



MORELIA MICHOACÁN, JULIO 2007

**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE
SAN NICOLÁS DE HIDALGO**



FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

**TESIS QUE PRESENTA EL C. YANET GARCÍA ORTUÑO
PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

CON EL TÍTULO:

**“DETERMINACIÓN DEL PELIGRO Y DE LAS FUNCIONES
DE VULNERABILIDAD, CON FINES DE EVALUACIÓN
DEL RIESGO EÓLICO EN ESTRUCTURAS,
EN EL ESTADO DE MICHOACÁN”**

ASESORES:

**DR. HUGO HERNÁNDEZ BARRIOS
DR. ALBERTO LÓPEZ LÓPEZ**



ÍNDICE

	PÁGINA
INTRODUCCIÓN	
<i>i</i>	
CAPÍTULO 1 RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE BIBLIOGRAFÍA SOBRE PELIGRO Y VULNERABILIDAD POR VIENTO EN ESTRUCTURAS	1-1
1.1. ARTÍCULOS RELACIONADOS CON CONSTRUCCIONES RESIDENCIALES Y VIVIENDAS	1-
<i>1</i>	
1.2. ARTÍCULOS REFERENTES A EDIFICIOS	1-4
1.3. ARTÍCULOS SOBRE ESTRUCTURAS DE TRANSMISIÓN	1-10
1.4. ARTÍCULOS QUE NO SE ENFOCAN A TIPOS ESPECIFICOS DE ESTRUCTURAS	1-
<i>12</i>	
1.5. REFERENCIAS	1-
<i>20</i>	
CAPÍTULO 2 FORMULACIÓN DE CONCEPTO DE RIESGO EÓLICO	2-1
2.1. ANÁLISIS DE RIESGO	2-2
2.2. VALORACIÓN DE SISTEMAS DE RIESGO	2-3
2.3. MÉTODOS DE CONFIABILIDAD DEL SISTEMA	2-5
2.4. ANÁLISIS DE DAÑOS	2-6
2.5. REFERENCIAS	2-8
CAPÍTULO 3 DETERMINACIÓN DEL PELIGRO POR VIENTO EN MICHOACÁN	3-1
3.1. ANÁLISIS DE LA DISTRIBUCIÓN DE VELOCIDADES DE VIENTO DEBIDAS A VIENTOS NORMALES	3-
<i>2</i>	
3.1.1. Análisis Estadístico	3-
<i>2</i>	
3.1.2. Obtención de la Velocidad Regional	3-
<i>6</i>	
3.1.3. Ajuste de extremos para los observatorios meteorológicos	3-
<i>10</i>	
3.2. ANÁLISIS DE LA DISTRIBUCIÓN DE VELOCIDADES	

DE VIENTO DEBIDAS A HURACANES	3-
13	
3.2.1. Modelo fluido-dinámico de huracanes	3-
14	
3.2.2. Bases del modelo orográfico de los vientos de huracanes	3-
18	
3.2.3. Procedimiento para la obtención de la velocidad superficial	3-
19	
3.3. DISTRIBUCIÓN DEL PELIGRO POR VIENTO EN MICHOACAN	3-
22	
3.4. REFERENCIAS	3-
23	
CAPÍTULO 4 DEFINICIÓN DE FUNCIONES DE VULNERABILIDAD	4-
1	
4.1. REFERENCIAS	4-
7	
CAPÍTULO 5 APLICACIÓN EN EL SISTEMA ARCVIEW, A UNA ESTRUCTURA CON RECUBRIMIENTOS LIGEROS	5-
1	
5.1. PROPUESTA DE METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD EN EL ESTADO DE MICHOACÁN	5-1
5.2. PRESENTACION DE RESULTADOS DE LA APLICACIÓN	5-7
5.3. REFERENCIAS	5-8
CONCLUSIONES	vi
ANEXO A Clasificación de la bibliografía recopilada sobre peligro y vulnerabilidad por viento en estructuras	A-1



INTRODUCCIÓN

El clima mundial ha venido presentado considerables cambios lo cual a su vez ha afectado en los últimos años a nuestro país observándose un incremento de frecuencia y magnitud de las velocidades del viento. Esto influye considerablemente sobre las estructuras y, en el caso de México, recientemente se han tenido consecuencias importantes como son: pérdidas de vidas humanas, destrucción de propiedades, alteración de los procesos productivos, daños en la infraestructura básica, interrupción en sistemas de comunicación por daños físicos, eléctricos y/o electrónicos, generando un impacto económico fuerte en la industria, el transporte, el comercio, el turismo y en el campo, de la región afectada.

Es importante señalar que nuestro país, por su geografía, tiene una gran extensión de costas tanto en el Océano Pacífico como en el Atlántico con cercanas cadenas montañosas, y que tiene su posición en aguas calidas que son perfectas para la creación de ciclones tropicales, por ello es un país sumamente susceptible a las fuerzas eólicas debidas a dichas tormentas. En consecuencia, no solamente los vientos normales que ocurren en las diferentes estaciones del año y regiones del país merecen atención, sino también los vientos generados por los huracanes. La trayectoria que siguen los huracanes es también importante para conocer el área de afectación y la velocidad con la que entran a tierra.

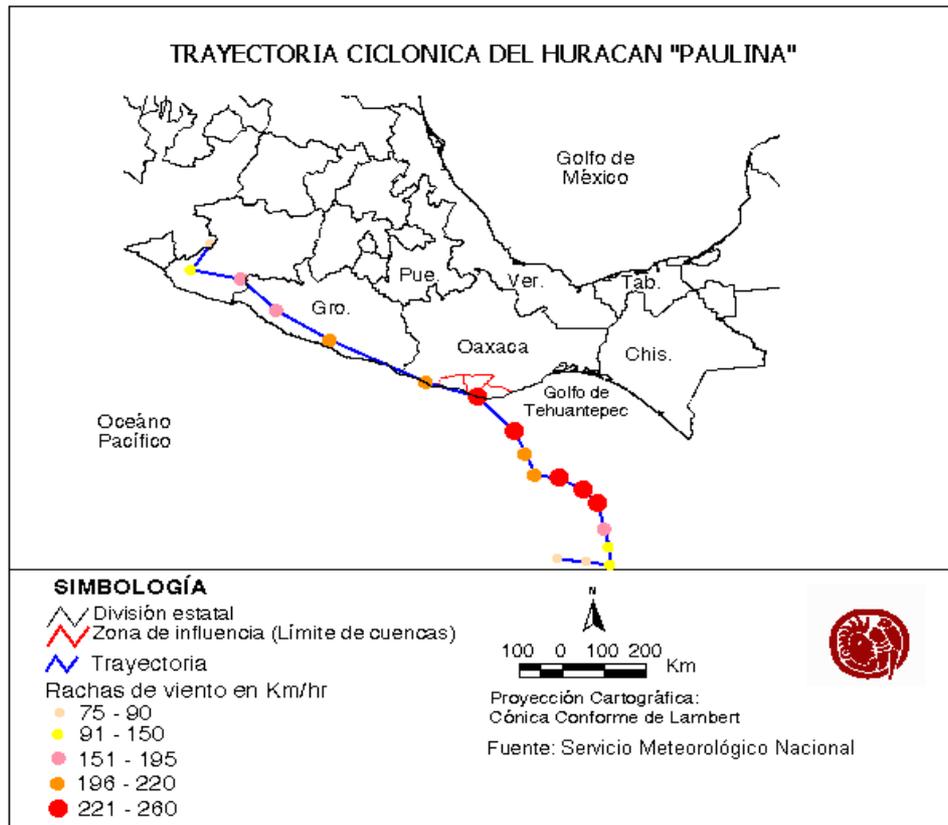


Fig. 1. Trayectoria del huracán Paulina ocurrido del 6 al 10 octubre de 1997.

En particular sobre la trayectoria del huracán Paulina, mostrada en la figura 1 [<http://www.conabio.gob.mx/>], cabe señalar que entró a tierra afectando una vasta zona de las costas de los estados de Oaxaca y Guerrero, terminando en tierra dentro del Estado de Michoacán, lo cual es poco usual, pues no se tenía registro gráfico de huracanes en el Pacífico que ingresaran tanto tierra adentro, lo cual genera un nuevo riesgo para las estructuras. Por lo cual, se graficó el mapa mostrado en la Fig. 2, en el que se muestran las trayectorias de los huracanes ocurridos de 1941 al 2006 en el Océano Pacífico, que han entrado a tierra en el Estado de Michoacán; la información mostrada fue obtenida en base a los registros históricos de huracanes del Sistema Meteorológico Nacional. Analizando dichas trayectorias encontramos que no solo el huracán Paulina ha tocado gran parte del territorio michoacano, si no que inclusive ha llegado a ser completamente atravesado, que es el caso del huracán Iva en 1961.

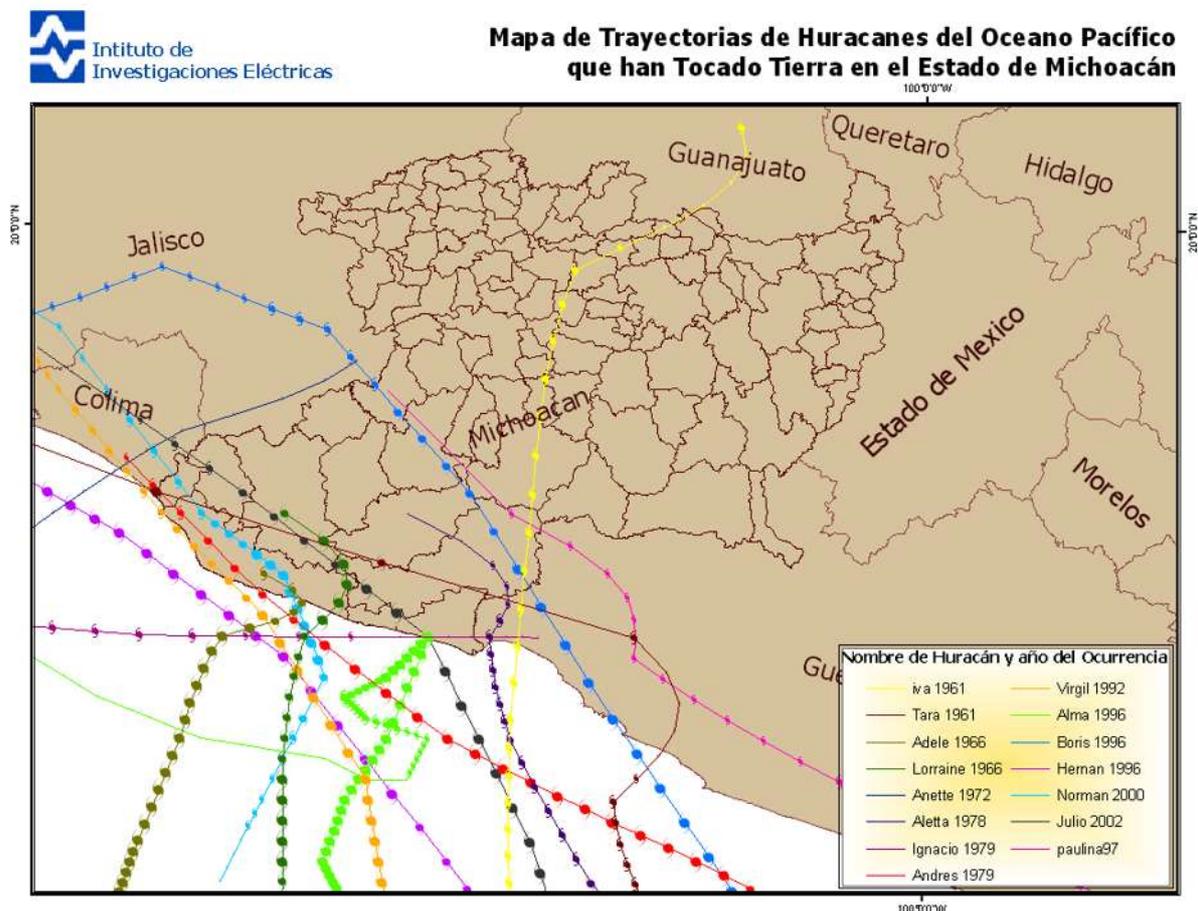


Fig. 2. Mapa de trayectorias de Huracanes ocurridos en el Océano Pacífico que han entrado en Tierra en el Estado de Michoacán.

Al ver el importante impacto que puede tener un huracán dentro de tierra firme, es necesario comentar que un ciclón tropical está catalogado como un sistema de baja presión con actividad lluviosa y eléctrica cuyos vientos rotan en sentido antihorario en el hemisferio Norte. La clasificación de los ciclones depende de la velocidad del viento promedio máximo a nivel de la superficie del mar por minuto. Por lo tanto, la velocidad del huracán mar adentro no es la misma

una vez que éste ha entrado a tierra, dados los cambios de presiones y temperaturas que se presentan, siendo la rugosidad la que ejerce una disminución drástica de su velocidad. La clasificación de ciclones tropicales mas usada internacionalmente es siguiendo los rangos de la escala Saffir – Simpson, que se muestra en la Tabla 1 [<http://www.imn.ac.cr/educa>], en ésta se observa que para velocidades mayores a los 118 km/hr, el ciclón pasa a categoría de huracán.

Clasificación		Rango de velocidad de los vientos (kilómetros por hora)
Depresión Tropical		≤ 62
Tormenta Tropical		63-117
Huracán	Categoría	
	1	118-153
	2	154-177
	3	178-209
	4	210-250
	5	>250

Tabla 1. Clasificación internacional de ciclones tropicales según Saffir – Simpson.

Las investigaciones en México en torno a la evaluación del peligro eólico iniciaron con la edición del Manual de Diseño de Obras Civiles (MDOC) de la Comisión Federal de Electricidad (CFE) que se realizó en 1969, en el Capítulo de Diseño por Viento, por primera vez se definió de manera probabilista la distribución de las velocidades de viento regionales en la República Mexicana, basadas en estudios realizados en el Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México [Cuevas, 1964]. En 1981, el Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE) llevó a cabo la revisión del MDOC-DV, y en 1983 se estableció una línea de investigación dirigida a definir una metodología integral que recopilaba y analizaba las velocidades del viento máximas registradas desde 1940 en sesenta estaciones meteorológicas alrededor de la República Mexicana, así como las producidas por huracanes [Sánchez et al., 1983]. A partir de esta base de datos depurada y consistente, se generaron los primeros mapas de isotacas de la República Mexicana con fines de diseño de líneas de transmisión. En 1993, el IIE editó la nueva versión del MDOC-DV, el cual incluía la actualización de los mapas de isotacas del país; para 1994 se contó con cuatro mapas de isotacas para periodos de retorno más comunes en el diseño estructural [MDOC-DV, 1993, López et al., 1994]; desde entonces el diseño estructural por viento en México se ha realizado utilizando estos mapas, que por convención internacional, las velocidades están normalizadas, es decir, son uniformizadas a terreno de rugosidad escasa, clasificada como tipo dos, a una altura de 10 m sobre nivel del terreno natural y promediadas a ráfagas de 3 segundos.

Han pasado ya más de diez años desde la última revisión de las especificaciones de la CFE, y en este periodo han ocurrido eventos extremos importantes, principalmente debidos a huracanes, por tal motivo, ha surgido el interés de definir el Peligro por Viento en México, lo cual significa actualizar la distribución de las velocidades máximas de viento que se presentan en la República Mexicana con fines de diseño de estructuras. Para fines de diseño eólico de estructuras, la dificultad de estimar los vientos de diseño de estos dos efectos estriba en tener una base de datos continua por un número de años considerable (al menos 10 años), depurada y actualizada, tanto de los vientos normales como de los huracanes, para emplear metodologías de actualidad que permitan combinar, bajo un esquema probabilista, los efectos de estas diferentes tormentas como eventos extremos independientes.

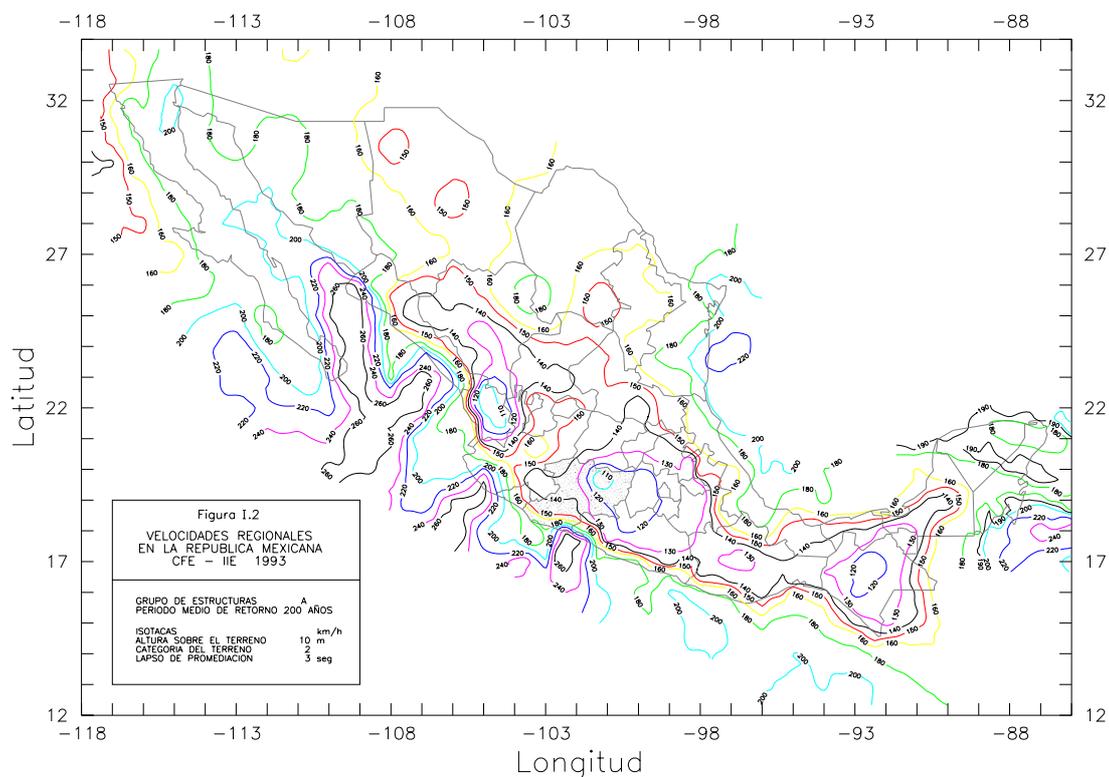


Fig. 3. Mapa de regionalización eólica de la República Mexicana para periodo de retorno de 200 años, propuesto en el Manual de Diseño de Obras Civiles de la CFE. (MDOC, 1993).

Como podemos observar en el mapa de regionalización eólica de la Republica Mexicana, (Fig. 3 MDOC, 1993) es significativa la variación que tienen las velocidades en el país y al mismo tiempo la variación no depende del misma causa si no que depende de la región que se analice, por ejemplo en los estados del norte del país los vientos fuertes se deben a aquellos conocidos como “nortes” y en las costas los vientos más fuertes son provocados por huracanes; además las largas cadenas montañosas hacen más diversas la características para la evaluación del peligro eólico. En particular, de acuerdo al actual mapa de la Figura 3, las velocidades regionales en el Estado de Michoacán varían entre 110 y 210 km/h en el noroeste del Estado y en la costa del Océano Pacífico, respectivamente.

Ante esta perspectiva, el objetivo de esta tesis es actualizar el peligro eólico en el Estado de Michoacán, definiendo funciones de vulnerabilidad por viento para estructuras sencillas. Este objetivo permitirá a mediano plazo establecer el riesgo eólico a lo largo de la República Mexicana, lo cual implica una ardua labor, por lo que en este trabajo solamente se establecerá el peligro y la vulnerabilidad por viento en el Estado de Michoacán.

Para alcanzar este objetivo será necesario realizar una recopilación bibliográfica sobre el tema, analizar la información y elaborar un estudio bibliográfico sobre el estado del arte en este tema; se determinará el peligro por viento en el estado de Michoacán y se propondrá una metodología para definir funciones de vulnerabilidad para un tipo de estructura común en el estado, además se implementará y aplicará la metodología propuesta en un sistema de información geográfica (GIS), del tipo de ARC-Info. Esto permitirá establecer en un futuro, una metodología de evaluación de los riesgos por la acción del viento que puedan generarse para las estructuras en México.



REFERENCIAS

Comisión Federal de Electricidad (1969), “*Manual de Diseño de Obras Civiles de la CFE Diseño por Viento*”, México.

Comisión Federal de Electricidad (1981), “*Manual de Diseño de Obras Civiles de la CFE Diseño por Viento*”, México.

Comisión Federal de Electricidad (1993), “*Manual de Diseño de Obras Civiles de la CFE Diseño por Viento*”, México.

López López A., Neri Barrio E.R., Vilar Rojas J.I., Bicuña A. (1994), “*Unificación de criterios en el cálculo de presiones, flechas y tensiones para el diseño mecánico de torres de transmisión*”, Instituto de Investigaciones Eléctricas, Informe Técnico IIE/42/28/I 01/94, México.

Rodríguez Cuevas N. (1964), “*Aplicación de la estadística de extremos a la determinación de velocidades del viento para diseños estructurales*”, Instituto de Ingeniería, UNAM, México.

Sánchez-Sesma J., Aguirre Romano J.E. (1983), “*Mapas de velocidad máxima de viento en México*”, Informe No. 12 del proyecto: Actualización de valores para el diseño por viento de líneas de transmisión, IIE/34/I/3245/12/1983, México, Noviembre.

http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/cambios_veg/paulina/doctos/trayec.html

<http://www.imn.ac.cr/educa/JC-HURACAN/HURACANjc.htm>



**CAPITULO 1
RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE BIBLIOGRAFÍA SOBRE
PELIGRO Y VULNERABILIDAD POR VIENTO DE
ESTRUCTURAS**



1. RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE BIBLIOGRAFÍA SOBRE PELIGRO Y VULNERABILIDAD POR VIENTO DE ESTRUCTURAS

La búsqueda para esta recopilación fue hecha en la biblioteca del Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE) e Internet, enfocándola principalmente en artículos, revistas, libros, manuales, programas y publicaciones de conferencias, simposiums y congresos sobre el tema. Aunque los temas de interés principal fueron el peligro y vulnerabilidad por viento, también se recabaron artículos sobre trabajos de análisis de probabilidad y sobre el manejo de la información eólica debida a ciclones tropicales.

Para revisar y analizar la variada información fue necesario clasificarla en: artículos relacionados con construcciones residenciales y viviendas, artículos aplicables a edificios, artículos sobre estructuras de transmisión y artículos que no se enfocan a algún tipo de estructura específica. En el Anexo A se enlistan las referencias totales recopiladas, de acuerdo a la clasificación señalada.

Después de una revisión general de la literatura recopilada se encontró que, al ser un tema muy amplio, existe una gran diversidad de criterios y procedimientos para evaluar la vulnerabilidad y el riesgo de estructuras por viento, sin embargo, en las últimas décadas se ha intensificado el interés en el tema, dadas las consecuencias catastróficas que pueden generarse por la acción de vientos fuertes sobre las estructuras.

Este capítulo se limitará al estudio de las metodologías propuestas más sobresalientes y que pueden ser aplicables en México, partiendo de la clasificación que se realizó y seleccionando algunos artículos para elaborar el estado del arte sobre peligro y vulnerabilidad por viento en estructuras, entre los cuales se incluyen las principales investigaciones en el país y lo más sobresaliente a nivel internacional.

1.1. ARTÍCULOS RELACIONADOS CON CONSTRUCCIONES RESIDENCIALES Y VIVIENDAS

Leicester R.H. (1981), A Risk Model for Cyclone Damage to Dwellings

Al parecer, Leicester fue el primer investigador en definir el índice de daño por viento como la relación entre el costo de reparación y el costo de reemplazo. Esta definición puede aplicarse en forma similar a los contenidos en los interiores de las viviendas. En la Figura 1.1 se presenta la curva de daño propuesta por el autor, y que son la manera de representar la vulnerabilidad.

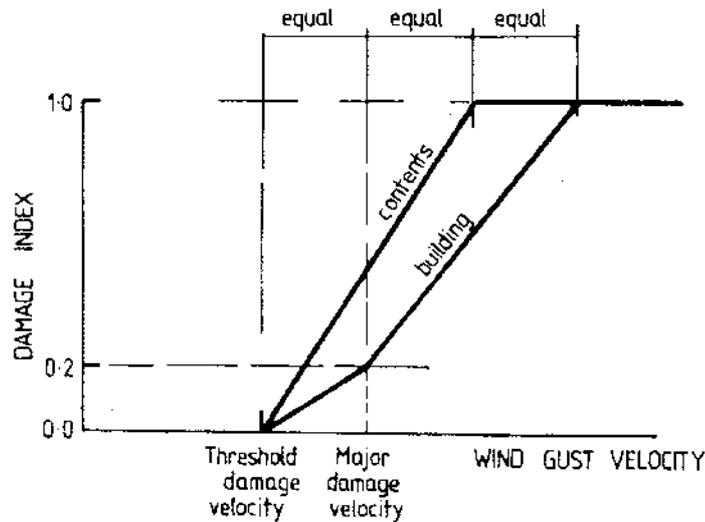


Figura 1.1 Relación entre velocidad de viento de ráfaga y daño, propuesta por Leicester

Para varias poblaciones costeras en Australia, el autor evaluó las curvas de daño para viviendas de madera de tipo habitacional y se presentan en la Figura 1.2.

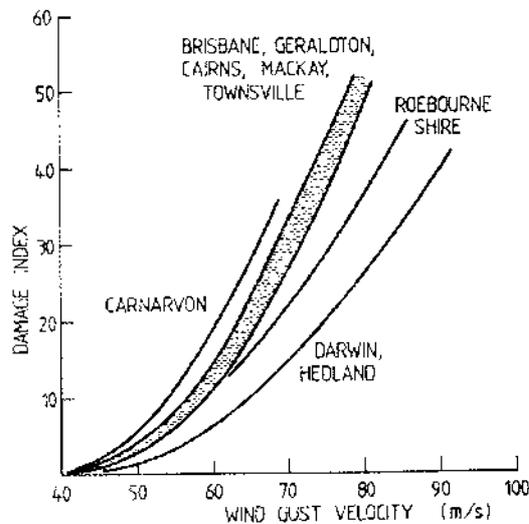


Figura 1.2 Relación entre velocidad de viento de ráfaga y daño, por Leicester

Huang Z. (2001), Long-term Hurricane Risk Assessment and Expected Damage to Residential Structures

Se presentan los resultados de un estudio de evaluación del riesgo por huracanes aplicados a Carolina del Norte, Carolina del Sur y Florida, en Estados Unidos de América empleando

procedimientos de simulación de eventos aleatorios de huracanes. Acoplado a esos procedimientos proponen un modelo de daño para obtener estimaciones de daños esperados.

El modelo de daño fue desarrollado relacionando la velocidad media del viento con la relación de reclamos y la relación de daño, para cada código de zona. La relación de reclamos y la relación de daño se definen en las siguientes ecuaciones:

$$\text{Relación de Reclamos} = \frac{\text{No. total de reclamos del Código de zona}}{\text{No. total de propiedades aseguradas del Código de zona}}$$

$$\text{Perdidas por daños} = \frac{\text{Cantidad pagada por daños por el asegurador}}{\text{Valor asegurado total}}$$

Por otro lado, la velocidad de referencia del viento se consideró como la velocidad del viento máxima media en la superficie, promediada en un intervalo de 10 minutos, medida a una altura de 10 metros en terreno plano, en el centro geográfico del código de zona.

Con datos de las zonas en estudio y definiendo los pesos para cada zona, los autores definieron las funciones para la relación de reclamaciones y para la relación de daño, los cuales se presentan en curvas para las que se ajustaron las funciones obteniendo algunas ecuaciones.

Stewart M. (2003), Cyclone Damage and Temporal Changes to Building Vulnerability and Economic Risks for Residential Construction

El autor hace notar que los modelos de vulnerabilidad que se han desarrollado pueden considerarse adecuados para predecir el daño esperado para la fecha en que fueron desarrollados, es decir, que la vulnerabilidad de una estructura cambia con el tiempo por el hecho de que se producen cambios en el tipo de construcciones, en los materiales, en especificaciones y normas, en el tipo de exposición al viento y otros factores.

El autor ha desarrollado un modelo de análisis de riesgo-costo-beneficio del daño por huracanes para considerar la influencia de los cambios de la vulnerabilidad de la construcción en el riesgo económico para sitios seleccionados del Sureste de los Estados Unidos de América.

En éste trabajo considera el riesgo de ciclones en la región de North Queensland en Australia; en el que hace notar que el daño en casas se relaciona al desempeño del techo y paredes que envuelven a la construcción. Esto sugiere que la vulnerabilidad de construcciones de manera general puede dividirse en: daños menores (desprendimientos de láminas o tablas de madera, rotura de ventanas y puertas) y daños mayores (desprendimiento de recubrimientos de la construcción ó daño estructural importante).

Los tipos de exposición que se consideran son costa afuera, pequeña ciudad y tierra adentro; y se plantea las siguientes medidas de vulnerabilidad en construcciones:



$$\text{Relación de Reclamos} = \frac{\text{No. total de reclamos}}{\text{No. total de propiedades aseguradas}}$$

$$\text{Perdidas por daños} = \frac{\text{Cantidad pagada por daños por el asegurador}}{\text{Valor asegurado total}}$$

Spence R. (1998), The windstorm vulnerability of the UK building stock

En este artículo se presenta una metodología de evaluación de riesgo, para la cual es necesario definir las características de las velocidades de viento que serán relacionadas con el daño. Si no se cuentan con estudios detallados, los diseños ingenieriles serán propuestos para pequeñas construcciones o elementos. El análisis del peligro eólico permite hacer uso de datos disponibles en diseños en la valoración del riesgo en un sitio, tales como la duración de la tormenta y la distribución de los niveles de ráfagas, que son factores significantes en la influencia del deterioro de alguna estructura frente a una tormenta.

Se revisa la clasificación de la acción de edificios residenciales en Reino Unido, encontrando que lo que más vulnerable vuelve sus construcciones son el tipo de techo, siendo también importantes el tipo de muros, ventanas y chimeneas; esta clasificación se resumen en una tabla.

Con respecto a la vulnerabilidad se dividió Reino Unido en cuatro regiones: Escocia, Norte, Sureste y Suroeste. Las relaciones para la estimación de pérdidas debido a velocidades de viento pueden hacerse mediante la estimación tentativa de la resistencia de la estructura diferentes niveles de velocidad de viento, ya sea por cálculos o experimentos, con bases puramente de análisis estadísticos de comportamiento en tormentas pasadas.

1.2. ARTÍCULOS REFERENTES A EDIFICIOS

Mehta K.C. (1992), Wind resistance categorization of buildings for insurance

El autor analiza la información de 65 eventos de tormentas con vientos fuertes, de los pasados 20 años, la cuál pertenece al Institute for Disaster Research, de la Texas Tech University, de lo cual se obtienen las siguientes experiencias en daño: en grandes construcciones se mantiene la integridad estructural, pero los techos, revestimientos, y ventanas son susceptibles a daño, lo que provoca pérdidas por inundaciones; las construcciones industriales tienen un buen comportamiento, solo daños ocasionales en caso de levantamiento de techumbres, pero por falla del diseño de la construcción; en caso de edificios bajos, tales como tiendas, escuelas y almacenes, sufren grandes daños, incluyendo colapsos, lo cual depende del sistema estructural y de lo materiales usados; son comunes los levantamientos de edificios construidos de madera que se encuentren solos, ó en multifamiliares, porque en Estados Unidos no se les da importancia a los techos de madera.

Se trata de hacer una categorización de la resistencia al viento, pero como existe tanta variación de las características de las construcciones solo se logra en forma general. Lo más sobresaliente fue que en los techos, los principales problemas se deben a las fuerzas de levantamiento, que son inducidas con fallas en los anclajes y el ligero peso de la cubierta; el otro punto es el problema en los muros al presentarse presiones internas y externas, agregando impacto de objetos ó árboles levantados por la fuerza del viento.

Stubbs N. (1993), Damage Simulation Model for buildings Contents in a Hurricane Environment

En básicamente se procede con un modelo general para el crecimiento de la predicción de daños de los componentes del edificio, el daño de los componentes del edificio será relacionado con las características del huracán, las combinaciones del daño de varios de estos componentes proporcionara el peligro general del interior del edificio y varios de estos contenidos serán relacionados al nivel de peligro y a la probabilidad de ocurrencia de éste.

Se uso una estructura localizada en Miami, a una milla de la costa atlántica, con tres niveles y 4500 ft², construido en 1970, que fue golpeado por el huracán Andrew con vientos de 110 mph y recibió impacto de misiles, perdiendo el 7.5% de techo.

Stubbs N. (1993), Engineering of the Building Envelope, to do or not to do

Se propone desarrollar el sistema de clasificación definiendo sus opciones de mitigación y conociendo las bases del comportamiento de la edificación en presencia de un huracán. Para poder describir la resistencia al viento en el edificio, se toma en cuenta si tiene o no protecciones en puertas y ventanas, pues de eso depende la calidad del diseño; si no se tienen buenas protecciones el diseño estructural no será de calidad, puesto que los fuertes vientos dañarían la estructura debido al impacto de misiles lanzados por el viento.

En el caso de asignar el periodo de retorno a una estructura proponen adoptar un método de categorización de huracanes, cuantificar el número de huracanes en cada categoría, durante el tiempo de vida útil de la construcción y, usando el programa de simulación “Monte Carlo”, simular el tiempo en que será dañado.

Para la mitigación de efectos de huracanes en Miami se revisaron las alternativas de estimación de cocientes de daño para fallas debidas solamente a viento e impacto de misiles, obteniendo que en el caso de que las protecciones de puertas y ventanas tuviesen el mismo periodo de vida útil, seria menos factible el daño en la edificación.

Dolce M. (1995), Report of the EAEE Working Group 3: Vulnerability and risk analysis

Presentan un análisis profundo de los métodos para el análisis de vulnerabilidad y riesgo, esto aplicado a sismos. Los autores proponen una clasificación de métodos para los análisis de vulnerabilidad en función de tres pasos: Entrada, Método y Salida. Esto permite, para cualquier estudio, evaluar separadamente cada uno de los pasos, su consistencia o para hacer notar lo

inadecuado de algún paso con respecto a los otros. Se definen 5 clases de Entrada, 3 de Método y 2 de Salida. Cada uno de estos pasos puede dividirse a su vez en un cierto número de Secciones relacionadas con una clasificación de estructuras (por ejemplo, del I al V). Para poder aplicar los pasos principales del método, es necesario, para cada paso, contar con algunas características como las siguientes:

Entrada.- Se deben de tener datos colectados en eventos de terremotos u obtenidos en laboratorio; son necesarias las características geométricas y cualitativas del edificio (como edad, tipo de estructura, de cimientos, de techos, algunas reparaciones, etc.); respecto a las características mecánicas se necesitan saber la masa, rigidez, ductibilidad, desplazamientos, parámetros del comportamiento lateral; obviamente es vital conocer las características sísmicas del sitio; y finalmente datos geológicos y geotécnicos del sitio.

Métodos.- Pueden ser tres: método estadístico, el análisis se basaría en estadísticas de construcciones y de sistemas primordiales para la vida; método mecánico, los parámetros mecánicos son más importantes, pues rigen el comportamiento sísmico; y los métodos que aplican juicios de los expertos, en los que se hace una evaluación cualitativa y cuantitativa de los factores que rigen el comportamiento sísmico.

Salida.- Puede aplicarse el método de vulnerabilidad absoluta, con funciones de vulnerabilidad las cuales representan el daño promedio como una función de intensidad sísmica; ó el método de vulnerabilidad relativa, ya sea empírica o experimental, dibujado índices de vulnerabilidad para lo cual no esta correlacionado con daño e intensidad sísmica.

Stubbs N. (1996), A Damage Simulation Model for buildings and Contents in a Hurricane Environment

El autor muestra el desarrollo revisando un edificio en particular, el cual se subdividió en 9 componentes, por lo que se tiene 9 modos de falla debidos a daños en: el techado, en la cubierta del techo, en marcos del techo ó vigas, conexión de techo-muro, de refuerzos laterales, de revestimientos, de puertas y ventanas, de la conexión de marco-cimientos y por último de los cimientos. Cada uno de los modos de falla anteriores se analizan con la siguiente ecuación:

$$DR_i(v) = \begin{cases} 0 & v \leq a_{i1} \\ \frac{v - a_{i1}}{a_{i2} - a_{i1}} & a_{i1} < v \leq a_{i2} \\ 1 & v > a_{i2} \end{cases} \quad (1.1)$$

donde:

$DR_i(v)$ es el cociente de daño de la velocidad del viento, v .

a_{i1} , a_{i2} son constantes propuestas por expertos, las cuales representan la velocidad mínima y máxima de daño, respectivamente. Para la costa de Texas se obtiene de la tabla 1.1

Para cuantificar el daño completo de la estructura se usa la ecuación:

$$DR_s(v) = \frac{\sum_{i=1}^9 I_i DR_i(v)}{\sum_{i=1}^9 I_i} \quad (1.2)$$

donde:

I_i es proporcionado por los expertos, y representa la importancia relativa de la contribución en las consecuencias para la estructura completa del daño del i -ésimo modo de falla.

Damage Mode	Sustained Wind Speed in mph (m/s)	
	Low	High
Roof Covering Damage	55 (24.6)	110 (49.1)
Roof Decking Damage	80 (35.7)	120 (53.6)
Roof Framing Damage	80 (35.7)	120 (53.6)
Roof-wall Anchorage Damage via Suction	90 (40.1)	120 (53.6)
Roof-wall Anchorage Damage via Suct. & Int Pressure	80 (35.7)	100 (44.6)
Building Damage via Failure of Lat. Bracing Sys.	90 (40.1)	125 (55.8)
Damage Due to Failure of Openings	60 (26.8)	110 (49.1)
Cladding Damage	80 (35.7)	120 (53.6)
Frame-foundation Connection Damage	90 (40.1)	135 (60.3)
Foundation Damage	115 (51.3)	150 (67.0)

Tabla 1.1 Velocidades mínimas y máximas de daño para componentes de edificaciones ubicadas en la costa de Texas, Estados Unidos.

Holmes J.D. (1996), Vulnerability Curves for Buildings in Tropical-cyclone Regions

El autor se basa en los conceptos de Leicester (1981) y propone la manera de obtener curvas de vulnerabilidad. En su trabajo presenta la siguiente curva que puede aplicarse tanto a las construcciones como sus componentes, siempre y cuando todos los componentes tengan la misma función de probabilidad de resistencia. Se supone que la falla de cada componente es independiente de los otros. De esta manera, se puede definir en forma simple una curva de vulnerabilidad para una estructura. En la Figura 1.3 se muestra la curva propuesta por el autor. El autor remarca la necesidad de emplear métodos de conjuntos dispersos para definir curvas de vulnerabilidad con fines de estudios de riesgo para compañías aseguradoras, es mejor que basarse sólo en la experiencia de expertos. Asimismo, señala la imperiosa necesidad de realizar levantamientos de daños en estructuras después de eventos extremos e incluso para eventos poco

severos que ayudaría a definir de mejor manera la parte baja de las curvas de vulnerabilidad.

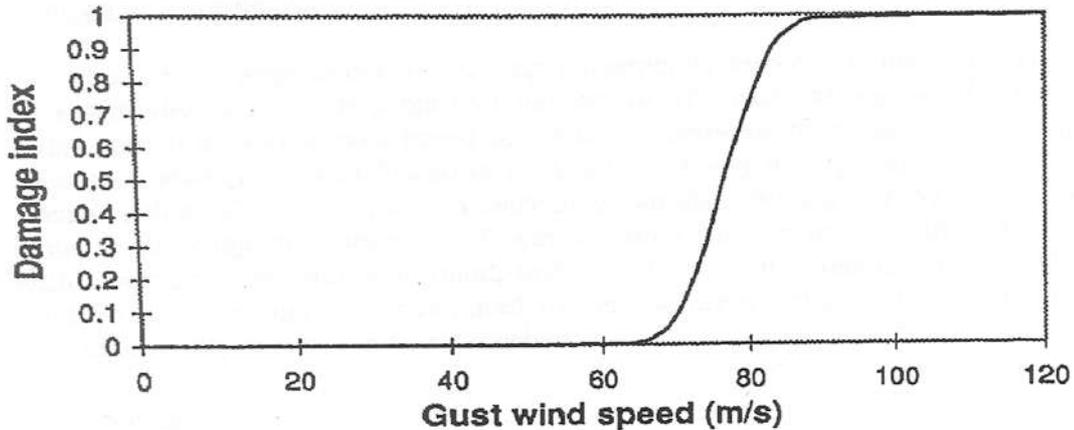


Figura 1.3 Función de vulnerabilidad propuesta por Holmes (1996)

Unanwa C.O. (2000a), The Development of Wind Damage Bands for Buildings

Proponen un modelo para determinar el grado de daño en un edificio o grupo de edificios dado, el modelo se basa a “bandas de daño” para el tipo de ó clase de interés; los valores para los límites de cada banda son determinados por un sistema de componentes del edificio y características de sus conexiones, y estas son asociadas con la baja y alta probabilidad de falla en una tormenta. Las fronteras superior e inferior, representan la mínima y máxima probabilidad de falla de la estructura, sus límites se evalúan con la ecuación:

$$DD(l) = \sum_{i=1}^n P_{fi} (CCF_i) \alpha_i \quad (1.3)$$

Donde:

$DD(l)$ es el porcentaje de daño

P_{fi} es la probabilidad condicional de falla

CCF_i es el factor de costo

α_i es el parámetro de localización de daño

n es el número de componentes usados en el modelo

El artículo contiene tres tablas de gran utilidad para la evaluación del daño en la costa estadounidense del golfo de México, una de ellas contiene las funciones de probabilidad de los componentes principales de un edificio, en otra encontramos los parámetros de los componentes de resistencia.

Unanwa C.O. (2000b), Building Wind Damage Prediction and Mitigation Using Damage Bands

Se incluye un ejemplo de aplicación de mitigación de daño para un tipo de estructuras. Cabe recalcar que la metodología propuesta, aunque bien fundamentada y práctica, sólo se aplica para clases de estructuras de habitaciones, edificios y construcciones industriales, para la zona Atlántica y del Golfo de México de los EUA.

La predicción de daños de una estructura se debe analizar parte por parte a los elementos que constituyen dicha estructura como lo pueden ser cubiertas de techos, puertas ventanas, sistemas estructurales y también los cimientos.

Basándose en los límites calculados con la ecuación 1.3 (Unanwa, 2000a) se deducen la ecuación 1.4, la cual calcula la máxima pérdida probable, PML(%), en donde el índice relativo de resistencia, RRI, se calcula de la ecuación 1.5.

$$PML(\%) = \frac{\sum_{j=1}^4 RRI_j^p (DD_{ij}^U + DD_{ij}^L) N_j}{\sum_{j=1}^4 N_j} \quad (1.4)$$

$$RRI = \frac{\sum_{i=1}^n P_i W_i}{\sum_{i=1}^n W_i} \quad (1.5)$$

Para su aplicación se presentan tablas con los valores de las variables, aplicables a componentes de edificaciones con características pertenecientes a la costa de Estados Unidos. También ejemplifican dos casos, en el primero se calcula el porcentaje de daño del edificio en valor de del costo de su reconstrucción; en el segundo ejemplo se calcula, para grupo de edificios, la pérdida máxima probable PML(%) del valor de reemplazar los edificios asegurados.

Shanmugasundaram J. (2000), Cyclone damage to buildings and structures a case study

Se hace un recuento de los daños causados por los ciclones en la India, así como también de las principales causas de que este fenómeno natural provoque daños importantes en la economía de la región, por daños materiales y por pérdidas de vidas humanas.

La mayoría de las fallas registradas en las estructuras en presencia de ciclones, son causadas por la fuerza de las grandes velocidades de viento y el impacto de escombros arrojados por el mismo viento, y si agregamos las condiciones de las construcciones en esa región, tales como malas conexiones de techo-muro, edificios con una construcción pobre y que un gran porcentaje de viviendas no cuentan con diseños o éstos son inadecuados, pues las consecuencias son graves.

Las estructuras industriales es común que tengan techos de hojas de láminas, las cuales son muy susceptibles a fallas durante un ciclón, principalmente debido a las fuerzas de succión provocadas por el viento, en donde puede ser solo levantamiento de la cubierta o falla de la armadura de la techumbre.

Se sugieren medidas de mitigación como: adoptar mejores diseños y técnicas de construcción en áreas propensas a ciclones; es necesario diseñar los edificios de marcos y muros de mampostería, para que resistan las fuerzas de las velocidades ciclónicas; el levantamiento de los tejados puede prevenirse atando la cubierta del tejado con sogas, alambres y fijando postes a miembros transversales.

Davidson R.A. (2003), Quantitative Model to Forecast Changes in Hurricane Vulnerability of Regional Building Inventory

Hacen un recuento de los modelos propuestos por autores otros autores, dividiéndolos en modelos derivados en relaciones de daños históricos y velocidades reales de viento, y en los desarrollados usando aproximaciones directas de los componentes bases.

Este modelo es aplicación simplificada del programa Hazus(2000). Éste modelo es de cambio de vulnerabilidad, en el cual se desarrolla una metodología para construcciones residenciales y solo para el caso de peligro por viento debido a huracanes; cada edificio es considerado como un ensamble de varios componentes, por lo que se evalúa por separado el funcionamiento de cada componente durante el huracán usando un sistema de curvas de fragilidad tanto para cada componente, como para cada edificio.

En el análisis que realiza el modelo se basa en los siguientes pasos: primero, por cada componente, c , el medio componente de resistencia, μ_{Rc} , es tomado arbitrariamente de la probabilidad de la mejor función de la frecuencia relativa del componente siendo en cada estado; segundo, para cada componente se asigna aleatoriamente un valor de resistencia Rc , de la distribución lognormal con resistencia media específica μ_{Rc} y el coeficiente de variación CV_{Rc} ; tercero, la resistencia de cada componente, Rc , es comparado con la carga de viento, l_{cw} , aplicada por la velocidad de ráfaga de viento, $w(40-200\text{mph})$; cuarto, el estado de daño de cada componente para cada velocidad de viento es determinada usando definiciones de estado de daño; quinto, el estado es determinado en base a que se considera como ausencia de falla cuando no mas de 2.5% de falla en la cubierta del techo, sin fallas en ventanas, sin falla en estructura del techo y sin falla en las conexiones de techo-muro; sexto, se repiten los pasos del primero al quinto N iteraciones; y séptimo, para cada componente la probabilidad de la mejor función del estado del componente, para lo que se usa el modelo Markou.

1.3. ARTÍCULOS SOBRE ESTRUCTURAS DE TRANSMISIÓN

López A. (1995), Inestabilidad aerodinámica en cables de líneas de transmisión

Una de las inestabilidades aerodinámicas, y tal vez la más compleja, es el galopeo que es la aparición de vibración importante de los cables cuando el flujo del viento incide ortogonalmente a la línea; el galopeo se asocia principalmente a bajas temperaturas y alta humedad lo que ocasiona la formación de una capa de hielo en los cables de conducción, aunque el galopeo también a llegado a presentarse en ausencia de hielo en los cables según algunos autores. La principal complejidad del problema radica en que no hay linealidad geométrica, por lo que los

análisis numéricos y los resultados de ensayos experimentales en prototipos y modelos físicos para predecir éste fenómeno se han realizado adoptando la reducción a un sistema de masas concentradas analizando sólo un tramo de cable lo cual limita considerablemente la aplicación de los estudios. Nigol y Chadha integraron los grados de libertad correspondientes al movimiento transversal y torsión del cable con longitud unitaria; Egbert desarrolló la ecuación de movimiento de un sistema de masa concentrada vibraciones verticales y Richardson obtuvo las amplitudes de vibración de acuerdo con el balance de la energía en un sistema de un grado de libertad.

Para el análisis se aplicó el método de Richardson en el cuál obtuvo las amplitudes de vibración de acuerdo con el balance de la energía en un sistema de un grado de libertad, el cuál ya se implemento en un programa de computadora que estima la velocidad crítica de formación del galopeo para diferentes velocidades en el primero y segundo modo de vibración y se le agregó un movimiento torsional en las ecuaciones del balance de energía vertical y se supo que ambos movimientos se encuentran en fase y se considera que para capa de hielo de espesor delgado estos aspectos son despreciables en comparación con el movimiento vertical.

Vilar J.I. (1995), Terrain Related Parameters for the Evaluation of turbulence and their Application to the Response of Transmission Structures

Existe una gran variedad de tipos de terreno respecto a su rugosidad, pero se usan cuatro tipos de suelos marcados como I, II, III y IV; la gran variedad de tipos de rugosidad se debe a que existen obstáculos de diferentes condiciones en altura y en longitud. El factor de rugosidad se representa por K, y se puede calcular como:

$$K = \left[\frac{k}{\ln\left(\frac{10}{z_0}\right)} \right]^2 \quad (1.6)$$

de donde Davenport propone $k = 0.4$.

El factor de rugosidad puede variar desde 0.002 m en terrenos planos hasta 2 m en centro de ciudades.

El factor de ráfaga se puede obtener con la ecuación propuesta por Mackey:

$$g = 1 - 0.6226 I_v^{1.2716} \ln\left(\frac{t}{T}\right) \quad (1.7)$$

con :

$$I_v = A \left(\frac{z}{\delta} \right)^{-N} - B$$

T es la duración de la tormenta (por lo regular 1 hora)

$$t = \frac{g_1}{g_2}$$

En la tabla 1 [Vilar J. I. 1995] se muestran los valores de los parámetros β_{3seg} , β_{10min} , β_{1hor} , K , $L_s(m)$, A , N , B , δ (m), b y n para los cuatros tipos de terreno.

Letchford C.W. (2000), Risk Assessment to Improve Reliability of Transmission Facilities Exposed to Sub-tropical High Wind Storm Events

Es una investigación sobre redes de transmisión para Powerlink Queensland, una empresa australiana, que tiene 12, 000 km de líneas de alto voltaje, construida hace 40 años. Este modelo de riesgo fue basado en un análisis de velocidades de viento debidas a tormentas eléctricas en la región, se incorporaron distribuciones de probabilidad, variaciones con la altura, topografía local, orientación y longitud de las líneas, se adicionaron estudios de túnel de viento empleando modelos realistas de tormentas eléctricas. La validez de este modelo de valoración de riesgo fue evaluada examinando el comportamiento de la rejilla existente y observando las fallas. Siguiendo la metodología del modelo de riesgo desarrollado por Oliver, Muriarty y Holmes, se dividió la red en cuatro regiones, según la dirección del viento que la afecte, y en dos grupos según su velocidad de viento; la división de la línea se hizo en tramos con inclinación similar, y estas asu vez, se asociaron en grupos con topografía parecida. Los resultados se deben de presentar en probabilidad de excedencias/km de línea para poder ser comparados. Éste modelo calcula la probabilidad de ocurrencia del daño del viento debido a la tormenta, que golpea en punto de la línea de transmisión empleando las ecuaciones:

$$Prob_{DV} = \sum_{j=1,k} Prob_{DVL_j} \tag{1.8}$$

$$R_{DVL} = \frac{\left(\frac{w_v}{L}\right)}{\sum_{j=1,n} Prob\ b\left\{v > \left(\frac{v}{|\sin(\theta_i - \psi)|}\right)\right\} \times Prob\theta_i \times |\sin(\theta_i - \psi)|} \tag{1.9}$$

donde:

- R_{DVL} es el periodo de retorno para la ráfaga de viento, v , perpendicular a θ .
- L es la longitud de la línea
- w_v es longitud designada del segmento
- L_j es longitud del segmento j -esima de la línea de transmisión completa
- ψ es la orientación de la línea
- $\theta_{i=1...4}$ es la dirección del viento del sector

Con está investigación se concluyó que es necesario un nuevo tipo de túnel de viento, o modificar el movimiento del motor del túnel, pues los resultados no fueron muy aceptables.

1.4. ARTÍCULOS QUE NO SE ENFOCAN A TIPOS ESPECIFICOS DE ESTRUCTURAS

Brito R.P. (1982), Revisión de la Velocidad Básica de Viento del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal

Se hizo un análisis en las dos estaciones en las que se contaba con información y en una estación ficticia que se creó para valores extremos. El periodo mínimo permitido de años de registro fue 10, pero la información debe tener continuidad y sin dar lugar a desconfianzas de la legitimidad de los datos. Dichos datos deben de ser homogeneizados a condiciones como los son cierto tipo de terreno, una misma altura de las veletas de medición al nivel del terreno, por lo regular este último punto no se cumple, pues depende de las condiciones de la ubicación del aparato dentro de la estación meteorológica, por ellos la información se debe de corregir conociendo las condiciones reales de la estación.

La tendencia de las distribuciones debe ser parecida a ciertas distribuciones, las usadas en esta revisión fueron: distribución extrema tipo I ó de Valor Extremo, distribución tipo II ó Fisher-Tippett tipo II y distribución extrema tipo III ó Fisher-Tippett tipo III

La velocidad de diseño se obtiene con la ecuación:

$$F(V_D) = 1 - \frac{1}{R} \quad (1.10)$$

donde:

V_D velocidad de diseño asociada.

$F(V_D)$ función de distribución evaluada en V_D .

R periodo de retorno: es el recíproco de la probabilidad de exceder el valor de diseño.

Para la obtención básica de diseño es necesario corregir ciertos parámetros por medio de los factores de variación como la con la altura de medición, la rugosidad del terreno, el tipo de aparato y por la topografía. Para dicha corrección se tiene la variación potencial y logarítmica, siendo ésta última la más aproximada.

Sánchez J., (1988), Simple Modeling Procedure for Estimation of Cyclone Wind Speeds

Se plantea la situación que prevalecía en el país en esa época en el Diseño Estructural por viento, y se describe el procedimiento que se utilizó en la creación del mapa de isotacas de la República Mexicana.

En la descripción de procedimiento para el cálculo de la velocidad de viento máxima debida a huracán se marcan dos pasos esenciales en el análisis:

1.- La estimación es hecha de la velocidad de viento máxima de superficie en puntos costeros principales de los cuales se tiene un historial individual de cada huracán, pues es necesario conocer la posición, su velocidad y trayectoria, esta información se toma cada hora.

2.- La propuesta de distribución de probabilidad es ajustada en la evaluación de la información.

En la estimación de velocidades de viento por huracanes se utilizaron las distribuciones de probabilidad: Distribución de extremos Tipo I o Gumbel, Tipo III y la Distribución de Weibull, por ser las que daban una mejor correlación en el tipo de evento analizado.

La National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) creó un modelo de simulación de Huracanes en la costa de Estados Unidos y parte de México, por medio del cual se tiene las máximas velocidades de viento debidos a huracanes, esta información fue utilizada para la comparación de resultados del procedimiento.

Sundararajan C. (1989), Probabilistic Structural Mechanics Handbook: Theory and Industrial Applications

Se analizan algunos de los métodos ampliamente usados en confiabilidad del sistema y valoración de riesgo a saber los modos de falla y el análisis de sus efectos. En el método se identifican los modos de falla de los componentes y se valoran sus efectos en el sistema, y se plantea una tabla donde se especifican los modos, las causas, la probabilidad, el efecto que se puede clasificar desde insignificante hasta crítico.

También se clasifican el tipo de falla en: falla estructural bajo condiciones de carga normal y falla estructural bajo condiciones de carga severas.

En uno de los pasos se determina la probabilidad anual del evento como una función de esta magnitud por medio del método análisis del peligro en donde la probabilidad de diferentes magnitudes de eventos peligrosos se puede mostrar en curvas. El peligro en eventos naturales puede analizarse por medio de datos históricos, modelos matemáticos del fenómeno natural y opiniones de expertos. El cálculo de la probabilidad anual del evento indeseado debido al huracán para una posible velocidad de viento es:

$$P_H = \sum_i h(v_i) \{0.5[F(v_i) + F(v_{i+1})]\} \quad (1.11)$$

Determinan el riesgo anual el sistema debido al evento con la valoración del riesgo del sistema como el producto de la probabilidad del evento y sus consecuencias como lo pueden ser pérdidas económicas y humanas. Si el sistema tiene eventos asociados con el riesgo total del sistema es igual a la suma de los riesgos de todos los eventos, pero solo se puede cuando los eventos son simultáneos.

Vilar J.I. (1992), Procedimiento estadístico para la obtención y aplicación de velocidades regionales de viento para determinar acciones de diseño en estructuras

Se analiza la metodología empleada para actualizar las velocidades de viento regionales en la Republica Mexicana hasta el último punto que es la actualización de los mapas de isotacas correspondientes a diferentes periodos de retorno para lo cual es necesario también analizar las variaciones de la velocidad de viento con la altura, el factor de topografía, los coeficientes de presión y el factor de amplificación dinámica por efectos de ráfaga que son vitales para llegar a tener como resultado los ya mencionados mapas de isotacas.

Cuando se requiera analizar la información estadística de las fuerzas eólicas es necesario evaluar de manera conjunta la acción de las ráfagas de huracanes y las normales en las zonas afectadas por los ciclones; para éste análisis se usa una modelación de éstos vientos en una malla y hay



que calibrar los resultados con los registros del Sistema Meteorológico Nacional (SMN) porque este modelo no considera que los huracanes al llegar a tierra pierden intensidad y sobre todo cuando chocan con la sierra, con esto se tiene:

$$P_0 = P_h + P_{nh} - P_h \cdot P_{nh} \quad (1.12)$$

Donde P_0 es la probabilidad anual conjunta de excedencia de la velocidad V ; con la expresión anterior se calculan las velocidades regionales correspondientes a cualquier periodo de retorno en cada punto de la malla. Con el conjunto de velocidades obtenidas para los puntos de ésta malla se pueden elaborar los mapas de isotacas.

Murlidharan T.L. (1993), Damage Assessment and Vulnerability Analysis of Structures Subjected to Cyclones

Se presenta un estudio hecho en la India, donde primero definen los principales términos usados en la valoración de la vulnerabilidad: daño es la deficiencia o deterioro de la resistencia debido a cargas externas; para la valoración de daño se tienen los datos en observación, un análisis e interpretación por intuición y experiencia, se clasifica el daño y por último se hace una estimación cuantitativa de daño; la vulnerabilidad es la sensibilidad de la exposición de la estructura en el peligro y la relativa localización del peligro; el análisis de vulnerabilidad es el método de identificación del riesgo y evaluación basados en archivos históricos de peligro natural y análisis de desastres por la susceptibilidad de estructuras.

Se presenta un modelo de valoración de daño, el cual funciona de manera global ó en un solo nivel estructural, es decir, puede evaluar el daño en una región afectada ó en un solo edificio. La valoración global de daño evalúa la población afectada, cuantos edificios se destruyeron, el nivel de daño en la zona, impacto social de la operación esencial de los servicios de la zona, cual es el costo de la restauración; por otro lado para la valoración de daño en una estructura se tiene que clasificar en tipo de materiales, diseño y construcción, pues los materiales usados en la India para la construcción tiene influencia en la resistencia frente a los ciclones.

Puntualiza las razones por las que el análisis de vulnerabilidad es un problema de mala estructuración son que la vulnerabilidad no es una medida física, todos los factores desarrollados son inseguros debido a su aleatoriedad, la experiencia sobre el análisis de vulnerabilidad es sobre todo basado y explícitamente formulados, y por ultimo, las perdidas se categorizar en vidas, lesiones, propiedades, interrupción de negocios.

MDOC (1993), Manual de Diseño de Obras Civiles. Diseño por Viento

Es un manual muy utilizado en México para el diseño de estructuras por viento, en el se presenta una metodología de diseño aplicable en el país.

Dicha metodología consiste en hacer una clasificación del tipo de estructura y de las características propias de la región y del sitio donde se pretende desplantar la estructura, para ello se toman en cuenta su importancia, su respuesta ante la acción del viento, la rugosidad del terreno, la exposición de la estructura, el periodo de retorno, la velocidad regional.

La velocidad de diseño regional se obtiene de los mapas de isotacas, presentados para cuatro periodos de retorno, los cuales son mapas con isolíneas que representan la máxima velocidad media probable de presentarse en cierto periodo de retorno; las velocidades regionales han sido homogeneizadas a una altura de 10 m de la superficie de terreno, son velocidades asociadas a ráfagas de 3 segundos y toman en cuenta la posibilidad de que se presenten en las zonas costeras vientos debidos a huracanes.

En el manual se encuentran desarrollados algunos ejemplos donde se muestra el procedimiento para el análisis por viento de diferentes tipos de estructuras como naves industriales y edificios.

Walker G.R. (1995), The development of wind and earthquake damage risk models to predict insurance loss

En el artículo se evalúan las pérdidas que han sufrido las aseguradoras a causa de los desastres naturales, simplemente en el periodo de 1987 a 1995 las pérdidas fluctúan entre 22 y 4 billones de dólares americanos, en términos del valor actual en 1995. Consecuentemente las tarifas de las aseguradoras subieron, volviéndose caras y difíciles de conseguir.

Menciona el nivel que tiene Australia en este rubro, pues sus compañías aseguradoras tienen cobertura completa en caso de inundaciones, pero todavía tienen problemas con los seguros en caso de incendio, huracanes y terremotos. También hace un recuento de las consecuencias económicas que se han presentado en ciudades importantes a causa de los desastres naturales, como es el caso de New Castle que fue sacudido por un terremoto de 3.6° en la escala de Richter, y que ocasiono pérdidas del orden del millón de dólares.

Propone estimar el riesgo usando el método de Friedman (1974), en donde se hace una estimación de las características físicas, se trazan los parámetros de peligro, se sobreponen las características de exposición, se estiman la relación sobre pérdidas de los seguros y se integran sobre el peligro y la exposición, para estimar las pérdidas totales. Para modelar los ciclones tropicales y terremotos se puede usar el programa Monte Carlo, pero los programas principales de integración, son los de tipo GIS.

López A. (1995), Basis of the Mexican Wind Handbook for the evaluation of the Dynamic Response of Slender Structures

Se marcan la necesidad que se tiene en México para el buen diseño estructural por viento, y haciendo énfasis en el procedimiento que propone el manual publicado por la comisión Federal de Electricidad (CFE) y en Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE).

En este artículo se menciona parte del procedimiento que se siguió en el análisis eólico en el país, donde el primer paso fueron la búsqueda de información estadística en las 54 estaciones del Sistema Meteorológico Nacional, 10 estaciones meteorológicas de los Estados Unidos de América y 1 del Servicio Meteorológico de Belice.

En este manual se presentan los mapas de isolíneas ó isotacas para periodos de retorno de 10, 50, 100, 200 y 2000 años.

Augusti G. (2001), Is Aeolian Risk as Significant as other Environmental Risks?

En éste artículo se hace un recuento de los porcentajes de daño de distintos eventos de daño, los más notables son:

Por pérdidas económicas: terremotos 35%, inundaciones 30% y tormentas eléctricas 28%.

Por desastres naturales: tormentas eléctricas 70%, terremotos 18% e inundaciones 6%.

Por decesos humanos: terremotos 47%, tormentas eléctricas 45% e inundaciones 7%.

En el análisis del significado de riesgo eólico, denominan a la probabilidad del riesgo como el producto de: peligro (la acción de eventos dañinos), exposición (probabilidad de que la acción de vientos dañe) y vulnerabilidad (facilidad de daño debida a la acción del viento).

El peligro del sitio es la probabilidad de ocurrencia los daños del evento son relevantes en el lugar; La exposición es la relación de la fácil vulnerabilidad en el sitio; y la vulnerabilidad es la sensibilidad de facilidad del evento en términos de daño. Para evaluar estos términos se hace dependiendo de las consecuencias del evento, es decir, las pérdidas las cuales son principalmente económicas y humanas.

Se plantea el problema de los cambios climáticos, los cuales nos indican que las velocidades máximas de viento aumentaran en un futuro, debido a la degradación del medio ambiente; se mencionan las futuras necesidades de las edificaciones, en las cuales será vital revisar la vulnerabilidad estructural, tanto en puentes mucho más largos, edificios, telecomunicaciones, etc.

Se hace énfasis en el uso de predicciones experimentales en el análisis del riesgo eólico tales como el uso de túneles de viento (a escala y simultaneidad natural), métodos de computadora aplicando dinámica de fluidos, y simulación numérica.

Lakshmanan N. (2002), A Model for Cyclone Damage Evaluation

Hacen un análisis de las problemas al evaluación del daño por ciclones, como son el hecho de que no se usan las velocidades directas de huracán, pues los mapas de velocidades regionales en la India son producto de la conjunción de vientos normales y debidos a huracán; las mayoría de los edificios no cuentan con un diseño estructural, y los clasifican en 3 categorías: casas diseñadas (las que tiene techo plano ó muros/marcos de concreto), casas semidiseñadas (que cuenten con muros de piedra, techos inclinados o de laminas metálicas) y casas no diseñadas (las construidas con muros de barro, ladrillo recocido, madera, bambú, paja, césped, etc.).

Se propone un modelo analítico para predecir el escenario de daños en viviendas, considerando la acción de vientos ciclónicos y velocidades de viento para varios tipos de edificios, con el cual se pudo predecir adecuadamente el daño en el sector de vivienda en Orissa en 1999; se pudo determinar que la duración del huracán es significativo para determinar el nivel de daño.

Filliben J.J. (2002), Fragility curves, damage matrices and wind induced loss estimation

Se discute el uso de las matrices de daño de las estimaciones pérdidas anuales esperadas, debidas a la ocurrencia de tormentas, y de medidas de incertidumbre permanente en pérdidas esperadas; ambas con localización específica y sobre una gran área geográfica. Esto se puede evaluar revisando las pérdidas debidas a múltiples tipos de daño ó con las perdidas calculadas

por contabilidad correcta sobre varios estados de daño. Definiendo a una matriz de daño como aquella donde la probabilidad del estado de daño necesita ser considerado la estimación de pérdidas inducidas por el viento.

Presentan una curva de fragilidad para una estructura con dos estados de daño, R(pérdida parcial) y C(colapso del edificio); en la tabla 1.2 presentan los complementos de la curva de fragilidad de la probabilidad del estado básico, donde los valores de R y C, son la probabilidad $P(R/v)$ y $P(C/v)$, respectivamente, de que el estado básico R ó C ocurra dada una velocidad de viento v , o sea, $P(R/v)$ es la probabilidad de falla del techo y $P(C/v)$ la de colapso. Existiendo cuatro casos principales para la matriz de daño que son: que ocurra R y C no (perdida de techo, pero no colapso); que se presente C y R no (colapso de la estructura y techo intacto); que se presente R y C(daño en el techo y colapso de la estructura); y por ultimo que no se presenten ni R y ni C(sin daño). En el artículo se analizan las probabilidades de ocurrencia de cada caso, asumiendo ciertas condiciones para los casos en que se tiene dependencia; Al final se muestra una comparación de costos, solo como una estimación ilustrativa, sin certeza de que los montos usados sean verdaderos.

v (mph)		80	90	100	110	120	130	140
R	$P(R/v)$	0	0.03	0.20	0.5	0.8	1.0	1.0
C	$P(C/v)$	0	0	0	0.02	0.05	0.2	1.0

Tabla 1.2 Valores de la curva de fragilidad con falla parcial, R, y colapso, C.

HAZUS-MH, (2004), Methodology and software of Wind Hazards

El modelo de huracanes HAZUS-MH esta diseñado para evaluar estimaciones de pérdida para el uso de entidades gubernamentales federales y estatales en EUA, para planear la mitigación del riesgo por huracanes, la preparación para emergencias, la respuesta y reestablecimiento de actividades normales. Con el empleo de esta base de datos se pueden llevar a cabo estimaciones de pérdidas de manera general para una región de interés en los EUA.

La metodología considera aspectos importantes de las construcciones en una región y un amplio rango de diferentes tipos de pérdidas. Dentro de HAZUS-MH esta incluida una extensa base de datos, que contiene información como aspectos demográficos de la población de una región en estudio, áreas de ocupación de diferentes tipos de edificios, así como el número y localización de puentes.

En HAZUS-MH se emplean los métodos de simulación de análisis detallados para desarrollar las distribuciones de probabilidad del estado de daño y de estimación de pérdida. Estos resultados se emplean con métodos de probabilidad simple en la herramienta de software HAZUS para calcular el daño y la estimación de pérdida.

La metodología de estimación de pérdidas está basada en principios ingenieriles y científicos consistentes, así como en datos experimentales y de la experiencia de expertos. No obstante, los datos limitados e incompletos acerca de los daños actuales producidos por huracanes impiden una calibración completa de la metodología. Sin embargo, cuando se emplean con la metodología de HAZUS-MH, ésta ha mostrado obtener una estimación creíble de los agregados de tales pérdidas para obtener el costo total del daño.

Sánchez J. (2003), Wind design for Mexico: A review of the period 1964-2003

En México se empezó a tener interés en la investigación de éste tema a partir de 1964 cuando Rodríguez publicó un mapa de velocidades máximas de viento en México; aunque este trabajo no incluyó aspectos importantes como modelos de huracán o condiciones de viento local, si era el primer estudio que consideraba el factor topográfico junto a los datos meteorológicos y del huracán para todo el país. Hasta ésta fecha los estudios sobre diseño por viento fueron apoyados por la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), a partir de ésta fecha la Comisión Federal de Electricidad (CFE) ha sido el motor principal en el desarrollo de la Ingeniería de Viento y de los procesos de diseño aplicables en éste país.

En base al mapa presentado en 1964 la Comisión Federal de Electricidad (CFE) publicó en 1969 una tabla que definía tres regiones con diversos vientos máximos; en 1981 publicó otros mapas de velocidad de viento con siete zonas regionales; en ese mismo año el Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE) apoyado por la Comisión Federal de Electricidad (CFE) inició el programa de investigación para el diseño de líneas y torres de transmisión eléctrica contra los efectos de vientos ciclónicos y normales. Este proyecto incluyó la preselección de observatorios y la revisión y homogeneización de los datos de viento, la reconstrucción histórica de los campos de viento del huracán, un proceso estadístico, la elaboración de los mapas de isotacas, la revisión de las normas existentes de diseño y puesta al día de los procedimientos de diseño, todo esto publicado en el Manual de Diseño de Obras Civiles. En 1993 se actualizó el Manual de Obras Civiles de la Comisión Federal de Electricidad (CFE) al cual se incorporaron nuevos datos y revisión a las formulaciones y procedimientos de diseño.

Sánchez J. (2000), Nueva Regionalización Eólica del Valle de México

En este análisis se plantea la actualización de las velocidades utilizadas para el diseño estructural por viento en el valle de México; la actualización se realizó utilizando la reciente información de Sistema Meteorológico Nacional de los observatorios ubicados en Tacubaya, Aeropuerto, Chapingo, Pachuca, Puebla, Querétaro, Tlaxcala, Toluca y Tulancingo y los del sistema RAMA (Hangares y la Merced).

Se actualizó el programa que homogeniza las velocidades respecto a rugosidad del terreno, altura del aparato y topografía, y se ajustan datos a una función de valores extremos.

El análisis se hizo anual y trimestral, en el último análisis se observó que las velocidades más altas de Tacubaya, Hangares, Pachuca, Puebla y Tlaxcala se encuentran en el trimestre abril-junio. También se concluyó que las velocidades aumentan hacia el noroeste del Valle de México, en Querétaro se encuentran las más altas velocidades y en Toluca las más bajas.

Se encontró que el factor de la variación con la altura es mayor en las NTC-95 que en las NTC-2000, y que el factor de las NTC-2000 es mayor al usado en el reglamento de Nueva Zelanda de 1999 y en el Internacional Standar de 1997.

1.5. REFERENCIAS

Augusti G., Borri C., Niemann H.J. (2001), “Is Aeolian Risk as Significant as other Environmental Risks?”, Reliability Engineering and System Safety, Elsevier, 74, 227-237.

Brito R.P., (1982), “Revisión de la Velocidad Básica de Viento del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal”, Universidad Nacional Autónoma de México, División de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería, Trabajo Final para obtener el Grado de Maestro en Ingeniería.

Davidson R.A., Zhao H., Kumar V., et al (2003), “Quantitative Model to Forecast Changes in Hurricane Vulnerability of Regional Building Inventory”, Journal of Infrastructure System, 55-64.

Dolce M., Zuccaro G., Kappos A., Coburn A.W., (1995), “Report of the EAEE Working Group 3: Vulnerability and risk analysis”, 10th European Conference on Earthquake Engineering, Balkema, Rotterdam, 3049-3077.

Filliben J.J., Gurley K., Pinelli J.P., Simiu E., (2002), “Fragility curves, damage matrices and wind induced loss estimation”, Reprinted from proceedings from the Third International Conference on Computer Simulation in Risk Analysis and Hazard Mitigation, Sintra, Portugal, 119-126.

Huang Z., Rosowsky D.V., Sparks P.R., (2001), “Long-term Hurricane Risk Assessment and Expected Damage to Residential Structures”, Reliability Engineering and System Safety, Elsevier, 74, 239-249.

Lakshmanan N., Shanmugasundaram J., (2002), “A Model for Cyclone Damage Evaluation”, Journal of the Institution of Engineers, Civil Engineering Division, India, 173-179.

Leicester R.H., (1981), “A Risk Model for Cyclone Damage to Dwellings”. Proceedings of the Third International Conference on Structural Safety and Reliability, Trondheim, Norway, 761-771.

Letchford C.W., Hawes H., (2000), “Risk Assessment to Improve Reliability of Transmission Facilities Exposed to Sub-tropical High Wind Storm Events”, Australia.

López A., Vilar J.I., Muñoz C.J., (1995), “Inestabilidad aerodinámica en cables de líneas de transmisión”, Artículos técnicos, boletín IIE septiembre/octubre de 1995, 216-223.

López A., Vilar J.I., (1995), “Basis of the Mexican Wind Handbook for the evaluation of the Dynamic Response of Slender Structures”, New Delhi, India, 1890-1900.

MDOC, (1993), “Manual de Diseño de Obras Civiles. Diseño por Viento”. Instituto de Investigaciones Eléctricas, Comisión Federal de Electricidad.

Mehta K.C., Cheshire R.H., McDonald J.R. (1992), “**Wind resistance categorization of buildings for insurance**”, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics , Elsevier, 2617-2628.

Murlidharan T.L., Prasad J.D., Rao A., (1993), “**Damage Assessment and Vulnerability Analysis of Structures Subjected to Cyclones**”, Third Asia-Pacific Symposium Engineering on Wind Engineering, Hong Kong, 811-816.

Sánchez J., Aguirre J., Sen M., (1988), “**Simple Modeling Procedure for Estimation of Cyclone Wind Speeds**”, Journal of Structural Engineering, Vol. 114, No. 2, page 352-370.

Sánchez Sesma J., López López A., Aguirre Romano J.E., Muñoz Black C., Vilar Rojas J.I., (2003) “**Wind design for Mexico: A review of the period 1964-2003**”, Eleventh International Conference on Wind Engineering, The Wind Science and Eng. Research Center, Texas Tech University, Lubbock, Texas, USA June 3.

Sánchez J., López A., Muñoz C. J., (2000), “**Nueva Regionalización Eólica del Valle de México**”

Shanmugasundaram J., Arunachalam S., Lakshmanan N., et al (2000), “**Cyclone damage to buildings and structures a case study**”, Journal of wind Engineers and Industrial Aerodynamics, Gramado, Brazil, 369-380.

Spence R., Fawcett W., Brown A., Coburn A., (1998), “**The windstorm vulnerability of the UK building stock**”, in Proceedings of the 4th UK Conference on Wind Engineering, Bristol, 1998.

Stewart M., (2002), “**Cyclone Damage and Temporal Changes to Building Vulnerability and Economic Risks for Residential Construction**”, Research Report No. 220.01.2002, Civil, Surveying and Environmental Engineering, School of Engineering, TH1096.S738, The University of NewCastle , Australia.

Stubbs N., Perry D.C., (1993), “**Engineering of the Building Envelope, to do or not to do**”, Hurricanes of 1992. Proceedings of a Symposium organized by the American Society of Civil Engineers, Miami, Florida, 10-30.

Stubbs N., Boissonnade A., (1993), “**Damage Simulation Model for buildings Contents in a Hurricane Environment**”, Proceedings of 7th U. S. National Wind Engineering Conference, Los Angeles, California, USA, 759-771.

Stubbs N., Perry D.C. (1996), “**A Damage Simulation Model for buildings and Contents in a Hurricane Environment**”, Proceedings of Structures Congress XIV, ASCE, Building an International Community of Structural Engineers, Vol. 2, Chicago, Illinois, USA, 989-996.

Sundararajan C., (1989), “**Probabilistic Structural Mechanics Handbook: Theory and Industrial Applications**”, Chapman & Hall, Houston, Texas.

Unanwa C.O., Ihekweazu S. (1999), “**Conceptual Framework for Simulating Building Damage in Extreme Winds**”. First International Conference on Advances in Structural Engineering and Mechanics, Seoul, Korea, August, 23-25.

Unanwa C.O., McDonald J.R., (2000a), “**Building Wind Damage Prediction and Mitigation Using Damage Bands**”, Natural Hazards Review, November, Vol.1, No. 4, 197-203.

Unanwa C.O., McDonald J.R., Metha K.C., Smith D.A., (2000b), “**The Development of Wind Damage Bands for Buildings**”, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, Elsevier, 841, 119-149.

Vilar J.I., López A., (1992), “**Procedimiento estadístico para la obtención y aplicación de velocidades regionales de viento para determinar acciones de diseño en estructuras**”, Velocidades Regionales de Viento, Artículos técnicos, boletín IIE enero/febrero de 1992, 29-37.

Vilar J.I., López A., (1995), “**Terrain Related Parameters for the Evaluation of turbulence and their Application to the Response of Transmission Structures**”, New Delhi, India, 15-26.

Walker G.R., (1995), “**The development of wind and earthquake damage risk models to predict insurance loss**”, Integrated Risk Assessment, Sidney, Australia.



CAPITULO 2
FORMULACIÓN DE CONCEPTO DE RIESGO EÓLICO



2. FORMULACIÓN DE CONCEPTO DE RIESGO EÓLICO

Las construcciones están expuestas a diversos fenómenos naturales y acciones que se presentan con frecuencia como cargas por peso propio, viento, temblores, efectos de temperatura, empujes, presiones, asentamientos diferenciales, etc. y que pueden ocasionar daños importantes tanto de pérdida de vidas como económicas; cuando se ven afectados los sistemas vitales de la infraestructura de una región o país, las pérdidas económicas pueden ser significativas sobre todo al ocurrir fuga y/o la interrupción del suministro de gas, petróleo ó agua, o por la falla de torres de transmisión y distribución de energía eléctrica. Los sistemas estructurales más expuestos a sufrir daños por la acción de vientos turbulentos y de ráfagas son las construcciones ligeras, como naves industriales, torres de transmisión, puentes, paraguas, anuncios espectaculares, elementos aislados de celosía, recubrimientos de fachadas flexibles o rígidos, y estructuras flexibles y aerodinámicamente sensibles, entre otras.

En particular, los vientos extremos son eventos de altas consecuencias y baja probabilidad con respecto a eventos de siniestro como son el fuego, accidentes de auto, entre otros; esto implica que pueden pasar varios años entre eventos de viento que causen pérdidas significativas y que los criterios de diseño por viento se mejoren, disminuyendo así pérdidas futuras, por lo que el riesgo por viento puede variar en el tiempo.

El propósito del análisis de riesgo eólico es determinar los posibles escenarios de daño que puedan presentarse en zonas de alto peligro y las pérdidas asociadas a una probabilidad de recurrencia en caso de falla. El análisis de riesgo involucra principalmente al peligro por vientos en un sitio o región particular y a la vulnerabilidad de las construcciones ante estos efectos aerodinámicos, en donde la exposición también juega un papel importante siendo la probabilidad de que la acción encuentre algo que pueda ser dañado.

El analizar el riesgo por viento permite definir planes de emergencia, de prevención y mitigación de los daños, además de proveer información de la probabilidad de exceder cierto nivel de pérdida. En este caso, el uso de métodos complejos implica costos y un esfuerzo computacional muy elevado, por lo que en ocasiones es necesario recurrir a métodos simplificados que permitan obtener resultados racionales e inmediatos a un costo razonable.

Para disminuir y mitigar los efectos que ejerce del viento sobre las estructuras, recientemente, se han establecido metodologías diversas con el fin de prevenir y mitigar los riesgos provocados por vientos extremos. En este capítulo se establecerá el esquema general del riesgo por viento, y veremos que el riesgo por viento de sistemas estructurales no puede estar basado en un enfoque puramente estadístico para establecer las pérdidas futuras potenciales.

2.1. ANÁLISIS DE RIESGO

En la bibliografía analizada para llevar a cabo el estudio del arte sobre peligro y vulnerabilidad se encontró principalmente que existen varias metodologías de análisis de riesgo, entre ellos se encuentra un reporte de Dolce (1995), en el cual se expone el análisis de riesgo sísmico, presentando la siguiente ecuación:

$$R_1 = \sum_m q_m \left[\sum_i (H_i)(V_{lim}) \right] \quad (2.1)$$

donde:

- R_1 es el riesgo sísmico del nivel de daño 1
- q_m porcentaje de exposición de los elementos de categoría m
- H_i peligro sísmico según la severidad del evento
- V_{lim} vulnerabilidad sísmica según la severidad del evento

Los autores coinciden en tomar al riesgo como el producto del peligro del evento por la vulnerabilidad bajo el evento, en cierta exposición de la estructura o del sistema, que es lo que se expresa en la ecuación 2.1, por ello, dicha ecuación la podemos aplicar en cualquier tipo de riesgo, solo tendremos que evaluar éstas variables en el tipo del peligro que estemos analizando, en nuestro caso el eólico.

Es también relevante mencionar que en el manual de Sundararajan (1989), proponen una metodología para llevar a cabo el análisis de confiabilidad estructural y evaluación del riesgo por viento de sistemas estructurales. En la figura 2.1 se muestran los pasos a seguir para aplicar esta metodología los cuales consisten en:

- Análisis del Peligro por Viento
- Análisis de Fragilidad Estructural
- Análisis de Confiabilidad Estructural
- Análisis de Daño

También se presenta, en dicho manual, una metodología para la evaluación del riesgo mediante inspección y mantenimiento, donde los principales pasos son:

- Definición del Sistema de la estructura
- Valoración cualitativa del riesgo
- Modelos de falla, efectos y análisis crítico
- Desarrollo del programa de inspección

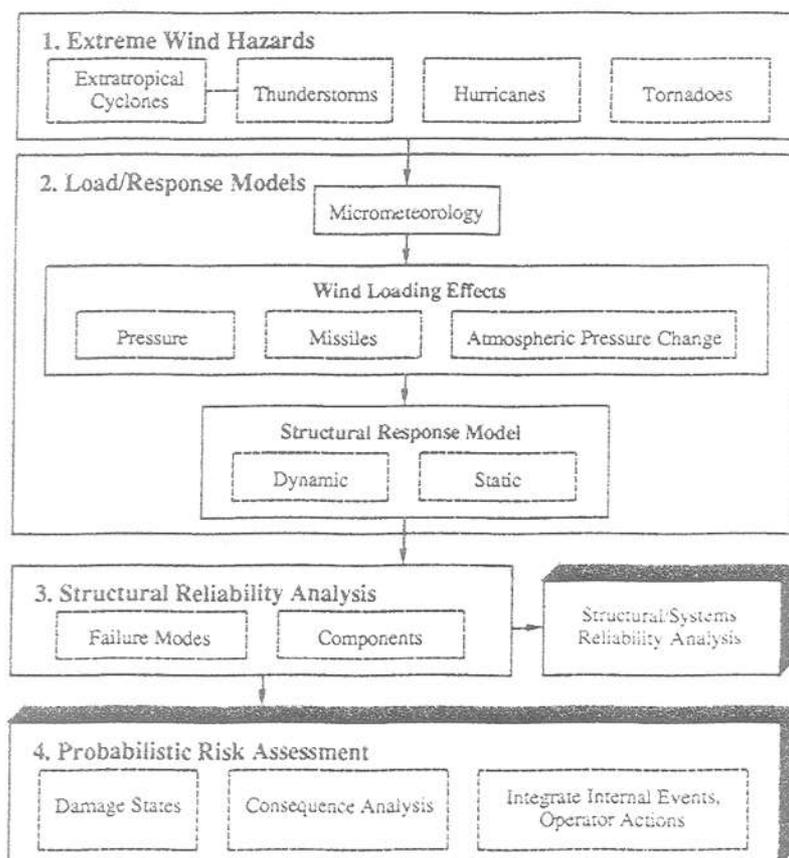


Figura 2.1. Metodología de análisis de confiabilidad estructural y evaluación del riesgo por vientos extremos

Los procedimientos más sobresalientes de estos análisis son la valoración de sistemas de riesgo y el método de confiabilidad del sistema, los cuales se describe en los siguientes subcapítulos.

2.2. VALORACIÓN DE SISTEMAS DE RIESGO

1.- Se determina la probabilidad anual del evento como una función de esta magnitud por medio del método análisis del peligro (Hazard Analysis) en donde la probabilidad de diferentes magnitudes de eventos peligrosos se puede mostrar en curvas. El peligro en eventos naturales puede analizarse por medio de datos históricos, modelos matemáticos del fenómeno natural y opiniones de expertos (estos modelos son desarrollados por metereologos y sismologos). En el caso de explosiones, ya sean internas o externas, es basado en datos históricos de plantas similares, opiniones de expertos y análisis del sistema de confiabilidad.

2.- Determinar la probabilidad de falla estructural a diferentes magnitudes del evento con el método de análisis de fragilidad estructural (Structural Fragility Analysis); en el cual se determinan las diferentes magnitudes del evento, la correspondiente probabilidad de falla presentando los resultados en forma de curvas de fragilidad y definiendo para cada estructura su propia curva de fragilidad.

3.- Determinar la probabilidad de falla del sistema a diferentes magnitudes del evento con el análisis de fragilidad del sistema (System Fragility Analysis) en el cuál se analizan diferentes magnitudes del evento.

4.- Determinar la probabilidad de falla anual del sistema debido a todas las magnitudes posibles del evento con el análisis de confiabilidad del sistema (System Reliability Analysis) que se usa en caso de huracanes, con el siguiente procedimiento:

Divide la curva de peligro del huracán dentro de un número de intervalos, Δ_v , que por lo regular son 10.

$$v_i \text{ a } v_{i+1} = v_i + \Delta_v$$

Calculo de probabilidad anual de huracanes con velocidades de viento v_i a v_{i+1}

$$h(v_i) = H(v_i) - H(v_{i+1})$$

donde: $H(v_i)$ es la coordenada de la curva de peligro con $v = v_i$

Determinar condiciones de probabilidad en el evento indeseado, en este caso un huracán de v_i .

Donde: $F(v_i)$ es la ordenada de la curva de fragilidad del evento, simplemente $F(v_i, H)$.

La probabilidad anual del evento indeseado debido al huracán para una posible velocidad de viento es:

$$P_H = \sum_i h(v_i) \{0.5[F(v_i) + F(v_{i+1})]\}$$

5.- Determinar el riesgo anual el sistema debido al evento con la valoración del riesgo del sistema (System Risk Assessment), en donde el riesgo es dado por el producto de la probabilidad del evento y sus consecuencias como lo pueden ser pérdidas económicas y humanas.

$$R(v) = P(v) \cdot V(v)$$

donde:

$R(v)$ es el riesgo respecto a la velocidad v

$P(v)$ es la probabilidad de exceder la velocidad v

$V(v)$ es la vulnerabilidad evaluada por las consecuencias de la velocidad v .

Si el sistema tiene eventos asociados con el riesgo total del sistema es igual a la suma de los riesgos de todos los eventos, pero solo se puede cuando los eventos son simultáneos.

2.3. MÉTODOS DE CONFIABILIDAD DEL SISTEMA

Aquí se analizarán algunos de los métodos ampliamente usados en confiabilidad del sistema y valoración de riesgo a saber los modos de falla y análisis de sus efectos.

Un sistema es un acomodo ordenado de componentes externos y operadores humanos para desarrollar algunas funciones deseadas.

Modelos de falla y efectos de análisis (FMEA).

Identifica el potencial de falla de los componentes y valora estos efectos en el sistema.

El término FMEA se emplea para referirse a FMEA y FMECA que son modos de falla, efectos y análisis crítico.

El análisis se hace en hojas con encabezados como la siguiente tabla:

Componente	Modo de falla	Causa de falla	Probabilidad de falla anual	Efecto de falla	Efectos críticos

Podemos describir las características de cada de las columnas como:

Componente.- Da el nombre o código único de identificación de cada componente en el sistema.

Modo de falla.- Da posibles caminos en cual el componente puede fallar como excesiva deformación, fatiga, fractura, flexión y colapso plástico.

Causas de falla.- Se listan todas las posibles causas de falla como corrosión, vibración por flujo inducido y/o choque de cargas.

Probabilidad de falla anual.- Una estimación de probabilidad de falla de datos históricos u opiniones de expertos; si no se cuenta con información se deja en blanco.

Efecto de falla.- Se enlistan todos los efectos posibles de falla, como colapso o explosión.

Efectos críticos.- Pueden ser los siguientes tipos:

- I.- Insignificante.- Muy poco daño en propiedad y muy poco efecto en el sistema. No hay heridos ni muertos.
- II.- Menor.- Algunos daños en propiedad y/o efectos en funciones del sistema y algo de confiabilidad. No hay heridos ni muertos.
- III.- Mayor.- Significativos daños en propiedad y/o funciones del sistema son afectados. No hay heridos o son muy pocos, y no hay muertos.

IV.- Crítico.- Fatalidades y/o heridas mayores. Puede haber, o no, daños en propiedades.

Faul Tree Analysis (FTA).

Es uno de los más ampliamente usados de los sistemas de análisis de confiabilidad; este procedimiento es una aproximación deducible.

Integración de confiabilidad estructural dentro del análisis de sistemas de control

Se pueden considerar dos escenarios de falla:

1.- Falla estructural bajo condiciones de carga normal. Ésta falla es muy pequeña, es del orden de 10^{-4} o menor, según datos históricos u opiniones de expertos, por lo que son ignorados en el sistema de análisis de confiabilidad.

2.- Falla estructural bajo condiciones de carga severas. Son provocadas por eventos extremos como terremotos, tornados, huracanes, explosiones, etc. Dichas cargas se presentan en diferentes intensidades, por lo que hay diferentes niveles de cargas y por lo tanto diferentes probabilidades de falla de la estructura. En este tipo de falla se supondrá interés en la probabilidad anual de fallas estructurales producidas por terremotos.

2.4. ANÁLISIS DE DAÑO

Existen algunos modelos para la evaluación estimaciones de daños, de donde sobre sale el modelo de huracanes HAZUS-MH se basa en la metodología de peligro-carga-resistencia-daño-pérdida desarrollada desde un marco individual de riesgo, y diseñado para la evaluación en entidades gubernamentales federales y estatales en EUA. Una característica de este modelo es que cada componente puede evaluarse y validarse separadamente. Esta metodología podría ser adoptada para México pero evidentemente implica tiempo y recursos que deben disponerse para su implementación.

El desempeño de una clase de edificios bajo eventos de carga por viento esta formulado en forma probabilista empleando conceptos simples de confiabilidad estructural. Para un modo de falla en particular, la probabilidad de falla o daño es la probabilidad de que el efecto de la carga por viento sea mayor que la resistencia del elemento. Debido a las incertidumbres en la predicción de cargas y respuesta estructural, el efecto de la carga S y de la resistencia estructural R son inciertas. Estas incertidumbres están representadas por funciones de densidad de probabilidad $f_S(s)$ y $f_R(r)$, respectivamente.

La probabilidad de daño, P_d , es simplemente:

$$P_d = P(R - S < 0) \quad (4)$$

la cual puede expresarse como:

$$P_d = \int_{-\infty}^{\infty} F_R(x) f_S(x) dx$$

donde $F_R(x)$ es la función de probabilidad acumulada (“cumulative distribution function”, CDF).

Al realizar simulaciones en edificios representativos dentro de una clase de construcciones, se estiman las probabilidades de daño para los componentes del edificio y se evalúan las relaciones entre el daño físico y el peligro por viento. Similarmente, empleando modelos de reparación y restauración para estados de daño físicos las pérdidas son estimadas.

Este enfoque conduce de manera lógica a un concepto simple de análisis probabilista para estimar el daño y la pérdida en edificios y construcciones de servicios indispensables. La ecuación (4) es la ecuación básica para el análisis de confiabilidad y se emplea para evaluar las probabilidades de daño para cada componente individual de un edificio. La probabilidad de los estados de daño para diferentes clases de edificios se estima conceptualmente empleando la extensión multivariable de la ecuación (4), generalmente expresada como el límite o función de estado de daño, g , en términos de las variables básicas, \underline{X} , tal que:

$$M = g(\underline{X}) = g(X_1, X_2, \dots, X_m)$$

El daño o falla está definido como $M < 0$; luego, $M = 0$ es la superficie de falla. Las variables básicas X_1, X_2, \dots, X_m , son las variables de los efectos de la carga y la resistencia requeridas para modelar todos los modos de falla de interés, tales como: fallas de levantamiento de los techos, fallas de ventanas por impactos, fallas de muros, etc. Existen muchos métodos para estimar P_d , que incluyen los métodos de primer y segundo orden y la simulación de Monte Carlo. En HAZUS-MH se emplean los métodos de simulación para análisis detallados para desarrollar las distribuciones de probabilidad del estado de daño y de estimación de pérdida. Estos resultados se emplean con métodos simples probabilistas en la herramienta de software HAZUS para calcular el daño y la estimación de pérdida. Mayores detalles se presentan en los manuales técnicos correspondientes.

2.5. REFERENCIAS

Sundararajan C., (1989), “**Probabilistic Structural Mechanics Handbook: Theory and Industrial Applications**”, Chapman & Hall, Houston, Texas.

Unanwa C.O., McDonald J.R., (2000a), “**Building Wind Damage Prediction and Mitigation Using Damage Bands**”, Natural Hazards Review, November, Vol.1, No. 4, 197-203.

Unanwa C.O., McDonald J.R., Metha K.C., Smith D.A., (2000b), “**The Development of Wind Damage Bands for Buildings**”, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, Elsevier, 841, 119-149.



CAPITULO 3

**DETERMINACIÓN DEL PELIGRO POR VIENTO EN
MICHOACÁN**



3. DETERMINACIÓN DEL PELIGRO POR VIENTO EN MICHOACÁN

El peligro por viento es la probabilidad de sufrir una intensidad de velocidad de viento, la cual produzca daño durante un periodo de interés, en un sitio particular o en una región; principalmente se asocia a fenómenos potenciales de daño relacionados con vientos fuertes, tales como vientos invernales y vientos por huracanes.

Como se ha mencionado anteriormente, la República Mexicana se ve afectada en sus costas del Pacífico, Golfo de México y Caribe, por tormentas tropicales que con frecuencia llegan a la categoría de huracanes. El efecto que tienen éstos hacia tierra adentro del territorio, es de suma importancia para determinar las cargas que se ejercen sobre las estructuras por las masas de viento impulsadas por las mismas velocidades del fenómeno meteorológico tropical; lo anterior no significa que las velocidades de viento debidas a otros fenómenos, como los vientos invernales y los de ocurrencia normal, no sean importantes, si no que los vientos de tormentas ciclónicas son de mayor intensidad, por lo que provocan mayores pérdidas.

Por lo tanto para determinar el peligro por viento es necesario hacer un análisis estadístico donde se conjuguen éstos efectos, los cuales se evaluarán en dos procedimientos de distribución, debido a que son fenómenos completamente independientes y, su efecto y manejo son diferentes; el primer procedimiento es para vientos normales, que incluyen los efectos de los vientos invernales, y el segundo para vientos ciclónicos, ambos procedimientos se describen en los siguientes subcapítulos.

Para que los resultados del análisis sean confiables se debe de contar con una muestra de información consistente; para que la información obtenida tenga suficiente peso estadístico se debe contar con al menos 10 años de registro continuo de velocidades máximas de viento. En Michoacán solo se cuenta con dos observatorios meteorológicos, los cuales cumplen con las características para la confiabilidad de la información. Como es evidente, es muy poca información para poder obtener una distribución de velocidades en el Estado, por lo que será necesario extender el análisis a toda la República Mexicana, y de los resultados obtenidos graficar la distribución del peligro eólico en el Estado.



3.1. ANÁLISIS DE LA DISTRIBUCIÓN DE VELOCIDADES DE VIENTO DEBIDAS A VIENTOS NORMALES

Para llevar a cabo el análisis de las velocidades de estos vientos se debe de contar con información estadística confiable y continua, lo que redundará en la necesidad de tener un periodo de los registros de velocidades máximas mensuales igual o mayor a los 10 años, y que no exista duda de la veracidad de la información. También necesitamos las características topográficas y de rugosidad de la zona en la que se encuentra el observatorio.

La información estadística de velocidades de vientos máximos mensuales fue obtenida de los registros de las observatorios meteorológicos del Servicio Meteorológico Nacional (SMN), perteneciente a la Comisión Nacional del Agua (CNA); los primeros observatorios empezaron a funcionar en 1941, desde entonces se han implantado más observatorios en la República Mexicana, pero no todos los existentes cuentan con un periodo de registro continuo y confiable, en algunos existen lapsos sin información de hasta 20 años; si se duda de la veracidad de información se deben desechar pues nos alterarán los resultados

3.1.1. Análisis estadístico

A continuación se presenta la metodología seguida para realizar el análisis a los vientos normales con base en los registros de estaciones meteorológicas, y así obtener las velocidades regionales para cada observatorio; las velocidades regionales deberán pasar por un proceso de homogeneización, para cumplir con estándares internacionales, cuyas características son: pertenecer a velocidades de ráfaga para categoría de terreno 2, y a 10 m de altura del nivel del terreno.

1) Homogeneidad de los datos

Para poder procesar los datos estadísticos es necesario verificar que los datos sean una muestra representativa del problema. Para ello es necesario demostrar que no existe variación tendencial en la muestra; esto se logra con el siguiente procedimiento:

a) Obtención de la recta de regresión por medio del ajuste de mínimos cuadrados para cada observatorio:

$$y = mx + y_0 \quad (3.1)$$

donde:

$$m = \frac{n \sum xy - (\sum x)(\sum y)}{n \sum x^2 - (\sum x)^2} \quad (3.2)$$

$$y_0 = \frac{(\sum y)(\sum x^2) - (\sum x)(\sum xy)}{n \sum x^2 - (\sum x)^2} \quad (3.3)$$



b) Prueba de hipótesis de la pendiente igual a cero (sobre la pendiente del análisis estadístico)

$$t = \frac{a_1 - A_1}{\sqrt{1-r^2}} \sqrt{n-2} \quad (3.4)$$

donde:

- t distribución de Student
- v grados de libertad, $v = n - 2$
- a_1 pendiente de la recta (coeficiente de regresión)
- A_1 pendiente cuyo valor se trata de verificar
- r coeficiente de correlación y se calcula la ecuación 3.5.

$$r = \frac{n \sum xy - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{[n \sum x^2 - (\sum x)^2][n \sum y^2 - (\sum y)^2]}} \quad (3.5)$$

Entonces sí $m = 0$ no hay diferencia significativa del nivel de confianza de que la pendiente sea cero por lo tanto no hay variación tendencial en los datos y las muestras son homogéneas, por otro lado, sí $m \neq 0$ hay variación tendencial, las muestras no son homogéneas.

2) Tipos de distribuciones extremas

Se sabe que para histogramas y polígonos de frecuencias del análisis de vientos máximos la estadística proporciona tres distribuciones adecuadas, llamadas distribuciones de extremos, la principal diferencia se estima en la forma exponencial a la que decrecen sus colas, la forma típica de los histogramas de distribuciones extremas para valores máximos es la forma de campana en la cual la cola izquierda cae más rápido que la derecha; de entre ellas deberá seleccionarse la que mejor se ajuste. A continuación se presentan los tipos de distribuciones aplicables para a nuestro análisis.

a) Distribución extrema Fisher-Tippett I.

$$F(v_i) = \exp\{-\exp[-\gamma(v_i - \beta)]\} \quad (3.6)$$

y su función de densidad es:

$$f(v_i) = \gamma \exp\{-\gamma(v_i - \beta) - \exp[-\gamma(v_i - \beta)]\} \quad (3.7)$$

con un intervalo de $-\infty \leq v_i \leq \infty$, en el cual los valores negativos son para probabilidades que tienden a cero.

$$\text{LnLn} \left[\frac{1}{F(v_i)} \right] = -\gamma v_i + \gamma \beta \quad (3.8)$$



tomando las variables de la ecuación 3.8 en términos de la ecuación 3.1:

$$\begin{aligned} y &= \text{LnLn} \left[\frac{1}{F(v_i)} \right] \\ x &= v_i \\ m &= -\gamma \\ y_0 &= \gamma \beta \end{aligned} \quad (3.9)$$

Por lo que la ecuación 3.8 representa a la ecuación 3.1 y podemos calcular m y y_0 con las ecuaciones de la recta:

$$\begin{aligned} \gamma &= -m \\ \beta &= \frac{y_0}{\gamma} \end{aligned} \quad (3.10)$$

Se evalúa la ecuación 3.7 y se grafica sobre el histograma de frecuencias normalizadas, el cual se obtiene dividiendo las frecuencias entre el número total de datos y entre el ancho de clase.

Se evalúa la bondad de dicha gráfica se puede calcular con la prueba χ^2 cuadrada representada por la ecuación 3.11.

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(o_i - e_i)^2}{e_i} \quad (3.11)$$

con:

- v grados de libertad, $v = k - 1 - m$
- e_i i ésima frecuencia esperada (se recomienda ≥ 5)
- o_i i ésima frecuencia observada
- k número de intervalos del histograma
- m número de parámetros estadísticos utilizados para calcular e_i

b) Distribución extrema Fisher-Tippett tipo II

$$F(v_i) = \exp \left[- \left(\frac{v_i}{\beta} \right)^{-\gamma} \right] \quad (3.12)$$

$$f(v_i) = \exp \left[- \left(\frac{v_i}{\beta} \right)^{-\gamma} \right] \left(\frac{\gamma}{\beta} \right) \left(\frac{v_i}{\beta} \right)^{-(\gamma+1)} \quad (3.13)$$



Esta distribución se se representa por la ecuación 3.12, su función de densidad esta es la ecuación 3.13, para la cual se pueden toma valores de $0 \leq v_i \leq \infty$; tomando las variables de dicha ecuación en términos de la ecuación de la recta (3.1) y procediendo de igual forma que en la tipo I hasta llegar a la ecuación de la bondad de ajuste.

$$y = \text{LnLn} \left[\frac{1}{F(v_i)} \right]$$

$$x = \ln(v_i) \quad (3.14)$$

$$m = -\gamma$$

$$y_0 = \gamma \ln(\beta)$$

$$\gamma = -m$$

$$\beta = \exp \left(\frac{y_0}{\gamma} \right) \quad (3.15)$$

c) Distribución extrema Fisher-Tippett tipo III

$$F(v_i) = \exp \left[- \left(\frac{w - v_i}{w - \beta} \right)^\gamma \right] \quad (3.16)$$

su función de densidad es:

$$f(v_i) = \frac{\gamma}{w - \beta} \left(\frac{w - v_i}{w - \beta} \right)^{\gamma-1} \exp \left[- \left(\frac{w - v_i}{w - \beta} \right)^\gamma \right] \quad (3.17)$$

ambas toman intervalo de $-\infty \leq v_i \leq w$, y en tomando los términos de la ecuación 3.1:

$$y = \text{LnLn} \left[\frac{1}{F(v_i)} \right]$$

$$x = \ln(w - v_i) \quad (3.18)$$

$$m = \gamma$$

$$y_0 = -\gamma \ln(w - \beta)$$

y

$$\gamma = m$$

$$\beta = w - \exp \left(\frac{y_0}{\gamma} \right) \quad (3.19)$$



Se fijan las cotas para w , se procede a evaluar la ecuación 3.17, se grafica sobre el histograma y se calcula la prueba χ^2 -cuadrada de la bondad de ajuste.

d) **Distribución extrema de Weibull (describir)**

$$F(v) = 1 - \exp\left\{-\left[\frac{(v-\varepsilon)}{(u-\varepsilon)}\right]^k\right\}; v \geq \varepsilon, u > \varepsilon \quad (3.20)$$

3.1.2. Obtención de la Velocidad Regional

La velocidad de diseño para cada estación depende del periodo de retorno:

$$F(V_D) = 1 - \frac{1}{R} \quad (3.21)$$

donde:

V_D velocidad de diseño asociada.

$F(V_D)$ función de distribución evaluada en V_D .

R periodo de retorno: es el recíproco de la probabilidad de exceder el valor de diseño.

Se evalúa $F(V_i)$ para ciertos periodos de retorno, de los cuales los más usuales son: 25, 30, 50, 100 y 200 años.

Las características de cada estación meteorológica no son las mismas, por lo que las condiciones en que se registra la velocidad del viento son variadas, en esos casos se debe de hacer la corrección por los factores de variación como la con la altura de medición, la rugosidad del terreno, el tipo de aparato y por la topografía, los cuales se describen en los siguientes incisos.

1) Variación con la altura de medición y la rugosidad del terreno

Se puede representar por la variación potencial y logarítmica, siendo ésta última la más aproximada.

a) Ley Potencial

$$v(z_1) = v(z_2) \left(\frac{z_1}{z_2}\right)^\alpha \quad (3.22)$$

donde:

$v(z_1)$ velocidad a la altura z_1

$v(z_2)$ velocidad de referencia

z_1 altura a la que se requiere conocer la velocidad



- z_2 altura de la velocidad de referencia
- α constante que depende de la rugosidad del terreno, se toman de la tabla 3.1.

Esta variación para un mismo lugar puede ser:

$$v(z_1) = k v(z_2)^\alpha \tag{3.23}$$

donde k depende de la velocidad y altura de referencia y rugosidad del terreno.

Tipo de Superficie	α
Terreno plano abierto con escasos obstáculos	0.16
Terreno cubierto uniformemente con obstáculos de entre 9 y 15 m de altura	0.28
Terreno con obstáculos grandes e irregulares	0.40

Tabla 3.1 Coeficientes α de la rugosidad del terreno

b) Ley Logarítmica

$$v(z_g) = 2.5u_* \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \tag{3.24}$$

donde:

- $v(z_g)$ velocidad del viento en el nivel z_g
- u_* velocidad cortante
- $z = z_g - z_d$
- z_g altura desde el suelo a la veleta
- z_d altura del plano de desplazamiento nulo
- z_0 longitud de rugosidad
- z_0 y z_d parámetros que definen la rugosidad del terreno.

Para obtener u_* tomamos $v(z)$ como velocidad de diseño asociada y z_g como la altura a la que fueron tomados los datos y $z_d = 0$, excepto para el centro de grandes ciudades, donde será el valor menos a 20 m ó $0.75 \bar{h}$, donde \bar{h} es la altura media de los edificios de alrededor y z_0 se toma según la características del sitio donde fueron tomados los datos de la tabla 3.1.

Zona expuesta	z_0 (m)
Campo abierto	0.03 - 0.10
Suburbios	0.20 - 0.30
Centro de poblaciones	0.35 - 0.45
Centro de grandes ciudades	0.60 - 0.80

Tabla 3.2 Parámetros para evaluar la rugosidad del terreno

Entonces:



$$u_* = \frac{0.4 v(z)}{\ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} \quad (3.25)$$

c) Efectos de rugosidad

Para corregir los efectos causados por la rugosidad del sitio se pueden usar la variación exponencial y la variación logarítmica.

Variación exponencial

Sí $v(z_1, \alpha_1)$ es la velocidad a la altura z_1 sobre un terreno de rugosidad α_1 . Y sí $v(z_2, \alpha_2)$ es la velocidad a la altura z_2 sobre un terreno de rugosidad α_2 ; la ley de variación será:

$$v(z_1, \alpha_1) = VG \left(\frac{z_1}{z_{G1}}\right)^{\alpha_1} \quad (3.26)$$

$$v(z_2, \alpha_2) = VG \left(\frac{z_2}{z_{G2}}\right)^{\alpha_2} \quad (3.27)$$

donde:

VG velocidad gradiente
 z_G altura gradiente

sí consideramos igualar VG y despejamos $v(z_1, \alpha_1)$ y $z_1 = z_2 = 10m$, obtenemos la ecuación 3.27, y el valor de la altura gradiente, z_G , asociado a cada rugosidad se obtiene de la siguiente tabla 3.3.

Al evaluar la ecuación 27 obtenemos $v(10^*)$

$$v(10, \alpha_2) = v(10, \alpha_1) \frac{(z_{G1})^{\alpha_1}}{(z_{G2})^{\alpha_2}} 10(\alpha_2 - \alpha_1) \quad (3.28)$$

Tipo de Superficie	z_G (m)
Terreno abierto con escasos obstáculos	275
Terreno cubierto uniformemente con obstáculos entre 9 y 15 m de altura	400
Terreno con obstáculos grandes e irregulares	520

Tabla 3.3 Altura gradiente para rugosidad del terreno

Variación logarítmica



Siendo z_{01} la longitud de rugosidad del perfil para el terreno a corregir, y z_0 la longitud de rugosidad para otro terreno, para los cuales la ley de variación logarítmica se presenta en las ecuaciones 3.28 y 3.29. Para obtener el valor de u_* se aplica la ecuación 3.30 ó se usa la grafica de la Relación de $\frac{u_*}{u_{*1}}$

$$v(z_g, z_0) = 2.5u_* \ln\left(\frac{z_g - z_d}{z_0}\right) \tag{3.29}$$

$$v(z_g, z_{01}) = 2.5u_{*1} \ln\left(\frac{z_{g1} - z_{d1}}{z_{01}}\right) \tag{3.30}$$

$$u_{*1} = u_* \left(\frac{z_{01}}{z_0}\right)^{0.0706} \tag{3.31}$$

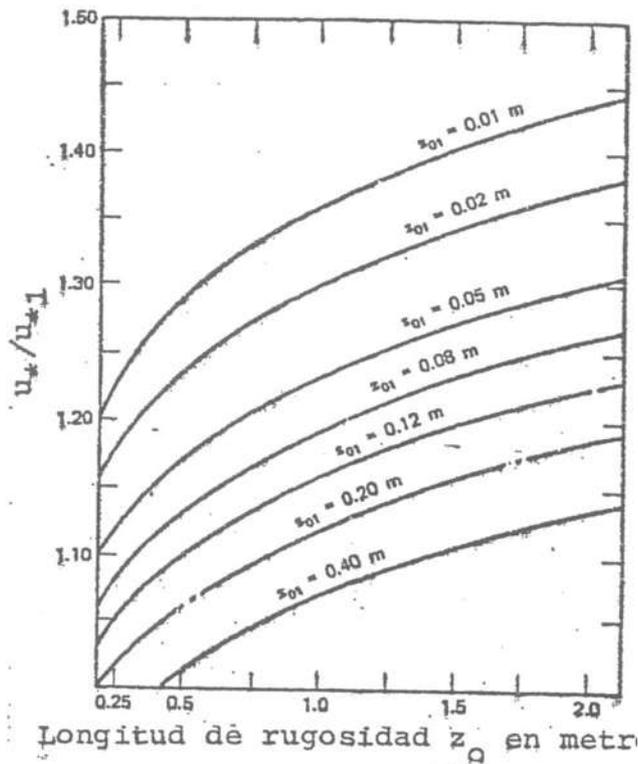


Figura 3.1 Relación de $\frac{u_*}{u_{*1}}$

Para obtener la velocidad de diseño asociada y corregida por altura y rugosidad del terreno se usa la ecuación 3.29. En caso de que $z_{01} = z_0$, $u_{*1} = u_*$ y se puede hacer la corrección simultáneamente de altura y rugosidad es terreno a campo abierto.

2) Efectos de topografía y variación por efectos del tipo de aparato

Dependiendo de las condiciones locales de la estación meteorológica se tiene un valor del factor de topografía, CT, que para corregir por topografía se divide la velocidad entre éste factor, el cual se obtiene bajo el siguiente criterio establecido en la tabla 3.4.

Cuando la velocidad básica de diseño es obtenida de datos de registros que no son velocidades instantáneas se deben de corregir por los efectos que pueden ocasionar las ráfagas; para corregir por este factor se usa la siguiente tabla 3.5

Tipo de Terreno	CT
Muy accidentado como el centro de ciudades importantes	0.70
Zonas arboladas, lomeríos, barrios residenciales o industriales	0.80
Campo abierto, terreno plano	1.00
Promontorios	1.20

Tabla 3.4 Factor para la corrección por topografía

t (seg)	2	5	10	30	60	100	200	500	1000	3600
$\frac{\bar{v}_t}{\bar{v}_h}$	1.53	1.47	1.42	1.28	1.24	1.18	1.13	1.07	1.03	1.00

Tabla 3.5 Factor para la corrección por tipo de aparato

3.1.3. Ajuste de extremos para los observatorios meteorológicos

En el análisis se consideraron datos de 74 estaciones meteorológicas; de las cuales 69 corresponden a estaciones de México; cuatro a las estaciones de los Estados Unidos de América, ubicadas en las ciudades de San Diego en California, Phoenix en Arizona, San Antonio y El Paso en Texas; también se utilizó la información de la estación de la ciudad de Belice, Belice. En la Figura 3.2 se muestran la distribución de puntos correspondientes a estas estaciones.

El ajuste de distribuciones extremas se realizó con datos depurados de cada una de estas estaciones, los tipos de distribuciones utilizados fueron Distribución extrema Fisher-Tippett I, la tipo III y la distribución de Weibull, rechazándose la tipo II por no proporcionar un buen ajuste para el tipo de distribución; se revisaron las curvas de ajuste para distribuciones de extremos mensuales y anuales; en la mayoría de las estaciones la curva que proporcionó mejor ajuste fue la Extrema tipo III con distribución mensual. En la Figura 3.3 se muestra la gráfica de ajuste de velocidades para el caso de la estación de Morelia, Michoacán, en donde se muestran las velocidades en m/s para periodos de retorno de 1 a 2000 años.





Figura 3.2 Observatorios considerados en el análisis de ajustes de distribuciones extremas

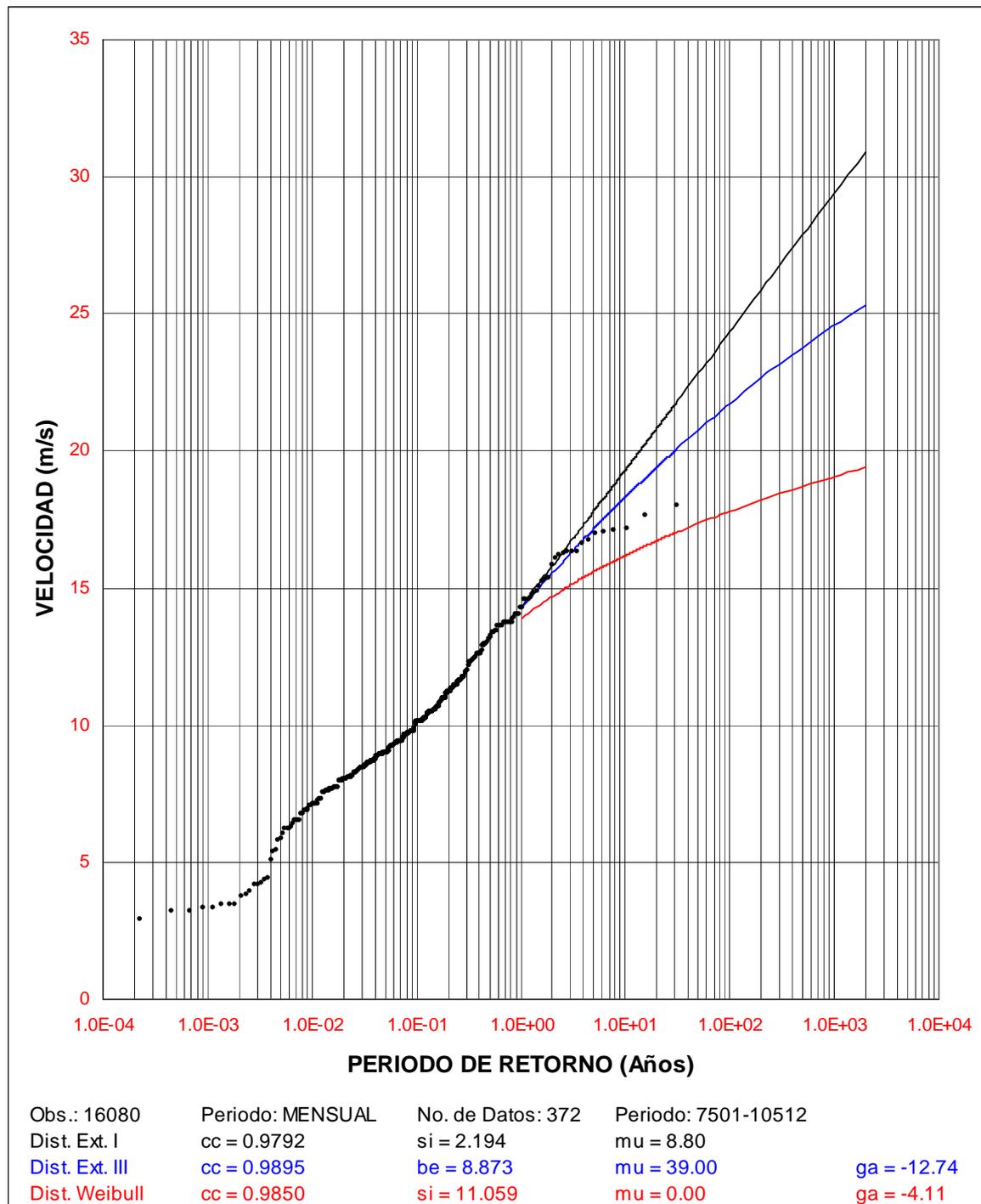


Figura 3.3 Gráfica de ajuste de distribuciones extremas para el observatorio de Morelia, Michoacán

3.2. ANÁLISIS DE LA DISTRIBUCIÓN DE VELOCIDADES DE VIENTO DEBIDAS A HURACANES

Para evaluar el efecto que tiene las fuerzas del viento debido a huracán, primeramente es necesario contar con una base de datos confiable de todos los huracanes que se han presentado en el Pacífico y en el Atlántico, con registro de sus trayectorias y cambios en sus parámetros principales en su recorrido como son presión, temperatura, velocidad y radio del huracán. La base de datos de huracanes con la que se trabajó se obtuvo a partir de información proporcionada por la Nacional Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) de los Estados Unidos de América; para el Atlántico se tiene un periodo de 1851-2005, con registro de 1354 huracanes y para el Pacífico de 1949-2005 se han registrado 795 huracanes. En la Figura 3.4 se muestra parte de un archivo tipo de la base de datos de huracanes para el Pacífico. Por otro lado, es necesario contar con un modelo fluido-dinámico calibrado que estime las velocidades que tiene cada huracán, en diferentes puntos de interés ubicados sobre las costas y tierra adentro.

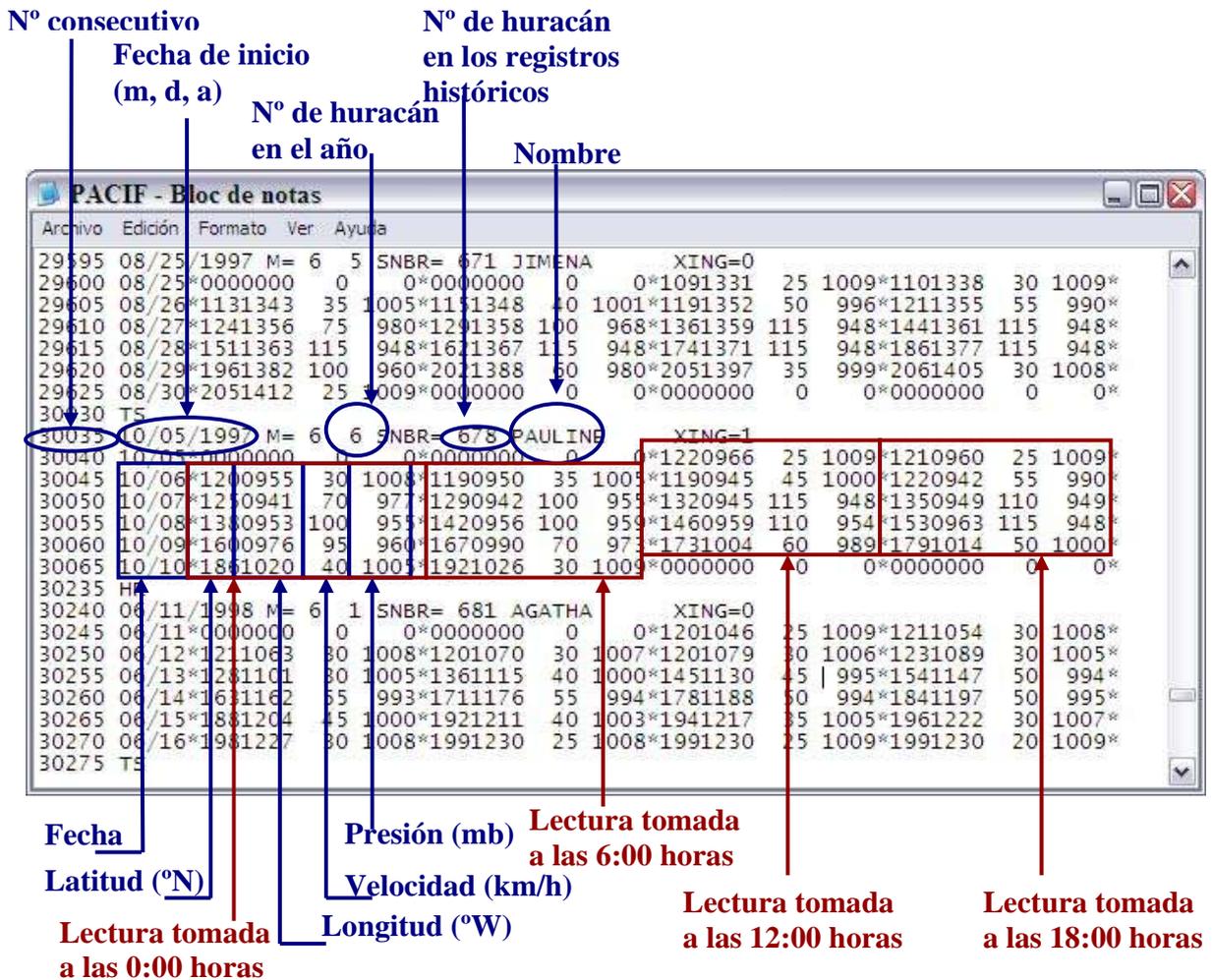


Figura 3.4 Archivo tipo de información de huracanes en el Pacífico

El IIE cuenta con un programa de cómputo de infraestructura propia, que incluye el modelo fluido-dinámico de huracanes, que permite estimar las velocidades del viento por huracanes en las costas del Pacífico y Atlántico. Este programa se ha venido mejorando y calibrando para tener estimaciones más confiables. Para evaluar estas estimaciones, se debe generar una malla de puntos lo suficiente y adecuadamente densa sobre las costas para que los cálculos del modelo fluido-dinámico sean razonables y congruentes. El método empleado se relaciona a la simulación histórica de velocidades de huracanes, directamente de la información respecto a la posición e intensidades ciclónicas, a diferencia de los métodos de simulación ficticia de los vientos ciclónicos, usados por otros investigadores en los Estados Unidos de América, con base en procesos aleatorios y modelos probabilistas que resultan, aunque con mayor manejo de variables, en procesos indirectos que conllevan un mayor número de errores asociados. En la Figura 3.5 se muestra la malla de puntos; en esta malla se observa tanto los puntos tierra adentro, que incluyen puntos de estaciones meteorológicas reales, como puntos mar adentro.

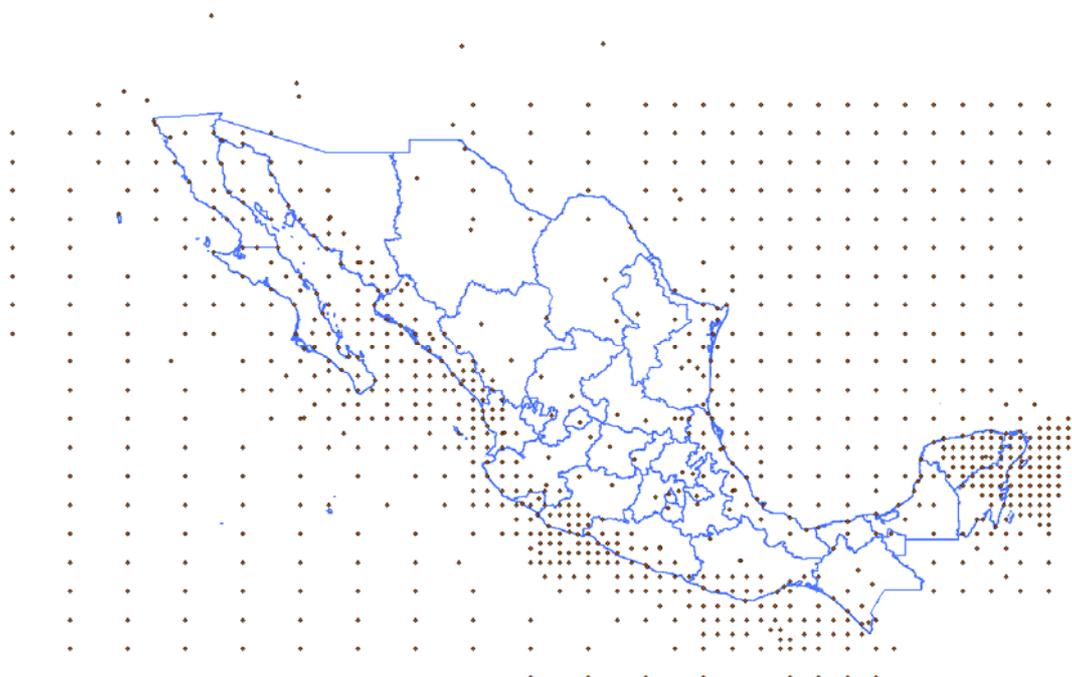


Figura 3.5 Malla de puntos refinada empleada para definir zonas afectadas por huracanes en las costas del Pacífico y Atlántico.

3.2.1. Modelo fluido-dinámico de huracanes

Para evaluar los riesgos asociados a huracanes se deben considerar con detalle los diferentes aspectos que influyen a esos fenómenos meteorológicos. El primero es la escasez de los registros meteorológicos de los vientos de huracanes, pues los sitios de registro continuo que cuenten con el equipo adecuado son relativamente pocos, para la extensión de las zonas afectadas, por ello, en estudios previos se ha recurrido a la reconstrucción histórica de los campos de vientos en todo México. Otra gran limitación de los modelos del viento de huracán, es que éstos no consideran la topografía; este efecto es muy importante, pues afecta a los huracanes aún antes de entrar al territorio nacional, lo cual también ha sido tomado en cuenta para el presente estudio.



Otro aspecto limitante en la reconstrucción histórica de vientos de huracanes, es la longitud temporal de la información de las trayectorias e intensidades que para el Océano Pacífico es relativamente corta (1949-2005) cuando se compara con la longitud de la información del Atlántico (1851-2005). Ante esta situación, se debe evaluar la confiabilidad de las estimaciones realizadas con diferentes longitudes temporales de información y en su caso proponer factores de calibración que nos permitan igualarlas.

Sin embargo, esos riesgos no solo son importantes en las costas de México. Se debe de considerar que en ocasiones los campos de viento de las trayectorias de ciclones tropicales logran cubrir gran parte del territorio nacional, al adentran en territorio, afectando no solo a las regiones costeras sino también al altiplano central. Por ello, y aunque los ciclones tropicales pierden intensidad al adentrarse al territorio nacional, se requiere realizar los estudios, que con información y modelos, permitan estimar los valores de los vientos ciclónicos máximos cuando los huracanes se acercan y entran al territorio y se ven modificados por la influencia orográfica, en las diferentes zonas de México. El modelo aplicado permite estimar a las velocidades superficiales de los vientos provocados por un huracán empleando expresiones matemáticas que involucran a las variables meteorológicas que caracterizan de manera directa al campo de viento ciclónico.

Debido a que la intensidad de los vientos ciclónicos depende en gran medida de la presión atmosférica del sistema en ese momento, se utiliza la siguiente expresión para obtener su gradiente radial de presiones:

$$P = P_0 + (P_n - P_0) \exp(-r_n^D) \quad (3.32)$$

donde:

p_0 y p_n son las presiones del ojo del huracán y normal del sitio de interés, respectivamente.

r_n el radio normalizado, y es la relación entre el radio de localización r y el radio donde se presentan las velocidades máximas, R

D factor que refleja el perfil horizontal de los vientos.

Con la expresión de presión atmosférica (3.31), el gradiente radial de presiones resulta en:

$$\frac{\partial P}{\partial r} = -(P_n - P_0) D \times r_n^{-(D+1)} R^{-1} \exp(r_n^{-D}) \quad (3.33)$$

Se sugieren valores de D entre 1.0 y 2.5, admisibles teóricamente.

El viento gradiente, es el viento que se presenta en la atmósfera, libre de la influencia de las rugosidades superficiales. El viento gradiente se presenta en donde se dice que acaba la capa límite atmosférica, esto es a una altura que se le denomina "altura gradiente", Z_g .

Considerando el balance radial de fuerzas de presión, de inercia y de Coriolis y la influencia de la traslación de la geometría del flujo para la zona de vientos gradientes a la zona que engloba al flujo giratorio asociado al gradiente radial de presiones, se tiene:

$$\frac{V_g^2}{r} + \left(f - \frac{V_t \times \text{sen } \beta}{r} \right) V_g - \frac{1}{\rho} \times \frac{\partial P}{\partial r} = 0 \quad (3.34)$$



donde f es el coeficiente de Coriolis.

Sustituyendo en esta expresión la ecuación 3.32 y despejando de ella al viento gradiente, se tiene:

$$V_g = -\frac{kr}{2} + \left[\left(\frac{kr}{2} \right)^2 + V_c^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (3.35)$$

donde:

$$k = f - \frac{V_t \times \text{sen } \beta}{r} \quad (3.36)$$

V_t es la velocidad de translación del huracán

$$V_c^2 = \rho^{-1} (P_n - P_0) r_n \exp(-r_n^{-D}) \quad (3.37)$$

V_c^2 es la velocidad ciclotrónica

$$\beta = \frac{\pi}{2} \quad (3.38)$$

Una variable muy importante para definir el campo de vientos ciclónico es el radio del viento máximo R , donde se presentan las velocidades más elevadas. Los valores del radio del viento máximo dependen de varios factores, como la presión central mínima, la translación, la latitud y la cercanía y forma de la tierra firme; por ello, las mediciones del radio de viento máximo cuando no consideran las variables asociadas en conjunto, no presentan patrones bien definidos. Sin embargo, las mediciones del radio muestran la tendencia a incrementar conforme la presión central y la latitud aumentan, recomendándose la siguiente expresión:

$$R = 15 + 4 \left(\frac{P_0}{33.86} - 25 \right)^{1.8} + k_1 \left(\frac{L - 35}{k_2} \right)^{k_3} \quad (3.39)$$

donde:

$$k_1 = 27, k_2 = 8, k_3 = 2.0 \text{ cuando } L > 35$$

$$k_1 = -54, k_2 = -12, k_3 = 1.3 \text{ para } L < 35$$

Un estudio realizado recientemente, donde se analiza la estructura de los vientos ciclónicos, el cual considera las ecuaciones de movimiento, continuidad y turbulencia, ha determinado que no



existen diferencias significativas entre las estructuras de la capa límite atmosférica de los vientos ciclónicos y de los barostróficos hasta los 400 m de altitud. Gracias a esto, las expresiones siguientes (3.9-3.41), obtenidas del estudio de vientos intensos no ciclónicos, se consideran válidas para algunas de las variaciones de los vientos ciclónicos.

La velocidad del viento dentro de la capa límite superficial está asociada a otras variables. Por ello, la velocidad del viento en la capa límite superficial se acostumbra señalarla como:

$$V(\Delta t, Z, K)$$

donde

Δt	lapso de promediación
Z	la altura sobre el terreno
K	tipo de rugosidades superficiales del terreno.

Con base a estudios teóricos y experimentales se han definido expresiones para la variación de las velocidades del viento con la altura. Una de esas expresiones es la siguiente:

$$V(\Delta t, Z_1, I) = V(\Delta t, Z_2, I) \times \left(\frac{Z_2}{Z_1} \right)^{\alpha_I} \quad (3.40)$$

El exponente α_I , depende tanto de la rugosidad superficial del terreno de la zona correspondiente al ojo del ciclón, como del tiempo de promediación Δ . Esta expresión es válida dentro de la capa límite atmosférica, cuya altura se le denomina altura gradiente o Z_g .

Aceptando la expresión 3.39 como válida para el campo de vientos ciclónico, con ella se puede determinar la relación entre las velocidades superficiales en dos sitios cercanos a las mismas alturas de referencia, Z_{ref} , pero con diferentes condiciones de rugosidad superficial. Para ello se igualan las velocidades gradientes en los dos sitios y se despeja de esa ecuación la expresión del factor de ráfagas buscada. Realizando lo anterior queda:

$$F_{I-J} = \frac{V(3600, Z_{ref}, I)}{V(3600, Z_{ref}, J)} = \frac{\left(\frac{Z_{gJ}}{Z_{ref}} \right)^{\alpha_J}}{\left(\frac{Z_{gI}}{Z_{ref}} \right)^{\alpha_I}} \quad (3.41)$$

Los valores del factor de ráfagas, o relación de velocidades máximas de diferentes tiempos de promediación, determinados para los vientos barostróficos se consideran válidos para los vientos ciclónicos. Así el factor de ráfagas a 10 metros de altura sobre el nivel del mar, para velocidades de 60 y 3600 seg, es igual a 1.14, esto es:



$$G_{60-3600} = \frac{V(60,10,0)}{V(3600,10,0)} = 1.14 \quad (3.42)$$

El viento superficial se calcula mediante el empleo de la siguiente ecuación:

$$H = 0.64 + \exp\left(-r_n - \frac{0.56}{r_n}\right) \quad (3.43)$$

El flujo superficial que presentan los ciclones es causado por los flujos en las capas superiores; sin embargo los flujos ciclónicos superficiales, a diferencia de los vientos barotróficos donde existe una relación constante entre el viento gradiente y el viento superficial, presentan valores no proporcionales al flujo gradiente calculado por la expresión 3.34, estas diferencias se deben a la distorsión o influencia causada al flujo gradiente por el flujo radial, como lo muestran los modelos numéricos de los ciclones.

3.2.2. Bases del modelo orográfico de los vientos de huracanes

El modelo de la variación espacial del viento de huracán que permite considerar la orografía del terreno, consiste en determinar las velocidades superficiales de los vientos provocados por un huracán empleando expresiones matemáticas que involucran a las variables meteorológicas y topográficas que afectan el flujo atmosférico.

El modelo tridimensional que incluye el efecto topográfico se basa en la siguiente hipótesis: El flujo alrededor de las montañas puede ser modelado con la superposición de flujos potenciales.

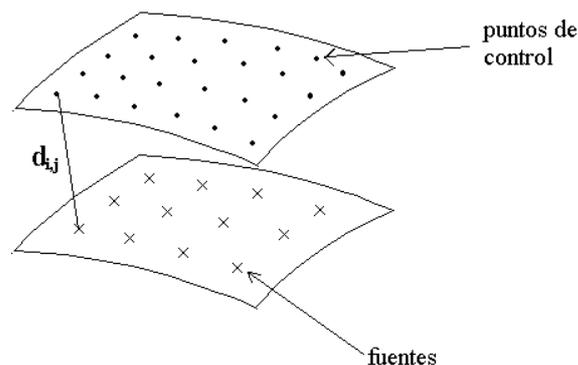


Figura 3.6 Fuentes y puntos de control generados por el modelo de viento para el cálculo del campo de viento.

En la figura 3.6 se muestran las mallas de puntos de control y de fuentes que genera el modelo para el cálculo del campo de viento; la malla de puntos de control imaginaria se coloca sobre el terreno a una distancia de 250 m de la superficie, mientras que la malla de fuentes se localiza a 250 m por debajo del terreno.



Bajo las siguientes consideraciones, se tomó en cuenta el efecto de la topografía sobre las velocidades de huracán estimadas:

$$V \cdot n = 0 \quad (3.44)$$

Las expresiones que muestran el cálculo de los vientos verticales considerando esta condición, son las siguientes:

$$V_T = V_s + V_F \quad (3.45)$$

$$\vec{V}_s \times \vec{n}_j = -\vec{V}_{f_j} \times \vec{n}_j \quad (3.46)$$

$$\vec{V}_{f_j} = -\sum_{i=1}^n q_i \times \frac{\vec{d}_{i,j}}{\|\vec{d}_{i,j}\|^3} \quad (3.47)$$

donde:

V_T	velocidad vertical del viento considerando el efecto orográfico.
V_s	velocidad superficial del viento.
V_F	velocidad del viento provocada por las fuentes por generar.
\vec{V}_s	vector del viento superficial.
\vec{V}_{f_j}	vector del viento en cada una de las fuentes.
\vec{n}_j	vector normal al terreno en cada fuente.
q_i	intensidad de cada fuente.
$\vec{d}_{i,j}$	vector de la distancia entre la fuente y el punto de control.
$j=1$	en n puntos de control.
$i=1$	para n fuentes.

3.2.3. Procedimiento para la determinación de la velocidad superficial

El cálculo para la determinación de la velocidad superficial en los sitios de interés, es decir para los puntos de la malla seleccionada (Figura 3.5) a partir de la posición e intensidad de cada huracán de la base de datos, se sigue con ayuda de un programa de infraestructura que se tiene en IIE, cuyo procedimiento es el siguiente:

- 1) Se calculan las posiciones, velocidades de traslación e intensidades ciclónicas para cada hora de vida de esas tormentas, se recomienda para ello el uso de funciones “Spline” o algún otro método de interpolación.



-
- 2) Para cada posición e intensidad ciclónica se deben calcular los vientos superficiales en los sitios de interés, con el siguiente procedimiento:
- a) Se calcula la velocidad gradiente máxima a partir de la velocidad superficial máxima con ayuda de la expresión 3.34.
 - b) Se calcula el radio de viento máximo con la expresión 3.38.
 - c) Se calcula el viento ciclostrófico correspondiente basándose en la expresión 3.36.
 - d) Se calcula el viento ciclostrófico para cualquier posición dentro del ciclón con la expresión 3.39.
 - e) Se calcula el viento gradiente usando nuevamente la expresión 3.34.
 - f) Se calcula el viento superficial con la expresión 3.42.
 - g) Se valúa el viento promedio horario superficial con el factor de ráfagas:

$$G_{60-3600} = 1.14$$

- h) Se valúa la velocidad promedio horaria del ciclón sobre tierra.

Finalmente, el resultado de estas estimaciones para la actualización de los efectos de huracanes en las costas de México, se muestran con los siguientes mapas de las Figuras 3.7 y 3.8, donde se observa la afectación de los huracanes tanto en el Pacífico como en el Atlántico, respectivamente, para periodos de retorno de 200 años. El efecto de estos huracanes tierra adentro se considera a través de factores tierra adentro obtenidos mediante el procedimiento descrito y calibrados con los datos de estaciones de la costa del atlántico norte de los Estados Unidos Americanos, obtenidos para el presente estudio.



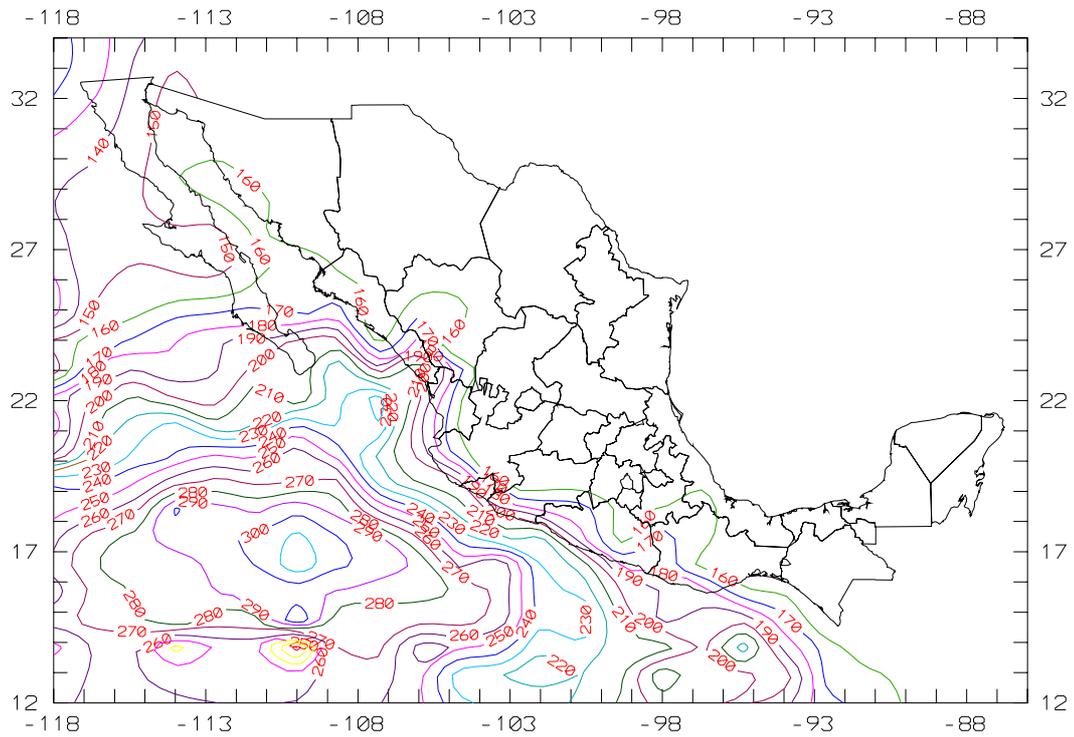


Figura 3.7 Distribución de velocidades de huracanes en Pacífico, para periodo de retorno de 200 años

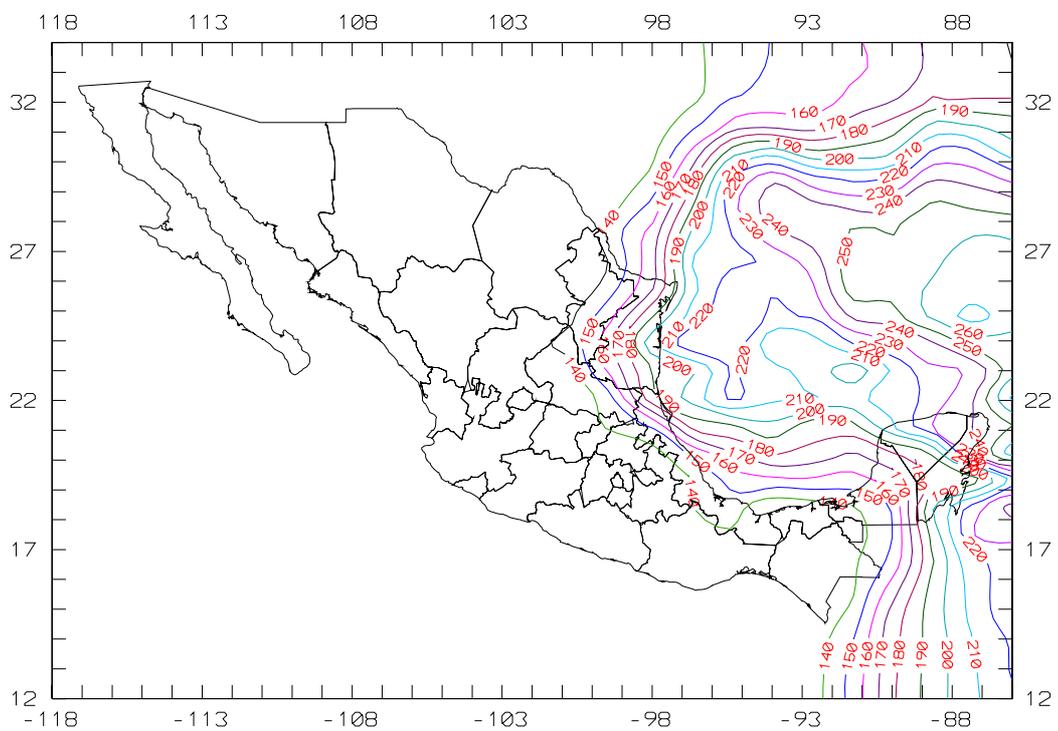


Figura 3.8 Distribución de velocidades de huracanes en Atlántico, para periodo de retorno de 200 años



3.3. DISTRIBUCIÓN DEL PELIGRO POR VIENTO EN MICHOACÁN

A partir de las gráficas de distribución de extremos de cada una de las estaciones meteorológicas consideradas (inciso 3.1.3.), se llevó a cabo la conjunción probabilista con los efectos de huracanes, considerando factores de tierra adentro (Subcapítulo 3.2.).

La probabilidad conjunta de los vientos normales y los de huracán, considerándolos como eventos independientes, se define como:

$$p_v = p_h + p_{nh} - p_h \times p_{nh} \tag{3.48}$$

donde p_v es la probabilidad conjunta de excedencia de la velocidad v , y los subíndices “h” y “nh” indican si la velocidad es o no debida a huracán.

A partir de dicho procedimiento de conjunción se generaron los archivos correspondientes para la graficación del mapa de isotacas, que para este trabajo solo se graficó para el estado de Michoacán para un periodo de retorno de 200 años, el cual se presenta en las Figura 3.9.

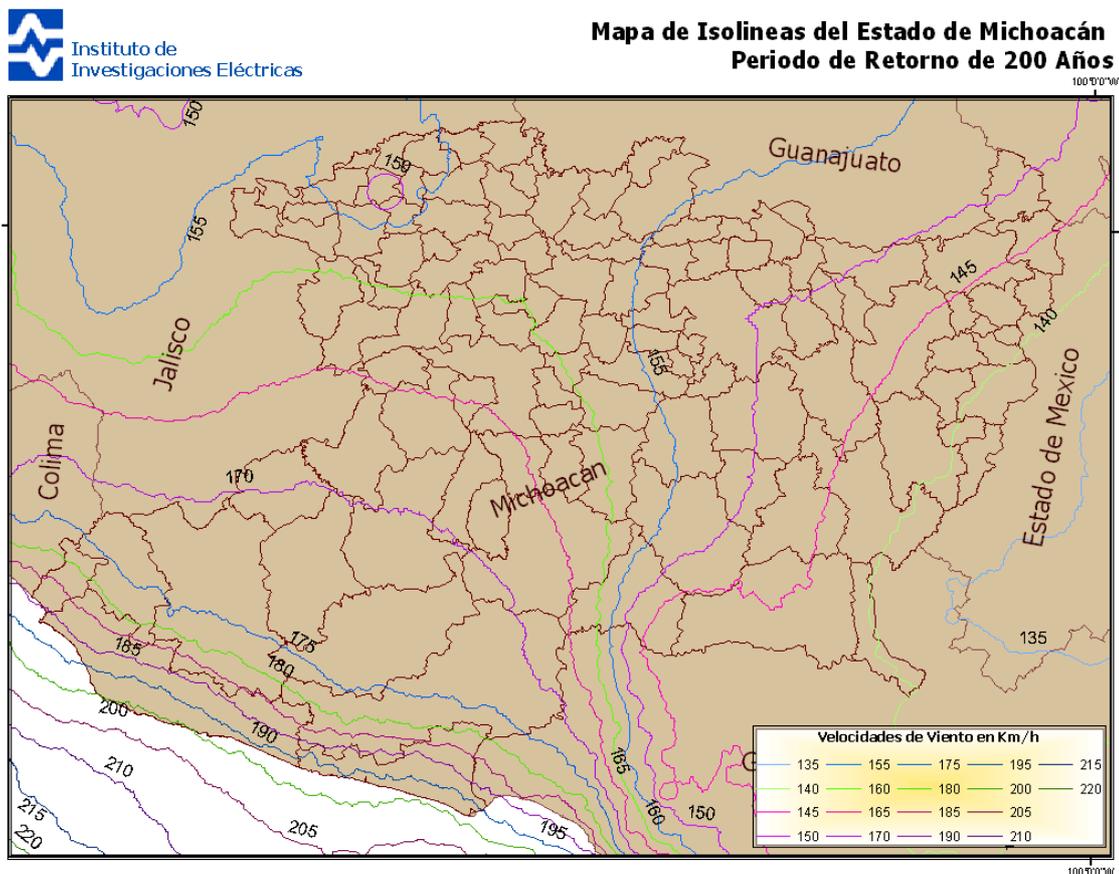


Figura 3.9 Mapa de isotacas del Estado de Michoacán, para un periodo de retorno de 200 años

3.4. REFERENCIAS

Aguirre Romano J.E., y Sánchez Sesma J. (1986), “*Probabilistic considerations in transmission line wind design for Mexico*”, Proc. of the First international symposium on Probabilistic Methods Applied to Electric Power Systems, Toronto, Canada.

Alanís Velázquez A., Sánchez Sesma J., López López A. (1991), “Determinación de velocidades máximas producidas por huracanes”, IX Congreso nacional de ingeniería sísmica, VIII Congreso nacional de ingeniería estructural, Manzanillo, Colima, México.

Comisión Federal de Electricidad (1993), “*Manual de Diseño de Obras Civiles de la CFE Diseño por Viento*”, México.

Sánchez Sesma J., Aguirre Romano J.E., Sen M. (1988), “*A Simple Modeling Procedure For The Estimation Of Cyclonic Wind Speeds*”, Journal of the Structural Division, ASCE, 144, 2 353-370.

Sánchez Sesma J., López López A., Aguirre Romano J.E., Muñoz Black C., Vilar Rojas J.I., (2003) “*Wind design for Mexico: A review of the period 1964-2003*”, Eleventh International Conference on Wind Engineering, The Wind Science and Eng. Research Center, Texas Tech University, Lubbock, Texas, USA June 3.

Vickery, P.J., Twisdale, L.A. (1995a) “*Wind-field and filling models for hurricane wind-speed predictions*”. Journal of Structural Engineering, ASCE, 121 (11), 1700-1709.

Vickery, P.J, Twisdale, L.A. (1995b) “*Prediction of hurricane wind speeds in the risk in the United States*”. Journal of Structural Engineering, ASCE, 121 (11), 1691-1699.

Vickery, P.J, Skerlj, P.F., Steckley, A.C., Twisdale, L.A. (2000a). “*Hurricane wind field model for use in hurricane simulations*”, Journal of Structural Engineering, ASCE, 126 (10), 1203-1221.

Vickery, P.J, Skerlj, P.F., Steckley, A.C., Twisdale, L.A. (2000b). “*Simulation of hurricane risk in the U.S. using empirical track model*”. Journal of Structural Engineering, ASCE, 126 (10), 1222-1237.



CAPITULO 4

DEFINICIÓN DE FUNCIONES DE VULNERABILIDAD



4. DEFINICIÓN DE FUNCIONES DE VULNERABILIDAD

En la actualidad, la aplicación práctica de los conceptos de Vulnerabilidad, para el caso de los efectos producidos por vientos fuertes, es limitada debido a la gran incertidumbre existente en la información y en la diversidad de criterios para estudiarlos, lo cual se dificulta más cuando se pasa de un estudio específico de una estructura en un sitio particular a uno de nivel más amplio para una región importante y para diferentes tipos de estructuras. Existen algunos trabajos enfocados a establecer este tipo de metodologías, los cuales se resumirán y analizarán en los incisos siguientes.

La vulnerabilidad es la sensibilidad de la exposición y localización de la estructura frente al peligro, y mide los efectos probables de cada nivel posible de velocidad del viento. El objetivo de cualquier análisis de vulnerabilidad por viento es predecir el daño debido a velocidades intensas de viento con un mínimo posible de incertidumbre.

La función de vulnerabilidad por viento probabilista puede esquematizarse como en la figura 4.1, donde el eje de las ordenadas mide la pérdida en función de la intensidad de velocidad del viento en la abscisa. En esa figura se muestran tres niveles de pérdida: el valor medio y dos fractiles de pérdida. La misma figura también esquematiza la distribución de probabilidad de la pérdida para una intensidad de velocidad del viento S_1 . La pérdida puede medirse en función de varios parámetros como son los costos para reparar el daño, el número de decesos o heridos, las pérdidas por interrupción de suministro de fluidos o energía eléctrica, etc.

Se entiende por intensidad al nivel de velocidad de viento u otro efecto producido por viento que se presenta en un sitio particular. Esta intensidad puede también representarse por una medida de la energía que transmite el viento a las estructuras, como serían valores espectrales, por ejemplo. Se entiende por pérdida a la medida de la severidad de un egreso o daño indeseable (costo de reparación, monto de reclamaciones de seguros, número de decesos, etc.) y puede ser discreta o continua.

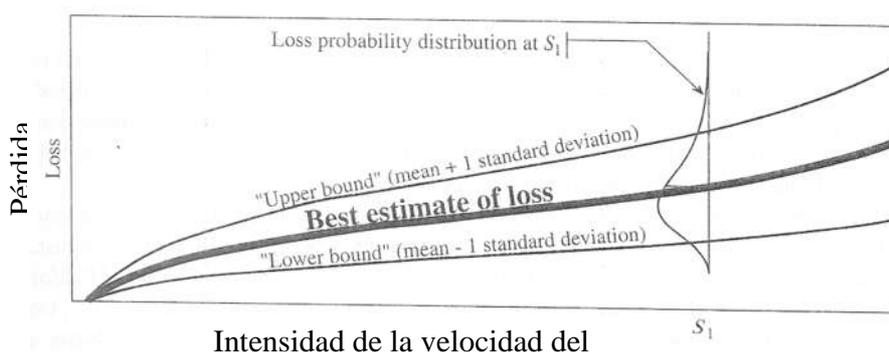


Figura 4.1 Función de vulnerabilidad probabilista (Chen & Scawthorn, 2003)

Con base en estos conceptos la función de vulnerabilidad probabilista debe definir un alcance, ya sea para cualquier estructura dentro de una cierta categoría, o para una estructura muy particular, o para categorías de componentes de una estructura.



Como un enfoque interesante, en el artículo de Dolce et al. (1995) se presenta un análisis profundo de los métodos para el análisis de vulnerabilidad y riesgo, pero para el caso de sismo. Los autores proponen una clasificación de métodos para los análisis de vulnerabilidad en función de tres pasos: Entrada, Método y Salida. Esto permite, para cualquier estudio, evaluar separadamente cada uno de los pasos, su consistencia o para hacer notar lo inadecuado de algún paso con respecto a los otros. Se definen 5 clases de Entrada, 3 de Método y 2 de Salida. Cada uno de estos pasos puede dividirse a su vez en un cierto número de Secciones relacionadas con una clasificación de estructuras (por ejemplo, del I al V). La selección de los diferentes métodos en cada paso es una tarea fundamental para realizar futuros desarrollos de análisis de vulnerabilidad.

(Stewart M., 2003), Daños por ciclones y cambios en el tiempo de la vulnerabilidad de edificios y del riesgo económico de construcciones residenciales.

Los modelos de vulnerabilidad que se han desarrollado pueden considerarse adecuados para predecir el daño esperado para la “fecha” (“point-in-time”) en que fueron desarrollados. Sin embargo, el autor hace notar que la vulnerabilidad de la construcción varía y se ha dado poca atención al hecho de que la vulnerabilidad de una estructura cambia con el tiempo por el hecho de que se producen cambios en el tipo de construcciones, en los materiales, en especificaciones y normas y en el tipo de exposición al viento, entre otros.

El autor ha desarrollado un modelo de análisis de riesgo-costo-beneficio del daño por huracanes para considerar la influencia de los cambios de la vulnerabilidad de la construcción en el riesgo económico para sitios seleccionados del Sureste de los Estados Unidos de América. El trabajo que presenta ahora considera el riesgo de ciclones en la región de North Queensland en Australia.

Hace notar que el daño en casas se relaciona al desempeño del techo y paredes que envuelven a la construcción. Esto sugiere que la vulnerabilidad de construcciones pueda categorizarse de manera general en:

- i) Daños menores a los recubrimientos de construcciones – como desprendimientos de láminas o tablas de madera, rotura de ventanas, daños a puertas, etc.
- ii) Daños mayores: Desprendimiento de recubrimientos de la construcción – entrada de lluvia como resultado del desprendimiento de recubrimientos, daño estructural importante, etc.

De la experiencia en Australia, la transición entre daño mayor y menor es alrededor de una pérdida por daño del 20%.

Se emplean dos medidas de vulnerabilidad en construcciones:

- i) Relación de reclamos (“claim ratio”): número total de reclamos dividido por el número total de propiedades aseguradas.



- ii) Pérdidas por daños (“damage loss”): Cantidad pagada por el asegurador por daños, dividida por el valor asegurado total (incluyendo los contenidos interiores)

Se consideran tres tipos de exposición:

- i) Costa afuera
- ii) Pequeña ciudad
- iii) Tierra adentro

Con base en estos criterios se generó la siguiente Figura 4.2 de funciones de vulnerabilidad, que incluye una comparación con los daños generados por los ciclones Andrew y Hugo (1989, 1992) en USA. Se observa que estos daños están limitados por las fronteras entre las pérdidas antes de construcción con normas anteriores a 1980 y aquellas después de construcción con normas de 1980.

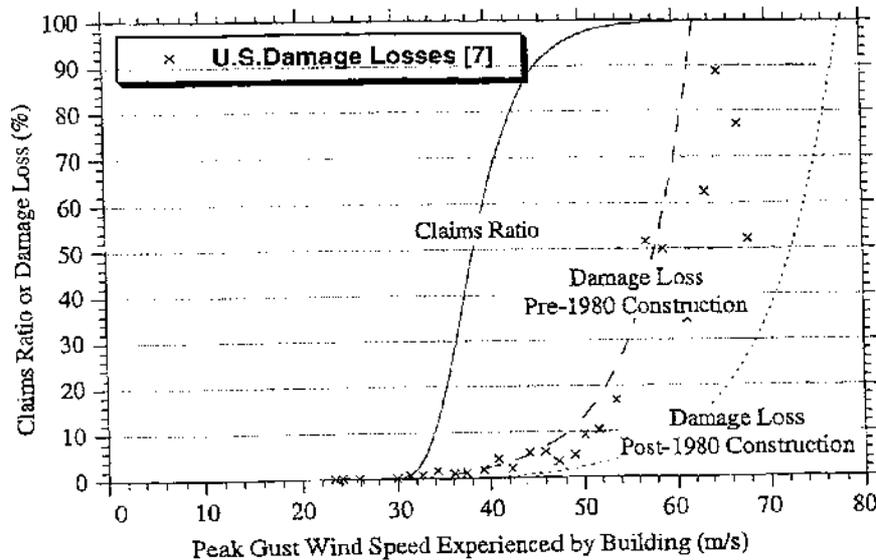


Figura 4.2. Curvas de vulnerabilidad según modelos Australianos comparados con pérdidas por daños de huracanes en USA.

Las funciones que definen las curvas de la Figura 4.2 son las siguientes:

a) Función “Damage Loss” (Figura 4.2):

$$F_D(v) = 20\left(\frac{v}{A} - 1\right)^2 + 50\left(\frac{v}{A} - 1\right)^6, \quad v/A > 1, \quad F_D \leq 100\%, \quad (1)$$

donde A es igual a 30 para pre-1980 y a 37.5 para post-1980. El autor hace notar que esta ecuación es válida para construcciones habitacionales en North Queensland, Australia.

b) *Función “Claims ratio” (Figura 4.2):*

$$F_C(v) = \exp[-\exp[-0.27(37.1 - v)]] \quad (2)$$

Se observa que $F_C = 0$ cuando $F_D = 0$ y $F_C = 100\%$ cuando $F_D = 100\%$.

c) *Función “Rate of growth of strengthened construction”*

Para el evento del ciclón i que ocurre en el tiempo t , la función condicional de pérdidas por daños en t -años con porcentaje anual de reforzamiento de construcciones $x\%$ es:

$$F_{D_i}(t) = \frac{100 - (xt)}{100} F_D(v) + \frac{xt}{100} \left[F_{DR}(v) + \frac{C_{ST}}{1.5 \times 100} \right] \quad xt \leq 100\%, \quad (4)$$

donde F_D y F_{DR} se calculan con la ecuación 1, la primera para pre- y la segunda para post-construcción,

C_{ST} es el costo de reforzar una estructura individual suponiendo que el contenido en su interior asciende a 50% del costo de la estructura,

xt representa el porcentaje de construcciones reforzadas en el tiempo t (no puede exceder 100%)

En la Figura 4.3 se muestra el diagrama de flujo propuesto por el autor para evaluar las pérdidas por daño cuando se refuerzan las construcciones dañadas por ciclones.

Holmes, J.D. (1996). Curvas de vulnerabilidad para construcciones en regiones tropicales – ciclónicas

El autor se basa en los conceptos de Leicester (1981) y propone, en forma muy resumida, la manera de obtener curvas de vulnerabilidad. En su trabajo presenta la siguiente curva que puede aplicarse tanto a las construcciones como sus componentes, siempre y cuando todos los componentes tengan la misma función de probabilidad de resistencia. Se supone que la falla de cada componente es independiente de los otros. De esta manera, se puede definir en forma simple una curva de vulnerabilidad para una estructura. En la Figura 4.8 se muestra la curva propuesta por el autor.



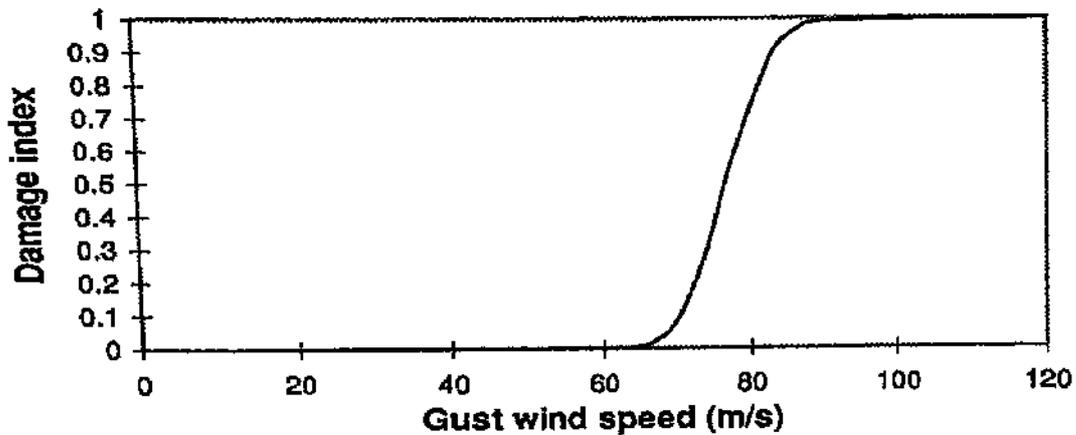


Figura 4.8 Función de vulnerabilidad propuesta por Holmes (1996)

4.1. PREDICCIÓN DE DAÑOS POR VIENTO EN CONSTRUCCIONES USANDO BANDAS DE DAÑO

La metodología propuesta por Unanwa c.o. y McDonald j.r. en el año 2000 para la predicción de nivel de daño debido a vientos fuertes se basa en el concepto de bandas de daño por viento para edificios tipo o clases de edificios. Definen una banda de daño por viento como el nivel de daño en un intervalo limitado por una frontera inferior y otra superior, para diferentes intensidades de peligro por viento. Las fronteras superior e inferior se determinan, respectivamente, por el conjunto de componentes del edificio y las características de sus conexiones, las cuales se asocian a su vez con las probabilidades mayores y menores de falla durante una tormenta, empleando la siguiente ecuación:

$$DD(l) = \sum_{i=1}^n P_{fi} (CCF_i) \alpha_i$$

donde se observan tres componentes:

$DD(l)$ es el nivel de daño para el nivel de peligro l (o porcentaje de daño),

P_{fi} es la probabilidad condicional de falla (o componente de fragilidad),

CCF_i es el factor de costo (o componente de costo),

α_i es el parámetro de localización de daño (o componente de ubicación y distribución de los componentes de un edificio en relación con el grado de daño eólico de cada componente)

n es el número de componentes empleados en el modelo de daño del edificio.

La descripción detallada de estos componentes se puede ver en la referencia en cuestión. En la ecuación anterior está implícito que un edificio sufre un nivel de daño si existe una probabilidad de falla de al menos uno de sus componentes. En este caso el daño a un componente de un edificio puede resultar del daño a la conexión de ese componente a otros componentes, o de daño en el área del componente. Basados en la probabilidad relativa de la contribución de daño y costo del componente de un edificio, el modelo de daño considera un edificio compuesto de los siguientes componentes: cubiertas de techos, estructuras de techos, puertas y ventanas



exteriores, paredes exteriores, interiores (incluye contenidos), sistemas estructurales (incluyendo columnas, viguetas pisos elevados y equipos de aire acondicionado) y cimentaciones.

La frontera superior para una clase de edificios representa la función de daño del edificio menos resistente al viento de la clase de interés, mientras que la frontera inferior representa la función de daño del edificio más resistente al viento de la clase de interés. Esto implica que las funciones de daño por viento para los demás edificios de la clase están dentro de la banda de daño. Esta metodología es una herramienta potente para determinar el nivel de daño de edificios individuales y grupos de edificios sujetos a vientos fuertes.

La metodología completa se detalla más en el artículo citado. Para facilitar la aplicación de la metodología propuesta, a continuación se explica paso a paso el procedimiento recomendado, con base en dos ejemplos que se presentan en la citada referencia.



CAPITULO 5
APLICACIÓN EN EL SISTEMA ARCVIEW, A UNA
ESTRUCTURA CON RECUBRIMIENTOS LIGEROS

5. APLICACIÓN EN EL SISTEMA ARCVIEW, A UNA ESTRUCTURA CON
RECUBRIMIENTOS LIGEROS



En los capítulos anteriores hemos analizado el complejo problema de evaluar los principales factores que inciden en deterioro de las estructuras por efectos del viento y la importancia de contar con una metodología para el análisis eólico en la infraestructura del país, la cual nos ayude a mitigar y prevenir las consecuencias de presentarse tales eventos.

Como notamos en el capítulo 1, los principales estudios acerca de la evaluación de la vulnerabilidad son aplicados a diferentes regiones y circunstancias particulares del sitio, pero todos ellos fuera de nuestro país, aplicar estas metodologías a nuestro medio se torna más complicado pues no contamos en primer lugar con registros estadísticos de las pérdidas totales causadas por los efectos del viento sobre las estructuras.

El objetivo de este capítulo es evaluar la vulnerabilidad por viento para una misma estructura con recubrimientos ligeros, en específico una pequeña nave industrial, en distintas condiciones de sitio en las variadas regiones del Estado de Michoacán; y poder representar la variación de la vulnerabilidad para un mismo tipo de estructura, respecto de la intensidad del peligro, en un mapa usando el software ArcView.

Para poder evaluar la vulnerabilidad en el Estado de Michoacán, dada la escasez de información en el tema, debemos basarnos en alguna metodología ya propuesta en otra investigación; dada la complejidad de varias de ellas, y que para su aplicación se necesiten registros estadísticos de las pérdidas materiales provocadas por estos fenómenos en el sitio, nosotros tomaremos base en la metodología descrita por Norris Stubbs, en “A Damage Simulation Model for buildings and Contents in a Hurricane Environment”, [Stubbs N., Perry D.C. (1996)], por ser un más simplificada y que requiere menos información para su aplicación; para ello se harán consideraciones propias de nuestra problemática.

5.1. PROPUESTA DE METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD EN EL ESTADO DE MICHOACÁN

Usando el artículo “A Damage Simulation Model for buildings and Contents in a Hurricane Environment”, en donde el autor muestra el desarrollo revisando un edificio en particular, el cual se subdividió en 9 componentes, por lo que se tiene 9 modos de falla debidos a daños en: el techado, en la cubierta del techo, en marcos del techo ó vigas, conexión de techo-muro, de refuerzos laterales, de revestimientos, de puertas y ventanas, de la conexión de marco-cimientos y por último de los cimientos. Cada uno de los modos de falla anteriores se analizan con la siguiente ecuación:

$$DR_i(v) = \begin{cases} 0 & v \leq a_{i1} \\ \frac{v - a_{i1}}{a_{i2} - a_{i1}} & a_{i1} < v \leq a_{i2} \\ 1 & v > a_{i2} \end{cases} \quad (1.1)$$

donde:

$DR_i(v)$ es el cociente de daño de la velocidad del viento, v .

a_{i1}, a_{i2} son constantes propuestas por expertos, las cuales representan la velocidad mínima y máxima de daño, respectivamente. Para la costa de Texas se obtiene de la tabla 1.1

Para cuantificar el daño completo de la estructura se usa la ecuación:

$$DR_S(v) = \frac{\sum_{i=1}^9 I_i DR_i(v)}{\sum_{i=1}^9 I_i} \tag{1.2}$$

donde:

I_i es proporcionado por los expertos, y representa la importancia relativa de la contribución en las consecuencias para la estructura completa del daño del i -ésimo modo de falla.

Damage Mode	Sustained Wind Speed* in mph (m/s)	
	Low	High
Roof Covering Damage	55 (24.6)	110 (49.1)
Roof Decking Damage	80 (35.7)	120 (53.6)
Roof Framing Damage	80 (35.7)	120 (53.6)
Roof-wall Anchorage Damage via Suction	90 (40.1)	120 (53.6)
Roof-wall Anchorage Damage via Suct. & Int Pressure	80 (35.7)	100 (44.6)
Building Damage via Failure of Lat. Bracing Sys.	90 (40.1)	125 (55.8)
Damage Due to Failure of Openings	60 (26.8)	110 (49.1)
Cladding Damage	80 (35.7)	120 (53.6)
Frame-foundation Connection Damage	90 (40.1)	135 (60.3)
Foundation Damage	115 (51.3)	150 (67.0)

Tabla 1.1 Velocidades mínimas y máximas de daño para componentes de edificaciones ubicadas en la costa de Texas, Estados Unidos.

Del procedimiento anterior nosotros dividiremos la fragilidad de la estructura en los siguientes modos de falla: roof covering damage, roof framing damage, damage due to failure of openings, frame-foundation connection damage y foundation damage, de las cuales se tomaron los rangos de valores, ajustandolo con la ecuación de la distribución beta, para que la curva no fuese tan recta; con lo anterior se diseño una rutina, para obtener para cada punto de la malla de velocidades de viento en el estado de Michoacán; la rutina se muestra a continuación:

```
module viento
  integer, parameter :: nds=5
  real vel(nds), fros(nds)
  data fros/0.1,0.02,0.01,0.005,0.002/
end module

module vulnera
  integer, parameter :: ndi=11
  real yi(ndi)
  real di(ndi)
  data yi/0.1, 10, 50.0, 100, 150., 200., 230.0, 250.0, 270.0, 290.0, 300.0/
  data di/0.00001, 0.00005, 0.00029, 0.0027, 0.23775, 0.66325, .89628, 0.96327, 0.98652,
0.9945, 0.99633/
end module

module dano
  integer, parameter :: nd=5
  real tdany(nd), dany(nd)
  data tdany/ 10.0, 50.0, 100.0, 200.0, 500.0/
end module

$debug
use viento
use vulnera
use dano
use msimsl
  character (70) cabeza
  character (20) arch1,arch2
  real yv(500)
  real xext(500), yext(500)
  real damage(99), fredam(99)

v0=50
dv=1
nv=500

y0=.01
dy=.01
ny=99

a0=2.5

fros=alog10(fros)

open(1,file=' ')
```



```

read(1,'(a)')arch1
read(1,'(a)')arch2
read(1,*)npm

open(2,file=arch1)
open(3,file=arch2)

read(2,'(a)')cabeza
do ipm=1,npm
  read(2,100)ic, xg, yg, (vel(i),i=1,nds)
  vel=alog10(vel)

  do iv=1,nv
    v=v0+(iv-1)*dv
    ve=alog10(v)
    fb=10.0**yintfx(vel,fros,4,ve)
    xext(iv)=v
    yext(iv)=fb
  enddo

call getder(yv, xext, yext, nv)

do iy=1,ny
  dan=y0+(iy-1)*dy
  suma=0.0
  do iv=1,nv
    v=v0+(iv-1)*dv
    div=amax1(yintfx(yi,di,ndi,v),0.001)+0.d0
    if(div.le.0.0)then
      pr=1.0
    else if(div.lt.1.0)then
      if(div.le.0.5)then
        a=a0
        b=a/div-a
      else
        b=a0
        a=div*b/(1.-div)
      endif
    endif
    pr=1.-betdf(dan,a,b)
  else
    pr=0.0
  endif
  suma=suma+pr*yv(iv)
enddo
suma=suma*dv
damage(iy)=dan

```



```

    fredam(iy)=suma
  enddo

  where (fredam <= 0.0) fredam = 1.e-14
  damage(1:ny)=alog10(damage)
  fredam(1:ny)=alog10(fredam)
  do id=1,nd
    tdx=alog10(1./tdany(id))
    dany(id)=10.0**xintfy(damage,fredam,ny,tdx)
  enddo

  write(3,200)ic, xg, yg, (dany(i),i=1,nds)
  write(*,300)ic, xg, yg, (dany(i),i=1,nds)
enddo

100 format(i10,8f10.0)
200 format(i10,2f10.3,6f10.6)
300 format(1h+,i4,2f10.3,5f9.6)

stop
end

real function yintfx(xx,yy,n,x)
  real xx(n),yy(n)
  if( x.gt.xx(1) .and. x.lt.xx(n) )then
    i=1
    do while (x.gt.xx(i))
      i=i+1
    enddo
    i=i-1
    am=(yy(i+1)-yy(i))/(xx(i+1)-xx(i))
    yintfx=yy(i)+am*(x-xx(i))
  else if(x.le.xx(1))then
    am=(yy(2)-yy(1))/(xx(2)-xx(1))
    yintfx=yy(1)-am*(xx(1)-x)
  else
    am=(yy(n)-yy(n-1))/(xx(n)-xx(n-1))
    yintfx=yy(n)+am*(x-xx(n))
  endif
end function

real function xintfy(xx,yy,n,y)
  real xx(n),yy(n)
  if( y.lt.yy(1) .and. y.gt.yy(n) )then

```

```

    i=1
    do while (y.lt.yy(i))
        i=i+1
    enddo
    i=i-1
    am=(yy(i+1)-yy(i))/(xx(i+1)-xx(i))
    xintfy=xx(i)+(y-yy(i))/am
    else if(y.gt.yy(1))then
        am=(yy(2)-yy(1))/(xx(2)-xx(1))
        xintfy=xx(1)-(yy(1)-y)/am
    else
        am=(yy(n)-yy(n-1))/(xx(n)-xx(n-1))
        xintfy=xx(n)+(y-yy(n))/am
    endif
end function

subroutine getder (yv, x,y,n)
    real yv(n), x(n), y(n)
    do i=1,n-1
        yv(i)=(y(i)-y(i+1))/(x(i+1)-x(i))
    enddo
    yv(n)=yv(n-1)
end subroutine

function fnorac (arg)
    dimension b(5)
    data b/0.319381530, -0.356563782, 1.781477937, -1.821255978, 1.330274429/
    t=1./(1.+0.2316419*abs(arg))
    tt=t
    s=0.0
    do i=1,5
        s=s+tt*b(i)
        tt=tt*t
    enddo
    s=0.3989423*exp(-0.5*arg*arg)*s
    if(arg.ge.0.0)then
        fnorac=1.0-s
    else
        fnorac=s
    endif
end function

```

5.2. PRESENTACION DE RESULTADOS DE LA APLICACIÓN

En el mapa de la figura 5.1 presentamos la distribución del índice de daño en el estado de Michoacán para un periodo de retorno de 200 años, es decir, la vulnerabilidad que presenta la estructura tipo en las diferentes regiones del estado, que es lo mismo representa la fragilidad que presenta la estructura ante el acción de los diferentes niveles de velocidades. En dicho mapa notamos que en la costa del estado de Michoacán tenemos valores de 0.75 en índice de daño, mientras que en el interior del estado la vulnerabilidad es menor, llegando a 0.25 en la parte del sur-sureste del estado. También podemos observar que las curvas de daño tiene una distribución parecida a la del mapa de isotacas para el estado (fig. 3.9)



**Mapa de Índice de Daño en Estado de Michoacán
Periodo de Retorno de 200 Años**

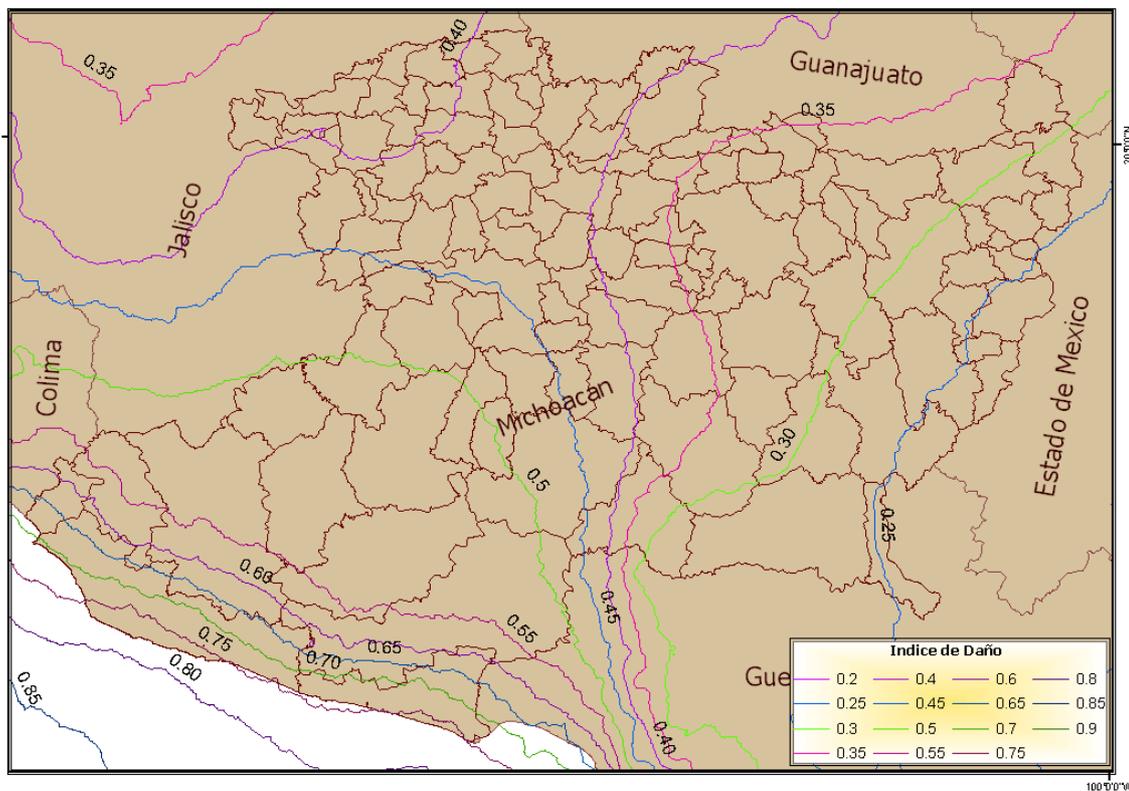


Figura 5.1 Mapa de índice de daño

5.2. REFERENCIAS

Stubbs N., Perry D.C. (1996), “**A Damage Simulation Model for buildings and Contents in a Hurricane Environment**”, Proceedings of Structures Congress XIV, ASCE, Building an International Community of Structural Engineers, Vol. 2, Chicago, Illinois, USA, 989-996.

CONCLUSIONES

Como hemos enfatizado en cada capítulo de esta tesis, en México tenemos una gran carencia en estudios de para la evaluación del riesgo eólico, implicando que no se cuente con prevención ante los efectos que pueden alcanzar las ráfagas de viento sobre las estructuras, por ello en este trabajo quisimos hacer un estudio de las condiciones en que se encuentra la investigación a nivel mundial, para poder hacer conciencia y empezar en el país a ponerle importancia a este tema, ya que estadísticamente, y a números gruesos las crecientes pérdidas anuales causadas por los efectos de vientos, principalmente debidos a huracanes, han sido alarmantes en las últimas décadas.

Al hacer la aplicación de una sencilla metodología para la evaluación de la vulnerabilidad de viento en una pequeña estructura de recubrimientos ligeros, y solo para las condiciones del estado de Michoacán, nos damos cuenta de que es indispensable hacer un análisis mas detallado sobre el índice de daño para cada región del país y así prevenir pérdidas en la industria el comercio, el turismo, y el movimiento económico de regiones indispensables para el crecimiento del país.



REFERENCIAS

Comisión Federal de Electricidad (1969), “*Manual de Diseño de Obras Civiles de la CFE Diseño por Viento*”, México.

Comisión Federal de Electricidad (1981), “*Manual de Diseño de Obras Civiles de la CFE Diseño por Viento*”, México.

Comisión Federal de Electricidad (1993), “*Manual de Diseño de Obras Civiles de la CFE Diseño por Viento*”, México.

ANEXO A

**CLASIFICACIÓN DE LA BIBLIOGRAFÍA RECOPIADA
SOBRE PELIGRO Y VULNERABILIDAD POR VIENTO EN
ESTRUCTURAS**



ANEXO A.1 ARTÍCULOS RELACIONADOS CON CONSTRUCCIONES RESIDENCIALES Y VIVIENDAS

Leicester R.H., (1981), "**A Risk Model for Cyclone Damage to Dwellings**". Proceedings of the Third International Conference on Structural Safety and Reliability, Trondheim, Norway, 761-771.

Lashkari B., Wardrop R., (1996), "**Residential Vulnerability Functions and Their Variability Based on Claims Data**", Proceedings of the Conference on Natural Disaster Reduction, Washington, D. C., USA, 307-308.

Sparks P.R., Schiff S.D., Reinhold T.A.,(1994), "**Wind damage to envelopes of houses and consequent insurance losses**", Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, Elsevier, 145-155.

Chiu G.L.F., et al (1999), "**Assessment and Quantification of Hurricane Induced Damage to Houses**", Wind and Structures, 133-150.

Henderson D., Reardon G., Ginger J., (1999), "**Effects of Cyclone Vance on the Strength of Houses in Exmouth WA**", Disaster prevention in the 21st century, Proceedings of the Australian Disaster Conference 1999, Canberra, Australia, 47-50.

Huang Z., Rosowsky D.V., Sparks P.R., (2001), "**Long-term Hurricane Risk Assessment and Expected Damage to Residential Structures**", Reliability Engineering and System Safety, Elsevier, 74, 239-249.

Stewart M., (2002), "**Cyclone Damage and Temporal Changes to Building Vulnerability and Economic Risks for Residential Construction**", Research Report No. 220.01.2002, Civil, Surveying and Environmental Engineering, School of Engineering, TH1096.S738, The University of NewCastle , Australia.

Vickery P.J., Twisdale L.A., et al (2002), "**Mitigation of Hurricane Losses in Residential Construction Mitigation Program**", Proceedings of the Solutions to Coastal Disasters 2002 Conference, San Diego, California, 997-1011.

Stewart M., (2003), "**Cyclone Damage and Temporal Changes to Building Vulnerability and Economic Risks for Residential Construction**", Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, Elsevier, 91, 671-691.

Stewart M., Rosowsky D.V., Huang Z., et al (2003), "**Hurricane Risks and Economic Viability of Strengthened Construction**", Natural Hazards Review, 12-18.

Pinelli J.P., Simiu E., et al (2004), "**Hurricane Damage Prediction Model for Residential Structures**", Journal of Structural Engineering, 1685-1691.



Leicester R.H., Bubb C.T.J., Dorman C., Beresford F.D. (), "**An Assessment of Potential Cyclone Damage to Dwellings in Australia**", Potential Cyclone Damage in Australia, Melbourne, Australia, 23-36.

ANEXO A.2 ARTÍCULOS REFERENTES A EDIFICIOS

Mehta K.C., Cheshire R.H., McDonald J.R. (1992), "**Wind resistance categorization of buildings for insurance**", Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics , Elsevier, 2617-2628.

Stubbs N., Perry D.C., (1993), "**Engineering of the Building Envelope, to do or not to do**", Hurricanes of 1992. Proceedings of a Symposium organized by the American Society of Civil Engineers, Miami, Florida, 10-30.

Stubbs N., Boissonnade A., (1993), "**Damage Simulation Model for buildings Contents in a Hurricane Environment**", Proceedings of 7th U. S. National Wind Engineering Conference, Los Angeles, California, USA, 759-771.

Dolce M., Zuccaro G., Kappos A., Coburn A.W., (1995), "**Report of the EAEE Working Group 3: Vulnerability and risk analysis**", 10th European Conference an Earthquake Engineering, Balkema, Rotterdam, 3049-3077.

Holmes J.D., (1996), "**Vulnerability Curves for Buildings in Tropical-cyclone Regions**", ASCE Specialty Conference on Probabilistic Mechanics and Structural Reliability, Worcester, Massachusetts, in: D.M. Frangopol, M.D. Grigoriu Eds., 78-81.

Stubbs N., Perry D.C. (1996), "**A Damage Simulation Model for buildings and Contents in a Hurricane Environment**", Proceedings of Structures Congress XIV, ASCE, Building an International Community of Structural Engineers, Vol. 2, Chicago, Illinois, USA, 989-996.

Unanwa C.O., Ihekweazu S. (1999), "**Conceptual Framework for Simulating Building Damage in Extreme Winds**". First International Conference on Advances in Structural Engineering and Mechanics, Seoul, Korea, August, 23-25.

Shanmugasundaram J., Arunachalam S., Lakshmanan N., et al (2000), "**Cyclone damage to buildings and structures a case study**", Journal of wind Engineers and Industrial Aerodynamics, Gramado, Brazil, 369-380.

Unanwa C.O., McDonald J.R., (2000a), "**Building Wind Damage Prediction and Mitigation Using Damage Bands**", Natural Hazards Review, November, Vol.1, No. 4, 197-203.



Unanwa C.O., McDonald J.R., Metha K.C., Smith D.A., (2000b), "**The Development of Wind Damage Bands for Buildings**", Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, Elsevier, 841, 119-149.

Davidson R.A., Zhao H., Kumar V., et al (2003), "**Quantitative Model to Forecast Changes in Hurricane Vulnerability of Regional Building Inventory**", Journal of Infrastructure System, 55-64.

Spence R., Fawcett W., Brown A., Coburn A., (1998), "**The windstorm vulnerability of the UK building stock**", in Proceedings of the 4th UK Conference on Wind Engineering, Bristol, 1998.

ANEXO A.3 ARTÍCULOS SOBRE ESTRUCTURAS DE TRANSMISIÓN

López A., Vilar J.I., Muñoz C.J., (1995), "**Inestabilidad aerodinámica en cables de líneas de transmisión**", Artículos técnicos, boletín IIE septiembre/octubre de 1995, 216-223.

Vilar J.I., López A., (1995), "**Terrain Related Parameters for the Evaluation of turbulence and their Application to the Response of Transmission Structures**", New Delhi, India, 15-26.

Vickery P.J., Twisdale L.A., et al (1996), "**Hurricane vulnerability and risk analysis of the VINLEC transmission and distribution system**", Applied Research Associates, Inc., Washington, D. C., USA.

Letchford C.W., Hawes H., (2000), "**Risk Assessment to Improve Reliability of Transmission Facilities Exposed to Sub-tropical High Wind Storm Events**", Australia.

ANEXO A.4 ARTÍCULOS QUE NO SE ENFOCAN A TIPOS ESPECIFICOS DE ESTRUCTURAS

Brito R.P., (1982), "**Revisión de la Velocidad Básica de Viento del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal**", Universidad Nacional Autónoma de México, División de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería, Trabajo Final para obtener el Grado de Maestro en Ingeniería.

Sánchez J., Aguirre J., Sen M., (1988), "**Simple Modeling Procedure for Estimation of Cyclone Wind Speeds**", Journal of Structural Engineering, Vol. 114, No. 2, page 352-370.



Sundararajan C., (1989), "**Probabilistic Structural Mechanics Handbook: Theory and Industrial Applications**", Chapman & Hall, Houston, Texas.

Vilar J.I., López A., (1992), "**Procedimiento estadístico para la obtención y aplicación de velocidades regionales de viento para determinar acciones de diseño en estructuras**", Velocidades Regionales de Viento, Artículos técnicos, boletín IIE enero/febrero de 1992, 29-37.

MDOC, (1993), "**Manual de Diseño de Obras Civiles. Diseño por Viento**". Instituto de Investigaciones Eléctricas, Comisión Federal de Electricidad.

Murlidharan T.L., Prasad J.D., Rao A., (1993), "**Damage Assessment and Vulnerability Analysis of Structures Subjected to Cyclones**", Third Asia-Pacific Symposium Engineering on Wind Engineering, Hong Kong, 811-816.

Lai H.C.J., Kiremidjian A.S., (1993), "**Wind Hazard Analysis in Hurricane-Prone Regions**", Department of Civil and Environmental Engineering Stanford University.

López A., Vilar J.I., (1995), "**Basis of the Mexican Wind Handbook for the evaluation of the Dynamic Response of Slender Structures**", New Delhi, India, 1890-1900.

Walker G.R., (1995), "**The development of wind and earthquake damage risk models to predict insurance loss**", Integrated Risk Assessment, Sidney, Australia.

Chiu G.L.F., (1996), "**Framework for Estimating Losses Due to Hurricane Extreme-Winds**", Proceedings of the Conference on Natural Disaster Reduction, ASCE, Washington D.C., USA, 287-288.

Gunturi S.K., Austin C., Rivera A., et al (1996), "**A Knowledge-Based System For International Hurricane Risk Management**", Proceedings of the Conference Disaster Reduction, Washington, D. C., USA, 15-16.

Twisdale L.A., Vickery P.J., Steckley A., (1996), "**Toward Risk-Consistent Wind Hazard Desing/Mitigation Criteria Using Probabilistic methods**", Proceedings of the Conference on Natural Disaster Reduction, Washington, D. C., USA, 256-257.

Steckley A., Twisdale L.A., et al (1996), "**Use of GIS Mapping to Illustrate the Sensitivity of Wind Hazard Insurance Loss Estimation to Modeling Parameters**", Proceedings of the Conference on Natural Disaster Reduction, Washington, D. C., USA, 201-202.

Augusti G., Borri C., Niemann H.J. (2001), "**Is Aeolian Risk as Significant as other Environmental Risks?**", Reliability Engineering and System Safety, Elsevier, 74, 227-237.

Filliben J.J., Gurley K., Pinelli J.P., Simiu E., (2002), "**Fragility curves, damage matrices and wind induced loss estimation**", Reprinted from proceedings from the Third International



Conference on Computer Simulation in Risk Analysis and Hazard Mitigation, Sintra, Portugal, 119-126.

Lakshmanan N., Shanmugasundaram J., (2002), “**A Model for Cyclone Damage Evaluation**”, Journal of the Institution of Engineers, Civil Engineering Division, India, 173-179.

Sánchez Sesma J., López López A., Aguirre Romano J.E., Muñoz Black C., Vilar Rojas J.I., (2003) “**Wind design for Mexico: A review of the period 1964-2003**”, Eleventh International Conference on Wind Engineering, The Wind Science and Eng. Research Center, Texas Tech University, Lubbock, Texas, USA June 3.

HAZUS-MH, (2004), “**Methodology and software of Wind Hazards**”, National Institute of Building Sciences (NIBS) and Federal Emergency Management Agency (FEMA), Technical Manuals.

Sánchez J., López A., Muñoz C. J., (2000), “**Nueva Regionalización Eólica del Valle de México**”

