de  $f_t=3.4\text{kg/cm}^2$ , se tiene entonces que el momento de resistencia será  $Mcr=f_t aD^2/6$ .

Se tiene entonces que al igualar  $My_{(x=a/2, y=0)}=Mcr$  y despejando la altura “b” se obtendrá lo siguiente (para una velocidad regional de viento  $V_R=162\text{km/hr}$  corresponderá una presión de  $115.90\text{ kg/m}^2$ ), despejando se tiene que

$$My_{(x=a/2, y=0)} = Mcr$$

$$0.227qb^2 = \frac{f_t aD^2}{6} \quad \Rightarrow \quad 0.227Pab^2 = \frac{f_t aD^2}{6} \quad \Rightarrow \quad 0.227Pb^2 = \frac{f_t D^2}{6} \quad \Rightarrow \quad b = \sqrt{\frac{f_t D^2}{6(0.227)P}}$$

Sustituyendo valores se conoce el ancho de muro

$$b = \sqrt{\frac{34000(0.15)^2}{6(0.227)(115.90)}} = 2.20\text{m}$$

De la tabla 7.1 se tiene que

$$\frac{b}{a} = 0.66 \quad \Rightarrow \quad a = \frac{b}{0.66} = \frac{2.20}{0.66} = 3.33\text{m}$$

De esta manera con las dimensiones obtenidas, se cumple la condición en donde se evitara el muro presente alguna falla. Se obtienen entonces los valores del momento resistente y el actuante máximo en el muro para todos los casos como a continuación se muestran.

### 7.5.1 MURO CON UN BORDE EMPOTRADO, DOS SIMPLEMENTE APOYADOS Y UNO LIBRE.

En este punto se realiza el análisis para un muro que tiene la siguiente condición, los bordes  $x=0$  y  $x=a$  simplemente apoyados, el borde  $y=b$  libre y el borde  $y=0$  empotrado (ver figura 7.1). En este caso, se tienen dos momentos alrededor del muro los cuales son, uno en el apoyo libre  $(Mx)_{x=a/2, y=b}$ , y otro en el apoyo empotrado  $(My)_{x=a/2, y=0}$ . Al analizar este caso, se tiene una relación  $b/a$  que inicia desde cero hasta un valor infinito (se propone  $b/a=4.0$ ), el valor de los coeficientes dados inician desde  $\beta=0.00$  hasta  $\beta=0.133$  para el momento  $Mx$  y desde  $\beta=0.50$  hasta  $\beta=0.125$  para el momento  $My$ . En la tabla 7.6, se observan los valores obtenidos, en donde se tiene que a una altura  $b=0.10\text{m}$  le corresponde un ancho que tiende a infinito es decir  $a=104.90\text{m}$ , de esta manera se aprecia que al incrementar la altura el ancho disminuye considerablemente llegando así a que para  $b=11.52\text{m}$  le corresponderá un ancho  $a=2.88\text{m}$ , cabe mencionar que este caso se asemeja más a las condiciones que se someten los muros de colindancia al tener un borde superior libre.

Figuras como la 7.8 muestran la variación en el comportamiento de los elementos que tienen distintos tipos de apoyo. Cada curva de estas figuras representa la gráfica ancho-altura de un elemento (muro) sometido a una distribución de presión. Se puede observar de inmediato el efecto que se da tanto en el apoyo empotrado como el apoyo libre. En la misma figura se aprecian todos los valores por debajo de la curva que evitaran falle el muro ante esta velocidad de viento, se observa que después de la relación  $b/a=1.0$  los valores de la altura tienden a infinito con un ligero aumento en el ancho, la curva se observa es muy pronunciada, una vez sobre pasando este valor se vuelve muy tenue es decir a pequeñas alturas los anchos pueden crecer en gran dimensión, el ancho de muro tiende a ir disminuyendo muy lentamente. Se observa que en el apoyo de empotre se tiene el momento  $M_y=0.427$  t-m el cual marca el estado de falla que sobrepasa al momento resistente  $M_{cr}=0.426$  t-m de la mampostería para condiciones normales, estos valores de momentos bajan al incrementarse la altura como se aprecia en la tabla. En la tabla 7.6 se aprecia como la altura es afectada por el parámetro  $\beta$ , se observa que al ir aumentando este coeficiente el momento actuante del muro se incrementa.

b/a	Ancho a (m)	Altura b(m)	Coeficientes		Mx (x=a/2, y=b) (ton-m)	My (x=a/2, y=0) (ton-m)	El mayor de Mx o My	
			(x=a/2, y=b) $\beta_1$	(x=a/2, y=0) $\beta_2$			Mu (ton-m)	Mcr (ton-m)
0.00	104.90	0.10	0.0000	0.500	13.379	0.067	13.379	13.375
0.33	4.86	1.60	0.0078	0.428	0.104	0.620	0.620	0.620
0.50	3.73	1.87	0.0293	0.319	0.176	0.480	0.480	0.476
0.66	<b>3.34</b>	<b>2.20</b>	0.0558	0.227	0.241	0.427	0.427	0.426
1.00	3.05	3.05	0.0972	0.119	0.320	0.391	0.391	0.389
1.50	2.98	4.47	0.123	0.124	0.377	0.380	0.380	0.380
2.00	2.90	5.80	0.131	0.125	0.370	0.353	0.370	0.370
3.00	2.88	8.64	0.133	0.125	0.368	0.346	0.368	0.367
4.00	2.88	11.52	0.133	0.125	0.368	0.346	0.368	0.367

Tabla 7.6. Resultados de dimensiones y momentos en muros con dos bordes simplemente apoyados, uno libre y uno empotrado.

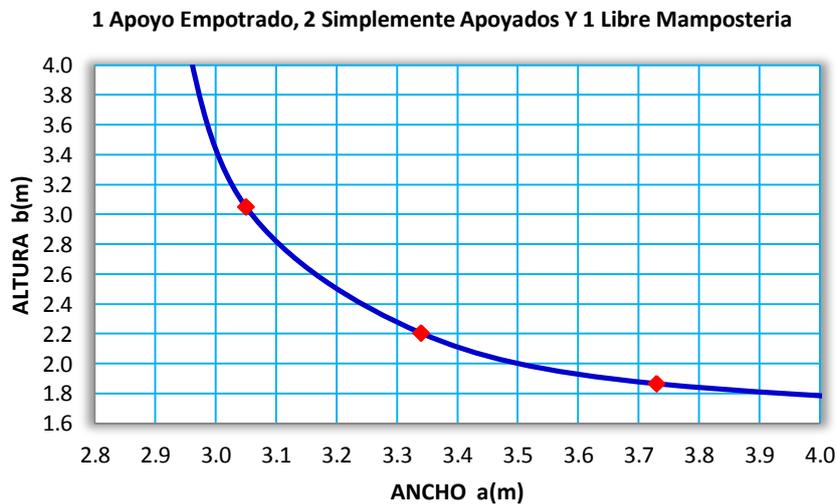


Figura 7.8. Gráfica de resultados para un muro con dos bordes simplemente apoyados, uno libre y uno empotrado.

En la gráfica anterior para esta condición de borde, se muestra la capacidad del muro a vientos laterales para una misma presión, cabe mencionar que se está trabajando con solo una velocidad regional de viento solo para ejemplificar los valores que marca el estudio, es preciso observar que el momento resistente del muro está en función del ancho, espesor y esfuerzo de ruptura, mientras que el momento actuante estará en función de un coeficiente, el ancho de muro y la carga distribuida del viento.

### 7.5.2 MURO CON TRES BORDES SIMPLEMENTE APOYADOS Y UNO EMPOTRADO.

En este punto se ha considerado el muro de forma rectangular, empotrado a lo largo del lado  $y=b/2$  y simplemente apoyada sobre los otros tres (ver figura 7.2). En esta condición los estudios nos marcan tres momentos que actúan en el muro, uno es en el apoyo de empotre  $(My)_{x=a/2, y=b/2}$ , y dos son en el centro del muro  $(Mx)_{x=a/2, y=0}$ ,  $(My)_{x=a/2, y=0}$ .

En esta condición se mantuvo la altura constante y se fue variando el ancho del muro para cumplir con la relación  $b/a$  que se pedía, esta relación se encuentra en las tablas correspondientes a este caso. Al realizar el análisis, se observa como a medida de que se incrementa en el muro la altura "b", el ancho "a" disminuye. Se tienen tres momentos que actúan sobre el elemento, para cada uno de ellos se obtuvieron los valores correspondientes, el momento generado en el empotre arroja el valor más alto para una misma relación  $b/a$ , estos valores se muestran en la tabla 7.7. La tabla marca una relación inicial  $b/a$  que inicia en cero y que tiende a infinito, así como un coeficiente de momentos que inicia en  $\beta_1=0.125$  para cuando el muro es muy alargado o muy ancho, este coeficiente disminuye hasta el punto medio cuando el muro es cuadrado y se llega a un valor de  $\beta_1=0.084$ .

Para una relación ancho/altura que tiende a infinito se propone un valor de  $a/b=4$  (valor que en teoría tiende a infinito), aquí se observa el valor mínimo que se tolera en el ancho de 2.97m para una altura con valor de 11.88m es decir una altura que tiende a infinito y va disminuyendo hasta llegar a los 2.97m al que corresponde un ancho máximo con un valor de 7.42m, cabe mencionar que los valores de momento máximo que tolera el muro en este análisis se encuentran en el borde empotrado y son mucho mayores alrededor de un 99.1%, el caso donde se tienen los momentos ubicados al centro del muro es decir el momento  $(My)$  para  $x=a/2$  y  $y=0$  estos valores son menores, a manera de ejemplo se tiene que para un muro cuadrado las dimensiones de ancho y altura serán de 3.62m y los momentos son de 0.426 t-m en el empotre y 0.214 t-m al centro, de igual manera se observa como el momento resistente  $(Mcr)$  del muro varía desde un mínimo de 0.379 t-m hasta llegar a un valor de 0.946t-m, cabe mencionar que la falla se dio en el instante que la sobre carga de viento es superior a la resistencia del muro esto es que el momento actuante sobrepasa al momento resistente.

b/a	Ancho a (m)	Altura b(m)	Coeficientes			My (x=a/2, y=b/2) (ton-m)	Mx (x=a/2, y=0) (ton-m)	Mx (x=a/2, y=0) (ton-m)	Mu (ton-m)	Mcr (ton-m)
			(x=a/2, y=b/2) $\beta_1$	(x=a/2, y=0) $B_2$	(x=a/2, y=0) $B_3$					
4.00	2.97	11.88	0.125	0.125	0.037	0.380	0.380	0.112	0.380	0.379
2.00	3.01	6.02	0.122	0.094	0.047	0.386	0.297	0.149	0.386	0.384
1.50	3.14	4.71	0.112	0.069	0.048	0.402	0.248	0.172	0.402	0.400
1.40	3.20	4.48	0.109	0.063	0.047	0.406	0.235	0.175	0.406	0.405
1.30	3.27	4.25	0.104	0.056	0.045	0.421	0.227	0.182	0.421	0.417
1.20	3.36	4.03	0.098	0.049	0.044	0.431	0.215	0.193	0.431	0.428
1.10	3.46	3.81	0.092	0.041	0.042	0.442	0.197	0.202	0.442	0.441
1.00	3.62	3.62	0.084	0.034	0.039	0.462	0.187	0.214	0.462	0.462
0.90	3.85	3.47	0.092	0.033	0.043	0.493	0.177	0.230	0.493	0.491
0.83	4.04	3.35	0.098	0.032	0.047	0.516	0.168	0.247	0.516	0.515
0.76	4.31	3.28	0.103	0.031	0.050	0.552	0.166	0.268	0.552	0.550
0.72	4.44	3.20	0.108	0.030	0.052	0.568	0.158	0.273	0.568	0.566
0.66	4.77	3.15	0.111	0.028	0.054	0.608	0.153	0.296	0.608	0.608
0.50	6.01	3.01	0.122	0.023	0.060	0.767	0.145	0.377	0.767	0.766
0.01	7.42	2.97	0.125	0.019	0.062	0.947	0.144	0.470	0.947	0.946

Tabla 7.7. Resultados de dimensiones y momentos en muros con tres bordes simplemente apoyados y uno empotrado.

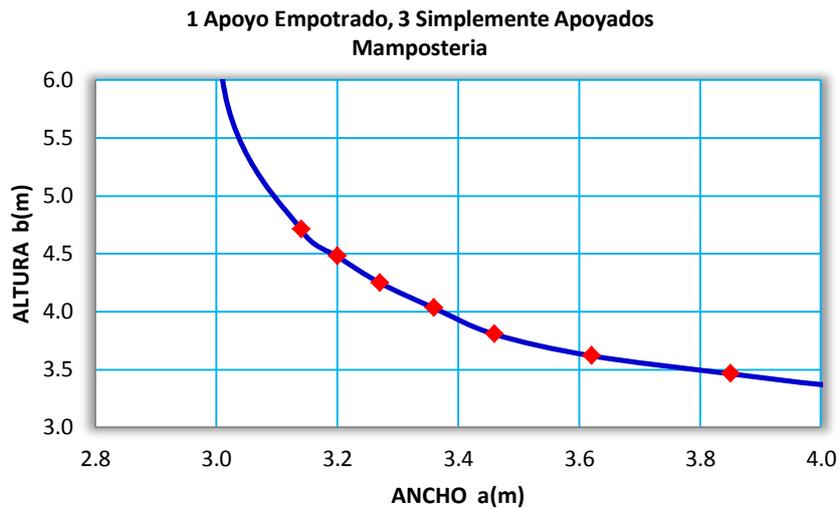


Figura 7.9. Gráfica de resultados para un muro con un borde empotrado y tres simplemente apoyados.

En la Tabla 7.7 se observan los datos y las curvas correspondientes a estos valores (figura 7.9), en la gráfica se observa que todos los valores por abajo de la curva es el área de seguridad para el muro, así mismo los valores por encima de la curva indica que son inadecuados para este caso y no cumplen ya que cuando se lleguen a estas dimensiones ya habrán cruzado la zona de seguridad del muro, es preciso mencionar que el RCDF, indica el ancho del muro no mayor a 3.5m y la altura no mayor a 3.0m.

### 7.5.3 MURO CON DOS BORDES SIMPLEMENTE APOYADOS Y DOS EMPOTRADOS.

En esta condición cuando el muro contiene los bordes  $x=0$  y  $x=a$  simplemente apoyados y los bordes  $y=\pm b/2$  empotrados (ver figura 7.3) se tienen tres momentos los cuales giran al centro del muro  $(M_x)_{x=a/2, y=0}$ ,  $(M_y)_{x=a/2, y=0}$ , y en el borde empotrado  $(M_y)_{x=a/2, y=b/2}$ . Para este caso se tiene dos condiciones cuando  $b < a$  y  $b > a$  donde  $b$  es la altura y  $a$  es el ancho del muro, se observa que el momento que arroja la dimensión menor del muro es el lado donde se tiene el empotre (tabla 7.8).

Condición	b/a	Ancho a (m)	Altura b(m)	Coeficientes			Mx (x=a/2, y=0) (ton-m)	My (x=a/2, y=0) (ton-m)	My (x=a/2, y=b/2) (ton-m)	Mu (ton-m)	Mcr (ton-m)
				(x=a/2, y=0) $\beta_1$	(x=a/2, y=0) $B_2$	(x=a/2, y=b/2) $B_3$					
b<a	4.00	14.56	3.64	0.0125	0.0417	0.0833	0.279	0.932	1.862	1.862	1.856
b<a	2.00	7.30	3.65	0.0142	0.0420	0.0842	0.160	0.473	0.949	0.949	0.931
b<a	1.50	5.49	3.66	0.0179	0.0406	0.0822	0.153	0.346	0.701	0.701	0.700
b<a	1.40	5.17	3.69	0.0192	0.0399	0.0810	0.157	0.325	0.660	0.660	0.659
b<a	1.30	4.85	3.73	0.0203	0.0388	0.0794	0.159	0.303	0.621	0.621	0.618
b<a	1.20	4.54	3.78	0.0215	0.0375	0.0771	0.162	0.282	0.579	0.579	0.578
b<a	1.10	4.25	3.86	0.0230	0.0355	0.0739	0.169	0.260	0.542	0.542	0.541
b>a	1.00	3.98	3.98	0.0244	0.0332	0.0697	0.178	0.243	0.509	0.509	0.507
b>a	1.10	3.74	4.11	0.0307	0.0371	0.0787	0.186	0.225	0.477	0.477	0.477
b>a	1.20	3.57	4.28	0.0376	0.0400	0.0868	0.198	0.211	0.458	0.458	0.455
b>a	1.30	3.43	4.46	0.0446	0.0426	0.0938	0.209	0.199	0.439	0.439	0.437
b>a	1.40	3.33	4.66	0.0514	0.0448	0.0998	0.220	0.192	0.427	0.427	0.425
b>a	1.50	3.24	4.86	0.0585	0.0460	0.1049	0.231	0.181	0.414	0.414	0.413
b>a	1.60	3.18	5.09	0.0650	0.0469	0.1090	0.242	0.175	0.406	0.406	0.405
b>a	1.70	3.14	5.34	0.0712	0.0475	0.1122	0.255	0.170	0.403	0.403	0.400
b>a	1.80	3.10	5.58	0.0768	0.0477	0.1152	0.265	0.165	0.398	0.398	0.395
b>a	1.90	3.07	5.83	0.0821	0.0476	0.1174	0.275	0.160	0.394	0.394	0.391
b>a	2.00	3.04	6.08	0.0869	0.0474	0.1191	0.283	0.154	0.388	0.388	0.388
b>a	3.00	2.98	8.94	0.1144	0.0419	0.1246	0.351	0.129	0.382	0.382	0.380
b>a	6.00	2.97	17.82	0.1250	0.0375	0.1250	0.380	0.114	0.380	0.380	0.379

Tabla 7.8. Resultados de dimensiones y momentos en muros con dos bordes simplemente apoyados y dos empotrados.

En la tabla 7.8 se tiene para una altura mínima de 3.64m un ancho de 14.56m sin embargo al ir aumentando lo alto del muro este disminuye considerablemente hasta obtener un ancho mínimo de 2.97m para una altura que tiende a infinito es decir  $b=17.82m$ , se aprecian los valores con la misma dimensión para una relación de  $b/a=1.0$  con valores de  $a=b=3.98m$ , por otra parte, la resistencia que alcanza como máximo el muro es de  $M_{cr}=1.856 t\cdot m$  sobre un  $M_u=1.862 t\cdot m$  ya que al incrementar la altura, el ancho disminuye al igual que los momentos que actúan sobre el muro debido a que estos momentos están en función de esta dimensión, posteriormente al incrementar la relación  $a/b$ , se observa que el ancho tendera a ser constante mientras la altura se incrementa como se observa en la tabla correspondiente. Se puede decir que las dimensiones del muro dentro del rango de aceptación son lo que se encuentran dentro de la relación  $a/b=1.80$  y  $a/b=1.20$ , puesto que los valores extremos fuera de este rango se encuentran muy alejados de la aceptación de las normas.

La figura 7.10 muestra la gráfica correspondiente para cada ancho y altura del muro, se aprecia como la curva nos da el comportamiento y todos los posibles valores de seguridad, por debajo de esta línea se observa como la falla se presenta al borde del muro, se muestra como para las primeras alturas se permite un ancho de muro constante, esta serie de puntos marca la seguridad del muro, esto significa que todos los valores que se encuentran por debajo de esta línea cumplen con lo que estipulado, mientras que los valores que se encuentran por encima de esta curva, se encuentran fuera del límite de seguridad esto debido a que cuando se excedan estos límites al igual que en el caso anterior ya habrán presentado alguna falla.

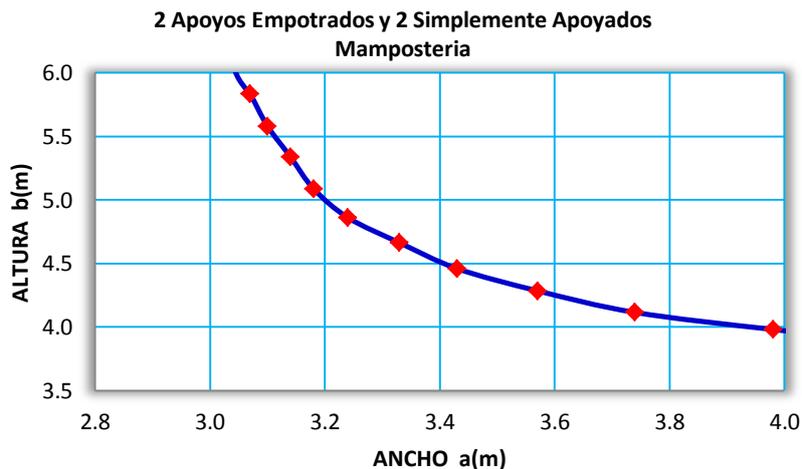


Figura 7.10. Gráfica de resultados para un muro con dos bordes empotrados y dos simplemente apoyados.

#### 7.5.4 MURO CON TRES BORDES EMPOTRADOS Y UNO LIBRE.

Ahora en este caso se tiene el contorno del muro empotrado en  $y=0$ ,  $x=\pm a/2$  y libre en  $y=b$  (ver figura 7.4) y una carga de intensidad  $q$ , uniformemente repartida. Para esta condición tendremos los momentos que actúan en la placa (muro) de la siguiente manera  $(M_x)_{x=0,y=b}$ ,  $(M_x)_{x=0,y=b/2}$ ,  $(M_y)_{x=0,y=b/2}$ ,  $(M_x)_{x=a/2,y=b}$ ,  $(M_x)_{x=a/2,y=b/2}$ ,  $(M_x)_{x=0,y=0}$ , en donde el caso crítico se da para el momento de actuante  $(M_x)_{x=a/2, y=b}$  que sobrepasa el resistente  $M_{cr}$ .

La altura mínima del muro se observa es de 2.00m para un ancho máximo de 3.99m con un momento actuante de 0.51t·m y uno resistente de 0.509t·m, el ancho mínimo para una relación  $b/a=1.50$  es de 3.56m con una altura de 5.34m, para un momento ultimo de 0.444t·m y un momento resistente de 0.455t·m se muestra que el ancho disminuye lentamente desde los 3.76m hasta 3.60m mientras que la altura crece grandemente para estos mismos valores.

Los resultados en resumen, para los momentos en cada punto del muro se muestran en la tabla 7.9 los seis casos se enmarcan en la tabla siguiente se observa que  $(Mx)_{x=a/2, y=b}$  se encuentra por encima de los otros momentos en cada lado del muro, se muestran además los momentos resistentes y actuantes en los que se llegó a la falla. En la tabla 7.9 se observa que el incremento del ancho en la mampostería confinada, nos da una aproximación de un mejor comportamiento que se tiene cuando un muro lleva este tipo de apoyos en los bordes, estos ayudan en gran medida a una mejora de la vivienda aquí por ejemplo se aprecia que para un muro con la misma relación  $b/a=1.0$  se tiene la misma dimensión de 3.60m sin embargo el reglamento del D.F menciona que la separación de los castillos no sean mayores de 3.0m, esto sin duda da una mejora al muro ya que se tendrá un mejor comportamiento ante las cargas de viento.

b/a	Ancho a (m)	Altura b(m)	Coeficientes					
			(x=0, y=b) $\beta_1$	(x=0, y=b/2) $\beta_2$	(x=0, y=b/2) $\beta_2'$	(x=a/2, y=b) $\beta_3$	(x=a/2, y=b/2) $\beta_4$	(x=0, y=0) $\beta_5$
0.50	3.99	2.00	0.0300	0.0120	0.0051	0.0693	0.0283	0.0563
0.60	3.85	2.31	0.0336	0.0168	0.0074	0.0745	0.0365	0.0554
0.70	3.76	2.63	0.0371	0.0212	0.0097	0.0782	0.0439	0.0545
0.80	3.69	2.95	0.0401	0.0252	0.0116	0.0812	0.0505	0.0535
0.90	3.63	3.27	0.0425	0.0287	0.0129	0.0836	0.0563	0.0523
1.00	3.60	3.60	0.0444	0.0317	0.0138	0.0853	0.0614	0.0510
1.25	3.57	4.46	0.0467	0.0374	0.0142	0.0867	0.0708	0.0470
1.50	3.56	5.34	0.0454	0.0402	0.0118	0.0842	0.0755	0.0418

Tabla 7.9. Resultados de dimensiones y momentos en muros con tres bordes empotrados y uno libre.

b/a	Mx (x=0, y=b) (ton-m)	Mx (x=0, y=b/2) (ton-m)	My (x=0, y=b/2) (ton-m)	Mx (x=a/2, y=b) (ton-m)	Mx (x=a/2, y=b/2) (ton-m)	My (x=0, y=0) (ton-m)	Mu (ton-m)	Mcr (ton-m)
	0.50	0.221	0.088	0.038	0.510	0.208	0.414	0.510
0.60	0.222	0.111	0.049	0.493	0.241	0.366	0.493	0.491
0.70	0.229	0.131	0.060	0.482	0.270	0.336	0.482	0.479
0.80	0.234	0.147	0.068	0.473	0.294	0.312	0.473	0.470
0.90	0.236	0.159	0.072	0.463	0.312	0.290	0.463	0.463
1.00	0.240	0.171	0.075	0.461	0.332	0.276	0.461	0.459
1.25	0.246	0.197	0.075	0.457	0.373	0.248	0.457	0.455
1.50	0.239	0.212	0.062	0.444	0.398	0.220	0.444	0.455

Tabla 7.9 (Continuación).

Se aprecian en la curva (figura 7.11) que la mayoría de los valores se encuentran en un rango muy cerrado entre 3.60m y 3.76m después el ancho es constante para grandes alturas.

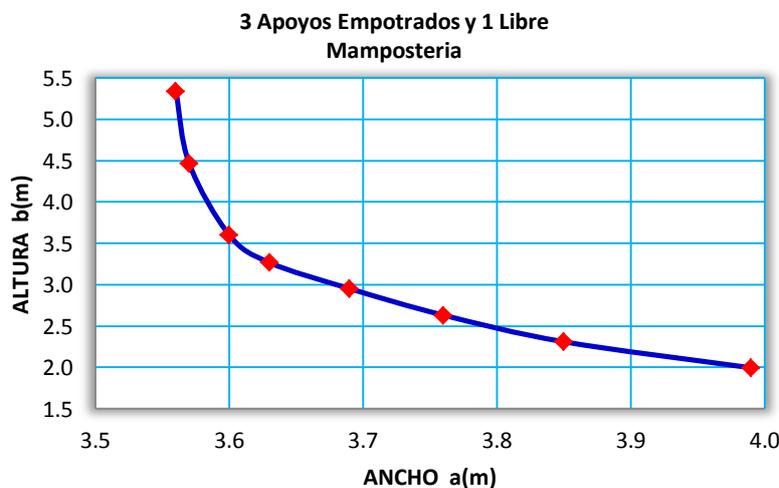


Figura 7.11. Gráfica de resultados para un muro con tres bores empotrados y uno libre.

### 7.5.5 MURO CON CUATRO BORDES EMPOTRADOS.

En este último caso, se considera ahora el muro debido a los momentos repartidos en los bordes  $y=\pm b/2$  y  $x=\pm a/2$ . Por razón de simetría, se llega a que los momentos pueden escribirse en la forma (ver figura 7.5). Para esta condición se tienen los momentos que actúan en el muro, esto es  $(Mx)_{x=a/2, y=0}$ ,  $(My)_{x=0, y=b/2}$ ,  $(Mx)_{x=0, y=0}$ ,  $(My)_{x=0, y=0}$ . Para este caso se parte de una relación  $b/a=1.0$  la cual se incrementa hasta el valor de 3.0, la tabla 7.10 muestra los cuatro momentos que actúan en el muro, de todos el caso más desfavorable es para  $(Mx)_{x=a/2, y=0}$ , donde se tienen los valores máximos de momento último que rige al muro se observa como a medida que aumenta la relación  $a/b$  este disminuye.

Este caso es el más favorable ya que tenemos todo el contorno empotrado los valores demuestran que existe una mayor resistencia y junto con eso una mayor dimensión del muro, se observa que para alturas aproximadas a los otros casos anteriores el ancho máximo que se alcanza es de 4.64m para una altura de la misma dimensión, sin embargo al tener incrementos en la altura este ancho disminuye relativamente poco, al llegar a un ancho mínimo de 3.64m nos marca que la altura tiende a infinito llegando así a 10.92m, los datos correspondientes se muestran en la tabla 7.10.

b/a	Ancho a (m)	Altura b(m)	Coeficientes				Mx	My	Mx	My	Mu (ton-m)	Mcr (ton-m)
			(x=a/2, y=0) $\beta_1$	(x=0, y=b/2) $B_2$	(x=0, y=0) $B_3$	(x=0, y=0) $\beta_4$	(x=a/2, y=0) (ton-m)	(x=0, y=b/2) (ton-m)	(x=0, y=0) (ton-m)	(x=0, y=0) (ton-m)		
1.00	4.64	4.64	0.0513	0.0513	0.0231	0.0231	0.594	0.594	0.267	0.267	0.594	0.592
1.10	4.36	4.80	0.0581	0.0538	0.0264	0.0231	0.558	0.517	0.254	0.222	0.558	0.556
1.20	4.15	4.98	0.0639	0.0554	0.0299	0.0228	0.529	0.459	0.248	0.189	0.529	0.529
1.30	4.01	5.21	0.0687	0.0563	0.0327	0.0222	0.513	0.421	0.244	0.166	0.513	0.511
1.40	3.90	5.46	0.0726	0.0568	0.0349	0.0212	0.499	0.391	0.240	0.146	0.499	0.497
1.50	3.82	5.73	0.0757	0.0570	0.0368	0.0203	0.489	0.368	0.238	0.131	0.489	0.487
1.60	3.76	6.02	0.0780	0.0571	0.0381	0.0193	0.481	0.352	0.235	0.119	0.481	0.479
1.70	3.72	6.32	0.0799	0.0571	0.0392	0.0182	0.477	0.341	0.234	0.109	0.477	0.474
1.80	3.69	6.64	0.0812	0.0571	0.0401	0.0174	0.473	0.333	0.234	0.101	0.473	0.470
1.90	3.66	6.95	0.0822	0.0571	0.0407	0.0165	0.467	0.324	0.231	0.094	0.467	0.467
2.00	3.65	7.30	0.0829	0.0571	0.0412	0.0158	0.467	0.322	0.232	0.089	0.467	0.465
3.00	3.64	10.92	0.0833	0.0571	0.0417	0.0125	0.466	0.319	0.233	0.070	0.466	0.464

Tabla 7.10. Resultados de dimensiones y momentos en muros con cuatro bordes empotrados.

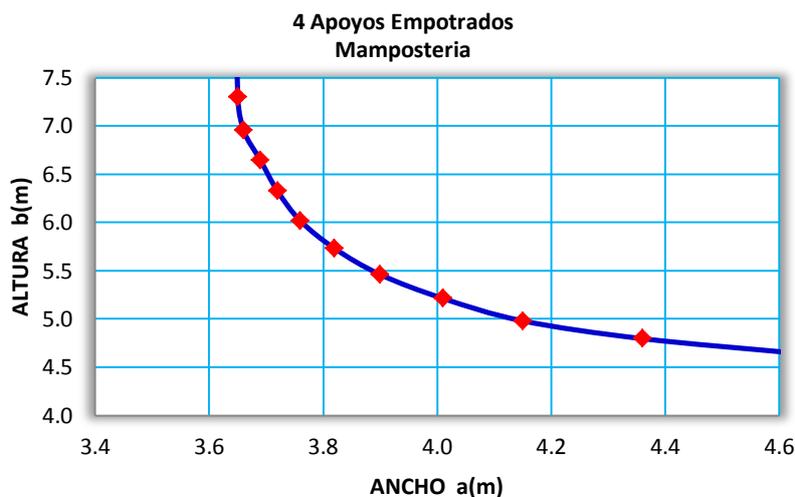


Figura 7.12. Gráfica de resultados para un muro con cuatro bordes empotrados.

Como se mencionó, el momento que arroja los valores máximos es  $(Mx)_{x=a/2, y=0}$  con valores que varían desde  $Mu=0.466t\cdot m$  hasta el valor de  $Mu=0.594t\cdot m$  sobrepasando así al momento

resistente que varía desde  $M_{cr}=0.464t\text{-m}$  hasta  $0.592t\text{-m}$  respectivamente. Como se menciona este caso sería el más favorable debido a que se encuentran empotrados todos los lados, este caso es similar al comportamiento de losas en donde al estar empotrado el elemento en sus cuatro bordes el lado que trabaja es el lado corto, los bordes en el sentido largo trabajan en menor capacidad, la Tabla 7.10 y Figura 7.12 representan el comportamiento mencionado.

En la gráfica anterior figura 7.12 se muestran las dimensiones finales del muro es decir para cada altura el ancho que le corresponde, se muestra la curva que arroja esta serie de datos, se observa que esta condición de borde arroja mejores resultados que los otros casos estudiados anteriormente, esto debido al tipo de apoyo que se tiene ya que al tener empotre en todos sus bordes se presentan mayores dimensiones permitidas.

### 7.5.6 COMENTARIOS.

Se muestra en este último punto la gráfica (figura 7.13) en donde se hace un resumen general de todos los valores obtenidos para cada caso anterior en donde de los distintos tipos de apoyos. Esta grafica muestra tanto el ancho como la altura de todos los muros, en las curvas se puede apreciar que el caso en donde se tienen los cuatro bordes empotrados arroja un mejor resultado en cuanto a que permite mayores dimensiones ante estas cargas laterales, esto es aceptable ya que están totalmente restringidos todos sus bordes, se aprecia también que el caso mas desfavorable es aquel en donde se tiene un apoyo empotrado, dos simplemente apoyados y uno libre, esto es considerable debido a que es un caso muy similar los muros que se encuentran libres ante la acción del viento tales como muros de colindancia en donde el elemento se encuentra empotrado, con castillos a los extremos y en ocasiones sin dala de cerramiento en el borde superior. Cabe mencionar que a pesar de que el viento tolera estas dimensiones, para los códigos correspondientes a cada zona de la república mexicana no son aceptables debido a que estos límites se encuentran ya establecidos con una altura no mayor a los tres metros y un ancho no mayor a  $1.5H$  ni a  $4m$ , en donde  $H$  es la altura de entrepiso, sin embargo cabe resaltar que las dimensiones obtenidas en estos puntos deberán ser consideradas ya que ante el fenómeno de viento nos aseguran un comportamiento aceptable.

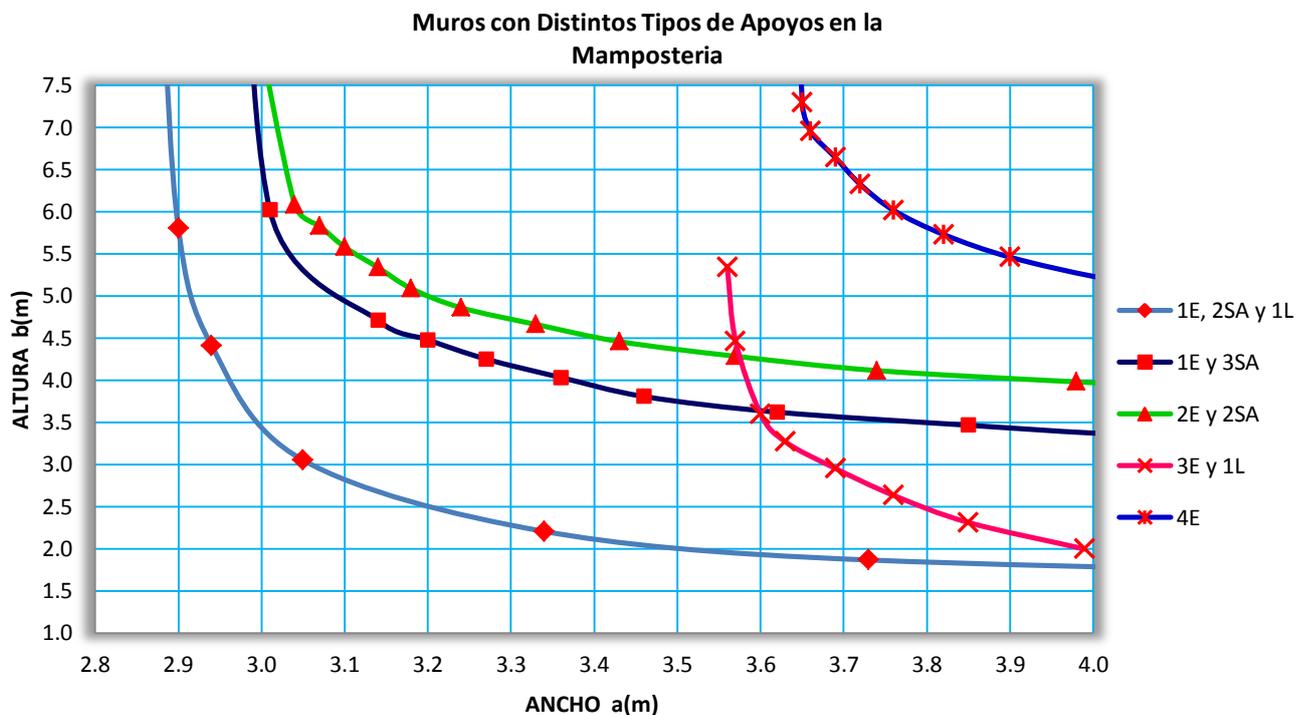
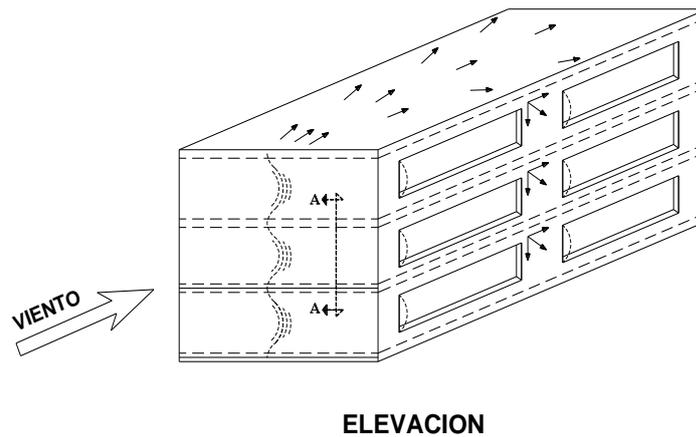


Figura 7.13. Gráfica general para muros con distintos tipos de apoyos en los bordes.

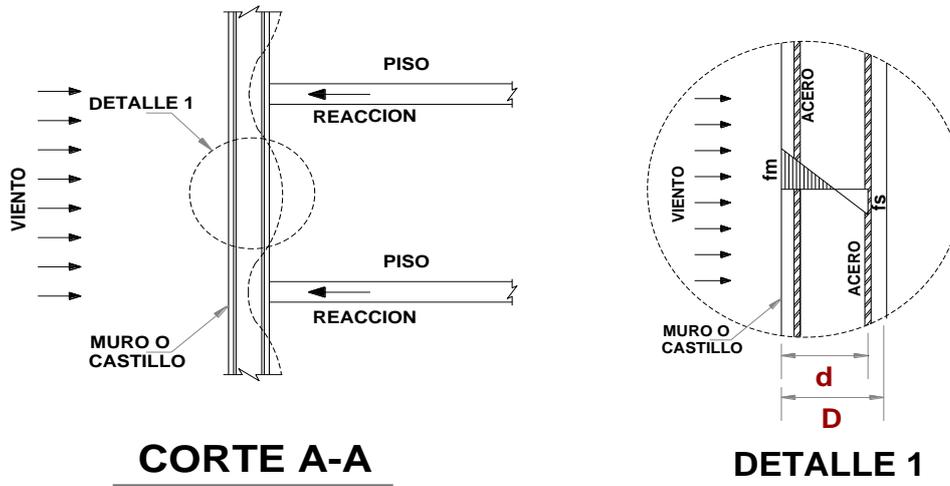
## 7.6 ANALISIS DE MUROS DE MAMPOSTERIA SIMPLE Y CONFINADA ANTE LA INCIDENCIA DEL VIENTO.

Las fuerzas laterales debidas al viento son resistidas en las construcciones de mampostería por el esfuerzo resistente del muro, el momento se genera en los espacios que se tiene entre las columnas, trabes y losas [1]. Se muestra que el viento tiende a ejercer presión entre la losa y el piso de la vivienda, el muro será esforzado mayormente en los puntos de unión de la vivienda como se muestra en la figura 7.14. El momento resistente deberá ser capaz de soportar las diferentes presiones de viento que se puedan generar. La mampostería debido a su baja resistencia a la tensión será muy endeble a las presiones. En la figura se aprecian los esfuerzos debidos a la presión del viento.



**ELEVACION**

Figura 7.14. Influencia del viento sobre las estructuras, (J. E. Amrhein, 1972).



**CORTE A-A**

**DETALLE 1**

### 7.6.1 ANALISIS DE LA VELOCIDAD REGIONAL CON RESPECTO A LA ALTURA EN MUROS DE MAMPOSTERIA SIMPLE, VELOCIDAD REGIONAL ( $V_R$ ) – ALTURA (b).

Este análisis se realiza para diferentes presiones calculadas de acuerdo al reglamento de CFE a distintas alturas, se proporciona una velocidad regional para un sitio dado, además de los parámetros que nos marca el código. Para el estudio se tomaron  $\alpha$  y  $\delta$  para la ciudad de Acapulco Guerrero. Al obtener la presión para diferente altura (b) y diferente ancho (a) se obtiene el momento que actúa sobre el muro ( $M_u$ ). Como se mencionó anteriormente, esto lleva a obtener el momento actuante que estará en función de la carga distribuida y la altura.

Cabe mencionar que si incrementamos la velocidad de viento y mantenemos constante la altura, el momento último crecerá como se incremente la altura sin embargo el momento resistente se mantendrá constante mientras se mantenga un ancho constante. A mayor ancho de muro, mayor resistencia se tendrá en el mismo. En la Tabla 7.11 se muestran los resultados obtenidos para diferentes velocidades de viento, la mayor altura del muro se tiene cuando se tiene una velocidad regional de 50 km/hr. Para velocidades de 450km/hr en la escala de Saffir-Simpson se observa que un muro no soportara una altura mayor 54cm para cuando se tiene mampostería simple.

El reglamento de CFE [6], en el apartado para muros da un coeficiente de presión  $C_p=1.2$  en la cara de barlovento mientras que no se marca ningún valor para la cara de sotavento, es de entender que el valor de  $C_p=1.2$  incluye implícitamente el valor del coeficiente de sotavento (no se aprecia claramente esta parte del Manual, por lo que sería de interés revisar esta información), por otra parte si se propone y se toma en cuenta un valor para el coeficiente de arrastre en sotavento de  $C_p=0.4$  (que es el caso que se da para muros de vivienda) se tendrá la misma curva pero con un decremento en un 15.93%, esto se aprecia en la figura 7.15 en donde se muestra la curva para muros con o sin coeficiente de presión a sotavento.

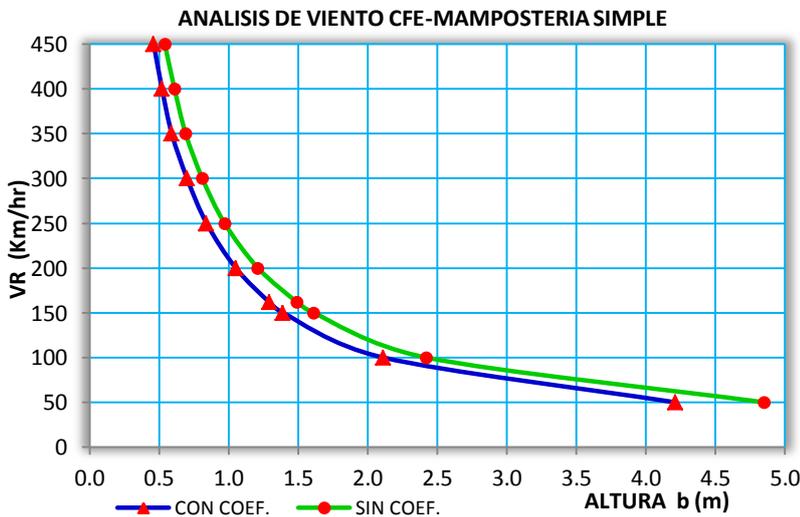


Figura 7.15. Gráfica Velocidad Regional – Altura, para Mampostería Simple.

$V_R$ (km/hr)	$P_{con}$ ( $kg/m^2$ )	Altura $b$ (m) Con $C_{p(sot)}$	$P_{sin}$ ( $kg/m^2$ )	Altura $b$ (m) Sin $C_{p(sot)}$
50	14.4	4.21	10.8	4.85
100	57.7	2.11	43.3	2.42
150	129.9	1.39	97.4	1.61
162	151.5	1.29	113.6	1.49
200	230.9	1.05	173.2	1.21
250	360.8	0.84	270.6	0.97
300	519.6	0.70	389.7	0.81
350	703.3	0.59	530.4	0.69
400	923.8	0.52	692.8	0.61
450	1169.1	0.46	876.9	0.54

Tabla 7.11

Alturas para mampostería simple en función de la velocidad regional  
\* Las alturas crecen en un 15.9%

### 7.6.2 ANALISIS DE LA ALTURA CON RESPECTO AL ESPESOR EN MUROS DE MAMPOSTERIA SIMPLES, ALTURA (b) – ESPESOR (D).

Para algunas aplicaciones tales como la mampostería simple es necesario conocer aproximadamente la resistencia a flexión. Esto se determina con frecuencia ensayando un prisma de mampostería libremente apoyado sujeto a una o dos cargas concentradas, la falla es brusca con una grieta única que fractura el espécimen [1]. El esfuerzo teórico de tensión en la fibra inferior correspondiente a la ruptura se calcula mediante la expresión

$$f_t = \frac{6M_{cr}}{aD^2} \dots\dots\dots(7.3)$$

En donde  $f_t$  es el módulo de ruptura ante cargas laterales fuera del plano de la mampostería,  $M_{cr}$  es el momento flexionante correspondiente a la carga máxima aplicada,  $a$  es el ancho del muro del elemento,  $D$  es el peralte del elemento. Al aplicar la ecuación (7.3) se supone que la mampostería es elástica hasta la ruptura. Esta prueba proporciona una medida de la resistencia de la mampostería a flexión, más bien la tensión definida a flexión, normalmente el

modelo de ruptura es mayor que la resistencia a la tensión. Se ha observado que el esfuerzo máximo de ruptura depende entre otras variables de la resistencia a la compresión de la relación peralte-claro. Debido a que la medición de deformaciones es difícil de realizar, no existen muchos datos experimentales sobre las características de esfuerzo de deformación de prismas sujetos a flexión simple. La mampostería simple sin acero sufre poca deformación debido a que con poca carga tiende rápidamente a la falla. En la mampostería convencional se tiene aproximadamente un esfuerzo a la ruptura de 3.4 kg/cm<sup>2</sup>, sin embargo en el adobe, material con menos resistencia un esfuerzo de 1.1 kg/cm<sup>2</sup> estando en un 67.6% menos que la convencional.

$$\text{El momento resistente estará dado por } M_{cr} = \frac{f_t(a)(D^2)}{6} \dots\dots\dots(7.4)$$

$$\text{El momento ultimo estará dado por } M_u = \frac{qb^2}{2} \dots\dots\dots(7.5)$$

Donde  $f_t$  es el módulo de ruptura de la mampostería,  $D$  es el espesor del elemento,  $a$  el ancho del muro,  $b$  la altura del muro,  $P$  la presión de viento y  $q$  la carga distribuida en el muro de mampostería, además sabemos que  $q=Pa$ . Tenemos entonces que igualando (7.4) y (7.5) se llega a la expresión (7.6):

$$\frac{qb^2}{2} = \frac{f_t(a)(D^2)}{6} \quad \rightarrow \quad \frac{Pab^2}{2} = \frac{f_t(a)(D^2)}{6} \quad \rightarrow \quad b = \sqrt{\frac{f_t D^2}{3P}} \dots\dots\dots(7.6)$$

De esta manera para el análisis se tomaron algunas velocidades regionales mostradas en la tabla 7.12, en la misma se dan las presiones respectivas. Se obtienen los resultados máximos de altura en muros mostrados en la tabla 7.13. En la figura 7.16 se muestran los valores para cada velocidad regional y esfuerzo de ruptura, se observa como la línea tiende a crecer cuando se incrementa el espesor, indicando que a mayor espesor del muro mayor resistencia se tendrá.

V <sub>R</sub> (Km/hr)	P (Kg/m <sup>2</sup> )
100	43.3
150	97.4
180	140.3

Tabla 7.12. Velocidades y presiones de viento para muros simples.

f <sub>t</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> )	D (m)	b (V <sub>R</sub> =100)	b (V <sub>R</sub> =150)	b (V <sub>R</sub> =180)
		(m)	(m)	(m)
3.4	0.10	1.62	1.08	0.90
3.4	0.15	2.43	1.62	1.35
3.4	0.20	3.24	2.16	1.80
3.4	0.25	4.04	2.70	2.25
1.1	0.10	0.92	0.61	0.51
1.1	0.15	1.38	0.92	0.77
1.1	0.20	1.84	1.23	1.02
1.1	0.25	2.30	1.53	1.28

Tabla 7.13. Alturas en función del esfuerzo y velocidad regional en mampostería simple.

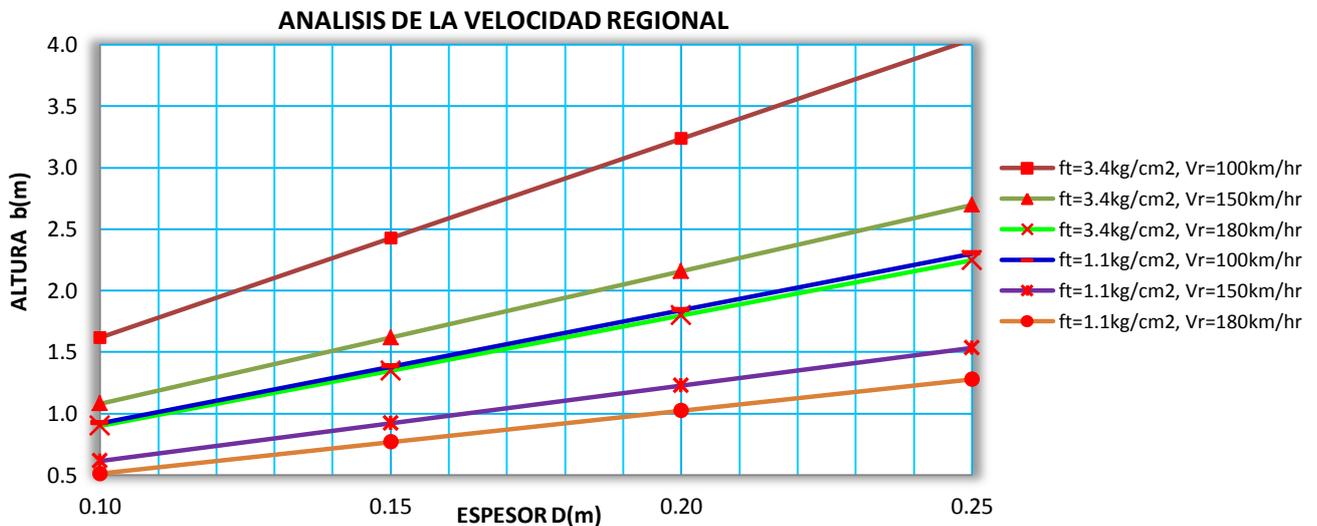


Figura 7.16. Gráfica Altura-Espesor para Mampostería Simple.

### 7.6.3 ANALISIS DE LA VELOCIDAD REGIONAL CON RESPECTO A LA ALTURA EN MUROS CONFINADOS, VELOCIDAD REGIONAL ( $V_R$ ) – ALTURA (b).

A continuación se presenta la gráfica en la que se relaciona la Velocidad Regional con la Altura del muro, en esta se observa como manteniendo el mismo ancho (se propuso como ejemplo un muro de ancho de 1.0m), la altura disminuye en cuanto se incrementa la velocidad del viento. En este punto se analiza un muro similar al caso anterior (muro simple) solo que ahora con acero de refuerzo en los castillos (castillo de 15cmx15cm), se da una comparación de los dos casos, mampostería simple y reforzada.

$V_R$ (Km/hr)	Alturas b (Confinada) (m)
50	10.71
100	5.35
150	3.56
162	3.29
200	2.67
250	2.14
300	1.78
350	1.53
400	1.34
450	1.22

Tabla 7.14. Alturas para Mampostería Confinada

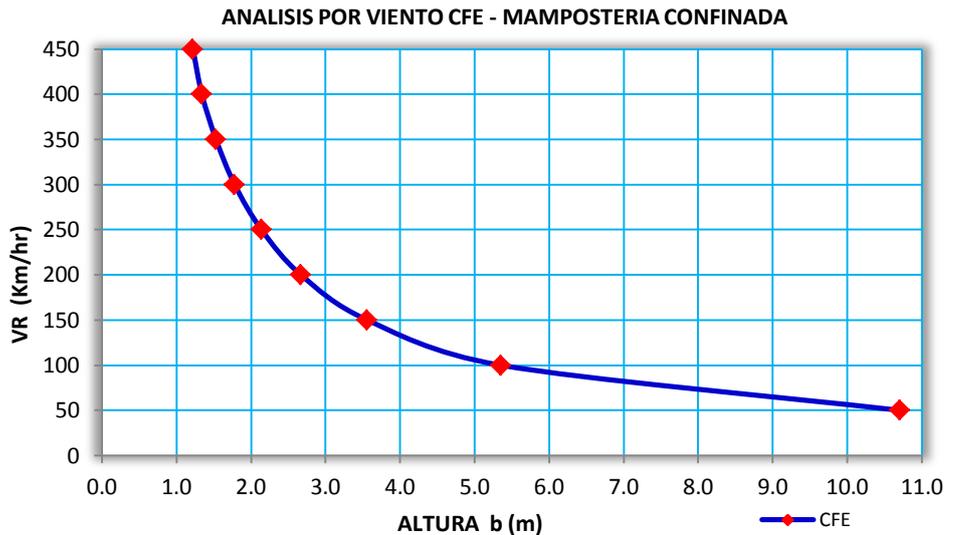


Figura 7.17. Gráfica Velocidad Regional-Altura para Mampostería Confinada.

En la Tabla 7.15 se muestran los resultados obtenidos para diferentes velocidades de viento, la mayor altura del muro es cuando se tiene una velocidad regional de 50 km/hr esta altura máxima es de 10.71m para un ancho de 1.0m de mampostería reforzada y 4.85m para la mampostería simple. La tabla muestra la diferencia entre alturas que permite el análisis, se observa claramente como el acero de refuerzo ayuda (en un gran porcentaje 221.2%) a la mampostería confinada. Para velocidades de hasta 450km/hr (es claro que la vivienda ante esta capacidad de viento no tendría gran resistencia, sobre todo en zonas de costa en donde no llega a esa velocidad pero si los vientos alcanzan velocidades muy superiores a 150 km/hr), se observa que el muro no soportara una altura mayor a 1.22m para mampostería reforzada y 0.54m para la simple. En la figura 7.18 se muestra la curva correspondiente a los resultados del muro confinado. Por otra parte se muestra en la figura 7.19 el resultado de los dos casos de muro simple y confinado. Se aprecia como la curva del muro confinado se incrementa grandemente en la altura con respecto a la mampostería simple, el valor máximo se da para 50km/hr.

Cabe mencionar que al incrementar la velocidad de viento y mantener constante el ancho, la altura del muro disminuirá, esto es porque está en función de la cantidad de acero, ancho y espesor del muro, se trabajó con un castillo de 15x15cm y cuatro varillas de 3/8" esto da como resultado  $M_R=620.7\text{kg}\cdot\text{m}$ ; por otra parte el momento actuante está en función de la presión de viento y altura del muro, mientras más crezca el muro mayor momento se tendrá. A mayor ancho de muro la altura en él disminuye, debido a que mientras el ancho crezca se tendrá más área tributaria y por lo tanto mayor presión, haciendo que no permita incrementar su altura el muro, esto se aprecia en la tabla 7.16.

$V_R$ (Km/hr)	Alturas b (Simple) (m)	Alturas b* (Confinada) (m)
50	4.85	10.71
100	2.42	5.35
150	1.61	3.56
162	1.49	3.29
200	1.21	2.67
250	0.97	2.14
300	0.81	1.78
350	0.69	1.53
400	0.61	1.34
450	0.54	1.22

\*Las alturas se incrementan en un 221.2%

Tabla 7.15. Comparación de alturas para mampostería

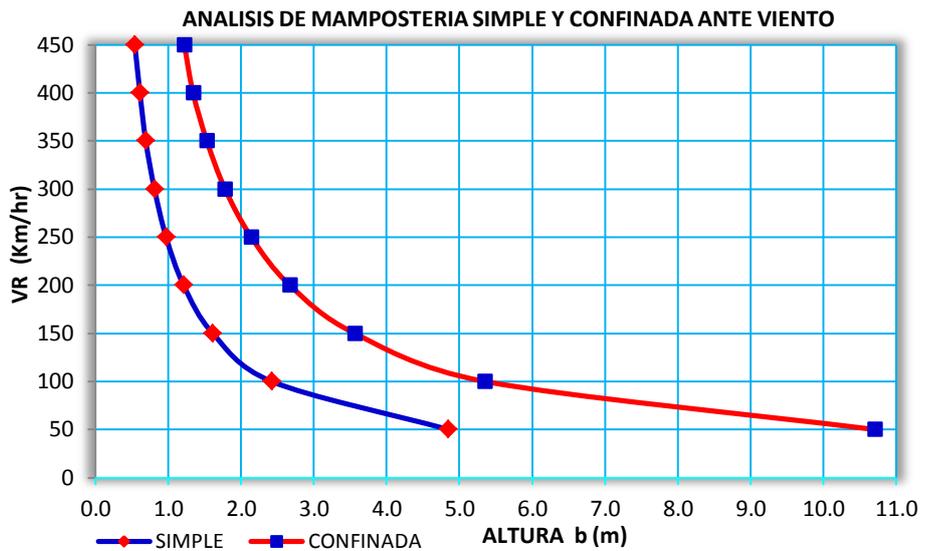


Figura 7.18. Gráfica Comparativa para Mampostería Simple y Confinada

$V_R$ km/hr	50	100	150	200	250	300	350	400
a(m)	b(m)	b(m)	b(m)	b(m)	b(m)	b(m)	b(m)	b(m)
1.0	10.71	5.35	3.56	2.67	2.14	1.78	1.53	1.34
2.0	7.57	3.78	2.52	1.89	1.51	1.26	1.08	0.94
3.0	6.18	3.09	2.06	1.54	1.23	1.03	0.88	0.77
4.0	5.35	2.67	1.78	1.33	1.07	0.89	0.76	0.66
5.0	4.78	2.39	1.59	1.19	0.95	0.81	0.68	0.60
6.0	4.37	2.18	1.45	1.09	0.87	0.73	0.62	0.55
7.0	4.04	2.02	1.34	1.01	0.81	0.67	0.58	0.51
$M_R$ (kg-m)	621	621	621	621	621	621	621	621
$M_u$ (kg-m)	619.76	618.17	616.61	616.3	615.65	618.44	615.65	617.01

Tabla 7.16. Alturas para Mampostería Confinada en función de la Velocidad Regional.

#### 7.6.4 ANALISIS DE LA VELOCIDAD REGIONAL EN DISTINTAS CIUDADES COSTERAS EN REPUBLICA MEXICANA, VELOCIDAD REGIONAL ( $V_R$ ) – ANCHO (a).

La República Mexicana tiene como se sabe importantes huracanes en sus costas en algunas épocas del año, que generan daños en las estructuras de vivienda, por ese motivo se determina para ciertas ciudades con altas velocidades regionales [6], la dimensión mínima de separación de castillos para muros afectados por el viento con una altura constante de 3.0m que es la altura promedio de viviendas en nuestro país, el castillo comúnmente usado es de 15cm x 15cm así como el acero de armado de refuerzo será de 4 varillas del No. 4 con una área de acero de 2.84cm<sup>2</sup>.

La tabla 7.17 y la figura 7.20, muestran los datos que corresponden a velocidades con un Periodo de Retorno de 50 años, se observa que la zona con un menor ancho de muro es decir a=0.68m es la zona de Mazatlán Sinaloa por tener la velocidad regional más alta siendo esta de 213km/hr con presiones de 203.17kg/m<sup>2</sup>, mientras que la zona con un mayor ancho de muro a=2.55m es para la zona de Tapachula Chiapas con velocidad regional de 111km/hr y presiones de 53.82kg/m<sup>2</sup>. En esta misma tabla se incrementa el acero a cuatro varillas del #4 es decir un área de 5.08cm<sup>2</sup> manteniendo la misma sección del castillo, con el fin de observar el incremento en las dimensiones en el ancho del muro, resultando ser del orden del 66.9% esto muestra que con esta cantidad de acero de refuerzo estas ciudades se encuentran en el rango de seguridad.

CIUDAD	$V_R$ (km/hr)	P (kg/m <sup>2</sup> )	C (cm)	D (cm)	d (cm)	As (cm <sup>2</sup> )	b (m)	a (m)
Tapachula Chiapas	111	53.82	15	15	12.5	2.84	3.0	2.55
Salina Cruz Oaxaca	126	70.66	15	15	12.5	2.84	3.0	1.95
Villahermosa Tabasco	127	71.56	15	15	12.5	2.84	3.0	1.92
Campeche Campeche	132	77.53	15	15	12.5	2.84	3.0	1.77
Ensenada Baja California	148	100.54	15	15	12.5	2.84	3.0	1.37
Manzanillo Colima	158	110.86	15	15	12.5	2.84	3.0	1.24
Cozumel Quintana Roo	158	111.24	15	15	12.5	2.84	3.0	1.24
Acapulco Guerrero	162	115.90	15	15	12.5	2.84	3.0	1.19
Progreso Yucatan	163	118.46	15	15	12.5	2.84	3.0	1.16
Soto la Marina Tamaulipas	167	124.67	15	15	12.5	2.84	3.0	1.10
Veracruz Veracruz	175	136.52	15	15	12.5	2.84	3.0	1.01
Mazatlan Sinaloa	213	203.17	15	15	12.5	2.84	3.0	0.68

Tabla 7.17. Dimensiones para muros de Mampostería con castillos de 15cm x 15cm y cuatro varillas de 3/8".

CIUDAD	$V_R$ (km/hr)	P (kg/m <sup>2</sup> )	C (cm)	D (cm)	d (cm)	As (cm <sup>2</sup> )	b (m)	a (m)
Tapachula Chiapas	111	53.82	15	15	12.5	5.08	3.0	4.26
Salina Cruz Oaxaca	126	70.66	15	15	12.5	5.08	3.0	3.25
Villahermosa Tabasco	127	71.56	15	15	12.5	5.08	3.0	3.21
Campeche Campeche	132	77.53	15	15	12.5	5.08	3.0	2.96
Ensenada Baja California	148	100.54	15	15	12.5	5.08	3.0	2.28
Manzanillo Colima	158	110.86	15	15	12.5	5.08	3.0	2.07
Cozumel Quintana Roo	158	111.24	15	15	12.5	5.08	3.0	2.06
Acapulco Guerrero	162	115.90	15	15	12.5	5.08	3.0	1.98
Progreso Yucatan	163	118.46	15	15	12.5	5.08	3.0	1.94
Soto la Marina Tamaulipas	167	124.67	15	15	12.5	5.08	3.0	1.84
Veracruz Veracruz	175	136.52	15	15	12.5	5.08	3.0	1.68
Mazatlan Sinaloa	213	203.17	15	15	12.5	5.08	3.0	1.13

Tabla 7.18. Dimensiones para muros de Mampostería con castillos de 15cm x 15cm y cuatro varillas de 1/2".

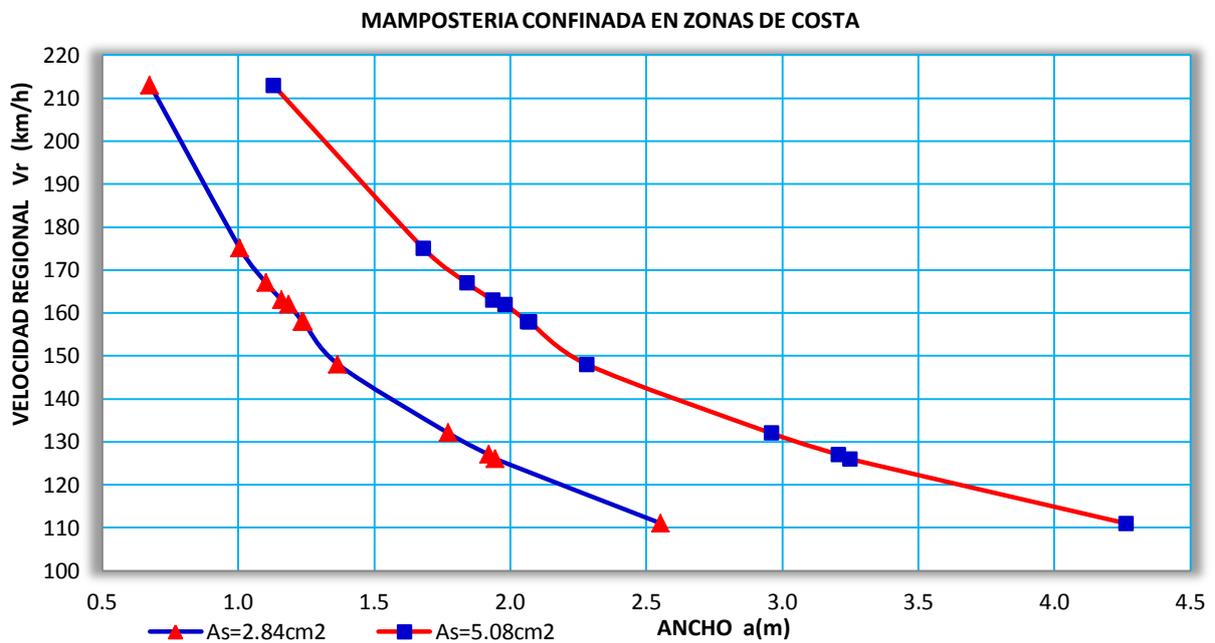


Figura 7.19. Gráfica Velocidad Regional-Ancho de muro, para distintas ciudades costeras.

La figura 7.19 muestra la gráfica correspondiente a las ciudades más importantes de la República Mexicana en zona costera, en la curva se aprecia que el promedio de las ciudades se encuentran con muros de ancho máximo alrededor de 0.98m a 1.95m, mientras que cuando se incrementa en acero el ancho promedio estará entre 1.7m y 3.3m.

### 7.6.5 ANALISIS DEL ANCHO CON RESPECTO A LA ALTURA EN MUROS DE MAMPOSTERIA CONFINADOS EN CIUDADES COSTERAS, ANCHO (a) – ALTURA (b).

A continuación se muestra el análisis para muros en donde varía tanto el área de acero como la altura del muro para conocer el ancho que puede tolerar, se proporcionan dos tipos de elementos como lo es el castillo K-1 con dimensiones de 15x15cm y el castillo K-2 con dimensiones de 20x20cm, para cada uno de ellos se hizo el estudio con diferentes cantidades de acero, se ocuparon los tres tipos de varillas mas usados comúnmente, vars#2.5, vars#3, vars#4, cada castillo constaba de 4 varillas esto era  $A_{st}=1.96\text{cm}^2$ ,  $A_{st}=2.84\text{cm}^2$ ,  $A_{st}=5.08\text{cm}^2$  respectivamente, para observar su comportamiento se utilizaron dos velocidades regionales de 111km/hr (Tapachula, Chiapas) y 213km/hr (Mazatlán, Sinaloa) que son las velocidades extremas por decirlo así, las otras ciudades de costa que se encuentren dentro de este rango de velocidades podrán determinar la dimensión de los muros de acuerdo a su velocidad regional local mediante las gráficas propuestas. Posteriormente se obtendrá la presión de viento en función de la cantidad de acero, la presión, el ancho y características del castillo, se obtendría una altura máxima para esa velocidad regional [28]. A continuación se muestra el desarrollo.

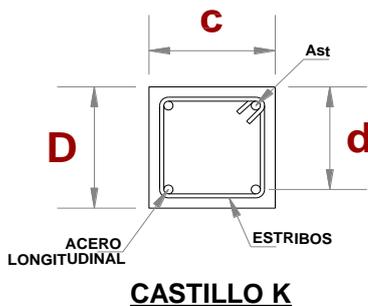
Sabemos que  $M_R = F_R [A_{st} f_y d (1 - 0.59 q_a)] \dots\dots\dots(7.7)$  y  $M_{U_{max}} = \frac{qb^2}{2} \dots\dots\dots(7.8)$

e igualando se tiene  $M_{U_{max}} = M_R$

$$\frac{qb^2}{2} = F_R [A_{st} f_y d (1 - 0.59 q_a)] \quad \rightarrow \quad \frac{Pab^2}{2} = F_R [A_{st} f_y d (1 - 0.59 q_a)]$$

$$\rightarrow \quad b = \sqrt{\frac{2F_R [A_{st} f_y d (1 - 0.59 q_a)]}{Pa}} \dots\dots(7.9)$$

El castillo, la velocidad regional y la presión se muestran a continuación en la tabla 7.17



CIUDAD	V <sub>R</sub> (Km/hr)	P (Kg/m <sup>2</sup> )
Tapachula, Chiapas	111	53.82
Mazatlán, Sinaloa	213	203.17

Tabla 7.19. Velocidades y presiones de viento para Muros Confinados.

Se observa en la tabla 7.18 que se tienen las velocidades regionales de 111km/hr y 213km/hr para dos ciudades diferentes ciudades, con estas se obtiene la presión de 53.82kg/m<sup>2</sup> y de 203.17kg/m<sup>2</sup> respectivamente, de igual forma las dimensiones del castillo y cuantías de acero arrojan los resultados que se muestran en la tabla 7.18 y tabla 7.19 con castillo de 15x15cm (K-1) y 20x20cm (K-2) respectivamente, se aprecia como el castillo influye en el comportamiento del muro, esto es el castillo K-2 que es más robusto permite un ancho de muro mayor con respecto al castillo K-1 incrementándose así en un 43.80% para el acero del #2.5, en un 44.90% para el acero del #3, en un 49.90% para el acero del #4, las gráficas de la figura 7.20 y 7.21 muestran las curvas representativas de cada castillo, en ellas se aprecia como a mayor ancho de muro, menor altura se tendrá y además como a mayor velocidad de viento de igual forma menor altura permitirá el muro a ir creciendo.

CIUDAD	V (km/hr)	P (kg/m <sup>2</sup> )	c (cm)	D (cm)	d (cm)	As (cm <sup>2</sup> )	a (m)	b (m)
Mazatlan Sinaloa	213	203.17	15	15	12.5	1.96	4.31	1.0
	213	203.17	15	15	12.5	1.96	1.08	2.0
	213	203.17	15	15	12.5	1.96	0.48	3.0
	213	203.17	15	15	12.5	1.96	0.27	4.0
	213	203.17	15	15	12.5	2.84	6.09	1.0
	213	203.17	15	15	12.5	2.84	1.52	2.0
	213	203.17	15	15	12.5	2.84	0.68	3.0
	213	203.17	15	15	12.5	2.84	0.38	4.0
	213	203.17	15	15	12.5	5.07	10.15	1.0
	213	203.17	15	15	12.5	5.07	2.54	2.0
	213	203.17	15	15	12.5	5.07	1.13	3.0
	213	203.17	15	15	12.5	5.07	0.63	4.0
Tapachula Chiapas	111	53.82	15	15	12.5	1.96	16.28	1.0
	111	53.82	15	15	12.5	1.96	4.07	2.0
	111	53.82	15	15	12.5	1.96	1.81	3.0
	111	53.82	15	15	12.5	1.96	1.02	4.0
	111	53.82	15	15	12.5	2.84	22.99	1.0
	111	53.82	15	15	12.5	2.84	5.75	2.0
	111	53.82	15	15	12.5	2.84	2.55	3.0
	111	53.82	15	15	12.5	2.84	1.44	4.0
	111	53.82	15	15	12.5	5.07	38.32	1.0
	111	53.82	15	15	12.5	5.07	9.58	2.0
	111	53.82	15	15	12.5	5.07	4.26	3.0
	111	53.82	15	15	12.5	5.07	2.39	4.0

Tabla 7.20. Dimensiones de muros con castillo de 15cmx15cm en función de la velocidad regional y la cantidad de acero.

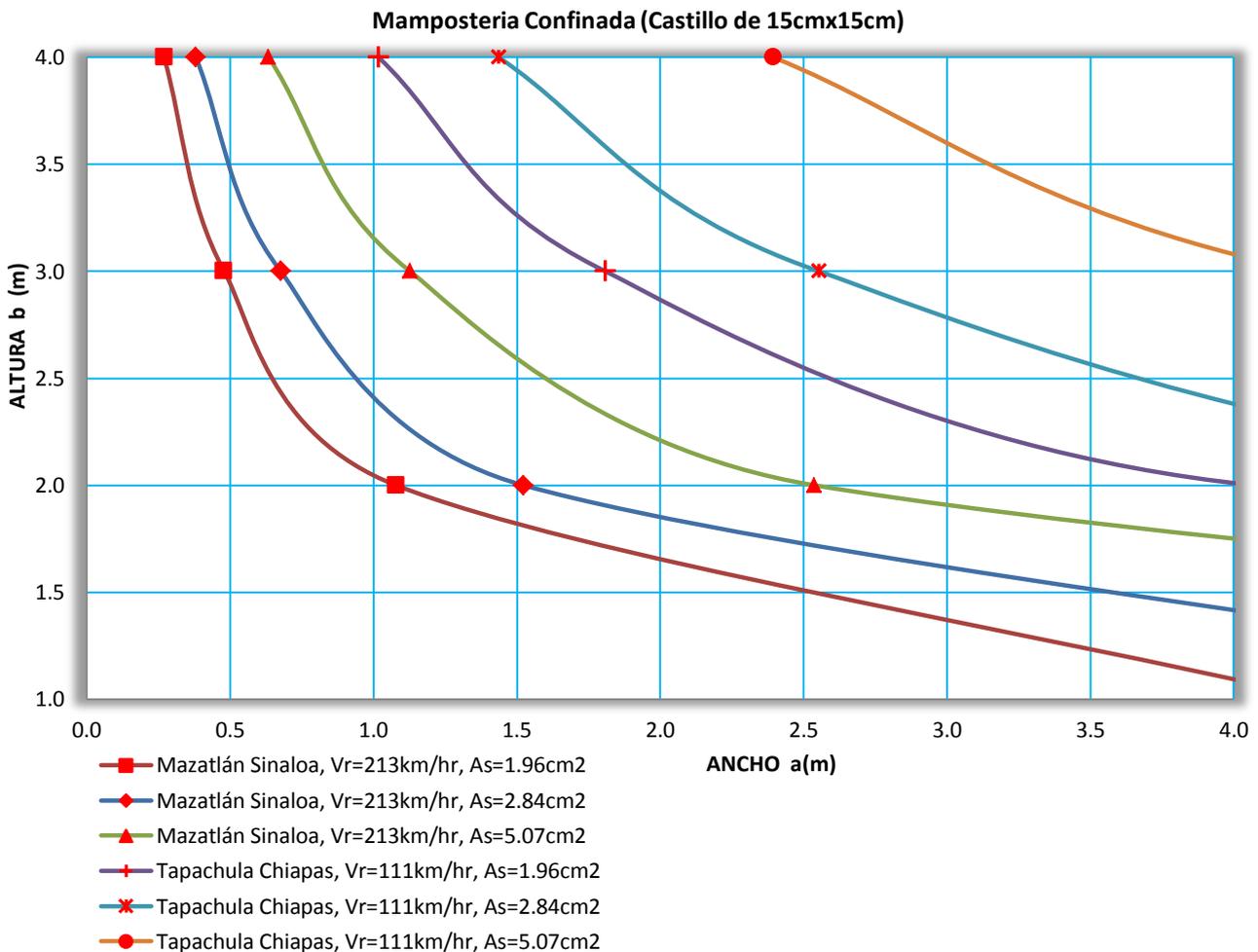


Figura 7.20. Gráfica Ancho-Altura con castillo de 15cmx15cm.

CIUDAD	V (km/hr)	P (kg/m <sup>2</sup> )	c (cm)	D (cm)	d (cm)	As (cm <sup>2</sup> )	a (m)	b (m)
Mazatlan Sinaloa	213	203.17	20	20	17.5	1.96	6.19	1.0
	213	203.17	20	20	17.5	1.96	1.55	2.0
	213	203.17	20	20	17.5	1.96	0.69	3.0
	213	203.17	20	20	17.5	1.96	0.39	4.0
	213	203.17	20	20	17.5	2.84	8.84	1.0
	213	203.17	20	20	17.5	2.84	2.21	2.0
	213	203.17	20	20	17.5	2.84	0.98	3.0
	213	203.17	20	20	17.5	2.84	0.55	4.0
	213	203.17	20	20	17.5	5.07	15.22	1.0
	213	203.17	20	20	17.5	5.07	3.80	2.0
	213	203.17	20	20	17.5	5.07	1.69	3.0
	213	203.17	20	20	17.5	5.07	0.95	4.0
Tapachula Chiapas	111	53.82	20	20	17.5	1.96	23.36	1.0
	111	53.82	20	20	17.5	1.96	5.84	2.0
	111	53.82	20	20	17.5	1.96	2.60	3.0
	111	53.82	20	20	17.5	1.96	1.46	4.0
	111	53.82	20	20	17.5	2.84	33.38	1.0
	111	53.82	20	20	17.5	2.84	8.34	2.0
	111	53.82	20	20	17.5	2.84	3.71	3.0
	111	53.82	20	20	17.5	2.84	2.09	4.0
	111	53.82	20	20	17.5	5.07	57.44	1.0
	111	53.82	20	20	17.5	5.07	14.36	2.0
	111	53.82	20	20	17.5	5.07	6.38	3.0
	111	53.82	20	20	17.5	5.07	3.59	4.0

Tabla 7.21. Dimensiones de muros con castillo de 20cmx20cm en función de la velocidad regional y la cantidad de acero.

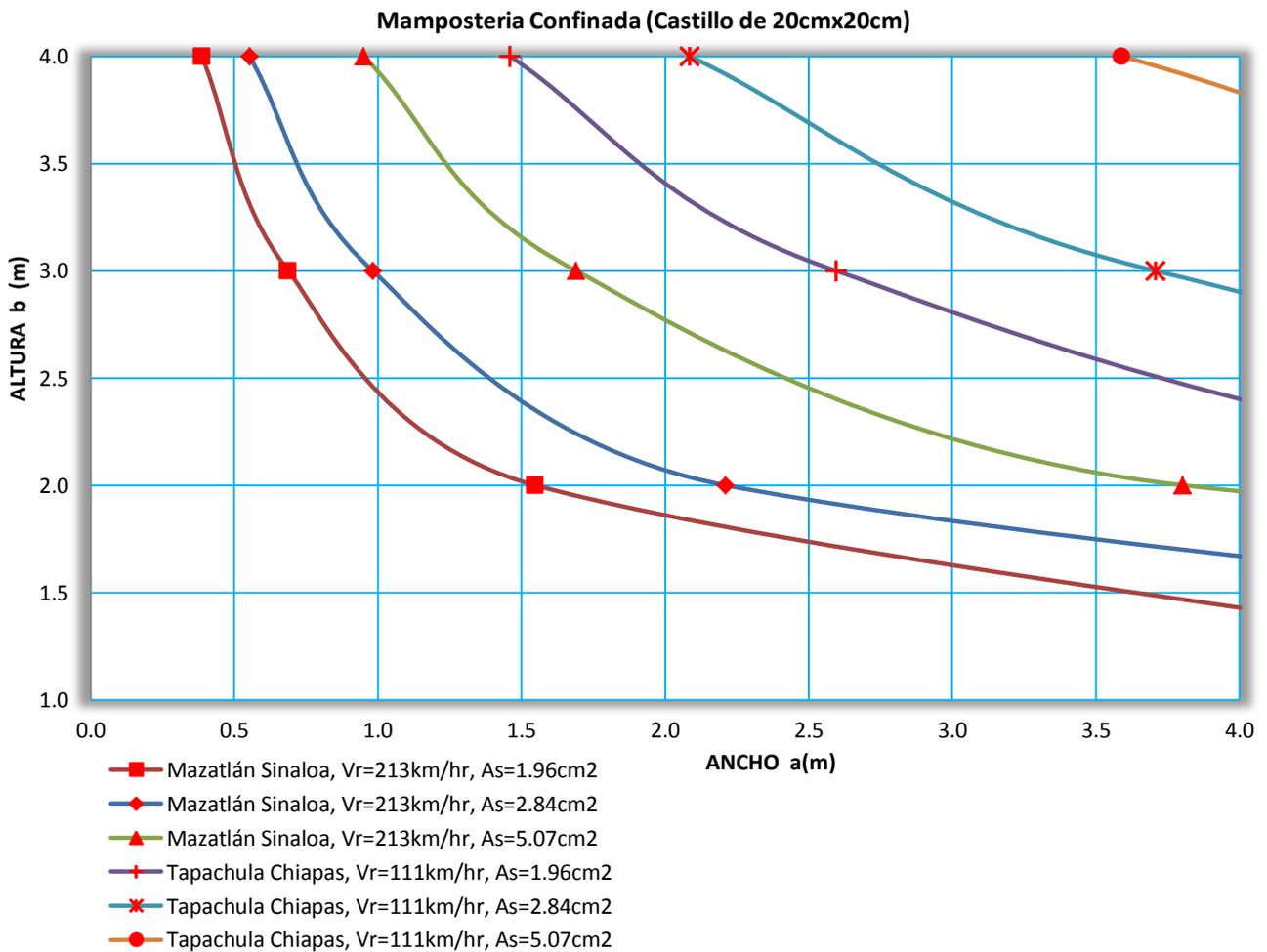


Figura 7.21. Gráfica Ancho-Altura con castillo de 20cmx20cm.

## CAPITULO 8

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### CAPITULO 1

En este capítulo se ha presentado un breve panorama del trabajo realizado para los fenómenos meteorológicos de los cuales el viento es el que mayormente genera mucho más daño a la vivienda de bajo costo, que cualquier otro fenómeno natural, estas viviendas en malas condiciones o en un mal diseño puede ser muy altamente susceptibles, principalmente las zonas en donde las velocidades de viento exceden por encima de las determinadas por los códigos establecidos, estas son principalmente las zonas costeras de la República Mexicana, en donde siempre las localidades que se encuentran ahí son afectadas por altas velocidades generadas por el efecto de los huracanes.

#### CAPITULO 2

Se ha revisado la descripción del viento, la cual está basada en mediciones de campo que han sido procesadas, para dar lugar a modelos que describen su estructura a partir de parámetros simples como son: la velocidad media local y el tipo de terreno. El modelo de Davenport para calcular el perfil de velocidad media, junto con el planteamiento que define las funciones de correlación y escalas de tiempo de ráfagas, han sido considerados un trabajo importante en el estudio del viento para formular el procedimiento de simulación de campos de velocidad. Aunque el estudio de ráfagas presentado en la sección 2.7 se basa en la suposición de un medio turbulento homogéneo e isotrópico, que no se ajusta a mediciones, la turbulencia no presenta variaciones drásticas en el intervalo de alturas de estructuras comunes en ingeniería civil, lo cual le da validez a esta suposición. Por otro lado, las diferentes formulaciones para calcular perfiles de viento medio y densidad de potencia introducen algunas diferencias al ser utilizados en el análisis estructural como se muestra en [22]; es difícil sin embargo, determinar la aproximación ideal, ya que algunos modelos para definir el perfil de velocidad media tienen limitaciones de altura, otros se basan en diferentes escalas para categorizar el tipo de terreno (El NBC por ejemplo, considera tres tipos de terreno, mientras que el Eurocode considera cuatro); así, la elección parece estar basada en la experiencia y el lineamiento del código local. En este trabajo se ha utilizado el modelo de Davenport, para el cálculo del perfil de velocidad media, debido a su simplicidad ya que es utilizado con frecuencia para comparar otros modelos o mediciones de campo.

#### CAPITULO 3

Se ha mostrado la estructura de la vivienda y el comportamiento que ésta tiene ante la incidencia del viento. El efecto de las corrientes de viento transversales al flujo longitudinal principal y las corrientes laterales o verticales de viento se pueden interpretar como una influencia de la rugosidad del terreno en donde la aceleración de ráfagas de viento en el centro de una ciudad alcanza valores hasta cinco veces mayores que en una zona costera, por lo que la elección del parámetro  $k$  ( $S_2$ ) que identifica el tipo de terreno en los códigos debe hacerse con precisión, recordando así que este valor influirá totalmente en la velocidad del viento, para distintos tiempos y alturas (3.3). Por otro lado se presentan una serie de coeficientes de presión para distintos tipos de edificación que permiten, que los cálculos se hagan para la máxima carga individual en cada superficie. En este esquema se ha mostrado al viento soplando sobre una cara en particular, en la práctica puede soplar contra cualquier cara de la vivienda, por lo tanto, cada una de estas superficies deberá ser considerada como de barlovento, para cualquier instante, esto indicara la máxima carga externa, positiva o negativa, para cada cara o superficie de la estructura de vivienda. Por otra parte se presentan las presiones internas, que dependen de la geometría del edificio,

tamaño, localización de las aberturas, velocidad y dirección del viento, en este punto se ha visto que una presión interna positiva incrementa las cargas sobre aquellas áreas de techos y muros sujetas a succión externa, de esta manera se establece que una construcción dependerá grandemente de la diferencia entre la presión interna y externa que exista en las caras afectadas

#### CAPITULO 4

El estudio que se presentó en este capítulo muestra dos aproximaciones para dos métodos distintos en el cálculo de la respuesta de muros de mampostería, el primero para el método estático, el cual es recomendado frecuentemente en los códigos de diseño para estructuras de baja altura y el segundo para el cálculo de la respuesta dinámica recomendado para estructuras sensibles a las vibraciones producidas por los efectos del viento. A partir de los resultados, se realizaron algunas comparaciones entre los valores obtenidos al emplear tanto el código de la Comisión Federal de Electricidad como el código del Reglamento de Construcciones del Distrito Federal para el estudio de una misma localidad (Distrito Federal). El reglamento del RCDF marca dos velocidades regionales determinadas por la *Importancia de Construcción*, es decir para una vivienda con un periodo de Retorno de 50 años (*Tipo B*) ubicada en Zona I le corresponde una velocidad regional de 36 m/s, mientras que para la Zona II le corresponde una velocidad regional de 32 m/s, dando como resultados los siguientes: Para la zona I (velocidad de 32m/s) las fuerzas estáticas del RCDF y CFE es muy similar solo varían entre ellas en un 0.02% ya que la velocidad de ambos reglamentos y los parámetros para obtener la velocidad de diseño son prácticamente lo mismo, por otra parte para la respuesta dinámica, el de reglamento de CFE obtuvo fuerzas menores al de RCDF alrededor de un 28.0% para alturas menores a 10m y un 4.3% por arriba de la altura gradiente (390m), se observa que la diferencia radica en el factor de ráfaga de ambos reglamentos, es decir en el de CFE el factor fue de por debajo  $F_g=1.0$  (entre 0.78 y 0.96), mientras que el de RCDF el factor de ráfaga fue de  $G=1.0$ , cabe resaltar que el factor toma en cuenta el efecto dinámico debido a la turbulencia entonces la presión de diseño será multiplicada por este factor por tanto las fuerzas de diseño de CFE disminuyen, mientras que en el RCDF el factor de amplificación dinámica será siempre mayor a la unidad es por esto que las fuerzas dinámicas del RCDF se mantienen iguales a las fuerzas estáticas. Por otra parte para la velocidad regional de 36m/s del RCDF se observa que las fuerzas para el análisis estático serán mayores que las fuerzas resultantes de CFE en un 28.8% y un 34.1% para la respuesta dinámica, se observa que al incrementar la velocidad regional se incrementa la presión y por tanto las fuerzas antes mencionadas. Por otro lado, este capítulo ha mostrado la aplicación de los métodos de análisis por viento, descrito por los códigos de nuestro país, el cual conduce a resultados detallados al conocer la respuesta estructural de los muros en estudio. Estos resultados pueden emplearse para conocer el comportamiento de estructuras de gran altura para una misma localidad en la ciudad de México en donde se pueden aplicar estos dos reglamentos. Siendo así entonces, se recomienda ampliamente el código del RCDF-NTC para cuando la estructura se encuentre dentro del Distrito Federal ya que como se observa este arroja una respuesta mayor al de CFE teniendo entonces que al diseñar una estructura se obtendrán secciones mayores y por se estará dentro de un margen de seguridad mayor.

#### CAPITULO 5

En esta parte se ha revisado la vulnerabilidad que tiene la vivienda ante la incidencia del viento, la forma de cuantificar la vulnerabilidad a través de funciones o expresiones matemáticas que establecen una relación entre el nivel del parámetro para representar la intensidad del fenómeno, siendo esta la velocidad del viento. El trabajo muestra el procedimiento empleado para identificar las zonas de susceptibilidad de daño ante este fenómeno para viviendas de bajo costo, así también se ha determinado la información que se debe recopilar la cual es la mínima recomendable para realizar un estudio o análisis de susceptibilidad de daño, además de que es necesario determinar las características físicas de la vivienda, para ello se propone un formato para tipología de vivienda presentado en la sección 5.4 en donde la clasificación de la vivienda es de

alta prioridad. Por otra parte es altamente recomendable que el desarrollo de la metodología como la planteada en este trabajo, se implemente con procedimientos sistematizados mediante el uso de sistemas de cómputo. Esto es que cuando se requiera en el estudio una actualización de los datos de peligro o vulnerabilidad, podría ser necesario repetir todos los cálculos numéricos y procesos gráficos de mapas, lo que puede representar en el análisis la repetición de cientos de operaciones aritméticas, por lo que se recomienda automatizar o sistematizar el proceso de evaluación.

## CAPITULO 6

En este capítulo se ha presentado el nivel de daño en la vivienda afectada por el viento. Se han mencionado las escalas que se tienen en la actualidad y que permiten establecer una relación entre velocidades de viento y el nivel de daño probable esperado en la vivienda de edificación, esto permite mejorar el conocimiento de las cargas eólicas, ya que su impacto sobre las construcciones ayudará a realizar diseños estructurales más confiables y disminuir las fallas en estructuras aunadas así a las pérdidas económicas, principalmente en zonas rurales y suburbanas. Se ha determinado que las recomendaciones de diseño eólico en el país no contemplan una metodología explícita para zona de huracanes, aun cuando las velocidades recomendadas en dichas ayudas de diseño, estadísticamente se contemplan en los registros para estas regiones. Por otra parte el criterio aquí establecido para la estimación del índice de riesgo es un parámetro para la seguridad de zonas altamente vulnerables ante la incidencia del viento, es preciso mencionar que en el esquema realizado los cálculos se pueden refinar con regiones reducidas ya sea para una manzana o bien, teniendo los valores totales de la región estudiada, es decir para una localidad que se encuentre en el paso del ciclón. El esquema aquí presentado permite la estimación del nivel de riesgo definido en el presente capítulo, que es la referencia entre los daños y la velocidad máxima sostenida con la que se caracterizó el fenómeno, en referencia a esto se ha determinado que con el criterio establecido en este trabajo los resultados pueden ser aceptables para cualquier localidad en general que desee ser estudiada. De esta manera es posible concluir que mediante este análisis los tipos de construcción en zona de huracanes se deberán modificar (o bien las futuras construcciones de viviendas, serán provistas de material de mejor calidad o una mejor estructuración), tomando en cuenta el nivel de riesgo al que puedan estar expuestas y por ende se encuentren sujetas a valores de vientos máximos que en algún momento pueden ser rebasados, y por tanto llegar a ser afectadas; dicha modificación estará sujeta al criterio de que el aspecto de costos para cada uno de los tipos vivienda podrá resultar diferente. Por otra parte, la generación de reglamentos de construcción completos, es decir que incluyan Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Viento a nivel local (estatal y municipal) resulta actualmente difícil de establecer en nuestro medio, dadas las condiciones reales de muchos municipios en nuestro país. Sin embargo, sería conveniente y en lo posible, que los reglamentos municipales fueran más sencillos y que hicieran referencia a manuales de diseño por viento con influencia nacional, por ejemplo especificando únicamente las velocidades de viento de diseño requeridas para cada tipo de zona estatal o municipal, y en general dejando los procedimientos de diseño a las Normas Técnicas Complementarias modelo.

## CAPITULO 7

Se ha presentado el criterio para modelar mediante la Teoría de Placas la geometría de muros de mampostería sometidos a cargas laterales de viento y el procedimiento para calcular sus dimensiones en función del tipo de apoyo, de la resistencia y del momento que actúa sobre el elemento. Con base en este criterio se calcularon los momentos actuantes en el muro mediante las tablas correspondientes para cada condición de borde, y se comparó con el momento resistente que corresponde a la resistencia del material empleado, esto ha permitido conocer la relación (b/a) de los muros para una misma presión de viento. Dicha relación permite obtener una serie de puntos y gráficos para cada condición de borde, en donde se observa que un muro empotrado en todos sus bordes arroja debido a su condición un mejor resultado permitiendo mayores dimensiones en el elemento, esto se observa en la figura 7.13 en donde se determina que por

normatividad los muros no son aceptables ya que en algunos casos sobrepasan los 4m de ancho de muro y los 3 m de altura que marca el reglamento, de cualquier manera es necesario resaltar que las dimensiones obtenidas deberán ser consideradas ya que ante el fenómeno del viento aseguran un comportamiento aceptable.

Por otra parte y de igual manera se presenta en este capítulo un esquema de la velocidad regional y la relación que tiene con las dimensiones de muros de mampostería simple y confinada. Se obtiene la gráfica velocidad regional-altura ( $V_R$ -b) y en ella se aprecia que a menor velocidad de viento la altura permitida alcanza valores por encima de lo marcado en los códigos reglamentarios, se concluye que la altura de la mampostería confinada se encuentra en un 221.2% mayor con respecto a la mampostería simple esto sin duda nos habla de cuanto es tan importante agregar acero de refuerzo en la edificación de bajo costo. Se presenta una gráfica en la que de acuerdo a la velocidad regional se obtienen las dimensiones de muros que soportaran los fuertes vientos en algunas ciudades ubicadas en las costas de la República Mexicana, se propone una altura promedio de 3.0m para velocidades que van desde 111km/hr hasta 213km/hr, se observa que para la zona menos afectada (Tapachula Chiapas) el ancho es de 2.55m cuando se tiene un castillo común de 15cmx15cm con 4 vars de 3/8" siendo este un ancho que se acerca a la normatividad ya que por lo general en la mayoría de las ciudades comúnmente la norma marca no más de 3.0m y observando este estudio las dimensiones tendrían que ser menores, además para alcanzar el ancho en muros que marca el reglamento es necesario incrementar la cantidad de acero a 4 vars de 1/2" ya que como se observa el incremento es del 66.9%. Por otra parte se propusieron dos tipos de castillo, el primero de 15cmx15xcm y el segundo de 20cmx20cm, se tomaron estas dos ciudades con mayor y menor velocidad variando así el acero de refuerzo, el objetivo de estas gráficas fue el de conocer el comportamiento al incrementar tanto la presión del viento como la cuantía de acero y la sección del castillo, se aprecia como el castillo influye en el comportamiento del muro, esto es, el castillo más robusto permite una altura mayor sobre el castillo de 15x15cm sobre el muro incrementándola así en un 43.4% para el acero del #2.5, en un 45.07% para el acero del #3, en un 49.9% para el acero del #4, las gráficas de la figura 7.20 y 7.21 muestran las curvas representativas para cada castillo, se aprecia como a mayor ancho de muro, menor altura se tendrá y además, como a mayor velocidad de viento menor altura permitirá el muro a crecer.

## APÉNDICE A

### TABLAS DE VULNERABILIDAD PARA DIFERENTES TIPOS DE ELEMENTOS Y VELOCIDADES REGIONALES

#### A.1 SIMBOLOGÍA USADA EN LAS TABLAS DEL APÉNDICE

Caso	Separación de los puntos de fijación (promedio)	Edificación ubicada en:		
		Área urbana o suburbana	Planicie o campo abierto	Litoral o promontorio
1	< 30 cm	X		
2	30 - 35 cm	X		
3	< 30 40 - 45 cm	X	X	
4	< 30 35 - 40 cm 45 - 50 cm	X	X	X
5	30 - 35 cm 40 - 45 cm		X	X
6	35 - 40 cm 45 - 50 cm 50 - 60 cm	X	X	X
7	40 - 50 cm 50 - 60 cm 60 - 70 cm	X	X	X
8	50 - 60 cm 60 - 70 cm		X	X
9	60 - 70 cm			X

Tabla AP.1. Simbología para la tabla A.1 relacionada con los elementos techo (ver figura A.1).

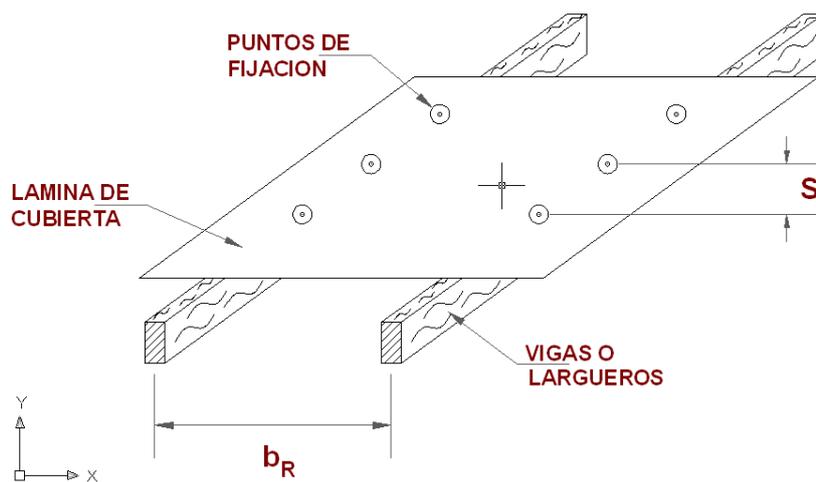


Figura A.1. Representación esquemática de los parámetros considerados para la función de vulnerabilidad de techos de vivienda. La definición de la separación promedio es el valor medio de  $S$  y  $b_R$

Caso	Altura de Muro	Edificación ubicada en:		
		Área urbana o suburbana	Planicie o campo abierto	Litoral o promontorio
1	< 1.5 m	X		
2	1.5 - 2.0 m	X		
3	< 1.5 m		X	
4	1.5 - 2.0 m		X	
5	2.0 - 3.0 m	X		
6	1.5 - 2.0 m			X
7	2.0 - 3.0 m		X	
8	2.0 - 3.0 m			X

Tabla AP.2. Simbología para las tablas A.1 a A.4 relacionadas con los elementos muros de Adobe (ver figura A.2).

Caso	Altura de Muro	Edificación ubicada en:		
		Área urbana o suburbana	Planicie o campo abierto	Litoral o promontorio
1	< 1.5 m	X		
2	< 1.5 m		X	
3	1.5 - 2.0 m	X		
4	< 1.5 m			X
5	1.5 - 2.0 m		X	
6	2.0 - 3.0 m	X		
7	1.5 - 2.0 m			X
8	2.0 - 3.0 m		X	
9	2.0 - 3.0 m			X

Tabla AP.3. Simbología para las tablas A.5 a A.7 relacionadas con los elementos muros de Tabique con refuerzo de varilla (ver figura A.2).

Caso	Altura de Muro	Edificación ubicada en:		
		Área urbana o suburbana	Planicie o campo abierto	Litoral o promontorio
1	< 1.5 m	X		
2	< 1.5 m		X	
3	1.5 - 2.0 m	X		
4	< 1.5 m			X
5	1.5 - 2.0 m		X	
6	2.0 - 3.0 m	X		
7	1.5 - 2.0 m			X
8	2.0 - 3.0 m		X	
9	2.0 - 3.0 m			X

Tabla AP.4. Simbología para las tablas A.8 a A.10 relacionadas con los elementos muros de Tabique con refuerzo a base de elementos pre-armados (ver figura A.2).

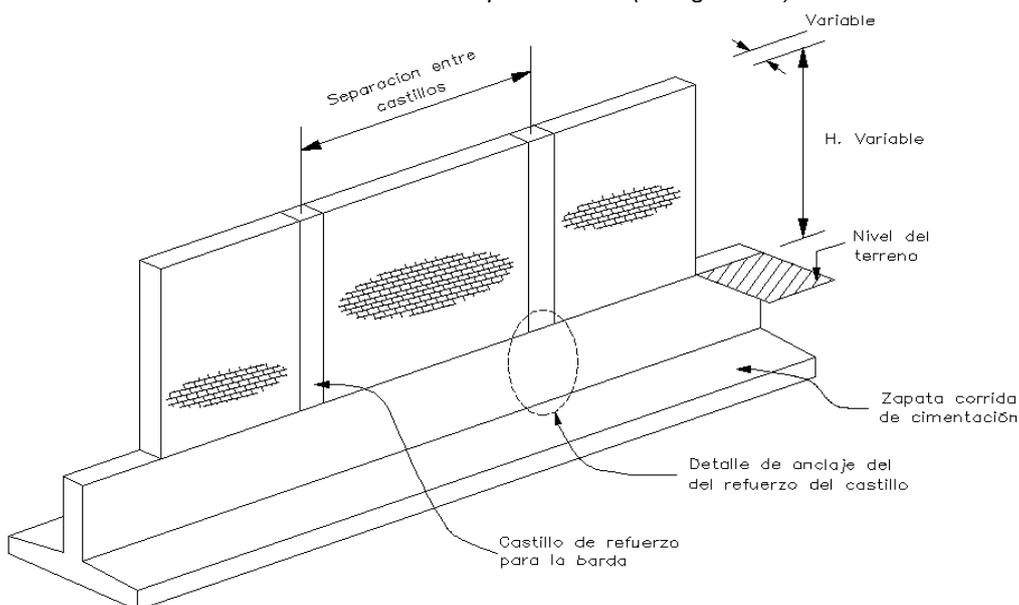


Figura A.2. Representación esquemática de los muros de bardas aisladas, y de vivienda. La altura del muro es la variable H dentro de la figura.

**Nota:** Los valores de vulnerabilidad indicados en las tablas representan el nivel (porcentaje) de daño esperado, de modo que 0.0 representa daño nulo, y 1.0 representa daño total.

Velocidad Regional (km/hr)	Caso de estudio, ver simbología del apéndice								
	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4	Caso 5	Caso 6	Caso 7	Caso 8	Caso 9
50	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
60	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0002
70	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0006
80	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0004	0.0017
90	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0002	0.0009	0.0043
100	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0001	0.0005	0.0020	0.0100
110	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0001	0.0003	0.0010	0.0042	0.0212
120	0.0000	0.0000	0.0001	0.0002	0.0003	0.0006	0.0020	0.0083	0.0421
130	0.0000	0.0001	0.0001	0.0003	0.0005	0.0010	0.0038	0.0154	0.0783
140	0.0000	0.0001	0.0002	0.0005	0.0009	0.0018	0.0066	0.0272	0.1372
150	0.0001	0.0002	0.0003	0.0008	0.0015	0.0030	0.0113	0.0462	0.2261
160	0.0001	0.0003	0.0005	0.0013	0.0024	0.0050	0.0185	0.0752	0.3492
170	0.0002	0.0005	0.0008	0.0021	0.0037	0.0079	0.0293	0.1179	0.5022
180	0.0003	0.0008	0.0012	0.0032	0.0057	0.0121	0.0451	0.1780	0.6678
190	0.0004	0.0011	0.0017	0.0048	0.0086	0.0182	0.0676	0.2583	0.8170
200	0.0006	0.0016	0.0025	0.0070	0.0126	0.0268	0.0987	0.3596	0.9227
210	0.0009	0.0023	0.0036	0.0100	0.0181	0.0386	0.1405	0.4791	0.9772
220	0.0013	0.0033	0.0051	0.0141	0.0256	0.0545	0.1947	0.6084	0.9959
230	0.0017	0.0045	0.0071	0.0196	0.0355	0.0756	0.2629	0.7344	0.9996
240	0.0024	0.0062	0.0097	0.0268	0.0485	0.1029	0.3451	0.8424	1.0000
250	0.0032	0.0084	0.0131	0.0362	0.0653	0.1376	0.4399	0.9212	1.0000
260	0.0043	0.0112	0.0175	0.0482	0.0867	0.1809	0.5434	0.9683	1.0000
270	0.0056	0.0147	0.0231	0.0633	0.1134	0.2334	0.6495	0.9903	1.0000
280	0.0073	0.0192	0.0310	0.0822	0.1462	0.2956	0.7502	0.9979	1.0000
290	0.0095	0.0247	0.0388	0.1054	0.1859	0.3671	0.8375	0.9997	1.0000
300	0.0121	0.0316	0.0496	0.1336	0.2329	0.4467	0.9055	1.0000	1.0000
310	0.0153	0.0401	0.0628	0.1673	0.2876	0.5321	0.9520	1.0000	1.0000
320	0.0193	0.0503	0.0788	0.2070	0.3497	0.6196	0.9793	1.0000	1.0000
330	0.0241	0.0627	0.0979	0.2530	0.4184	0.7052	0.9927	1.0000	1.0000
340	0.0299	0.0774	0.1206	0.3054	0.4923	0.7840	0.9979	1.0000	1.0000
350	0.0368	0.0949	0.1473	0.3638	0.5694	0.8519	0.9996	1.0000	1.0000
360	0.0450	0.1155	0.1782	0.4276	0.6468	0.9062	0.9999	1.0000	1.0000
370	0.0547	0.1393	0.2136	0.4955	0.7215	0.9457	1.0000	1.0000	1.0000
380	0.0660	0.1669	0.2538	0.5659	0.7901	0.9718	1.0000	1.0000	1.0000
390	0.0793	0.1983	0.2987	0.6368	0.8500	0.9871	1.0000	1.0000	1.0000
400	0.0946	0.2337	0.3481	0.7056	0.8991	0.9949	1.0000	1.0000	1.0000
410	0.1122	0.2732	0.4017	0.7701	0.9367	0.9983	1.0000	1.0000	1.0000
420	0.1322	0.3168	0.4588	0.8278	0.9634	0.9995	1.0000	1.0000	1.0000
430	0.1550	0.3642	0.5184	0.8771	0.9807	0.9999	1.0000	1.0000	1.0000
440	0.1806	0.4151	0.5795	0.9169	0.9908	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
450	0.2092	0.4688	0.6405	0.9472	0.9961	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
460	0.2408	0.5245	0.6999	0.9687	0.9986	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
470	0.2756	0.5814	0.7562	0.9829	0.9995	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
480	0.3134	0.6382	0.8078	0.9914	0.9999	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
490	0.3540	0.6936	0.8535	0.9961	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
500	0.3974	0.7465	0.8926	0.9984	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
520	0.4905	0.8397	0.9493	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
540	0.5886	0.9107	0.9806	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
560	0.6860	0.9574	0.9943	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
570	0.7761	0.9832	0.9972	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
580	0.8529	0.9947	0.9988	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
590	0.9124	0.9987	0.9995	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
600	0.9536	0.9998	0.9998	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
620	0.9786	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
640	0.9916	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
660	0.9973	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
680	0.9993	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
700	0.9999	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
720	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000

Tabla A.1. Vulnerabilidad de techos para diferentes velocidades regionales de viento.

Velocidad Regional (km/hr)	Caso de estudio, ver simbología del apéndice						
	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4	Caso 5	Caso 6	Caso 7
100	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0010
110	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0017	0.0230
120	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0014	0.0235	0.3365
130	0.0000	0.0000	0.0001	0.0007	0.0119	0.2305	0.9968
140	0.0000	0.0000	0.0003	0.0045	0.0844	0.9111	1.0000
150	0.0000	0.0000	0.0017	0.0249	0.4334	1.0000	1.0000
160	0.0000	0.0000	0.0079	0.1191	0.9610	1.0000	1.0000
170	0.0000	0.0001	0.0334	0.4385	1.0000	1.0000	1.0000
180	0.0000	0.0004	0.1253	0.9101	1.0000	1.0000	1.0000
190	0.0000	0.0014	0.3873	0.9999	1.0000	1.0000	1.0000
200	0.0001	0.0042	0.8132	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
210	0.0003	0.0122	0.9955	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
220	0.0007	0.0336	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
230	0.0017	0.0868	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
240	0.0040	0.2067	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
250	0.0091	0.4336	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
260	0.0197	0.7400	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
270	0.0415	0.9545	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
280	0.0840	0.9990	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
290	0.1622	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
300	0.2944	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
310	0.4892	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
320	0.7185	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
330	0.9042	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
340	0.9859	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
350	0.9995	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
360	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000

Tabla A.2. Vulnerabilidad de muros aislados (baldas de colindancia) de adobe, para diferentes velocidades regionales de viento.

Velocidad Regional (km/hr)	Caso de estudio, ver simbología del apéndice						
	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4	Caso 5	Caso 6	Caso 7
100	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
110	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
120	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
130	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0001
140	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0002	0.0004
150	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0005	0.0015
160	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0011	0.0047
170	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0004	0.0026	0.0140
180	0.0000	0.0000	0.0001	0.0002	0.0009	0.0056	0.0386
190	0.0000	0.0000	0.0001	0.0004	0.0021	0.0115	0.0989
200	0.0000	0.0000	0.0002	0.0008	0.0046	0.0229	0.2306
210	0.0000	0.0001	0.0005	0.0015	0.0098	0.0438	0.4679
220	0.0000	0.0001	0.0009	0.0028	0.0201	0.0805	0.7672
230	0.0000	0.0002	0.0018	0.0050	0.0396	0.1418	0.9610
240	0.0000	0.0004	0.0033	0.0087	0.0752	0.2378	0.9991
250	0.0000	0.0006	0.0059	0.0148	0.1369	0.3758	1.0000
260	0.0000	0.0010	0.0103	0.0245	0.2370	0.5507	1.0000
270	0.0000	0.0015	0.0178	0.0397	0.3846	0.7360	1.0000
280	0.0000	0.0023	0.0300	0.0630	0.5739	0.8865	1.0000
290	0.0000	0.0035	0.0494	0.0975	0.7700	0.9696	1.0000
300	0.0000	0.0053	0.0795	0.1474	0.9167	0.9960	1.0000
310	0.0001	0.0078	0.1248	0.2166	0.9839	0.9998	1.0000
320	0.0001	0.0115	0.1904	0.3085	0.9988	1.0000	1.0000
330	0.0002	0.0165	0.2810	0.4233	1.0000	1.0000	1.0000
340	0.0003	0.0236	0.3987	0.5558	1.0000	1.0000	1.0000
350	0.0004	0.0332	0.5390	0.6936	1.0000	1.0000	1.0000
360	0.0006	0.0463	0.6881	0.8184	1.0000	1.0000	1.0000
370	0.0009	0.0637	0.8233	0.9125	1.0000	1.0000	1.0000
380	0.0013	0.0867	0.9221	0.9681	1.0000	1.0000	1.0000
390	0.0019	0.1165	0.9757	0.9920	1.0000	1.0000	1.0000
400	0.0027	0.1545	0.9953	0.9988	1.0000	1.0000	1.0000
410	0.0038	0.2020	0.9995	0.9999	1.0000	1.0000	1.0000
420	0.0053	0.2601	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
430	0.0074	0.3294	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
440	0.0101	0.4094	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
450	0.0139	0.4982	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
460	0.0188	0.5925	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
470	0.0253	0.6871	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
480	0.0339	0.7759	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
490	0.0450	0.8528	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
500	0.0592	0.9130	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
520	0.1003	0.9799	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
540	0.1641	0.9979	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
560	0.2579	0.9999	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
580	0.3859	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
600	0.5433	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
620	0.7107	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
640	0.8555	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
660	0.9490	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
680	0.9891	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
700	0.9989	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
720	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000

Tabla A.3. Vulnerabilidad de muros de adobe de vivienda con techo flexible, para diferentes velocidades regionales de viento.

Velocidad Regional (km/hr)	Caso de estudio, ver simbología del apéndice						
	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4	Caso 5	Caso 6	Caso 7
100	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
110	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
120	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0001	0.0001
130	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0001	0.0002
140	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0002	0.0002	0.0004
150	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0004	0.0005	0.0009
160	0.0000	0.0000	0.0001	0.0000	0.0007	0.0009	0.0018
170	0.0000	0.0000	0.0001	0.0000	0.0012	0.0015	0.0034
180	0.0000	0.0000	0.0002	0.0000	0.0020	0.0027	0.0064
190	0.0000	0.0000	0.0003	0.0000	0.0032	0.0044	0.0116
200	0.0000	0.0001	0.0005	0.0001	0.0051	0.0072	0.0203
210	0.0000	0.0001	0.0008	0.0002	0.0079	0.0114	0.0344
220	0.0000	0.0001	0.0012	0.0003	0.0120	0.0177	0.0568
230	0.0000	0.0002	0.0018	0.0005	0.0179	0.0269	0.0909
240	0.0000	0.0003	0.0026	0.0009	0.0261	0.0401	0.1412
250	0.0000	0.0004	0.0038	0.0015	0.0374	0.0585	0.2121
260	0.0000	0.0005	0.0054	0.0025	0.0528	0.0838	0.3072
270	0.0000	0.0008	0.0076	0.0040	0.0734	0.1178	0.4264
280	0.0000	0.0011	0.0105	0.0065	0.1004	0.1622	0.5637
290	0.0000	0.0014	0.0144	0.0102	0.1350	0.2189	0.7048
300	0.0000	0.0020	0.0195	0.0158	0.1787	0.2889	0.8299
310	0.0000	0.0026	0.0261	0.0241	0.2323	0.3722	0.9212
320	0.0000	0.0035	0.0346	0.0362	0.2966	0.4671	0.9728
330	0.0000	0.0046	0.0454	0.0536	0.3713	0.5696	0.9936
340	0.0000	0.0061	0.0589	0.0779	0.4551	0.6736	0.9991
350	0.0001	0.0079	0.0758	0.1115	0.5453	0.7711	0.9999
360	0.0001	0.0101	0.0966	0.1568	0.6378	0.8544	1.0000
370	0.0001	0.0129	0.1219	0.2162	0.7274	0.9179	1.0000
380	0.0002	0.0164	0.1523	0.2914	0.8084	0.9601	1.0000
390	0.0002	0.0207	0.1884	0.3830	0.8760	0.9838	1.0000
400	0.0003	0.0259	0.2306	0.4888	0.9273	0.9947	1.0000
410	0.0005	0.0322	0.2792	0.6035	0.9621	0.9987	1.0000
420	0.0006	0.0399	0.3341	0.7179	0.9829	0.9998	1.0000
430	0.0008	0.0490	0.3950	0.8206	0.9934	1.0000	1.0000
440	0.0010	0.0599	0.4610	0.9014	0.9979	1.0000	1.0000
450	0.0015	0.0729	0.5308	0.9551	0.9995	1.0000	1.0000
460	0.0019	0.0881	0.6024	0.9839	0.9999	1.0000	1.0000
470	0.0025	0.1059	0.6734	0.9959	1.0000	1.0000	1.0000
480	0.0033	0.1265	0.7414	0.9992	1.0000	1.0000	1.0000
490	0.0042	0.1503	0.8038	0.9999	1.0000	1.0000	1.0000
500	0.0054	0.1774	0.8582	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
520	0.0089	0.2427	0.9031	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
540	0.0142	0.3232	0.9380	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
560	0.0223	0.4182	0.9798	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
580	0.0343	0.5242	0.9956	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
600	0.0519	0.6350	0.9994	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
620	0.0772	0.7417	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
640	0.1126	0.8349	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
660	0.1610	0.9071	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
680	0.2250	0.9553	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
700	0.3066	0.9823	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
720	0.4059	0.9945	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
740	0.5198	0.9987	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
760	0.6407	0.9998	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
780	0.7574	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
800	0.8568	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
820	0.9291	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
840	0.9720	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
860	0.9918	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
880	0.9983	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
900	0.9998	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000

Tabla A.4. Vulnerabilidad de la vivienda hecha con muros de adobe de vivienda con techo rígido, para diferentes velocidades regionales de viento.

Caso de estudio, ver simbología del apéndice															
Caso 1		Caso 2		Caso 3		Caso 4		Caso 5		Caso 6		Caso 7		Caso 8	
V <sub>R</sub> (km/h)	Daño	V <sub>R</sub> (km/h)	Daño	V <sub>R</sub> (km/h)	Daño	V <sub>R</sub> (km/h)	Daño	V <sub>R</sub> (km/h)	Daño	V <sub>R</sub> (km/h)	Daño	V <sub>R</sub> (km/h)	Daño	V <sub>R</sub> (km/h)	Daño
0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
18	0.0000	19	0.0000	20	0.0000	21	0.0000	22	0.0000	23	0.0000	24	0.0000	25	0.0000
36	0.0000	38	0.0000	40	0.0000	42	0.0000	44	0.0000	46	0.0000	48	0.0000	50	0.0000
54	0.0000	57	0.0000	60	0.0000	63	0.0000	66	0.0000	69	0.0000	72	0.0000	75	0.0000
72	0.0000	76	0.0000	80	0.0000	84	0.0000	88	0.0000	92	0.0000	96	0.0000	100	0.0000
90	0.0000	95	0.0000	100	0.0000	105	0.0000	110	0.0000	115	0.0000	120	0.0001	125	0.0005
108	0.0000	114	0.0000	120	0.0000	126	0.0000	132	0.0000	138	0.0000	144	0.0008	150	0.0062
126	0.0000	133	0.0000	140	0.0000	147	0.0001	154	0.0001	161	0.0003	168	0.0063	175	0.0528
144	0.0000	152	0.0001	160	0.0001	168	0.0003	176	0.0006	184	0.0016	192	0.0361	200	0.2966
162	0.0000	171	0.0002	180	0.0003	189	0.0010	198	0.0022	207	0.0076	216	0.1599	225	0.8396
180	0.0001	190	0.0005	200	0.0010	210	0.0030	220	0.0070	230	0.0296	240	0.5034	250	0.9997
198	0.0002	209	0.0013	220	0.0027	231	0.0082	242	0.0198	253	0.0984	264	0.9148	275	1.0000
216	0.0005	228	0.0032	240	0.0066	252	0.0205	264	0.0507	276	0.2746	288	0.9996	300	1.0000
234	0.0011	247	0.0072	260	0.0152	273	0.0473	286	0.1179	299	0.5969	312	1.0000	325	1.0000
252	0.0023	266	0.0154	280	0.0326	294	0.1007	308	0.2468	322	0.9076	336	1.0000	350	1.0000
270	0.0046	285	0.0308	300	0.0656	315	0.1980	330	0.4542	345	0.9971	360	1.0000	375	1.0000
288	0.0088	304	0.0586	320	0.1243	336	0.3542	352	0.7081	368	1.0000	384	1.0000	400	1.0000
306	0.0160	323	0.1060	340	0.2206	357	0.5646	374	0.9092	391	1.0000	408	1.0000	425	1.0000
324	0.0282	342	0.1819	360	0.3634	378	0.7822	396	0.9889	414	1.0000	432	1.0000	450	1.0000
342	0.0479	361	0.2943	380	0.5473	399	0.9330	418	0.9997	437	1.0000	456	1.0000	475	1.0000
360	0.0787	380	0.4446	400	0.7411	420	0.9905	440	1.0000	460	1.0000	480	1.0000	500	1.0000
378	0.1249	399	0.6199	420	0.8940	441	0.9996	462	1.0000	483	1.0000	504	1.0000	525	1.0000
396	0.1914	418	0.7888	440	0.9738	462	1.0000	484	1.0000	506	1.0000	528	1.0000	550	1.0000
414	0.2821	437	0.9134	460	0.9969	483	1.0000	506	1.0000	529	1.0000	552	1.0000	575	1.0000
432	0.3978	456	0.9771	480	0.9999	504	1.0000	528	1.0000	552	1.0000	576	1.0000	600	1.0000
450	0.5337	475	0.9967	500	1.0000	525	1.0000	550	1.0000	575	1.0000	600	1.0000	625	1.0000
468	0.6768	494	0.9998	520	1.0000	546	1.0000	572	1.0000	598	1.0000	624	1.0000	650	1.0000
486	0.8074	513	1.0000	540	1.0000	567	1.0000	594	1.0000	621	1.0000	648	1.0000	675	1.0000
504	0.9065	532	1.0000	560	1.0000	588	1.0000	616	1.0000	644	1.0000	672	1.0000	700	1.0000
522	0.9655	551	1.0000	580	1.0000	609	1.0000	638	1.0000	667	1.0000	696	1.0000	725	1.0000
540	0.9911	570	1.0000	600	1.0000	630	1.0000	660	1.0000	690	1.0000	720	1.0000	750	1.0000
558	0.9986	589	1.0000	620	1.0000	651	1.0000	682	1.0000	713	1.0000	744	1.0000	775	1.0000
576	0.9999	608	1.0000	640	1.0000	672	1.0000	704	1.0000	736	1.0000	768	1.0000	800	1.0000
594	1.0000	627	1.0000	660	1.0000	693	1.0000	726	1.0000	759	1.0000	792	1.0000	825	1.0000
612	1.0000	646	1.0000	680	1.0000	714	1.0000	748	1.0000	782	1.0000	816	1.0000	850	1.0000
630	1.0000	665	1.0000	700	1.0000	735	1.0000	770	1.0000	805	1.0000	840	1.0000	875	1.0000

Tabla A.5. Vulnerabilidad de muros aislados (bardas de colindancia) de tabique con refuerzo tradicional de varilla, para diferentes velocidades regionales de viento.

Caso de estudio, ver simbología del apéndice															
Caso 1		Caso 2		Caso 3		Caso 4		Caso 5		Caso 6		Caso 7		Caso 8	
V <sub>R</sub> (km/h)	Daño	V <sub>R</sub> (km/h)	Daño	V <sub>R</sub> (km/h)	Daño	V <sub>R</sub> (km/h)	Daño	V <sub>R</sub> (km/h)	Daño	V <sub>R</sub> (km/h)	Daño	V <sub>R</sub> (km/h)	Daño	V <sub>R</sub> (km/h)	Daño
0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
13	0.0000	14	0.0000	15	0.0000	16	0.0000	17	0.0000	18	0.0000	19	0.0000	20	0.0000
26	0.0000	28	0.0000	30	0.0000	32	0.0000	34	0.0000	36	0.0000	38	0.0000	40	0.0000
39	0.0000	42	0.0000	45	0.0000	48	0.0000	51	0.0000	54	0.0000	57	0.0000	60	0.0000
52	0.0000	56	0.0000	60	0.0000	64	0.0000	68	0.0000	72	0.0000	76	0.0000	80	0.0000
65	0.0000	70	0.0000	75	0.0000	80	0.0000	85	0.0000	90	0.0000	95	0.0000	100	0.0002
78	0.0000	84	0.0000	90	0.0000	96	0.0000	102	0.0000	108	0.0000	114	0.0001	120	0.0006
91	0.0000	98	0.0000	105	0.0001	112	0.0000	119	0.0001	126	0.0001	133	0.0002	140	0.0016
104	0.0000	112	0.0001	120	0.0001	128	0.0001	136	0.0002	144	0.0002	152	0.0006	160	0.0042
117	0.0000	126	0.0002	135	0.0003	144	0.0002	153	0.0005	162	0.0004	171	0.0016	180	0.0095
130	0.0000	140	0.0003	150	0.0005	160	0.0004	170	0.0010	180	0.0010	190	0.0040	200	0.0198
143	0.0000	154	0.0005	165	0.0009	176	0.0007	187	0.0018	198	0.0021	209	0.0090	220	0.0382
156	0.0000	168	0.0009	180	0.0015	192	0.0013	204	0.0031	216	0.0043	228	0.0187	240	0.0692
169	0.0000	182	0.0014	195	0.0024	208	0.0022	221	0.0052	234	0.0081	247	0.0365	260	0.1179
182	0.0000	196	0.0023	210	0.0038	224	0.0036	238	0.0083	252	0.0146	266	0.0675	280	0.1901
195	0.0000	210	0.0034	225	0.0057	240	0.0056	255	0.0128	270	0.0253	285	0.1180	300	0.2895
208	0.0001	224	0.0050	240	0.0084	256	0.0085	272	0.0191	288	0.0420	304	0.1953	320	0.4154
221	0.0001	238	0.0072	255	0.0120	272	0.0125	289	0.0279	306	0.0674	323	0.3050	340	0.5599
234	0.0002	252	0.0102	270	0.0169	288	0.0181	306	0.0398	324	0.1043	342	0.4464	360	0.7061
247	0.0003	266	0.0140	285	0.0232	304	0.0256	323	0.0554	342	0.1562	361	0.6080	380	0.8327
260	0.0005	280	0.0190	300	0.0315	320	0.0356	340	0.0758	360	0.2259	380	0.7650	400	0.9227
273	0.0008	294	0.0254	315	0.0420	336	0.0485	357	0.1016	378	0.3149	399	0.8884	420	0.9727
286	0.0012	308	0.0334	330	0.0551	352	0.0651	374	0.1338	396	0.4223	418	0.9614	440	0.9932
299	0.0018	322	0.0434	345	0.0713	368	0.0859	391	0.1731	414	0.5430	437	0.9914	460	0.9989
312	0.0026	336	0.0557	360	0.0911	384	0.1117	408	0.2200	432	0.6674	456	0.9989	480	0.9999
325	0.0038	350	0.0706	375	0.1149	400	0.1431	425	0.2749	450	0.7826	475	0.9999	500	1.0000
338	0.0054	364	0.0885	390	0.1431	416	0.1807	442	0.3373	468	0.8761	494	1.0000	520	1.0000
351	0.0076	378	0.1097	405	0.1761	432	0.2248	459	0.4066	486	0.9406	513	1.0000	540	1.0000
364	0.0105	392	0.1346	420	0.2141	448	0.2757	476	0.4812	504	0.9771	532	1.0000	560	1.0000
377	0.0144	406	0.1634	435	0.2573	464	0.3331	493	0.5590	522	0.9933	551	1.0000	580	1.0000
390	0.0195	420	0.1964	450	0.3055	480	0.3965	510	0.6371	540	0.9986	570	1.0000	600	1.0000
403	0.0261	434	0.2338	465	0.3584	496	0.4648	527	0.7124	558	0.9998	589	1.0000	620	1.0000
416	0.0346	448	0.2754	480	0.4154	512	0.5362	544	0.7817	576	1.0000	608	1.0000	640	1.0000
429	0.0454	462	0.3212	495	0.4757	528	0.6088	561	0.8424	594	1.0000	627	1.0000	660	1.0000
442	0.0589	476	0.3709	510	0.5381	544	0.6800	578	0.8925	612	1.0000	646	1.0000	680	1.0000
455	0.0758	490	0.4239	525	0.6011	560	0.7473	595	0.9312	630	1.0000	665	1.0000	700	1.0000
468	0.0966	504	0.4795	540	0.6632	576	0.8083	612	0.9591	648	1.0000	684	1.0000	720	1.0000
481	0.1219	518	0.5369	555	0.7228	592	0.8611	629	0.9776	666	1.0000	703	1.0000	740	1.0000
494	0.1523	532	0.5948	570	0.7781	608	0.9044	646	0.9888	684	1.0000	722	1.0000	760	1.0000
507	0.1884	546	0.6520	585	0.8278	624	0.9379	663	0.9950	702	1.0000	741	1.0000	780	1.0000
520	0.2306	560	0.7074	600	0.8710	640	0.9623	680	0.9980	720	1.0000	760	1.0000	800	1.0000
533	0.2792	574	0.7595	615	0.9070	656	0.9787	697	0.9993	738	1.0000	779	1.0000	820	1.0000
546	0.3341	588	0.8073	630	0.9357	672	0.9889	714	0.9998	756	1.0000	798	1.0000	840	1.0000
559	0.3950	602	0.8499	645	0.9576	688	0.9947	731	0.9999	774	1.0000	817	1.0000	860	1.0000
572	0.4610	616	0.8866	660	0.9734	704	0.9977	748	1.0000	792	1.0000	836	1.0000	880	1.0000
585	0.5308	630	0.9172	675	0.9843	720	0.9991	765	1.0000	810	1.0000	855	1.0000	900	1.0000
598	0.6024	644	0.9417	690	0.9912	736	0.9997	782	1.0000	828	1.0000	874	1.0000	920	1.0000
611	0.6734	658	0.9606	705	0.9954	752	0.9999	799	1.0000	846	1.0000	893	1.0000	940	1.0000
624	0.7414	672	0.9745	720	0.9978	768	1.0000	816	1.0000	864	1.0000	912	1.0000	960	1.0000
637	0.8038	686	0.9843	735	0.9990	784	1.0000	833	1.0000	882	1.0000	931	1.0000	980	1.0000
650	0.8582	700	0.9908	750	0.9996	800	1.0000	850	1.0000	900	1.0000	950	1.0000	1000	1.0000
663	0.9031	714	0.9976	765	1.0000	816	1.0000	867	1.0000	918	1.0000	969	1.0000	1020	1.0000
676	0.9380	728	0.9993	780	1.0000	832	1.0000	884	1.0000	936	1.0000	988	1.0000	1040	1.0000
689	0.9631	742	0.9998	795	1.0000	848	1.0000	901	1.0000	954	1.0000	1007	1.0000	1060	1.0000
702	0.9798	756	1.0000	810	1.0000	864	1.0000	918	1.0000	972	1.0000	1026	1.0000	1080	1.0000
715	0.9900	770	1.0000	825	1.0000	880	1.0000	935	1.0000	990	1.0000	1045	1.0000	1100	1.0000
728	0.9956	784	1.0000	840	1.0000	896	1.0000	952	1.0000	1008	1.0000	1064	1.0000	1120	1.0000
741	0.9983	798	1.0000	855	1.0000	912	1.0000	969	1.0000	1026	1.0000	1083	1.0000	1140	1.0000
754	0.9994	812	1.0000	870	1.0000	928	1.0000	986	1.0000	1044	1.0000	1102	1.0000	1160	1.0000
767	0.9998	826	1.0000	885	1.0000	944	1.0000	1003	1.0000	1062	1.0000	1121	1.0000	1180	1.0000
780	1.0000	840	1.0000	900	1.0000	960	1.0000	1020	1.0000	1080	1.0000	1140	1.0000	1200	1.0000

Tabla A.6. Vulnerabilidad de muros de tabique con refuerzo tradicional de varilla para vivienda con techo flexible, para diferentes velocidades regionales de viento.

Caso de estudio, ver simbología del apéndice															
Caso 1		Caso 2		Caso 3		Caso 4		Caso 5		Caso 6		Caso 7		Caso 8	
V <sub>R</sub> (km/h)	Daño	V <sub>R</sub> (km/h)	Daño	V <sub>R</sub> (km/h)	Daño	V <sub>R</sub> (km/h)	Daño	V <sub>R</sub> (km/h)	Daño	V <sub>R</sub> (km/h)	Daño	V <sub>R</sub> (km/h)	Daño	V <sub>R</sub> (km/h)	Daño
0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
13	0.0000	14	0.0000	15	0.0000	16	0.0000	17	0.0000	18	0.0000	19	0.0000	20	0.0000
26	0.0000	28	0.0000	30	0.0000	32	0.0000	34	0.0000	36	0.0000	38	0.0000	40	0.0000
39	0.0000	42	0.0000	45	0.0000	48	0.0000	51	0.0000	54	0.0000	57	0.0000	60	0.0000
52	0.0000	56	0.0000	60	0.0000	64	0.0000	68	0.0000	72	0.0000	76	0.0000	80	0.0000
65	0.0000	70	0.0000	75	0.0000	80	0.0000	85	0.0000	90	0.0000	95	0.0000	100	0.0001
78	0.0000	84	0.0000	90	0.0000	96	0.0000	102	0.0000	108	0.0000	114	0.0000	120	0.0003
91	0.0000	98	0.0000	105	0.0000	112	0.0000	119	0.0000	126	0.0000	133	0.0001	140	0.0009
104	0.0000	112	0.0000	120	0.0000	128	0.0000	136	0.0000	144	0.0001	152	0.0001	160	0.0020
117	0.0000	126	0.0000	135	0.0000	144	0.0000	153	0.0000	162	0.0002	171	0.0003	180	0.0042
130	0.0000	140	0.0000	150	0.0000	160	0.0000	170	0.0001	180	0.0003	190	0.0007	200	0.0080
143	0.0000	154	0.0000	165	0.0000	176	0.0000	187	0.0002	198	0.0005	209	0.0014	220	0.0143
156	0.0000	168	0.0000	180	0.0000	192	0.0000	204	0.0003	216	0.0009	228	0.0025	240	0.0245
169	0.0001	182	0.0000	195	0.0001	208	0.0004	221	0.0005	234	0.0016	247	0.0044	260	0.0399
182	0.0001	196	0.0001	210	0.0001	224	0.0001	238	0.0008	252	0.0025	266	0.0074	280	0.0624
195	0.0001	210	0.0001	225	0.0002	240	0.0001	255	0.0013	270	0.0039	285	0.0119	300	0.0941
208	0.0002	224	0.0002	240	0.0003	256	0.0002	272	0.0020	288	0.0058	304	0.0186	320	0.1371
221	0.0003	238	0.0003	255	0.0004	272	0.0003	289	0.0029	306	0.0085	323	0.0283	340	0.1932
234	0.0004	252	0.0004	270	0.0006	288	0.0005	306	0.0043	324	0.0121	342	0.0420	360	0.2636
247	0.0005	266	0.0006	285	0.0009	304	0.0007	323	0.0063	342	0.0170	361	0.0607	380	0.3481
260	0.0007	280	0.0008	300	0.0013	320	0.0010	340	0.0089	360	0.0234	380	0.0857	400	0.4446
273	0.0010	294	0.0011	315	0.0018	336	0.0015	357	0.0123	378	0.0316	399	0.1185	420	0.5488
286	0.0013	308	0.0015	330	0.0025	352	0.0022	374	0.0169	396	0.0422	418	0.1602	440	0.6542
299	0.0017	322	0.0020	345	0.0034	368	0.0030	391	0.0228	414	0.0554	437	0.2121	460	0.7531
312	0.0023	336	0.0027	360	0.0046	384	0.0042	408	0.0303	432	0.0718	456	0.2746	480	0.8382
325	0.0029	350	0.0036	375	0.0061	400	0.0058	425	0.0398	450	0.0919	475	0.3477	500	0.9042
338	0.0037	364	0.0046	390	0.0080	416	0.0078	442	0.0517	468	0.1161	494	0.4301	520	0.9498
351	0.0047	378	0.0060	405	0.0104	432	0.0104	459	0.0663	486	0.1449	513	0.5192	540	0.9772
364	0.0059	392	0.0077	420	0.0134	448	0.0138	476	0.0841	504	0.1787	532	0.6111	560	0.9912
377	0.0073	406	0.0097	435	0.0171	464	0.0180	493	0.1055	522	0.2178	551	0.7011	580	0.9972
390	0.0090	420	0.0122	450	0.0216	480	0.0233	510	0.1310	540	0.2622	570	0.7837	600	0.9993
403	0.0111	434	0.0152	465	0.0271	496	0.0299	527	0.1610	558	0.3119	589	0.8543	620	0.9999
416	0.0135	448	0.0189	480	0.0338	512	0.0380	544	0.1957	576	0.3666	608	0.9098	640	1.0000
429	0.0163	462	0.0232	495	0.0417	528	0.0480	561	0.2355	594	0.4255	627	0.9494	660	1.0000
442	0.0195	476	0.0284	510	0.0512	544	0.0600	578	0.2803	612	0.4878	646	0.9747	680	1.0000
455	0.0233	490	0.0344	525	0.0623	560	0.0744	595	0.3301	630	0.5520	665	0.9889	700	1.0000
468	0.0277	504	0.0416	540	0.0754	576	0.0916	612	0.3844	648	0.6167	684	0.9959	720	1.0000
481	0.0328	518	0.0499	555	0.0906	592	0.1118	629	0.4427	666	0.6801	703	0.9987	740	1.0000
494	0.0386	532	0.0595	570	0.1081	608	0.1355	646	0.5038	684	0.7403	722	0.9997	760	1.0000
507	0.0451	546	0.0706	585	0.1282	624	0.1630	663	0.5667	702	0.7956	741	0.9999	780	1.0000
520	0.0526	560	0.0832	600	0.1511	640	0.1944	680	0.6297	720	0.8447	760	1.0000	800	1.0000
533	0.0610	574	0.0977	615	0.1770	656	0.2301	697	0.6912	738	0.8865	779	1.0000	820	1.0000
546	0.0705	588	0.1141	630	0.2059	672	0.2700	714	0.7495	756	0.9206	798	1.0000	840	1.0000
559	0.0811	602	0.1325	645	0.2380	688	0.3143	731	0.8030	774	0.9470	817	1.0000	860	1.0000
572	0.0930	616	0.1531	660	0.2733	704	0.3626	748	0.8503	792	0.9665	836	1.0000	880	1.0000
585	0.1061	630	0.1760	675	0.3118	720	0.4146	765	0.8906	810	0.9800	855	1.0000	900	1.0000
598	0.1206	644	0.2013	690	0.3533	736	0.4696	782	0.9234	828	0.9888	874	1.0000	920	1.0000
611	0.1366	658	0.2291	705	0.3975	752	0.5269	799	0.9489	846	0.9942	893	1.0000	940	1.0000
624	0.1541	672	0.2594	720	0.4440	768	0.5853	816	0.9677	864	0.9972	912	1.0000	960	1.0000
637	0.1732	686	0.2921	735	0.4925	784	0.6435	833	0.9807	882	0.9988	931	1.0000	980	1.0000
650	0.1939	700	0.3272	750	0.5422	800	0.7004	850	0.9892	900	0.9995	950	1.0000	1000	1.0000
666	0.2404	728	0.4040	780	0.6423	832	0.8041	884	0.9973	936	0.9999	988	1.0000	1040	1.0000
702	0.2935	756	0.4877	810	0.7379	864	0.8869	918	0.9995	972	1.0000	1026	1.0000	1080	1.0000
728	0.3529	784	0.5754	840	0.8222	896	0.9441	952	0.9999	1008	1.0000	1064	1.0000	1120	1.0000
754	0.4179	812	0.6629	870	0.8901	928	0.9772	986	1.0000	1044	1.0000	1102	1.0000	1160	1.0000
780	0.4871	840	0.7457	900	0.9392	960	0.9926	1020	1.0000	1080	1.0000	1140	1.0000	1200	1.0000
806	0.5587	868	0.8194	930	0.9704	992	0.9982	1054	1.0000	1116	1.0000	1178	1.0000	1240	1.0000
832	0.6307	896	0.8804	960	0.9877	1024	0.9997	1088	1.0000	1152	1.0000	1216	1.0000	1280	1.0000
858	0.7005	924	0.9271	990	0.9957	1056	1.0000	1122	1.0000	1188	1.0000	1254	1.0000	1320	1.0000
884	0.7656	952	0.9595	1020	0.9988	1088	1.0000	1156	1.0000	1224	1.0000	1292	1.0000	1360	1.0000
910	0.8238	980	0.9799	1050	0.9997	1120	1.0000	1190	1.0000	1260	1.0000	1330	1.0000	1400	1.0000
936	0.8735	1008	0.9912	1080	1.0000	1152	1.0000	1224	1.0000	1296	1.0000	1368	1.0000	1440	1.0000
962	0.9137	1036	0.9967	1110	1.0000	1184	1.0000	1258	1.0000	1332	1.0000	1406	1.0000	1480	1.0000
988	0.9445	1064	0.9989	1140	1.0000	1216	1.0000	1292	1.0000	1368	1.0000	1444	1.0000	1520	1.0000

Tabla A.7. Vulnerabilidad de la vivienda hecha con muros de tabique con refuerzo tradicional de varilla, con techo rígido, para diferentes velocidades regionales de viento.

Caso de estudio, ver simbología del apéndice															
Caso 1		Caso 2		Caso 3		Caso 4		Caso 5		Caso 6		Caso 7		Caso 8	
V <sub>R</sub> (km/h)	Daño	V <sub>R</sub> (km/h)	Daño	V <sub>R</sub> (km/h)	Daño	V <sub>R</sub> (km/h)	Daño	V <sub>R</sub> (km/h)	Daño	V <sub>R</sub> (km/h)	Daño	V <sub>R</sub> (km/h)	Daño	V <sub>R</sub> (km/h)	Daño
1014	0.9665	1092	0.9997	1170	1.0000	1248	1.0000	1326	1.0000	1404	1.0000	1482	1.0000	1560	1.0000
1040	0.9812	1120	0.9999	1200	1.0000	1280	1.0000	1360	1.0000	1440	1.0000	1520	1.0000	1600	1.0000
1066	0.9903	1148	1.0000	1230	1.0000	1312	1.0000	1394	1.0000	1476	1.0000	1558	1.0000	1640	1.0000
1092	0.9954	1176	1.0000	1260	1.0000	1344	1.0000	1428	1.0000	1512	1.0000	1596	1.0000	1680	1.0000
1118	0.9980	1204	1.0000	1290	1.0000	1376	1.0000	1462	1.0000	1548	1.0000	1634	1.0000	1720	1.0000
1144	0.9992	1232	1.0000	1320	1.0000	1408	1.0000	1496	1.0000	1584	1.0000	1672	1.0000	1760	1.0000
1170	0.9997	1260	1.0000	1350	1.0000	1440	1.0000	1530	1.0000	1620	1.0000	1710	1.0000	1800	1.0000
1196	1.0000	1288	1.0000	1380	1.0000	1472	1.0000	1564	1.0000	1656	1.0000	1748	1.0000	1840	1.0000
1222	1.0000	1316	1.0000	1410	1.0000	1504	1.0000	1598	1.0000	1692	1.0000	1786	1.0000	1880	1.0000
1248	1.0000	1344	1.0000	1440	1.0000	1536	1.0000	1632	1.0000	1728	1.0000	1824	1.0000	1920	1.0000
1274	1.0000	1372	1.0000	1470	1.0000	1568	1.0000	1666	1.0000	1764	1.0000	1862	1.0000	1960	1.0000
1300	1.0000	1400	1.0000	1500	1.0000	1600	1.0000	1700	1.0000	1800	1.0000	1900	1.0000	2000	1.0000

Tabla A.7. (Continuación), Vulnerabilidad de la vivienda hecha con muros de tabique con refuerzo tradicional de varilla, con techo rígido, para diferentes velocidades regionales de viento.

Caso de estudio, ver simbología del apéndice															
Caso 1		Caso 2		Caso 3		Caso 4		Caso 5		Caso 6		Caso 7		Caso 8	
V <sub>R</sub> (km/h)	Daño	V <sub>R</sub> (km/h)	Daño	V <sub>R</sub> (km/h)	Daño	V <sub>R</sub> (km/h)	Daño	V <sub>R</sub> (km/h)	Daño	V <sub>R</sub> (km/h)	Daño	V <sub>R</sub> (km/h)	Daño	V <sub>R</sub> (km/h)	Daño
0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
17	0.0000	17	0.0000	16	0.0000	16	0.0000	15	0.0000	15	0.0000	14	0.0000	14	0.0000
34	0.0000	33	0.0000	32	0.0000	31	0.0000	30	0.0000	29	0.0000	28	0.0000	27	0.0000
51	0.0000	50	0.0000	48	0.0000	47	0.0000	45	0.0000	44	0.0000	42	0.0000	41	0.0000
68	0.0000	66	0.0000	64	0.0000	62	0.0000	60	0.0000	58	0.0000	56	0.0000	54	0.0000
85	0.0000	83	0.0000	80	0.0000	78	0.0000	75	0.0000	73	0.0000	70	0.0000	68	0.0001
102	0.0000	99	0.0000	96	0.0000	93	0.0000	90	0.0000	87	0.0000	84	0.0005	81	0.0026
119	0.0000	116	0.0000	112	0.0000	109	0.0000	105	0.0000	102	0.0002	98	0.0073	95	0.0415
136	0.0000	132	0.0000	128	0.0000	124	0.0000	120	0.0000	116	0.0018	112	0.0779	108	0.3740
153	0.0000	149	0.0001	144	0.0001	140	0.0001	135	0.0002	131	0.0149	126	0.4911	122	0.9798
170	0.0000	165	0.0003	160	0.0003	155	0.0005	150	0.0010	145	0.0952	140	0.9889	135	1.0000
187	0.0000	182	0.0010	176	0.0010	171	0.0024	165	0.0049	160	0.4265	154	1.0000	149	1.0000
204	0.0001	198	0.0027	192	0.0027	186	0.0103	180	0.0212	174	0.9302	168	1.0000	162	1.0000
221	0.0003	215	0.0071	208	0.0071	202	0.0382	195	0.0788	189	1.0000	182	1.0000	176	1.0000
238	0.0009	231	0.0174	224	0.0174	217	0.1248	210	0.2480	203	1.0000	196	1.0000	189	1.0000
255	0.0024	248	0.0397	240	0.0397	233	0.3422	225	0.5969	218	1.0000	210	1.0000	203	1.0000
272	0.0057	264	0.0847	256	0.0847	248	0.7056	240	0.9319	232	1.0000	224	1.0000	216	1.0000
289	0.0128	281	0.1683	272	0.1683	264	0.9647	255	0.9994	247	1.0000	238	1.0000	230	1.0000
306	0.0276	297	0.3079	288	0.3079	279	0.9998	270	1.0000	261	1.0000	252	1.0000	243	1.0000
323	0.0563	314	0.5074	304	0.5074	295	1.0000	285	1.0000	276	1.0000	266	1.0000	257	1.0000
340	0.1094	330	0.7321	320	0.7321	310	1.0000	300	1.0000	290	1.0000	280	1.0000	270	1.0000
357	0.2006	347	0.9071	336	0.9071	326	1.0000	315	1.0000	305	1.0000	294	1.0000	284	1.0000
374	0.3426	363	0.9846	352	0.9846	341	1.0000	330	1.0000	319	1.0000	308	1.0000	297	1.0000
391	0.5344	380	0.9992	368	0.9992	357	1.0000	345	1.0000	334	1.0000	322	1.0000	311	1.0000
408	0.7428	396	1.0000	384	1.0000	372	1.0000	360	1.0000	348	1.0000	336	1.0000	324	1.0000
425	0.9052	413	1.0000	400	1.0000	388	1.0000	375	1.0000	363	1.0000	350	1.0000	338	1.0000
442	0.9817	429	1.0000	416	1.0000	403	1.0000	390	1.0000	377	1.0000	364	1.0000	351	1.0000
459	0.9987	446	1.0000	432	1.0000	419	1.0000	405	1.0000	392	1.0000	378	1.0000	365	1.0000
476	1.0000	462	1.0000	448	1.0000	434	1.0000	420	1.0000	406	1.0000	392	1.0000	378	1.0000
493	1.0000	479	1.0000	464	1.0000	450	1.0000	435	1.0000	421	1.0000	406	1.0000	392	1.0000
510	1.0000	495	1.0000	480	1.0000	465	1.0000	450	1.0000	435	1.0000	420	1.0000	405	1.0000

Tabla A.8. Vulnerabilidad de muros aislados (bardas de colindancia) de tabique con refuerzo pre-armado, para diferentes velocidades regionales de viento.

Caso de estudio, ver simbología del apéndice															
Caso 1		Caso 2		Caso 3		Caso 4		Caso 5		Caso 6		Caso 7		Caso 8	
V <sub>R</sub> (km/h)	Daño	V <sub>R</sub> (km/h)	Daño	V <sub>R</sub> (km/h)	Daño	V <sub>R</sub> (km/h)	Daño	V <sub>R</sub> (km/h)	Daño	V <sub>R</sub> (km/h)	Daño	V <sub>R</sub> (km/h)	Daño	V <sub>R</sub> (km/h)	Daño
0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
13	0.0000	14	0.0000	15	0.0000	16	0.0000	17	0.0000	18	0.0000	19	0.0000	20	0.0000
26	0.0000	28	0.0000	30	0.0000	32	0.0000	34	0.0000	36	0.0000	38	0.0000	40	0.0000
39	0.0000	42	0.0000	45	0.0000	48	0.0000	51	0.0000	54	0.0000	57	0.0000	60	0.0000
52	0.0000	56	0.0000	60	0.0000	64	0.0000	68	0.0000	72	0.0000	76	0.0000	80	0.0000
65	0.0000	70	0.0000	75	0.0000	80	0.0000	85	0.0000	90	0.0000	95	0.0000	100	0.0000
78	0.0000	84	0.0000	90	0.0000	96	0.0000	102	0.0000	108	0.0000	114	0.0001	120	0.0001
91	0.0000	98	0.0000	105	0.0000	112	0.0000	119	0.0000	126	0.0000	133	0.0003	140	0.0003
104	0.0000	112	0.0001	120	0.0000	128	0.0000	136	0.0000	144	0.0000	152	0.0012	160	0.0011
117	0.0000	126	0.0002	135	0.0000	144	0.0000	153	0.0000	162	0.0000	171	0.0037	180	0.0035
130	0.0000	140	0.0003	150	0.0001	160	0.0001	170	0.0001	180	0.0001	190	0.0100	200	0.0100
143	0.0000	154	0.0006	165	0.0002	176	0.0002	187	0.0002	198	0.0001	209	0.0244	220	0.0256
156	0.0000	168	0.0010	180	0.0004	192	0.0005	204	0.0005	216	0.0002	228	0.0550	240	0.0600
169	0.0000	182	0.0016	195	0.0008	208	0.0009	221	0.0011	234	0.0004	247	0.1139	260	0.1288
182	0.0001	196	0.0027	210	0.0015	224	0.0017	238	0.0022	252	0.0006	266	0.2169	280	0.2512
195	0.0002	210	0.0042	225	0.0026	240	0.0031	255	0.0042	270	0.0010	285	0.3755	300	0.4382
208	0.0003	224	0.0063	240	0.0043	256	0.0054	272	0.0075	288	0.0016	304	0.5807	320	0.6670
221	0.0005	238	0.0094	255	0.0070	272	0.0091	289	0.0131	306	0.0025	323	0.7869	340	0.8668
234	0.0007	252	0.0136	270	0.0110	288	0.0147	306	0.0221	324	0.0038	342	0.9301	360	0.9719
247	0.0012	266	0.0193	285	0.0168	304	0.0231	323	0.0360	342	0.0056	361	0.9883	380	0.9978
260	0.0018	280	0.0268	300	0.0253	320	0.0356	340	0.0571	360	0.0083	380	0.9993	400	1.0000
273	0.0027	294	0.0366	315	0.0371	336	0.0533	357	0.0880	378	0.0120	399	1.0000	420	1.0000
286	0.0041	308	0.0492	330	0.0534	352	0.0782	374	0.1318	396	0.0172	418	1.0000	440	1.0000
299	0.0059	322	0.0651	345	0.0753	368	0.1120	391	0.1917	414	0.0242	437	1.0000	460	1.0000
312	0.0085	336	0.0850	360	0.1042	384	0.1568	408	0.2700	432	0.0335	456	1.0000	480	1.0000
325	0.0120	350	0.1094	375	0.1415	400	0.2144	425	0.3676	450	0.0460	475	1.0000	500	1.0000
338	0.0167	364	0.1388	390	0.1885	416	0.2859	442	0.4817	468	0.0833	494	1.0000	520	1.0000
351	0.0229	378	0.1739	405	0.2461	432	0.3713	459	0.6055	486	0.1433	513	1.0000	540	1.0000
364	0.0311	392	0.2149	420	0.3146	448	0.4686	476	0.7274	504	0.2337	532	1.0000	560	1.0000
377	0.0417	406	0.2621	435	0.3936	464	0.5734	493	0.8339	522	0.3590	551	1.0000	580	1.0000
390	0.0552	420	0.3153	450	0.4811	480	0.6790	510	0.9139	540	0.5152	570	1.0000	600	1.0000
403	0.0723	434	0.3742	465	0.5738	496	0.7772	527	0.9637	558	0.6837	589	1.0000	620	1.0000
416	0.0937	448	0.4380	480	0.6670	512	0.8601	544	0.9882	576	0.8332	608	1.0000	640	1.0000
429	0.1199	462	0.5053	495	0.7550	528	0.9223	561	0.9972	594	0.9349	627	1.0000	660	1.0000
442	0.1518	476	0.5745	510	0.8323	544	0.9629	578	0.9996	612	0.9833	646	1.0000	680	1.0000
455	0.1899	490	0.6436	525	0.8948	560	0.9852	595	1.0000	630	0.9976	665	1.0000	700	1.0000
468	0.2348	504	0.7103	540	0.9405	576	0.9953	612	1.0000	648	0.9998	684	1.0000	720	1.0000
481	0.2867	518	0.7725	555	0.9702	592	0.9988	629	1.0000	666	1.0000	703	1.0000	740	1.0000
494	0.3454	532	0.8281	570	0.9871	608	0.9998	646	1.0000	684	1.0000	722	1.0000	760	1.0000
507	0.4105	546	0.8757	585	0.9953	624	1.0000	663	1.0000	702	1.0000	741	1.0000	780	1.0000
520	0.4807	560	0.9144	600	0.9986	640	1.0000	680	1.0000	720	1.0000	760	1.0000	800	1.0000
533	0.5544	574	0.9442	615	0.9997	656	1.0000	697	1.0000	738	1.0000	779	1.0000	820	1.0000
546	0.6292	588	0.9658	630	0.9999	672	1.0000	714	1.0000	756	1.0000	798	1.0000	840	1.0000
559	0.7024	602	0.9804	645	1.0000	688	1.0000	731	1.0000	774	1.0000	817	1.0000	860	1.0000
572	0.7709	616	0.9896	660	1.0000	704	1.0000	748	1.0000	792	1.0000	836	1.0000	880	1.0000
585	0.8320	630	0.9949	675	1.0000	720	1.0000	765	1.0000	810	1.0000	855	1.0000	900	1.0000
598	0.8835	644	0.9977	690	1.0000	736	1.0000	782	1.0000	828	1.0000	874	1.0000	920	1.0000
611	0.9243	658	0.9991	705	1.0000	752	1.0000	799	1.0000	846	1.0000	893	1.0000	940	1.0000
624	0.9544	672	0.9997	720	1.0000	768	1.0000	816	1.0000	864	1.0000	912	1.0000	960	1.0000
637	0.9747	686	0.9999	735	1.0000	784	1.0000	833	1.0000	882	1.0000	931	1.0000	980	1.0000
650	0.9873	700	1.0000	750	1.0000	800	1.0000	850	1.0000	900	1.0000	950	1.0000	1000	1.0000
666	0.9977	728	1.0000	780	1.0000	832	1.0000	884	1.0000	936	1.0000	988	1.0000	1040	1.0000
702	0.9998	756	1.0000	810	1.0000	864	1.0000	918	1.0000	972	1.0000	1026	1.0000	1080	1.0000
728	1.0000	784	1.0000	840	1.0000	896	1.0000	952	1.0000	1008	1.0000	1064	1.0000	1120	1.0000
754	1.0000	812	1.0000	870	1.0000	928	1.0000	986	1.0000	1044	1.0000	1102	1.0000	1160	1.0000
780	1.0000	840	1.0000	900	1.0000	960	1.0000	1020	1.0000	1080	1.0000	1140	1.0000	1200	1.0000

Tabla A.9. Vulnerabilidad de muros de tabique con refuerzo pre-armado para vivienda con techo flexible, para diferentes velocidades regionales de viento

Caso de estudio, ver simbología del apéndice															
Caso 1		Caso 2		Caso 3		Caso 4		Caso 5		Caso 6		Caso 7		Caso 8	
V <sub>R</sub> (km/h)	Daño	V <sub>R</sub> (km/h)	Daño	V <sub>R</sub> (km/h)	Daño	V <sub>R</sub> (km/h)	Daño	V <sub>R</sub> (km/h)	Daño	V <sub>R</sub> (km/h)	Daño	V <sub>R</sub> (km/h)	Daño	V <sub>R</sub> (km/h)	Daño
0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
13	0.0000	14	0.0000	15	0.0000	16	0.0000	17	0.0000	18	0.0000	19	0.0000	20	0.0000
26	0.0000	28	0.0000	30	0.0000	32	0.0000	34	0.0000	36	0.0000	38	0.0000	40	0.0000
39	0.0000	42	0.0000	45	0.0000	48	0.0000	51	0.0000	54	0.0000	57	0.0000	60	0.0000
52	0.0000	56	0.0000	60	0.0000	64	0.0000	68	0.0000	72	0.0000	76	0.0000	80	0.0000
65	0.0000	70	0.0000	75	0.0000	80	0.0000	85	0.0000	90	0.0000	95	0.0000	100	0.0000
78	0.0000	84	0.0000	90	0.0000	96	0.0000	102	0.0000	108	0.0000	114	0.0000	120	0.0000
91	0.0000	98	0.0000	105	0.0000	112	0.0000	119	0.0000	126	0.0000	133	0.0000	140	0.0001
104	0.0000	112	0.0000	120	0.0000	128	0.0000	136	0.0000	144	0.0000	152	0.0001	160	0.0003
117	0.0000	126	0.0000	135	0.0000	144	0.0000	153	0.0000	162	0.0000	171	0.0004	180	0.0008
130	0.0000	140	0.0000	150	0.0000	160	0.0000	170	0.0001	180	0.0000	190	0.0010	200	0.0020
143	0.0000	154	0.0000	165	0.0000	176	0.0000	187	0.0001	198	0.0000	209	0.0024	220	0.0047
156	0.0000	168	0.0000	180	0.0000	192	0.0001	204	0.0003	216	0.000021	228	0.0051	240	0.0103
169	0.0000	182	0.0001	195	0.0001	208	0.0001	221	0.0005	234	0.0000	247	0.0105	260	0.0210
182	0.0000	196	0.0001	210	0.0001	224	0.0002	238	0.0009	252	0.0001	266	0.0204	280	0.0405
195	0.0000	210	0.0003	225	0.0002	240	0.0004	255	0.0015	270	0.0001	285	0.0377	300	0.0740
208	0.0000	224	0.0004	240	0.0003	256	0.0007	272	0.0026	288	0.0002	304	0.0664	320	0.1284
221	0.0001	238	0.0007	255	0.0006	272	0.0012	289	0.0042	306	0.0002	323	0.1118	340	0.2111
234	0.0001	252	0.0011	270	0.0010	288	0.0020	306	0.0066	324	0.0004	342	0.1799	360	0.3275
247	0.0002	266	0.0017	285	0.0016	304	0.0032	323	0.0101	342	0.0006	361	0.2758	380	0.4755
260	0.0002	280	0.0026	300	0.0026	320	0.0051	340	0.0152	360	0.0008	380	0.4007	400	0.6408
273	0.0004	294	0.0038	315	0.0040	336	0.0079	357	0.0224	378	0.0012	399	0.5481	420	0.7958
286	0.0005	308	0.0055	330	0.0060	352	0.0120	374	0.0324	396	0.0017	418	0.7010	440	0.9106
299	0.0007	322	0.0078	345	0.0090	368	0.0179	391	0.0459	414	0.0024	437	0.8349	460	0.9727
312	0.0010	336	0.0109	360	0.0131	384	0.0261	408	0.0639	432	0.0034	456	0.9288	480	0.9949
325	0.0015	350	0.0151	375	0.0189	400	0.0374	425	0.0875	450	0.0047	475	0.9780	500	0.9995
338	0.0020	364	0.0207	390	0.0268	416	0.0528	442	0.1178	468	0.0087	494	0.9956	520	1.0000
351	0.0028	378	0.0278	405	0.0374	432	0.0734	459	0.1559	486	0.0153	513	0.9995	540	1.0000
364	0.0037	392	0.0371	420	0.0515	448	0.1004	476	0.2028	504	0.0263	532	1.0000	560	1.0000
377	0.0049	406	0.0488	435	0.0700	464	0.1350	493	0.2593	522	0.0435	551	1.0000	580	1.0000
390	0.0065	420	0.0635	450	0.0937	480	0.1787	510	0.3254	540	0.0698	570	1.0000	600	1.0000
403	0.0085	434	0.0818	465	0.1238	496	0.2323	527	0.4005	558	0.1087	589	1.0000	620	1.0000
416	0.0110	448	0.1041	480	0.1613	512	0.2966	544	0.4830	576	0.1640	608	1.0000	640	1.0000
429	0.0142	462	0.1312	495	0.2071	528	0.3713	561	0.5699	594	0.2390	627	1.0000	660	1.0000
442	0.0181	476	0.1635	510	0.2618	544	0.4551	578	0.6575	612	0.3359	646	1.0000	680	1.0000
455	0.0229	490	0.2016	525	0.3257	560	0.5453	595	0.7411	630	0.4529	665	1.0000	700	1.0000
468	0.0287	504	0.2458	540	0.3982	576	0.6378	612	0.8160	648	0.5833	684	1.0000	720	1.0000
481	0.0358	518	0.2962	555	0.4779	592	0.7274	629	0.8785	666	0.7144	703	1.0000	740	1.0000
494	0.0444	532	0.3526	570	0.5622	608	0.8084	646	0.9264	684	0.8297	722	1.0000	760	1.0000
507	0.0547	546	0.4144	585	0.6478	624	0.8760	663	0.9597	702	0.9155	741	1.0000	780	1.0000
520	0.0668	560	0.4807	600	0.7304	640	0.9273	680	0.9804	720	0.9669	760	1.0000	800	1.0000
533	0.0812	574	0.5500	615	0.8054	656	0.9621	697	0.9917	738	0.9905	779	1.0000	820	1.0000
546	0.0981	588	0.6203	630	0.8691	672	0.9829	714	0.9970	756	0.9982	798	1.0000	840	1.0000
559	0.1177	602	0.6893	645	0.9190	688	0.9934	731	0.9991	774	0.9998	817	1.0000	860	1.0000
572	0.1403	616	0.7546	660	0.9545	704	0.9979	748	0.9998	792	1.0000	836	1.0000	880	1.0000
585	0.1662	630	0.8139	675	0.9773	720	0.9995	765	1.0000	810	1.0000	855	1.0000	900	1.0000
598	0.1956	644	0.8653	690	0.9901	736	0.9999	782	1.0000	828	1.0000	874	1.0000	920	1.0000
611	0.2286	658	0.9076	705	0.9963	752	1.0000	799	1.0000	846	1.0000	893	1.0000	940	1.0000
624	0.2655	672	0.9403	720	0.9988	768	1.0000	816	1.0000	864	1.0000	912	1.0000	960	1.0000
637	0.3060	686	0.9640	735	0.9997	784	1.0000	833	1.0000	882	1.0000	931	1.0000	980	1.0000
650	0.3502	700	0.9799	750	0.9999	800	1.0000	850	1.0000	900	1.0000	950	1.0000	1000	1.0000
676	0.4483	728	0.9952	780	1.0000	832	1.0000	884	1.0000	936	1.0000	988	1.0000	1040	1.0000
702	0.5553	756	0.9993	810	1.0000	864	1.0000	918	1.0000	972	1.0000	1026	1.0000	1080	1.0000
728	0.6645	784	0.9999	840	1.0000	896	1.0000	952	1.0000	1008	1.0000	1064	1.0000	1120	1.0000
754	0.7669	812	1.0000	870	1.0000	928	1.0000	986	1.0000	1044	1.0000	1102	1.0000	1160	1.0000
780	0.8538	840	1.0000	900	1.0000	960	1.0000	1020	1.0000	1080	1.0000	1140	1.0000	1200	1.0000
806	0.9192	868	1.0000	930	1.0000	992	1.0000	1054	1.0000	1116	1.0000	1178	1.0000	1240	1.0000
832	0.9618	896	1.0000	960	1.0000	1024	1.0000	1088	1.0000	1152	1.0000	1216	1.0000	1280	1.0000
858	0.9850	924	1.0000	990	1.0000	1056	1.0000	1122	1.0000	1188	1.0000	1254	1.0000	1320	1.0000
884	0.9953	952	1.0000	1020	1.0000	1088	1.0000	1156	1.0000	1224	1.0000	1292	1.0000	1360	1.0000
910	0.9989	980	1.0000	1050	1.0000	1120	1.0000	1190	1.0000	1260	1.0000	1330	1.0000	1400	1.0000
936	0.9998	1008	1.0000	1080	1.0000	1152	1.0000	1224	1.0000	1296	1.0000	1368	1.0000	1440	1.0000
962	1.0000	1036	1.0000	1110	1.0000	1184	1.0000	1258	1.0000	1332	1.0000	1406	1.0000	1480	1.0000
988	1.0000	1064	1.0000	1140	1.0000	1216	1.0000	1292	1.0000	1368	1.0000	1444	1.0000	1520	1.0000
1014	1.0000	1092	1.0000	1170	1.0000	1248	1.0000	1326	1.0000	1404	1.0000	1482	1.0000	1560	1.0000
1040	1.0000	1120	1.0000	1200	1.0000	1280	1.0000	1360	1.0000	1440	1.0000	1520	1.0000	1600	1.0000

Tabla A.10. Vulnerabilidad de la vivienda hecha con muros de tabique con refuerzo pre-armado, con techo rígido, para diferentes velocidades regionales de viento.

## APÉNDICE B

### TABLA DE VELOCIDADES REGIONALES EN LA REPUBLICA MEXICANA, CFE-2008

*Tabla B.1. Velocidades Regionales, (Comisión Federal de Electricidad, 2008).*

CIUDAD	$Tr_{10}$	$Tr_{50}$	$Tr_{200}$	$Q_5$	$Q_{15}$
Acapulco Gro.	120	150	173	166	190
Aguascalientes, Ags.	110	120	140	140	150
Buenavista, Edo. de Méx.	100	111	121	130	140
Campeche, Camp.	108	135	160	150	170
Cancún, Q. Roo	141	196	243	190	240
Cd. Acuña, Coah.	143	170	188	195	208
Cd. Apodaca, N. L.	125	145	162	167	178
Cd. Constitución, B. C. S.	105	137	164	155	177
Cd. Del Carmen	104	120	136	139	150
Cd. General Escobedo, N. L.	24	144	161	166	176
Cd. Guzmán, Jal.	120	140	150	160	170
Cd. Juárez, Chih.	129	144	160	170	180
Cd. Lopez Mateos, Edo. de Méx.	100	112	122	130	140
Cd. Madero, Tamps.	126	154	185	166	187
Cd. Nezahualcóyotl, Edo. de Méx.	100	111	121	130	136
Cd. Obregón, Son.	140	156	173	180	190
Cd. Santa Catarina, N. L.	124	144	159	165	175
Cd. Valles, S. L. P.	120	134	150	153	164
Cd. Victoria, Tamps.	135	159	170	180	190
Celaya, Gto.	113	128	140	146	154
Chalco de Díaz Covarrubias, Edo. de Méx.	100	111	122	130	135
Chapingo, Edo. Méx.	100	110	120	130	140
Chetumal, Q. Roo.	113	153	189	153	193
Chicoloapan de Juárez, Edo. de Méx.	100	110	120	130	135
Chihuahua, Chih.	130	150	162	170	180
Chilpancingo, Gro.	120	138	150	157	166
Chimalhuacán, Edo. de Mex.	100	110	120	130	136
Coatzacoalcos, Ver.	132	148	163	168	178
Colima, Col.	130	150	170	171	186
Colotlán, Oax.	120	131	150	150	160
Comitán, Chis.	97	110	123	130	140
Córdoba, Ver.	138	159	174	181	192
Cozumel, Q. Roo	140	200	250	178	245
Cuautitlan Izcalli, Edo. de Méx.	100	110	121	130	140
Cuautla Mor.	105	119	130	138	143
Cuernavaca, Mor.	102	120	130	140	142
Culiacán, Sin.	90	107	120	127	137
Delicias, Chih.	130	148	160	169	178
Durango, Dgo.	110	124	140	143	153
Ecatepec de Morelos, Edo. de Méx.	100	111	121	130	140
Ensenada, B. C.	86	105	120	125	135
Fresnillo, Zac.	117	134	145	153	161
Gómez Palacio, Dgo.	130	149	160	170	180
Guadalajara, Jal.	100	110	120	130	140
Guadalupe, N. L.	125	145	161	167	177
Guanajuato, Gto.	140	160	170	180	190
Guaymas, Son.	139	159	170	180	190
Hermosillo, Son.	108	120	140	140	150
Heroica Matamoros, Tamps.	134	164	190	184	203
Heroica Nogales, Son.	115	134	150	154	166
Hidalgo del Parral, Chih.	120	133	150	153	163
Huajuapán de León, Oax.	110	130	140	150	158
Huixquilucan, Edo. de Méx.	100	114	125	132	140
Iguala de la Independencia, Gro.	110	127	139	144	152
Irapuato, Gto.	123	139	151	159	167
Isla Socorro, Col.	169	222	270	226	280
Ixtapaluca, Edo. de Méx.	100	111	121	130	135
Jalapa, Ver.	120	139	150	159	170
Jiutepec, Mor.	106	120	132	140	146
La paz, B. C.	124	164	197	177	208
Lagos de Moreno, Jal.	124	136	147	155	164
Laguna Verde, Ver.	109	137	160	155	172

CIUDAD	$Tr_{10}$	$Tr_{50}$	$Tr_{200}$	$Q_5$	$Q_{15}$
León de los Aldama, Gto.	140	159	170	180	188
Loreto, B. C. S.	101	131	157	149	170
Los Mochis, Sin.	107	137	161	154	176
Los Reyes Acaquilpan, Edo. de Méx.	100	111	121	130	136
Manzanillo, Col.	127	164	195	180	208
Mazatlán, Sin.	130	179	220	180	220
Mérida, Yuc.	126	172	213	170	214
Metepec, Edo de Méx.	100	114	125	132	139
Mexicali, B. C.	83	101	116	121	131
México D. F.	100	110	120	130	139
Minatitlán, Ver.	128	142	157	162	172
Monclova Coah.	128	147	164	172	183
Monterrey, N. L.	123	143	160	164	175
Morelia, Mich.	110	120	130	140	150
Naucalpan de Juárez, Edo. de Méx.	100	113	123	131	140
Navjoa, Son.	140	155	173	180	190
Nuevo Laredo, Tamps.	130	151	170	173	189
Nuevo Casas Grandes, Chih.	127	144	160	165	175
Oaxaca, Oax.	100	110	120	130	140
Ojo de Agua, Edo. de Méx.	100	110	121	130	140
Orizaba, Ver.	130	147	163	170	177
Pachuca, Hgo.	100	117	128	130	140
Piedras Negras, Coah.	160	180	190	200	210
Pilares de Nacozari, Son.	120	140	152	160	170
Playa del Carmen, Q. Roo	137	189	236	180	234
Poza Rica de Hidalgo, Ver.	120	141	160	162	176
Progreso, Yuc.	130	180	220	170	220
Puebla, Pue.	100	112	122	130	134
Puerto Cortés, B. C.	110	140	170	160	180
Puerto Vallarta, Jal.	114	137	155	157	171
Querétaro, Qro.	115	129	143	148	156
Reynosa, Tamps.	130	156	170	179	190
Rio Verde, SLP.	100	120	131	140	150
Salamanca, Gto.	120	137	148	156	164
Salina Cruz, Oax.	120	138	150	154	165
Saltillo, Coah.	120	130	140	150	160
S. C. de las Casas, Chis.	100	110	120	130	140
San Francisco Coacalco, Edo. de Méx.	100	110	121	130	140
San Juan del Rio, Qro.	105	118	129	137	143
S. Luis Potosí, SLP.	130	140	160	160	170
San Luis Rio Colorado, Son.	85	104	122	123	135
Sn Nicolás de los Garza, N. L.	125	145	161	166	177
San Pedro Garza Gracia, N. L.	132	144	160	165	176
Soledad de Graciano Sánchez, S. L. P.	1320	138	151	158	167
Sombrerete, Zac.	120	140	150	150	160
S. la Marina, Tamps.	139	166	186	187	203
Tampico, Tamps.	125	153	186	165	187
Tamaulín, SLP.	120	138	150	157	168
Tapachula Chis.	100	119	130	138	149
Tehuacán, Pue.	123	141	154	162	171
Tepehuanes, Dgo.	120	140	150	160	170
Tepic, Nay.	110	130	149	150	167
Tijuana, B. C.	100	119	130	130	140
Tlalnepantla, Edo. de Méx.	100	112	122	130	140
Tlaquepaque, Jal.	109	126	140	146	155
Tlaxcala, Tlax.	100	110	120	130	130
Toluca, Edo. Méx.	100	110	120	130	130
Tonalá, Jal.	110	128	141	148	157
Torreón, Coah.	130	150	160	170	180
Tulancingo, Hgo.	106	124	135	143	149
Tuxpan, Ver.	123	149	129	170	184
Tuxtla Gutiérrez., Chis.	104	120	131	136	144
Uruapan, Mich.	127	150	166	170	184
Valladolid, Yuc.	123	157	195	165	198
Veracruz, Ver.	140	170	180	190	200
Villa Nicolás Romero, Edo. de Méx.	100	111	121	130	140
Villahermosa, Tab.	112	128	140	147	155
Xico, Edo. de Méx.	100	111	122	130	135
Zacatecas, Zac.	117	133	146	152	160
Zamora, Mich.	123	142	156	164	170

---

**REFERENCIA BIBLIOGRAFICA**

- [1]. Amrhein J. E., Reinforced Masonry Engineering Handbook, Masonry institute of America, California, United States of America, 1972, pp. 23-30.
- [2]. ANSI-A 58.1-1981, *Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures*, American National Standard Institute, Washington, 1981.
- [3]. Bitrán D., *Características del impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en México en El periodo 1980–1999*, Serie Impacto Socioeconómico de los Desastres en México, CENAPRED, México, D. F., 2001, pp. 107.
- [4]. Building Research Station Digest, *The assessment of wind loads*, British Standard Code of Practice, Chapter V, Part 2, 1970.
- [5]. Comarazamy D., Gibbs T., *Mitigación de Desastres en Instalaciones de Salud*, Grupo de Estabilidad Estructural (Ge<sup>2</sup>/INTEC), Santo Domingo, República Dominicana, 2005.
- [6]. Comisión Federal de Electricidad (CFE), *Manual de Obras Civiles, Diseño por Viento*, México, 1993.
- [7]. Compañía Siderúrgica de Guadalajara, *Manual para Construcción en Acero*, Compañía Siderúrgica de Guadalajara S. A. de C. V., Zapopan Jalisco, Septiembre 1993, pp.154-155.
- [8]. Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED), *Cartilla breve para refuerzo de La vivienda rural de autoconstrucción contra sismo y viento*, Coordinación General de Protección Dirección General de Protección Civil, Dirección general del Fondo de Desastres Naturales, México D. F., 2001.
- [9]. Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED), *Diagnóstico de peligros e identificación de riesgos de desastre en México*, ISBN 970-628-593-8, México D. F., 2001, 225 pp.
- [10]. Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED), *Evaluación de la Vulnerabilidad Física y Social*, Guía Básica para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos, Series Atlas Nacional de Riesgos, Dirección General de Protección Civil, México D. F., 2006.
- [11]. Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED), *Guía Básica para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos*, Serie Atlas Nacional de Riesgos, Vol. 1, Versión 2006, ISBN 970- 628-872-4, 2004, 311 pp.
- [12]. Davenport A. G., *The application of statistical concepts to the wind loading of structures*, Proceedings of the Inst. Of Civ. Eng., 19-449-72. 1961.
- [13]. Davenport A. G., *Wind Loading and Wind Effects*, Memories de Planning and Designing of Tall Buildings, ASCE-IABASE, Vol. 1b, Nueva York, 1973.
- [14]. Dyrbye C., Hansen S., *Wind load son structures*, John Wiley and Sons, 1997.
- [15]. Escalante José Fernando, *Efecto del Viento sobre las estructuras*, Tesis de Maestría, Lima Perú, 1986.
- [16]. Eurocode 1, *Basis of design and action on structures Part 2-4*, European Pre-standar ENV 991-2-4, 1995.
- [17]. Fernández L., Reimundin J.C, Cudmani R., Agosti C., *Daños causados por la acción del viento*, Reglamento CIRSOC 102.

- 
- [18]. Ghiocel D., Lungu D., *Wind, Snow and Temperature Effects on Structures Based on Probability*, Abacus Press, Kent, GB, 1975.
- [19]. Harris R., *The Nature of Wind*, CIRIA Reports, 1971, pp. 39-50.
- [20]. López Bátiz O., Toledo Sánchez H. (2003), *Estudio de la seguridad de las edificaciones de vivienda ante la incidencia del viento*, Informe Técnico del Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED), Subdirección de Estructuras y Geotecnia, México Distrito Federal.
- [21]. Martin Jensen, Niels Franck, *Model-scale tests in turbulent wind*, Part II. The Danish Technical Press, Copenhagen, 1965.
- [22]. Martínez P., *Respuesta de estructuras sometidas al viento turbulento, mediante análisis espectral*. Tesis de Maestría UNAM, 2001.
- [23]. Meli Piralla Roberto, *Diseño estructural*, Editorial Limusa, México D. F., 2001, pp. 207-223.
- [24]. Mesenguer J., Sanz A., Perales J., Pindado S., *Aerodinámica Civil*, Mc. Graw-Hill Interamericana de España, Avaraca Madrid, 2001.
- [25]. NBC. National Research Council Of Canada, Ottawa, 1981.
- [26]. Newberry C. W., Eaton K. J., Mayne J. R., *The nature of gust on tall buildings*, International Seminar on Wind Effect on Buildings and Structures, Ottawa Canada, September 1967.
- [27]. Ning Chieng, Yin Feng, H. Wang and T. Siao, *Wind tunnel studies of pressure distribution on elementary building forms*, Iowa Institute of Hydraulic Research, Iowa City, 1951.
- [28]. Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal, *Normas Técnicas Complementarias para el Diseño y construcción de estructuras de Concreto*, México, D. F., 2004.
- [29]. Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal, *Normas Técnicas Complementarias para el Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería*, México, D. F., 2004.
- [30]. Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal, *Normas Técnicas Complementarias para el Diseño de estructuras por Viento*, México, D. F., 2004.
- [31]. Rodríguez Cuevas N., *Variación de la velocidad del viento con la altura*, Revista de Ingeniería, vol. XXXI, 4, México D. F., 1961, pp. 34-39.
- [32]. Rosengaus M. M., *Efectos Destructivos de Ciclones Tropicales*, Editorial MAPFRE, Madrid, España, pp. 251, 1998.
- [33]. Sandoval H., *Regionalización Eólica de la República Mexicana*, Instituto de Ingeniería, UNAM, Informe Interno, México D. F., 1976.
- [34]. S. Timoshenko, S. Woinowsky-Krieger, *Theory of Plates and Shells*, Mc. Graw-Hill, New York, United States of America, 1959, pp.208-240.
- [35]. Simiu E., Scanlan H., *Wind effects on structures: an introduction to wind engineering*, John Wiley, New York, 1978.
- [36]. Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural, *Volumen de Colección de Tablas, Gráficas y Descripciones de Procedimientos*, Ayudas de Diseño, 1977.
- [37]. Velázquez J. I., Castorena J. H., Reyes A., *Modelación mediante la teoría de placas laminadas de muros de mampostería reforzados con compuestos y sujetos a flexión*, Facultad de Ingeniería UAS, Culiacán Sinaloa, Enero 2008.

- [38]. Walshe D. E., Wootton L. R., *Preventing wind-induced oscillations of structures of circular section*. Proceedings of the Institution of Civil Engineers Paper 72 89, Vol. 47, September 1970, pp 1-24.
- [39]. Whitbread R.E., Miss M. Packer, *A comparison of the pressure distribution on gabled and hipped roofs*, NPL Aero Report No. 431, 1961.
- [40]. Wotton L. R., *The oscillations of large circular stacks in wind*, Proceedings of the institution of Civil Engineers Paper 7188, Vol. 43, Augusts 1969, pp 573-598.
- [41]. Centro Nacional de Huracanes de Estados Unidos 1969, (*Escala de Huracanes de Saffir-Simpson, Wikipedia*).
- [42]. Rodríguez Cuevas, Neftalí, *Apuntes de la Materia de Diseño Eólico*, DEPMI 2007.
- [43]. Comisión Federal de Electricidad (CFE), *Manual de Obras Civiles, Diseño por Viento*, México, 2008.