



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

METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD Y RIESGO POR LA
ACCIÓN DEL VIENTO

TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRO EN INGENIERÍA

PRESENTA:

ISMAEL HIDALGO MARROQUÍN

TUTOR PRINCIPAL

NEFTALÍ RODRÍGUEZ CUEVAS
FACULTAD DE INGENIERÍA

MÉXICO, D. F. JUNIO 2013

JURADO ASIGNADO:

Presidente: DR. OSCAR ALBERTO LÓPEZ BÁTIZ

Secretario: DR. OCTAVIO GARCÍA DOMÍNGUEZ

Vocal: ING. NEFTALÍ RODRÍGUEZ CUEVAS

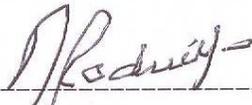
1 er. Suplente: DR. EDUARDO REINOSO ANGULO

2 d o. Suplente: DR. MARTÍN JIMÉNEZ ESPINOSA

Lugar donde se realizó la tesis: FACULTAD DE INGENIERÍA, UNAM

TUTOR DE TESIS:

ING. NEFTALÍ RODRÍGUEZ CUEVAS



FIRMA

DEDICATORIA:

Dedico este trabajo a dos personas que ya no forman parte de este mundo físico, pero que continúan vivos en mi mente y en mi corazón.

A mi Padre:

Sr. Gorgonio Hidalgo Ventura

Por sus enseñanzas, consejos y anécdotas compartidas que han servido de base para mi formación.

A mi Amigo:

Ing. Fernando Sosa López

por todo su apoyo, consejos y vivencias compartidas que han influido para mi desarrollo profesional.

AGRADECIMIENTOS:

- ☆ Con todo respeto a **Jehová Dios** “El altísimo del universo”, “Quién hace que llegue ha ser” porque me ha permitido discernimiento y fortaleza para poder realizar este trabajo. “Gracias padre santo”.
- A mi Tutor y Asesor: **Ing. Nefalí Rodríguez Cuevas**, por todo su legado de conocimientos y su paciencia para dirigir y revisar mi trabajo “Gracias maestro”.
- A mis sinodales: **Dr. Martín Jiménez Espinosa, Dr. Oscar Alberto López Batiz, M.I. Octavio García Domínguez y Dr. Eduardo Reinoso Angulo**; por sus agudos comentarios para la mejora y conformación final de este trabajo “Gracias, les aprecio en gran manera”.

- A las autoridades educativas del Instituto Tecnológico de Tapachula.
 - Al Director: **M.C.A. Miguel Cid del Prado Martínez** “Gracias por su apoyo”.
 - Al Subdirector Académico: **M.C.A. Fernando López Sánchez** “Gracias por todo su apoyo”.
 - A los **integrantes de la academia de Ingeniería Civil**, “Gracias por sus apoyos”.

- Al **M.I. Darío Espinoza Figueroa** “Gracias por todo su apoyo”.

- Al **Ing. Rogelio Martínez Pérez** “Gracias por todo su apoyo”.

- Al **Ing. Juan A. Sánchez Hernández** “Gracias por su apoyo”.

- A la **Ing. Dimelza Torres Hidalgo**, “Gracias por su apoyo”.

- Al **Servicio Meteorológico Nacional** “Gracias por su apoyo de información proporcionada”.

- A la **“Comisión Nacional del Agua”, Organismo de Cuenca Frontera Sur** “Gracias por el apoyo de información proporcionada”.

INDICE

	<i>Página</i>
CÁPITULO 1.- INTRODUCCIÓN.	01
CÁPITULO 2.- MÉTODO GENERAL PARA LA EVALUACIÓN.	
2.1.- Metodología para el análisis de la vulnerabilidad por la acción del viento.	02
2.1.1.- Tipos de Vulnerabilidad	02
2.1.2.- Factores que influyen en la vulnerabilidad de las estructuras ante la acción del viento	03
2.1.3.- Métodos de Evaluación	14
2.1.4.- Curvas de Vulnerabilidad	15
2.1.5.- Expresiones para evaluar la vulnerabilidad (fragilidad)	20
2.2.- Metodología para el análisis del riesgo por la acción del viento	22
2.2.1.- Generalidades	22
2.2.2.- Procedimiento para el análisis del riesgo	22
2.2.3.- Ecuación Básica del Riesgo	29
2.2.4.- Temporalidad de las Amenazas	30
2.2.5.- Incertidumbres	32
2.2.6.- Estimadores puntuales del riesgo	33
2.2.7.- Probabilidad de excedencia de valores de pérdida	34
2.2.8.- Análisis para un sólo escenario	34
CÁPITULO 3.- PREDICCIÓN DE DAÑOS POR VIENTO, MEDIANTE EL USO DE BANDAS DE DAÑO.	
3.1.- Introducción	35
3.2.- Modelo propuesto por Unanwa	36
3.2.1.- Componentes de Fragilidad	38
3.2.2.- Parámetro de localización de componentes y los factores de costo	50
3.3.- Elaboración de las bandas de daño	52
3.4.- Comparación de bandas de daño	54

3.5.-	Importancia de las bandas de daños por viento	56
CÁPITULO 4.-	PROCEDIMIENTO PARA EVALUAR EL NIVEL DE DAÑO.	
4.1.-	Introducción	58
4.2.-	Efecto destructivo del viento en estructuras	59
4.3.-	Tipos de daños ocasionados por los huracanes	63
4.4.-	Escalas de daño por efecto del viento en función de la velocidad del mismo.	64
4.5.-	Metodologías para evaluar el nivel de daño	70
CÁPITULO 5.-	APLICACIONES A: CONSTRUCCIONES INDUSTRIALES, GRUPOS DE EDIFICIOS Y CONSTRUCCIONES COSTERAS.	
5.1.-	Aplicación a construcciones industriales	78
5.2.-	Aplicación a grupos de edificios	93
5.3.-	Aplicación a construcciones costeras	96
CÁPITULO 6.-	COMENTARIOS SOBRE LA APLICABILIDAD DEL PROCEDIMIENTO EN CHIAPAS.	
6.1.-	Generalidades	124
6.2.-	Procedimiento para la aplicación de la metodología en Chiapas	128
6.3.-	Conceptos teóricos para el proceso de elaboración de los planos de isótacas de velocidad regional	128
6.4.-	Elaboración de los planos de isótacas	141
6.5.-	Elaboración de Mapa de Susceptibilidad de Daño	158
CÁPITULO 7.-	CONCLUSIONES.	169
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	170

CAPÍTULO 1.- INTRODUCCIÓN

Todo tipo de estructura debe tener la capacidad de poder continuar funcionando de manera adecuada después de ser sometida a la acción de vientos fuertes como es el caso de tormentas tropicales, ciclones o huracanes y tornados; de tal forma que pueda proporcionar una respuesta eficaz ante tales sollicitaciones. Para ello es fundamental realizar un estudio del peligro o amenaza, es decir las velocidades máximas esperadas de los vientos y sus efectos así como el tipo de construcción y sus características tales como el tipo de materiales de sus techos o cubiertas, de sus paredes o muros, la resistencia de sus juntas o conexiones, etc. para poder determinar el grado de vulnerabilidad de las mismas ante tal amenaza, con lo cual se podrá saber o determinar la probabilidad de pérdidas o el riesgo atribuible.

El presente trabajo corresponde al resultado de la investigación realizada respecto a la **“Metodología para el Análisis de la Vulnerabilidad y Riesgo por la Acción del Viento”**. En el cual primeramente se desarrolla el tema “metodología general para la evaluación” en el que se describe la metodología general existente para evaluar la vulnerabilidad y el riesgo debido a la acción del viento.

Posteriormente se presenta el tema “predicción de daños por viento, mediante el uso de bandas de daño” en el que se da a conocer en que consiste esta metodología relativamente nueva.

Enseguida se describe el “procedimiento para evaluar el nivel de daño” debido a la acción del viento; seguido de las aplicaciones a: construcciones industriales, grupos de edificios, y construcciones costeras.

Se presenta a continuación los “comentarios sobre la aplicabilidad del procedimiento en Chiapas”, en el que se elaboraron planos de isótacas en base a datos históricos de vientos procesados probabilísticamente para obtener la predicción del efecto del viento a 50 y 100 años de recurrencia, con estos planos como base y con el conocimiento aproximado del tipo de construcciones expuestas; según información obtenida del INEGI, así como de las proporcionadas por algunos municipios, también con el uso del Google Earth vía internet y a través de un muestreo estratégico del tipo de construcciones de la zona más vulnerable, se elaboró el “mapa de susceptibilidad de daños” para el estado de Chiapas por efecto del viento.

Finalmente se presentan las conclusiones y las referencias bibliográficas utilizadas en el desarrollo del presente trabajo.

CAPÍTULO 2.- MÉTODO GENERAL PARA LA EVALUACIÓN.

2.1.- Metodología para el análisis de la vulnerabilidad por la acción del viento.

La vulnerabilidad se define como la predisposición de un sistema, elemento, componente, grupo humano o cualquier tipo de elemento, a sufrir daño o afectación ante la acción de una situación de amenaza específica. (Ref.8)

Debido a que la vulnerabilidad está asociada al daño o afectación que sufrirá algún activo determinado ante una amenaza dada, usualmente se mide en términos de un porcentaje medio de daño o valor económico requerido para reparar el bien afectado y llevarlo a un estado equivalente al que tenía antes de la ocurrencia del evento y la incertidumbre asociada, involucrando aspectos probabilísticos en su determinación, por lo que: la vulnerabilidad se expresa por lo tanto en términos de la llamada “**función de vulnerabilidad**”. La función de vulnerabilidad define la **distribución de probabilidad de las pérdidas** como función de la intensidad producida durante un escenario específico, por lo tanto, la vulnerabilidad también puede expresarse de la siguiente forma:

La vulnerabilidad se define mediante curvas que relacionan el valor esperado del daño y la desviación estándar del daño con la intensidad del fenómeno amenazante. (Ref. 8)

2.1.1.-Tipos de Vulnerabilidad.

Se pueden identificar tres tipos de Vulnerabilidad:

- a) Vulnerabilidad Física (Estructural y no Estructural)
- b) Vulnerabilidad Humana
- c) Vulnerabilidad Administrativa y Funcional

a) La Vulnerabilidad Física. Se refiere al daño que sufrirá un activo determinado (elemento, componente, sistema o la edificación completa) ante una amenaza dada, y las partes dañadas pueden ser de tipo estructural o no estructural.

- * *Vulnerabilidad Estructural:* Las expresiones estructural, o sistemas primarios, se refiere a aquellas partes de un edificio que absorben las cargas gravitacionales y laterales y las transmiten al suelo de manera que mantienen la estabilidad de la construcción. Entre estos se incluyen los cimientos, las columnas, los muros de cortante, las vigas y las losas o diafragmas horizontales. Usualmente se mide en términos de un porcentaje medio de daño o valor económico requerido para reparar el bien afectado y llevarlo a un estado equivalente al que tenía antes de la ocurrencia del evento y la incertidumbre asociada. (Ref.8)

* *Vulnerabilidad no Estructural*: Los sistemas no estructurales o secundarios se pueden agrupar en tres categorías: 1).- Elementos arquitectónicos, 2).- Instalaciones de servicios básicos, y 3).- Equipos. La primera categoría comprende los componentes de un edificio que están unidos a las partes estructurales (ventanas, puertas, techos, falsos plafones, muros divisorios, etc.) y que no desempeñan una función esencial de resistencia ante cargas eólicas o de otra índole. La segunda categoría incluye las instalaciones que cumplen funciones esenciales en el funcionamiento del edificio (sistemas de instalaciones de plomería, conexiones eléctricas, calefacción, ventilación, acondicionadores de aire, etc.). La tercera categoría abarca los elementos que sencillamente están dentro de las edificaciones (equipos, muebles, suministros, etc.). (Ref.8)

b) Vulnerabilidad Humana. Hace referencia al nivel de afectación de los ocupantes de una edificación en términos del número esperado de víctimas, heridos o en general cualquier nivel de afectación que se defina, en función de la intensidad del fenómeno amenazante.

c) Vulnerabilidad Administrativa y Funcional. Esta vulnerabilidad se refiere a las pérdidas debidas al lucro-cesante o interrupción del funcionamiento de la edificación e involucra los siguientes factores: (Ref.7)

- La distribución y relación entre los espacios arquitectónicos y los servicios que se prestan en las edificaciones.
- La incidencia de la distribución en los procesos administrativos, tales como contrataciones, adquisiciones, mantenimiento, gestión de casos, comunicación interna y externa, entre ellos.
- La dependencia física y funcional entre las diferentes áreas de una edificación.

2.1.2.-Factores que influyen en la vulnerabilidad de las estructuras ante la acción del viento.

Caracterización de la amenaza.

El viento afecta de diferentes maneras a las estructuras que encuentra a su paso. La velocidad del viento se encarga en general de producir una presión directa sobre la cara expuesta de la estructura la cual se traduce en un empuje medio. Este genera tanto presión como succión y actúa directamente sobre los elementos de fachada, los cuales trasladan los empujes hasta los elementos estructurales principales. También se generan empujes dinámicos en la dirección del viento que consisten en fuerzas paralelas al flujo causadas por la turbulencia del viento y cuya fluctuación en el tiempo influye de manera importante en la respuesta

estructural. Es decir, que en una estructura pueden actuar ráfagas de viento en forma alternada con diferentes duraciones provocando cargas dinámicas. (Ref.8)

Aparecen también vibraciones transversales al flujo y fenómenos de inestabilidad dinámica, todo lo cual debe estudiarse con miras a comprender en forma global los efectos del viento sobre una construcción determinada. El viento puede producir también fuerzas de arrastre, fenómenos de inestabilidad aeroelástica como en el caso de puentes colgantes muy flexibles. (Ref.8)

Si el viento logra romper las ventanas y puertas de la fachada de barlovento, entrará violentamente al interior de la edificación, incrementando las fuerzas de succión en las paredes y techo del inmueble, ocasionando que este se dañe de manera severa con posibilidad que se llegue al colapso o destrucción total de la estructura.

La velocidad del viento aumenta con la altura a partir del nivel del terreno. La variación con la que se incrementa depende no solo de las condiciones de rugosidad del terreno circundante, sino también de las ráfagas del viento, es decir, las velocidades asociadas a lapsos definidos de tiempo. El lapso promedio es el intervalo que se selecciona para determinar la velocidad máxima promedio. Conforme ese intervalo disminuye, la velocidad máxima media correspondiente aumenta. Las velocidades de las ráfagas suceden durante lapsos promedio del orden de 3 a 15 segundos y se relacionan con el tamaño de la estructura. Las construcciones esbeltas y flexibles se ven más afectadas por las ráfagas de corta duración, mientras que las bajas y rígidas son más bien afectadas por las velocidades medias asociadas al flujo. (Ref. 8)

Características de los elementos expuestos (Construcciones).

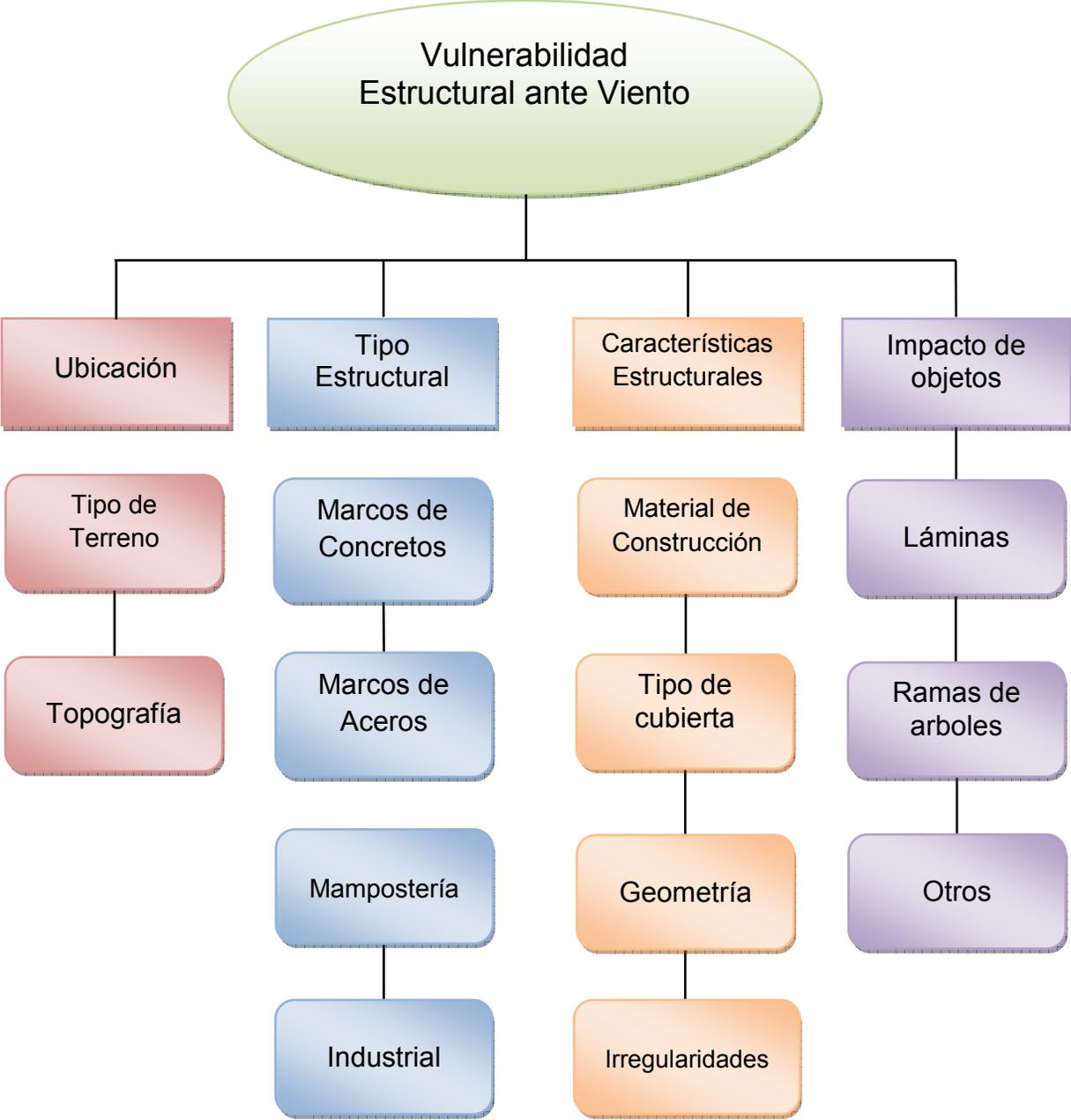


Fig. 2.1.1.- Factores que caracterizan a los elementos expuestos. (Ref. 7)

Ubicación

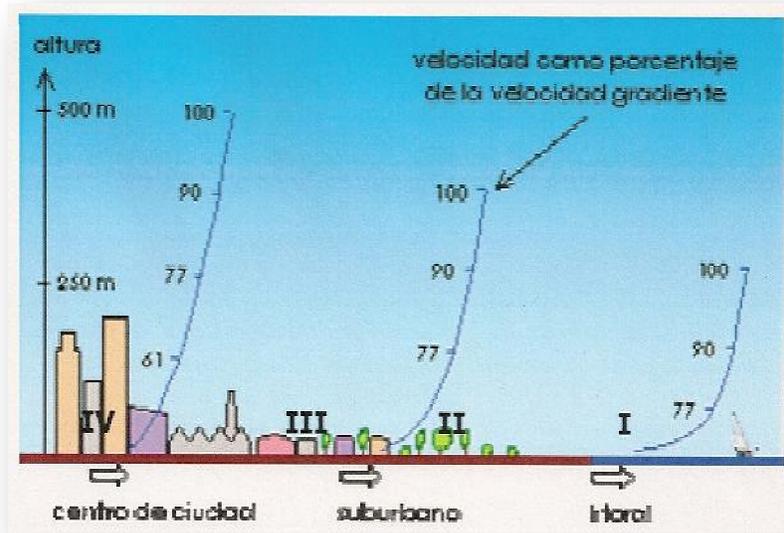


Fig. 2.1.2. - Tipo de Terreno

ción

- I. Terreno abierto plano (Franjas costeras planas, campos aéreos, pastizales y tierras de cultivo).
- II. Terreno plano u ondulado con pocas obstrucciones (Campos de cultivo o granjas con pocas obstrucciones tales como bardas alrededor, árboles y construcciones dispersas).
- III. Terreno cubierto por numerosas obstrucciones estrechamente espaciadas (Áreas urbanas, suburbanas y de bosques).
- IV. Terreno con numerosas obstrucciones largas, altas y estrechamente espaciadas (Centros de grandes ciudades y complejos industriales bien desarrollados).

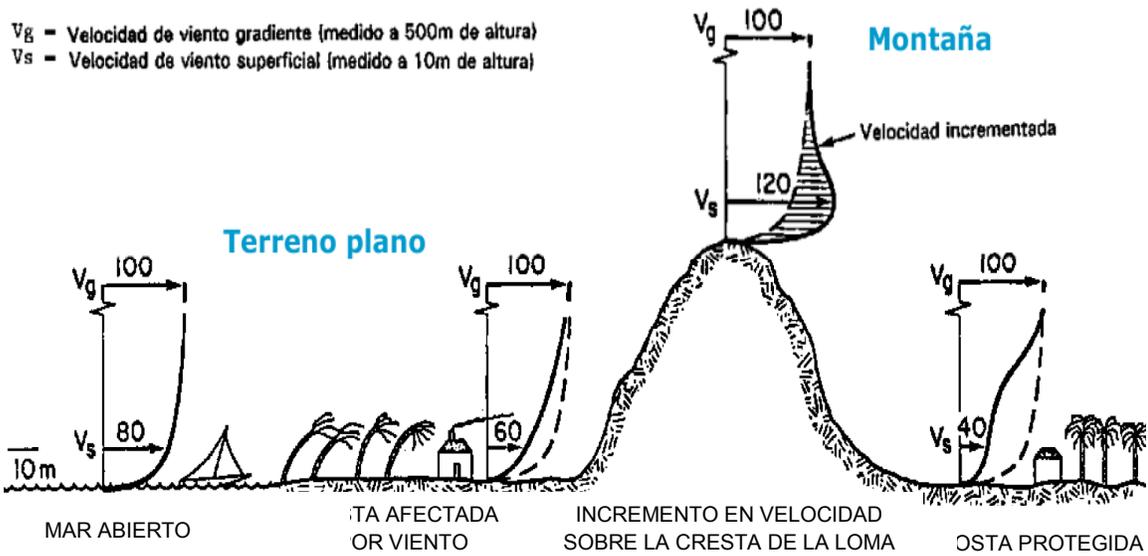


Fig. 2.1.3.- Topografía del terreno



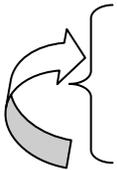
o montañas.

ntañas. (Ref.7)

Tipo Estructural

Clasificación de acuerdo a su vulnerabilidad ante los efectos del viento: (Ref.7)

- A. Muros de carga de mampostería.
- B. Marcos de concreto o de acero.
- C. Marcos y muros combinados.
- D. Industrial no rigidizada, con cubierta ligera.
- E. Industrial rigidizada, con cubierta ligera.
- F. Industrial no rigidizada, con cubierta pesada.
- G. Industrial rigidizada, con cubierta pesada.



id ante la
ientos



mpostería.



concreto o de



ados.



n cubierta



, con cubierta



Industrial rigidizada, con cubierta
da.

os efectos del
arcos y muros
i, con cubierta

Características Estructurales

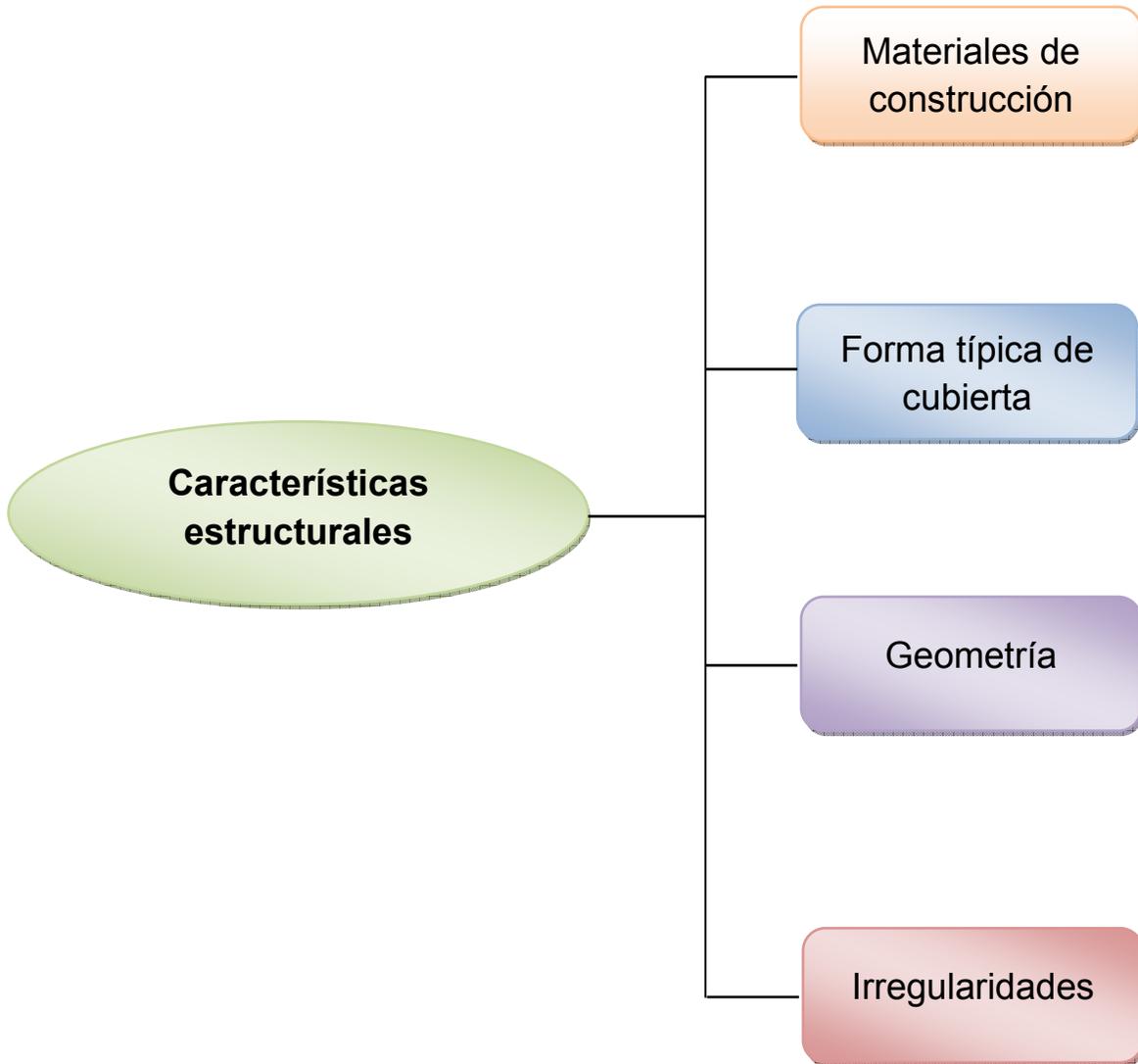


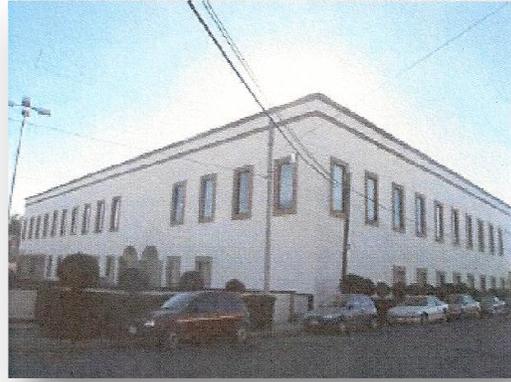
Fig. 2.1.6.- Características Estructurales. (Ref.7)

Materiales de construcción:

- Las estructuras recubiertas con materiales ligeros (naves industriales) presentan una mayor vulnerabilidad ante fuertes vientos. (Ref. 7)



Alta

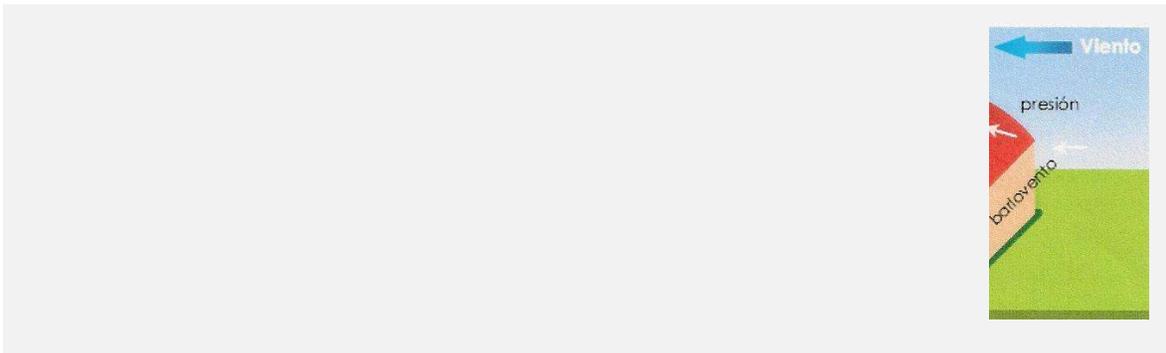


a

nstrucción; a)

Forma típica de la cubierta:

En las cubiertas horizontales de construcciones cerradas, se presentan succiones, y al incrementar el ángulo de inclinación γ ó θ de la cubierta, aproximadamente hasta 30° aún permanecen succiones tanto en barlovento como en sotavento, existiendo un intervalo de transición del efecto de succión a presión para la cara de barlovento entre $30^\circ \leq \gamma \leq 45^\circ$ aproximadamente y para $\gamma \geq 45^\circ$ el efecto es de presión en barlovento y succión en sotavento. (Ref. 17 y Ref. 18)



do

cho curvo. (Ref.7)

Geometría:

- Estructuras con relación de aspecto > 5 o $T \geq 1$ seg, son especialmente sensibles a las ráfagas de corta duración del viento, lo cual favorece la ocurrencia de oscilaciones importantes. (Ref. 7)



1 Alta

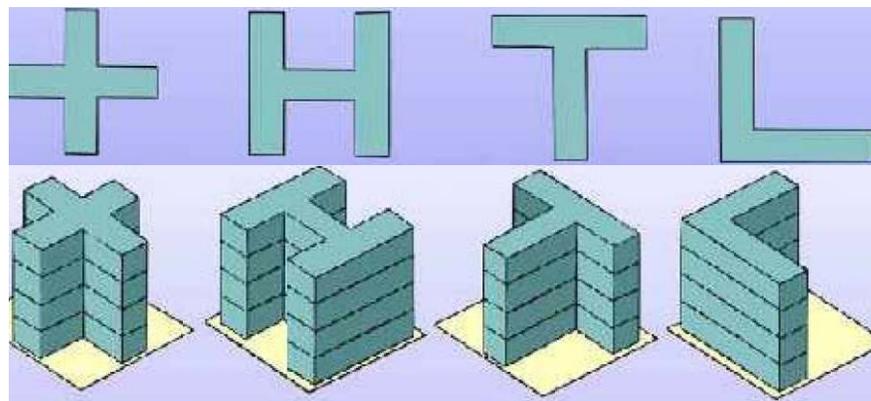


1 Baja

niveles de
Inerabilidad

Irregularidades en la geometría:

- La irregularidad en las construcciones genera vórtices alternantes que provocan fuerzas y vibraciones transversales a la dirección del flujo de viento. Pueden presentarse amplificaciones dinámicas de la respuesta estructural. (Ref. 7)



lificaciones que

Impacto de Objetos

Las fachadas son la parte más vulnerable en un edificio, los vidrios se pueden romper, los elementos no diseñados adecuadamente o los elementos ligeros pueden ser arrastrados con facilidad por el viento, convirtiéndose en proyectiles que impactan otras partes del edificio u otro inmueble. (Ref. 7)

Importante considerar:

- Área de la estructura expuesta al viento.
- Material de recubrimiento (cristal, lámina, madera, plástico, etc.).
- Cubiertas ligeras o domos en el techo.
- Anuncios colgados en fachadas.
- Cercanía con árboles, palmeras, mobiliario en jardines o albercas.



s de Árboles



DS

; a) laminas, b)

2.1.3.- Métodos de Evaluación.

Los procedimientos para la evaluación de la vulnerabilidad ante los efectos del viento se clasifican en dos categorías:

a).-Métodos Cualitativos

b).-Métodos Cuantitativos

a).- Metodología Cualitativa.

Estos métodos se emplean para evaluar de forma rápida y sencilla las condiciones de seguridad estructural de una edificación, y consisten en otorgar una clasificación a la estructura de acuerdo a la evaluación de parámetros tales como: La edad de la edificación, el estado de conservación y mantenimiento, la calidad y las características de los materiales, el número de pisos, la configuración geométrica, arquitectónica y los sistemas estructurales.

Uno de los aspectos más importantes que se debe tomar en cuenta es la probabilidad de que los elementos cedan al pandeo, ya que es uno de los problemas más comunes en las estructuras sometidas a elevadas cargas eólicas.

Entre otros factores que inciden en la evaluación cualitativa figuran: La topografía del lugar, su ubicación en un entorno (urbano, rural, etc.), y la velocidad eólica básica de diseño para la zona en la que se haya edificado.

Si la clasificación de los métodos cualitativos indica alguna deficiencia en la resistencia de la edificación a vientos intensos se deberán realizar análisis cuantitativos detallados. (Ref.8)

b).- Metodología Cuantitativa.

Los métodos cuantitativos determinan la capacidad de resistencia de la estructura primaria existente, denominada también en este contexto sistema principal de resistencia eólica. Los procedimientos son muy parecidos a aquellos empleados en la evaluación del diseño de estructuras nuevas. La principal diferencia radica en que no se puede elegir ni determinar desde el inicio ciertas variables, con la orientación de avanzadas normas de ingeniería eólica, tales como la ubicación, el sistema estructural, la calidad de los materiales de construcción y el empleo de fachadas y otros componentes no estructurales. En su efecto, se ha de aceptar estas variables tal y como existan y se deberán proceder a analizarlas para determinar su grado de vulnerabilidad en condiciones extremas de viento y adoptar las medidas correctivas consiguientes.

Los métodos cuantitativos exigen el acopio de gran cantidad de información; de hecho, de tanta información cuanta sea factible recopilar. Así, son más precisos que los métodos cualitativos para predecir el tipo de falla probable tanto en

general como con respecto a elementos específicos, de ahí que sean más confiables al momento de evaluar la seguridad de una edificación ante los efectos del viento. No obstante son métodos más costosos y demandan mayor tiempo por parte del equipo evaluador. (Ref.8)

2.1.4.- Curvas de Vulnerabilidad.

La estimación de la afectación o daño se mide normalmente en términos de la **Relación Media de Daño**, RMD (en inglés Mean Damage Ratio, MDR). La RMD o también conocida como **índice de daño** se define como la relación entre el costo esperado de reparación del elemento afectado y el costo de reposición del mismo.

La función o curva de vulnerabilidad se define como la relación entre la RMD y el parámetro de intensidad seleccionado para el evento en consideración, más la curva equivalente para la varianza de cada uno de los valores de pérdida. Cada componente de un sistema dado tendrá asignada una función de vulnerabilidad diferente, en términos probabilistas, para cada uno de los eventos a los que estará sometido.

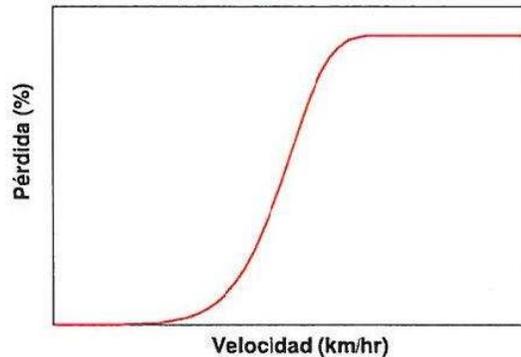


Fig. 2.1.12.- Función o curva de vulnerabilidad tipo. (Ref.7)

Cada uno de los activos que conforman la base de exposición de componentes deberá tener asignada una función de vulnerabilidad para las pérdidas físicas y una función de vulnerabilidad humana, diferentes para cada una de las amenazas requeridas. (Ref. 8)

En general las funciones de vulnerabilidad pueden evaluarse mediante una o varias técnicas, entre las cuales se incluyen:

- a).-Estudios analíticos o modelos analíticos calibrados que permitan estimar el comportamiento inelástico de componentes estructurales o de estructuras completas sometidas a acciones externas que modelan los efectos de las amenazas a considerar.
- b).-Estudios experimentales o ensayos de laboratorio de componentes estructurales o estructuras completas sometidas a acciones externas que modelan los efectos de las amenazas a considerar.

- c).-Observaciones del comportamiento de componentes estructurales o estructuras completas durante eventos o fenómenos que producen desastres y cuya intensidad es conocida o estimada.
- d).-Funciones publicadas en la bibliografía internacional (publicaciones científicas) de la experiencia acumulada de expertos por medio de reportes y artículos de investigaciones realizadas en este tema a nivel mundial.
- e).-Modelos matemáticos

El cálculo de las funciones de vulnerabilidad para los diferentes tipos constructivos característicos de una zona o país se realiza teniendo en cuenta los siguientes conceptos.

- Materiales que constituyen la estructura principal y los elementos de fachada, divisiones internas y recubrimientos.
- Geometría general
- Tipo de terminados y conexiones
- Fecha de construcción y norma de diseño utilizada
- Estado y posible ocurrencia de daños previos
- Defectos o debilidades específicas
- Obras de reforzamiento previas
- Comportamiento inelástico esperado

Las funciones de vulnerabilidad para los tipos estructurales típicos (Fig. 2.1.13) y para los diferentes tipos de amenazas en cada uno de los países debe ser objeto de un trabajo de investigación y refinación permanente. El grado de precisión que se utilice en la función de vulnerabilidad definirá el grado de precisión de los resultados de riesgo. La utilización de funciones de vulnerabilidad de tipos constructivos similares con base en curvas propuestas en otros países es posible siempre y cuando se realice una validación y verificación de las mismas. Universidades y centros de investigación deben propender por estudiar y proponer las funciones de vulnerabilidad de cada país para cada uno de los componentes críticos de obras de infraestructura expuestos a riesgos.

La modelación del daño ante vientos huracanados se establece mediante funciones de vulnerabilidad entre la velocidad de viento pico para ráfagas que van entre 3 y 15 segundos y la relación media de daño, RMD, para las edificaciones, los contenidos y la eventual pérdida de funcionalidad. Para la evaluación de la vulnerabilidad de la edificación ante vientos fuertes se requiere entonces información relativa al sistema estructural, elementos de fachada, tipo de cubierta, el tipo de acabados, materiales y conexiones susceptibles de sufrir daño.



s. (Ref. 7)

Desarrollo de curvas de vulnerabilidad ante viento.

Se requiere en primer lugar, definir con claridad el concepto de índice de daño en una construcción afectada por vientos intensos. En la ref. 16, se establece que:

Índice de daño = Costo de reparación/costo inicial del edificio

De manera similar, para estimar el **índice de daño en los contenidos** de un edificio, basta sustituir en el numerador anterior, el costo de la sustitución del contenido.

A partir de estas definiciones básicas, se ha desarrollado un modelo simple para establecer las curvas de vulnerabilidad para estructuras bien diseñadas, las cuales están formadas por un gran número de partes componentes, cuya distribución de resistencia, queda definida con base en experiencia del diseñador y constructor. La falla de cada componente se considera independiente de las otras y todas ellas se diseñan para soportar las mismas cargas producidas por el viento, de manera que el daño parcial esperado de la estructura completa es dependiente de la proporción de las componentes que se espera que fallen, a la velocidad del viento considerada en el análisis. En la figura 2.1.14, se muestra la estimación determinista de las pérdidas ante un viento intenso. (Ref.16)

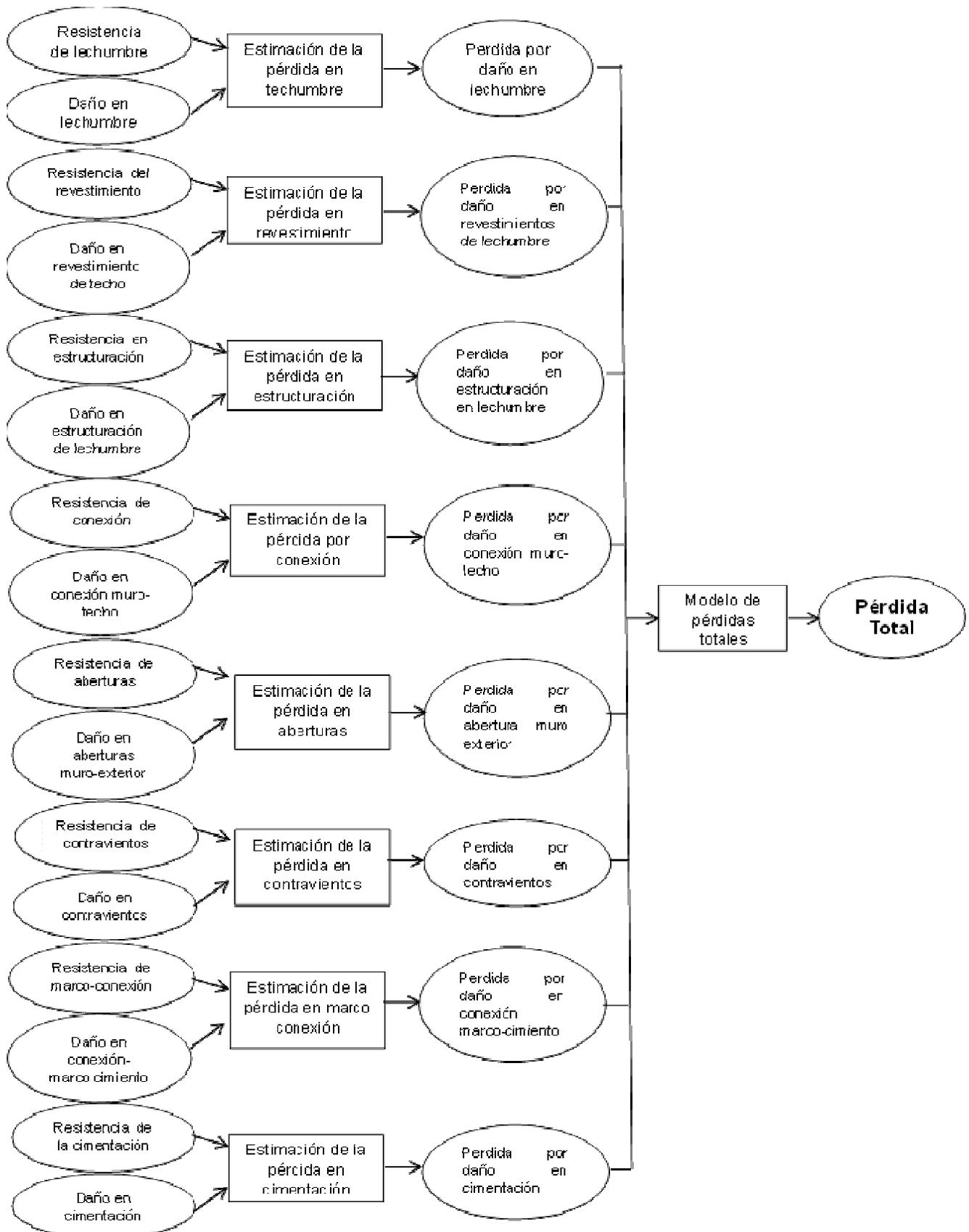


Fig. 2.1.14.- Estimación determinista de pérdidas ante un viento intenso. (Ref. 16)

Cuando los elementos componentes de una estructura presentan la misma distribución de probabilidad de resistencia, la curva de vulnerabilidad se obtiene de la distribución de resistencia acumulada de cada elemento, al aceptar una carga determinista de viento. Es común aceptar que dicha curva se represente por una función de distribución lognormal, con una media nominal de resistencia igual a 1.2 y un coeficiente de variación igual a 0.13, tal como se muestra en la figura 2.1.15. (Ref. 16)

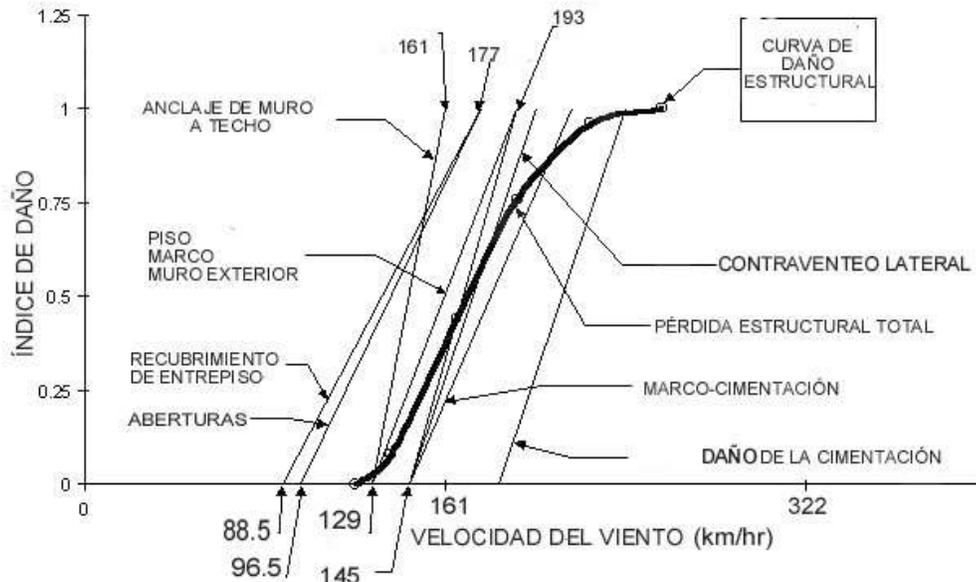


Fig. 2.1.15.- Índices de daño estructural relativo para las componentes de una estructura y de la estructura completa, en función de la velocidad del viento.

En ocasiones, esta aproximación deja de ser representativa de la vulnerabilidad, cuando: (Ref. 16)

- El diseño de las partes componentes depende de la combinación de la acción del viento y de otras solicitaciones, como puede ser la acción de peso propio.
- Las partes componentes presentan diversas características de resistencia, lo que induce modificación en el valor medio y el coeficiente de variación. Esto sucede cuando los elementos de revestimiento de la construcción no son adecuadamente diseñados, lo que induce mayores coeficientes de variación en su resistencia. Asimismo, cuando aparecen elementos de madera, se presenta una mayor variabilidad, en comparación con lo que sucede cuando se emplean piezas metálicas.

- El método señalado no considera el orden de aparición de la falla en los elementos, como sucede en construcciones fabriles, donde normalmente se presenta mayor daño en techumbres, que en muros perimetrales bien contruidos, con altura baja.
- Uno de los elementos de la estructura presenta considerable resistencia, después de que se inician procesos de fluencia en su comportamiento ante acciones mecánicas inducidas por el viento.

Sin embargo, la forma de la curva no cambia, y puede representar a una curva de vulnerabilidad promedio para estructuras reales, cuando la pendiente de su parte central se reduce, debido a la vulnerabilidad adicional generada por alguno de los factores antes mencionados.

2.1.5.- Expresiones para evaluar la vulnerabilidad (fragilidad).

Es frecuente expresar la fragilidad de un elemento de infraestructura mediante el empleo de la función de pérdida. Con el fin de relacionar el daño físico de la infraestructura, con otras variables socio-económicas, el daño se expresa en función de la pérdida económica; mientras mayor sea el daño, mayor es la pérdida. **Una medida común de daño es el costo de reparación del elemento en riesgo, dividido entre el costo de reemplazo del elemento, con lo que se define el índice de daño.** Una vez que se conoce el índice de daño y se establece el peligro de viento intenso, se puede estimar la pérdida económica, siempre y cuando se conozca el costo de reposición del elemento en cuestión. Este esquema de pensamiento es aplicable a edificios, carreteras, líneas de transmisión, o cualquier otro tipo de estructuras. (Ref. 16)

Índice de daño para estructuras industriales.

El modelo que se utiliza para estimar el daño en edificaciones industriales, provocado por vientos intensos, presupone que el edificio se puede dañar en alguna de las partes componentes, como son: techumbre, revestimiento de techumbre, estructura de soporte de la techumbre, conexión del techo con los muros laterales, revestimiento de fachadas, puertas o ventanas, conexión de los marcos de soporte a la cimentación y falla de la cimentación. El daño de la edificación es una mezcla del daño de las componentes, como se muestra en la figura 2.1.15.

Para estimar el índice de daño, se puede recurrir al modelo de Stubbs, en donde el índice de daño medio (IDM), se evalúa con la expresión que se define a continuación, obtenida a partir de la teoría de confiabilidad: (Ref.16)

$$IDM = IDM(v) = \sum^N [w_i \left[\int_0^v f_{Ri}(r_i) dr_i \right]^{as}]^{1/as} \text{ ----- (2.1.1)}$$

donde:

- v — velocidad del viento en el sitio.
- $f_{Ri}(v_i)$ — función de densidad triangular de la i -ésima componente, en relación con la velocidad del viento.
- w_i — peso relativo de la i -ésima componente.
- α_s — parámetro que define al tipo de sistema que controla al comportamiento estructural de la componente.
- N — número de componentes del edificio en el modelo de relación de daño estructural.

Índice de daño para contenidos.

El modelo acepta que el daño a los contenidos es provocado por el daño del edificio, y se puede evaluar mediante la siguiente expresión. (Ref. 16)

$$IDM_c = [\sum^M C_i [\Phi_i \int_0^{P_i} f_{Bi}(b_i) db_i]^{\alpha_c}]^{1/\alpha_c} \text{-----} (2.1.2)$$

donde:

- $P_i(v)$ — índice de daño estructural presente en el i -ésimo componente, al aparecer la velocidad de viento, v .
- $f_{Bi}(b_i)$ — función de densidad de la resistencia del contenido, al aparecer daño en el i -ésimo componente de la edificación.
- Φ_i — parámetro que modela la exposición de los contenidos.
- C_i — peso relativo asociado al i -ésimo modo de falla del contenido.
- α_c — parámetro que define al comportamiento de los modos de daño del contenido, cuando este se considera formar parte de un sistema.
- M — número de modos de daño del contenido.

En el subtema 4.5 del capítulo 4 de este trabajo se presentan aspectos relacionados con la metodología necesaria para estimar la vulnerabilidad de construcciones, en sus dos aproximaciones: la regresiva y la analítica.

2.2.- Metodología para el análisis del riesgo por la acción del viento.

2.2.1.- Generalidades.

El riesgo se refiere a las pérdidas potenciales asociadas con una amenaza, definido en términos de frecuencia y probabilidad esperadas, exposición y consecuencias. (Ref. 1)

El desarrollo de procesos naturales que constituyan una amenaza para la población y la infraestructura expuesta en una región determinada, está inevitablemente asociado con pérdidas económicas y de vidas humanas, siempre como función de la intensidad local que genera el **evento amenazante**, las **condiciones de exposición y la vulnerabilidad** de los elementos expuestos ante el evento peligroso. (Ref. 9)

El análisis probabilista del riesgo tiene como objetivo fundamental determinar las distribuciones de probabilidad de las pérdidas que pueden sufrir en lapsos dados los activos expuestos, como consecuencia de la ocurrencia de amenazas naturales, integrando de manera racional las incertidumbres que existen en las diferentes partes del proceso. La pregunta básica que el análisis probabilista de riesgo debe contestar es: Dado que se tiene un conjunto de activos expuestos a los efectos de una o varias amenazas naturales, ¿Con que frecuencia se presentarán pérdidas que superen un valor dado? (Ref. 9)

Debido a que la frecuencia de los eventos catastróficos es particularmente baja, la pregunta anterior debería responderse a partir de modelos probabilistas y no por medio de la formulación de modelos puramente empíricos del proceso de ocurrencia de estos eventos. (Ref. 9)

El procedimiento de cálculo probabilista consiste entonces, en forma resumida, en evaluar las pérdidas en el grupo de activos expuestos durante cada uno de los escenarios que colectivamente describe la amenaza, y luego integrar probabilísticamente los resultados obtenidos utilizando como factores de peso las frecuencias de ocurrencia de cada escenario. (Ref. 9)

El análisis probabilista de riesgo involucra incertidumbres que no pueden despreciarse y deben considerarse a lo largo del proceso de cálculo.

2.2.2.- Procedimiento para el análisis del riesgo.

De manera general se cuenta con una limitada cantidad de datos e información histórica acerca de eventos catastróficos, debido en algunos casos a la ocurrencia de desastres de baja frecuencia de repetición, y en otros casos a desastres con una ventana temporal de atención reciente y corta. Considerando la posibilidad de presentarse eventos futuros altamente destructivos, la estimación del riesgo debe enfocarse en modelos probabilistas, que permitan emplear la escasa información disponible para predecir posibles escenarios catastróficos en los cuales se

considere la alta incertidumbre involucrada en el análisis. En consecuencia, la evaluación del riesgo debe seguir un enfoque prospectivo, anticipando eventos de ocurrencia científicamente probable que puedan presentarse en el futuro. Considerando las grandes incertidumbres asociadas a la estimación de la severidad y frecuencia de recurrencias de desastres naturales, la evaluación del riesgo se basa en formulaciones probabilista que incorporan la incertidumbre en la estimación del riesgo. La figura 2.2.1 presenta el esquema general del modelo probabilista de evaluación del riesgo y algunas de las posibles aplicaciones directas en la gestión del riesgo.

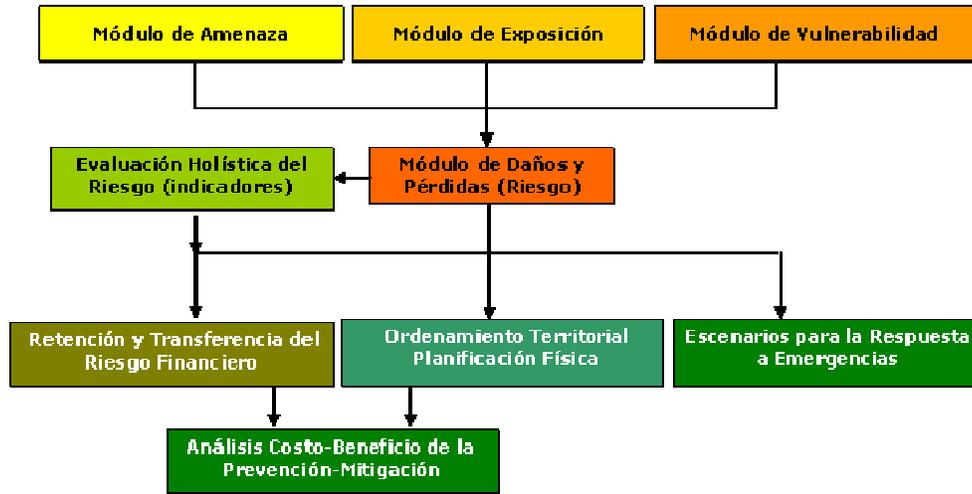


Fig. 2.2.1.- Modelo probabilística de riesgo y algunas aplicaciones. (Ref.9)

a).- Evaluación de la Amenaza.

La identificación de las amenazas que pueden afectar una región determinada constituye un paso preliminar al análisis de riesgos que es de muy alta relevancia. El conocimiento de las condiciones regionales de ocurrencia de eventos peligrosos, así como las características reportadas sobre eventos históricos importantes, proveen una primera idea del potencial destructivo de los fenómenos que amenazan la región, y permite conocer anticipadamente, de manera aproximada, los periodos de retorno de los eventos más importantes.

La amenaza asociada con un fenómeno natural se mide mediante la frecuencia de ocurrencia y la severidad medida mediante algún parámetro de intensidad del peligro determinado en una ubicación geográfica específica. El análisis de amenaza está basado en la frecuencia histórica de eventos y en la severidad de cada uno de ellos. Una vez se definen los parámetros de amenaza, es necesario generar un conjunto de eventos estocásticos que definen la frecuencia y severidad de miles de eventos, representando así los parámetros principales de la amenaza en la región. El análisis de amenaza genera valores de los parámetros de intensidad definidos para cada una de las amenazas estudiadas y para cada uno

de los eventos estocásticos planteados, mediante la modelación analítica de cada uno de los fenómenos.

La evaluación de las amenazas se hace en términos de las intensidades asociadas a la capacidad destructiva de los eventos de amenaza considerados. Se plantean modelos probabilistas de evaluación, que se basan en la definición de escenarios particulares de diferente magnitud, caracterizados por una frecuencia de ocurrencia específica, que corresponde con las tendencias históricas observadas de recurrencia de la amenaza bajo análisis.

La información relacionada con los eventos históricos debe incluir tanto información relativa a parámetros de ubicación e intensidad del evento, como información relacionada con los efectos y las pérdidas producidas por el evento, información que es importante para la calibración y validación de los modelos de análisis.

Análisis probabilista de amenazas.

El objetivo principal del análisis probabilista de amenazas es proporcionar la información necesaria de amenazas con el fin de calcular en forma confiable los diferentes parámetros probabilistas relacionados con las pérdidas y efectos de los diferentes fenómenos naturales, para diferentes periodos de retorno.

Conviene realizar un enfoque basado en fenómenos detonantes que permite al analista capturar en forma probabilística el periodo completo de daños posibles que pudieran atribuirse a un desastre natural mayor. En particular, el enfoque basado en eventos detonantes permite al analista la flexibilidad para determinar bien sea:

- Las pérdidas anuales totales asociadas a un **peligro específico** (incluyendo pérdidas asociadas a todos los eventos secundarios), por ejemplo: Pérdidas totales probabilísticas asociadas a **Huracán**= Suma de pérdidas probabilísticas asociadas a viento, marea de tormenta e inundación y deslizamientos por lluvias de huracán.
- Las pérdidas totales asociadas a una **categoría de peligro** relacionada con diferentes eventos detonantes, como por ejemplo: Pérdidas totales probabilísticas asociadas a **Deslizamientos**= Suma de pérdidas probabilísticas asociadas deslizamientos detonados por lluvias, terremoto, lluvias de huracanes.

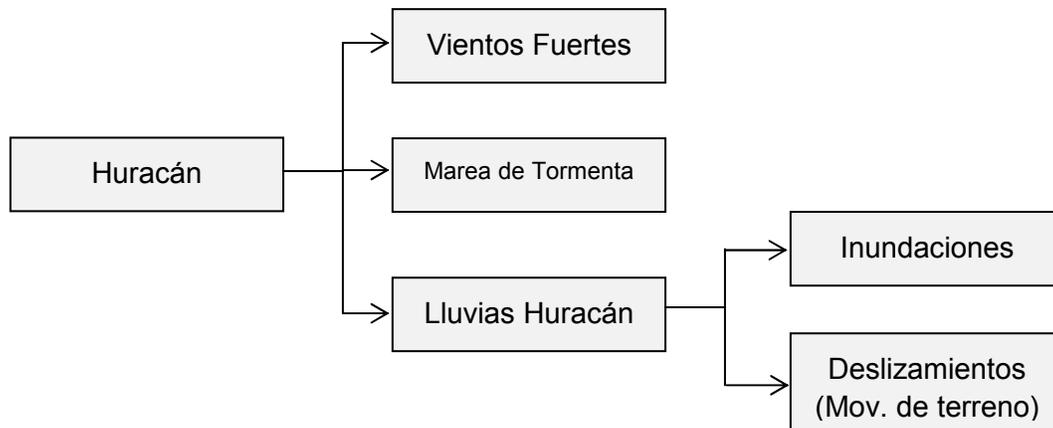


Fig. 2.2.2.- Método de modelación de amenazas basado en eventos detonantes

Para cada uno de los peligros se construye un conjunto de escenarios estocásticos para lo cual se utiliza la mejor información disponible referente a frecuencia y severidad de todo tipo de eventos con base en la mejor información disponible al igual que en la opinión general de expertos en los diferentes campos.

El resultado de la evaluación de la amenaza es una base de datos para cada uno de los peligros estudiados, que contiene un conjunto de eventos estocásticos, característicos de la amenaza global, mutuamente excluyentes y colectivamente exhaustivos, que corresponden a todos los posibles escenarios de amenaza que pueden presentarse en la región.

Nivel de resolución en los análisis de amenaza.

Los análisis de amenaza se realizan mediante una malla de dimensión variable, seleccionada para capturar de manera precisa variaciones en la severidad de la amenaza, en condiciones locales requeridas para el análisis, en las propiedades de uso y cubrimiento de la tierra. o en la distribución y densidad de elementos expuestos incluyendo activos físicos o población. En los centros poblados principales se recomienda una dimensión mínima de análisis de la malla en el orden de 1 a 3 km. Para zonas rurales poco habitadas el tamaño máximo de la malla debe ser del orden los 10 km, aunque cada caso particular definirá los requerimientos de densidad del mallado.

b).- Definición de los elementos expuestos:

Debe definirse el inventario de elementos expuestos, el cual debe especificar la localización geográfica del bien expuesto, más los siguientes parámetros, que califican el elemento: **Valor físico o costo de reposición del bien, valor humano o número de ocupantes estimado y clase estructural a la que pertenece el bien.**

Caracterización de la exposición.

La exposición se refiere principalmente a los componentes de infraestructura o a la población expuesta que puede verse afectada por un evento determinado. Para realizar la caracterización de la exposición es necesario identificar los diferentes componentes individuales incluyendo su ubicación geográfica, sus características geométricas, físicas e ingenieriles principales, su vulnerabilidad ante el evento amenazante, su valoración económica y el nivel de ocupación humana que puede llegar a tener en un escenario de análisis determinado.

Los valores de exposición de bienes en riesgo se estiman a partir de fuentes de información secundaria como bases de datos existentes, o pueden ser derivados por medio de procedimientos simplificados basados en información social y macro económica general, como densidad poblacional, estadísticas de construcción o información particular más específica. Los modelos simplificados de exposición se utilizan cuando la información específica activo por activo no se encuentra disponible. Con base en la información disponible, se crea una base de datos de exposición, construida de manera geo-referenciada, donde se incluye toda la información específica requerida para el análisis. Se pueden incluir parámetros adicionales con alto nivel de detalle a la base de datos, para mejorar la confiabilidad general de los resultados. Rutinas especiales permiten la visualización de la información contenida en la base de datos y el cálculo de índices de interpretación general.

Por otro lado pueden utilizarse una serie de herramientas útiles para levantar información a partir de imágenes satelitales, fotografías aéreas o directamente mediante visitas de campo. Estas herramientas permiten conformar bases de datos georeferenciadas con algunas características básicas tales como tipo constructivos, área y número de pisos, lo cual puede luego complementarse con estadísticas de la zona, con zonificaciones previas de los tipos constructivos en la ciudad o mediante observaciones directas de campo. Este es un campo de mucho desarrollo en la actualidad en el cual sistemas como el Google Earth® y dispositivos móviles con GPS y capacidades de tomar fotografías y de conexión por Internet generan amplias posibilidades para generar bases de datos de exposición de alta confiabilidad y relativo bajo costo.

Adicionalmente a lo anterior y con el fin de estimar la afectación humana de posibles eventos amenazantes, se define una ocupación humana determinada a cada uno de los componentes que forman la base de datos de exposición. La ocupación máxima y el porcentaje de ocupación a diferentes horas del día, se definen con el fin de realizar el análisis para diferentes situaciones particulares de ocupación como puede ser una ocupación típica diurna, una nocturna o cualquier otra que se quiera definir. Cuando no se cuenta con información específica sobre ocupación, se puede emplear la densidad aproximada de ocupación de determinado tipo constructivo para completar dicha información.

Clasificación general de activos y valoración.

El análisis debe en general incluir todos los activos físicos sujetos a riesgo por cuenta de cualquiera de las amenazas mencionadas. Dentro de los activos se incluyen las obras de infraestructura principales:

- (a) Edificaciones en las poblaciones principales
- (b) Instalaciones industriales importantes
- (c) Vías y Puentes
- (d) Sistema eléctrico incluyendo generación, subestaciones y transmisión
- (e) Sistema de comunicaciones
- (f) Sistemas de tuberías importantes
- (g) Obras de infraestructura relevantes

Se conforma una base de datos la cual debe incluir información relacionada con el tipo de activo, su localización y parámetros de valoración. Para la conformación de la base de datos se utilizan las siguientes fuentes de información según la disponibilidad de las mismas:

- Bases de datos de edificaciones a nivel de ciudades.
- Información de sensores remotos.
- Estadísticas demográficas y económicas.
- Algoritmos para asignación de información según índices, tendencias y estadísticas de información.

Base de datos de edificaciones.

Para construir la base de datos de edificaciones se requiere principalmente la información disponible a nivel catastral o de censos recientes. Considerando que la información disponible rara vez incluye todos los datos relevantes requeridos, se aplican algoritmos de complementación y ajuste de información que permitan contar con una base de datos completa y consistente.

Base de datos de componentes de infraestructura.

El inventario de elementos expuestos incluye también información relevante de otros componentes entre los cuales se pueden nombrar los siguientes:

- Tuberías, oleoductos y gasoductos
- Subestaciones del sistema de gasoductos y oleoductos
- Vías principales y secundarias divididas en tramos uniformes
- Puentes y túneles
- Presas y embalses
- Proyectos hidroeléctricos
- Subestaciones y líneas de transmisión eléctricas
- Subestaciones de comunicaciones y torres importantes

- Centros e instalaciones industriales importantes tales como refinerías, centrales termoeléctricas, subestaciones.

Para la modelación de algunos de los anteriores componentes se utilizan normalmente analogías con otros componentes similares modelados y se realiza una descomposición de los elementos característicos que componen una instalación determinada. Por ejemplo el proyecto típico de generación hidroeléctrica incluye una presa, túneles, tuberías de conducción y de carga, subestación eléctrica, cuarto de máquinas y tubería de descarga. (Ref.9)

Ajuste de la valoración de activos.

Una vez realizada la valoración de cada uno de los componentes individuales de infraestructura se deben realizar verificaciones globales de los valores en riesgo con base en índices económicos generales. Para el efecto se utilizan parámetros tales como indicadores de valores per cápita o normalizados con el PIB del país o región, el stock de capital, valoración general de obras de infraestructura para efectos de seguros y otros.

La valoración incluye tanto el valor del bien como tal (elementos estructurales y no estructurales principales) como la valoración de contenidos susceptibles al daño. Por ejemplo para el caso de inundaciones normalmente los daños están asociados a los contenidos y a una porción de la estructura que requiere reparación y mantenimiento después de ocurrido el desastre. (Ref.9)

Información para impacto social y económico indirecto.

Con el fin de calcular el impacto social, se estima información general referente a la ocupación de edificaciones. Cuando no se dispone de información específica sobre ocupación, se puede emplear información aproximada para completar los datos, en función del tipo de construcción que se está analizando.

c).- Vulnerabilidad de las Construcciones.

Debe asignarse a cada una de las clases estructurales una función de vulnerabilidad para cada tipo de amenaza. Esta función caracteriza el comportamiento de la construcción durante la ocurrencia de fenómenos amenazantes. Las funciones de vulnerabilidad **definen la distribución de probabilidad de las pérdidas** como función de la intensidad producida durante un escenario específico. Se definen mediante curvas que relacionan el valor esperado del daño y la desviación estándar del daño con la intensidad del fenómeno.

Caracterización de la vulnerabilidad.

La caracterización de la vulnerabilidad se realiza mediante la generación de funciones que relacionan el nivel de daño de cada componente con la intensidad del fenómeno de amenaza. La **función de vulnerabilidad** debe estimarse para cada uno de los tipos constructivos característicos, de manera que puedan asignarse a cada uno de los componentes de la base de datos de exposición. Mediante las **funciones de vulnerabilidad** asignadas es posible cuantificar el daño o afectación producida en cada uno de los activos ante la acción de un evento determinado, caracterizado por alguno de los parámetros de intensidad. Cada **función de vulnerabilidad** está caracterizada por un **valor medio y una varianza** con lo cual es posible estimar su función de probabilidad respectiva. (Ref.9)

2.2.3.- Ecuación Básica del Riesgo.

Considerando el objetivo básico del análisis probabilista del riesgo expuesto anteriormente, es necesario plantear entonces la metodología específica de cálculo de las frecuencias de ocurrencia de niveles específicos de pérdidas asociados a los activos expuestos en lapsos determinados de tiempo y ante la ocurrencia de amenazas naturales.

El **riesgo** por amenazas naturales es comúnmente **descrito mediante la llamada curva de excedencia de pérdidas** (*loss curve*) que especifica las frecuencias, usualmente anuales, con que ocurrirán eventos en que se exceda un valor especificado de pérdidas. Esta frecuencia anual de excedencia se conoce también como **tasa de excedencia**, y puede calcularse mediante la siguiente ecuación, que es una de las múltiples formas que adopta el teorema de la probabilidad total:

$$v(p) = \sum_{i=1}^{\text{Eventos}} \Pr(P > p | \text{Evento } i) F_A(\text{Evento } i) \text{ ----- } 2.2.1$$

En la ecuación anterior $v(p)$ es la tasa de excedencia de la pérdida p y $\Pr(P > p | \text{Evento } i)$ es la probabilidad de que la pérdida sea superior a p , mientras que $F_A(\text{Evento } i)$ es la frecuencia anual de ocurrencia del evento i , dado que ocurrió el i -ésimo evento. La suma en la ecuación anterior se hace para todos los eventos potencialmente dañinos. El inverso de $v(p)$ es el periodo de retorno de la pérdida p , identificado como T_r .

La pérdida p a que se refiere la ecuación (2.2.1) es la suma de las pérdidas que acontecen en todos los bienes expuestos. Conviene hacer notar lo siguiente:

- La pérdida p es una cantidad incierta, cuyo valor, dada la ocurrencia de un evento, no puede conocerse con precisión. Debe, por tanto, ser vista y tratada como una variable aleatoria y deben preverse mecanismos para

conocer su distribución de probabilidad, condicionada a la ocurrencia de cierto evento.

- La pérdida p se calcula como la suma de las pérdidas que se presentan en cada uno de los bienes expuestos. Cada uno de los sumandos es una variable aleatoria y entre ellos existe cierto nivel de correlación, que debe ser incluido en el análisis.

En vista de la Ecuación (2.2.1), la secuencia de cálculo probabilista de riesgo es la siguiente:

- a).- Para un escenario, determinar la distribución de probabilidades de la pérdida en cada uno de los bienes expuestos.
- b).- A partir de las distribuciones de probabilidad de las pérdidas en cada bien, determinar la distribución de probabilidad de la suma de estas pérdidas, tomando en cuenta la correlación que existe entre ellas.
- c).- Una vez determinada la distribución de probabilidad de la suma de las pérdidas en este evento, calcular la probabilidad de que esta exceda un valor determinado, p .
- d).- La probabilidad determinada en el inciso anterior, multiplicada por la frecuencia anual de ocurrencia del evento, es la contribución de este evento a la tasa de excedencia de la pérdida, p .

El cálculo se repite para todos los eventos, con lo que se obtiene el resultado indicado por la ecuación 2.2.1.

Es interesante señalar también que en la ecuación (2.2.1) no se hace distinción entre eventos que pertenezcan a diferentes amenazas. En efecto, la suma en esa ecuación podría incluir, por ejemplo, sismos y huracanes o sismos y erupciones volcánicas. Esto puede hacerse porque se ha supuesto que tanto los eventos asociados a una misma amenaza como los eventos asociados a distintas amenazas no ocurren simultáneamente. Sin embargo, algunos fenómenos potencialmente dañinos sí ocurren simultáneamente, por lo que en estos casos hay que tomar provisiones especiales para la determinación de la distribución de probabilidad de p , tal como se explica en el siguiente tema.

2.2.4.- Temporalidad de las Amenazas.

Algunos de los fenómenos naturales producen pérdidas por varios conceptos, que ocurren de manera simultánea. Por ejemplo el paso de un huracán genera tanto un campo de vientos fuertes, como inundaciones por aumento en los niveles de la marea y por las lluvias intensas asociadas; los daños por viento, por inundación y deslizamiento podrían ocurrir casi al mismo tiempo, y no pueden considerarse eventos independientes.

El caso que se menciona en el párrafo anterior puede considerarse como uno en el que tres amenazas diferentes: (viento de huracán, marea de tormenta por huracán y lluvias de huracán) generan otras dos amenazas que corresponden a **inundación** y **deslizamiento**, las cuales podrían ocurrir simultáneamente, y por lo tanto están asociadas a la misma temporalidad según se ilustra en la tabla 2.2.1 posterior.

ANÁLISIS DE TEMPORALIDAD DE LAS AMENAZAS	TEMPORALIDAD			
	1	2	3	4
Tipo de amenaza				
Sismo				
Tsunami				
Huracán – Viento				
Huracán - Marea de tormenta				
Huracán - Lluvias				
Lluvias no huracanadas				
Inundación				
Deslizamiento				
Volcán - Caída de cenizas				
Volcán - Flujos piroclásticos				
Volcán - Flujos de Lava				

Tabla 2.2.1.- Temporalidad de las amenazas. (Ref.9)

Los valores de temporalidad de 1 a 4 de la tabla anterior se refieren a **periodos de tiempo** en los que se pueden presentar daños o pérdidas por varios conceptos o efectos que podrían ocurrir de manera simultánea, provocados por una o más amenazas.

De acuerdo con la tabla anterior, el sismo, entendido como el movimiento mismo del suelo debido al paso de ondas sísmicas, el tsunami y los deslizamientos de tierra que pueden inducirse por el movimiento ocurrirían en la misma temporalidad (la 1, de acuerdo con la tabla anterior), pero en una temporalidad diferente a aquella en que ocurrirían los daños por viento, marea de tormenta e inundación.

La evaluación de pérdidas durante un escenario se realiza entonces considerando que las amenazas que pertenecen a una misma temporalidad ocurren de manera simultánea. No existe una manera sencilla y libre de ambigüedades para evaluar las pérdidas en estas condiciones (varias amenazas ocurriendo simultáneamente). (Ref.9)

2.2.5.- Incertidumbres.

Los eventos catastróficos son aleatorios e impredecibles en su naturaleza y por lo tanto para la estimación de su frecuencia, severidad e impacto es necesario tener en cuenta la incertidumbre. Cada uno de los peligros se trata de manera diferente en relación con su incertidumbre dependiendo de la calidad y cantidad de la información disponible.

Generalmente es impráctico determinar de manera directa la distribución de probabilidad de la pérdida en un bien expuesto condiciona a la ocurrencia de un escenario. En otras palabras, por ejemplo, es impráctico determinar la distribución de probabilidad de la pérdida en un edificio, dado que en un sitio localizado a 100 Km de distancia ocurrió un sismo con magnitud 6. (Ref.9)

Por razones metodológicas, la probabilidad de excedencia de la pérdida p , dado que ocurrió un evento, suele expresarse de la siguiente manera.

$$Pr(P > P(\text{evento})) = \int_I Pr(P > P/I) f(I|\text{Evento}) dI \quad \text{-----} \quad (2.2.2)$$

El primer término del integrando, $Pr(P > P/I)$, es la probabilidad de que la pérdida exceda el valor P dado que la intensidad local fue I ; este término, por lo tanto, toma en cuenta la incertidumbre que hay en las relaciones de vulnerabilidad. Por otro lado, el término $f(I|\text{Evento})$ es la densidad de probabilidades de la intensidad, condicionada a la ocurrencia del evento; este término toma en cuenta el hecho de que, dado que ocurrió un evento, la intensidad en el sitio de interés es incierta. (Ref.9)

Incertidumbre Primaria.- La incertidumbre asociada con el número y tipo de eventos que pueda ocurrir se denomina incertidumbre primaria. Por ejemplo cuando se analiza la incertidumbre asociada con la ocurrencia de terremotos, no es posible saber cuándo va a ocurrir el evento, y si este ocurre, en donde y con qué intensidad. La incertidumbre primaria está asociada entonces a si el evento va a ocurrir, en donde, y con que intensidad.

Incertidumbre Secundaria.- Está asociada a la cuantía de las pérdidas, dada la ocurrencia de un evento específico. Aunque la magnitud de las pérdidas siguen una determinada tendencia, existe un nivel de incertidumbre asociado a la determinación exacta de los efectos. Las mayores fuentes de incertidumbre en esta categoría corresponden a la incertidumbre asociada a las amenazas, las incertidumbres asociadas a las vulnerabilidades, el nivel de resolución en el cual se desarrolla el análisis y la incertidumbre asociada a la cantidad de la información de los activos.

Incertidumbre Aleatoria.- Es la que corresponde a la variación inherente a un sistema o fenómeno físico. También se llama incertidumbre irreducible o estocástica. Por ejemplo ningún tipo de estudio o dato permitirá reducir la incertidumbre del 50% asociada a obtener una “cara” cuando se lanza una moneda al aire. La incertidumbre aleatoria permanecerá reflejando siempre la característica aleatoria del proceso.

Incertidumbre Epistémica.- Corresponde a la incertidumbre asociada a la falta de conocimiento en las cantidades o procesos del sistema físico del fenómeno, también se llama incertidumbre del modelo. Por ejemplo cuando se simula un movimiento del terreno, la selección de una determinada ecuación de atenuación puede no ser la adecuada debido a la falta de mediciones y datos que la corroboren. Las desviaciones del modelo, por ejemplo al sobreestimar la intensidad del movimiento en el campo cercano se aplicará de manera sistemática a todas las modelaciones de eventos obteniéndose como resultado una estimación “desviada” del movimiento del terreno.

2.2.6.- Estimadores puntuales del riesgo.

La curva calculada aplicando la ecuación (2.2.1) tiene toda la información necesaria para caracterizar el proceso de ocurrencia de eventos que produzcan pérdidas. Sin embargo, en ocasiones es impráctico utilizar una curva completa, por lo que conviene utilizar estimadores puntuales del riesgo que permitan expresarlo con un solo número. Se presentan a continuación los dos estimadores puntuales más comúnmente utilizados.

a) Pérdida anual esperada (PAE): Se trata del valor esperado de la pérdida anual. Es una cantidad importante puesto que indica, por ejemplo, que si el proceso de ocurrencia de eventos dañinos fuera estacionario de aquí a la eternidad, su costo equivaldría a tener que pagar anualmente la cantidad de la PAE. Por tanto, en un sistema simple de seguro, la pérdida anual esperada sería la prima anual justa. La PAE puede obtenerse por integración de $v(p)$ o mediante la siguiente expresión:

$$P_{AE} = \sum_{i=1}^{Eventos} E(P|Eventoi)F_A(Eventoi) \text{ ----- (2.2.3)}$$

b) Pérdida máxima probable: (PML por las iniciales en inglés de Probable Maximum Loss), se trata de una pérdida que ocurre **poco frecuentemente**, es decir, que está asociada a un periodo de retorno muy largo (o, alternativamente, a una tasa de excedencia muy baja). No existen estándares universalmente aceptados para definir qué quiere decir "poco frecuentemente" de hecho, la elección de un periodo de retorno u otro para tomar cierta decisión depende de la aversión al riesgo de quien la está tomando. En la industria aseguradora, por ejemplo, los periodos de retorno utilizados para definir la PML varían entre 200 y al menos 1500 años. (Ref.9)

2.2.7.- Probabilidad de excedencia de valores de pérdida.

La curva de pérdidas, $v(p)$, calculada con la Ecuación (2.2.1) indica con que frecuencia ocurrirán eventos que producirán pérdidas iguales o superiores a una dada, p . Si suponemos que el proceso de ocurrencia de eventos en el tiempo obedece a un proceso de Poisson, entonces es posible calcular la probabilidad de que la pérdida p sea excedida en un lapso T , es decir, en los próximos T años, con la siguiente expresión:

$$Pe(p, T) = 1 - e^{-v(p) T} \text{ ----- (2.2.4)}$$

Donde $Pe(p, T)$ es la probabilidad de que la pérdida p sea excedida en los próximos T años. (Ref.9)

2.2.8.- Análisis para un sólo escenario.

El análisis probabilista de riesgo se realiza normalmente para el conjunto completo de escenarios especificados en las diferentes amenazas. Sin embargo, si así se desea, el análisis puede realizarse para un solo escenario (uno solo de los sumandos en la ecuación (2.2.1)). Si se hace que la frecuencia anual de ocurrencia de este escenario sea 1, la aplicación de la ecuación (2.2.1) conduciría a las probabilidades de excedencia (ya no frecuencias anuales de excedencia) de valores de pérdida p , dado que el escenario en cuestión ocurrió. (Ref.9)

Este caso tiene aplicaciones importantes en el campo de la planeación territorial, ya que sus resultados, mapeados por ejemplo en términos del valor esperado de la pérdida, son fácilmente incorporables en los planes de ordenamiento territorial. (Ref.9)

CAPÍTULO 3.- PREDICCIÓN DE DAÑOS POR VIENTO, MEDIANTE EL USO DE BANDAS DE DAÑO.

3.1.- Introducción.

Al revisar la literatura internacional respecto a este tema, se encontraron dos únicos artículos, de los cuales ambos están dirigidos por el autor de esta metodología, el investigador Cristian Unanwa con diferentes colaboradores; dichas publicaciones corresponden a las referencias bibliográficas 3 y 4. Se ha realizado un resumen de los conceptos básicos del método, pero se ha tratado de conservar el modelo propuesto por el autor Unanwa a favor de un mejor entendimiento del tema.

Unanwa et. Al. En 2000, propone un nuevo concepto en el que utiliza bandas de daño en edificaciones para abordar el problema de predicción de daños por viento. Dicho trabajo presenta los resultados de un estudio realizado en el centro de investigación de ingeniería de viento de la Universidad Tecnológica de Texas. El énfasis en este trabajo es sobre el procedimiento para el desarrollo de bandas de daño por viento para edificaciones. Una banda de daño por viento **define los umbrales superior e inferior de grados de daño contra las relaciones de velocidad del viento para edificios en una clase de ocupación o para tipos particulares de clases de ocupantes del interior de las edificaciones.** Además de su uso para determinar **características generales de fallas de edificios** ante vientos extremos, las bandas de daño por viento para edificaciones podrían ser empleadas con información desarrollada de viento para edificaciones específicas para **predecir daños a edificios individuales o a grupos de edificios**, y para la **disminución o mitigación de daño por viento.**

La metodología de predicción por bandas de daño emplea una técnica de ponderación objetiva obtenida para **factores de costos de componentes** de edificios, **componentes de fragilidad** y **parámetros de ubicación**, para obtener límites superior e inferior para los umbrales de daño de edificios. Las bandas de daño son desarrolladas para edificios de 1 a 3 niveles (clase-baja), así como para edificios de 4 a 10 niveles (clase-media). Las bandas de daño revelan que la respuesta de daño por viento de edificios individuales de 1 a 3 niveles es más fácilmente distinguida en el régimen de viento de 43 a 60 m/seg (Para 1 min. de Vel. Media Sostenida) y para aquellas velocidades arriba de 73 m/s para edificios de 1 a 3 niveles pueden experimentar destrucción total inmediata de sus superestructuras, con la respuesta de daño de la mayor y menor resistencia al viento ambas construcciones se van acercando. (Según se ilustra en las figuras 3.5.1, 3.5.2, y 3.5.3). En contraste, la respuesta al daño de edificios de niveles medios es más fácilmente distinguida en el régimen de velocidades de viento de 60 a 81 m/s y continúa dependiendo en gran parte de sus elementos y conexiones (se ilustra en la figura 3.5.4). Las bandas de daño por viento constituyen las bases para nuevos métodos de predicción de daño por viento de edificios individuales y grupos de edificios, la mitigación de daños por viento y la planeación de la gestión de emergencia. (Ref.3)

El daño por viento en los edificios se manifiesta principalmente en la ruptura de la cubierta o techo, de las paredes o muros y el consecuente daño de los contenidos en el interior del edificio. Por lo tanto, la vulnerabilidad de los edificios ante tormenta de vientos es función de la resistencia de los componentes que conforman al edificio y de sus conexiones. También, para un edificio dado, impactado por el viento de una intensidad dada, el daño resultante es ampliamente dependiente de la naturaleza de su entorno cercano y del diseño arquitectónico del edificio. El grado de predicción de daño por viento sufrido por un edificio o grupos de edificios tiene varias aplicaciones, tales como mitigación y/o reducción de daños, suscribir seguros, y planificación de la gestión de emergencias. La cantidad o grado de daño como es usado en este trabajo es definido como la relación entre el costo de reposición de componentes dañados del edificio (debido a la presión del viento y a proyectiles lanzados por el viento) y el costo de reemplazo del edificio. (Ref.4)

3.2.- Modelo Propuesto por Unanwa.

El modelo propuesto para determinar el grado de daño a cualquier edificio o grupo de edificios se basa en las "bandas de daños" para el tipo de edificio (s) o clase (s) de interés. Se define una banda de daño del viento como el intervalo de grado de daño limitado por un umbral de daños inferior y superior para las intensidades dadas del peligro del viento. Los umbrales de daño superior e inferior se determinan, respectivamente, para el conjunto de componentes de construcción y las características de conexión, que están asociadas con las probabilidades más altas y más bajas de falla en una tormenta de viento, utilizando la siguiente ecuación:

$$DD(I) = \sum_{i=0}^n P_{fi}(CCF_i)\alpha_i \text{ -----} (3.2.1)$$

En la ecuación anterior, $DD(I)$ es el grado de daño (o porcentaje de daño) en el nivel de riesgo I , P_{fi} la probabilidad condicional de falla de la componente (o fragilidad de la componente), CCF_i el factor de costo de la componente, α_i el parámetro de localización de la componente (o factor de localización de daño de la componente), y n el número de componentes utilizados en el modelo de daño del edificio. Los términos de la ecuación (3.2.1) se explican en las secciones que siguen. Implícito en la ecuación. (3.2.1) es que un edificio sufre algún grado de daño si existe una probabilidad de falla de al menos uno de sus componentes. En este caso, el daño a un componente de construcción podría resultar de daños en la conexión de dicho componente a otros componentes, o de daños en el dominio de la componente. Sobre la base de la probabilidad relativa de los daños y la contribución costo de un componente de construcción, el presente modelo considera un edificio como un compuesto de los siguientes componentes: cubierta del techo, estructura de techo, puertas y ventanas exteriores, la pared exterior (incluye acabados, componentes eléctricos y mecánicos apoyados , revestimientos y sistemas de apoyo), interior (incluido el contenido), el sistema estructural (incluye columnas, vigas, pisos elevados, y el equipo de transporte), y los cimientos.

Un panorama general del proceso de daño utilizado en el modelo se muestra en el diagrama esquemático de la figura 3.2.1 muestra que cada componente de construcción puede sufrir daño ya sea a través del impacto directo del viento o como un resultado del daño de otros componentes (es decir, la propagación de los daños).

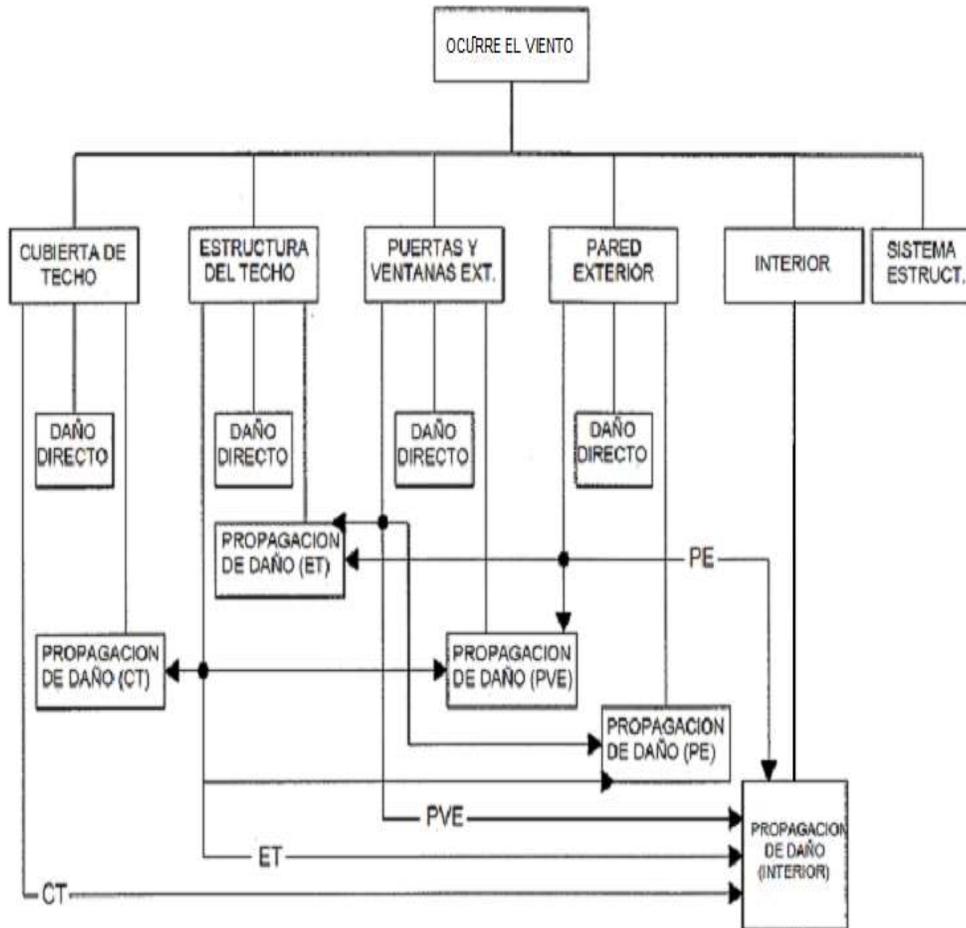


Fig. 3.2.1.- Proceso de deterioro por viento.

Cada componente de la construcción (excepto el sistema estructural y el interior) en el modelo de daños se conecta con tres líneas. La primera línea indica su contribución al daño propagacional de otros componentes, mientras que las líneas segunda y tercera muestran la componente directa (básica) y los perjuicios propagacionales, respectivamente. Ya que el daño directo o básico y propagacional de un componente de construcción en una tormenta de viento no son necesariamente excluyentes entre sí, la respuesta final del daño del componente a diferentes niveles de la amenaza del viento, en términos de la probabilidad de falla, $P_{fi}(l)$, se obtiene mediante la combinación de los dos efectos de la siguiente manera: (Ref.3)

$$P_{fi}(l) = P_{fi}^B + P_{fi}^P - P_{fi}^B P_{fi}^P \text{ ----- (3.2.2)}$$

donde P_{fi}^B es la fragilidad básica de componentes, es decir, la probabilidad condicional de falla de componentes debido a la presión del viento y proyectiles llevadas por el viento, y P_{fi}^P la probabilidad condicional de falla de componentes debido a los efectos propagacionales. (Ref.3)

3.2.1.- Componentes de Fragilidad.

Las fragilidades de las componentes de construcción se obtienen mediante el análisis de una esquematización de árbol de fallas múltiples en el que el daño de las componentes sirven como los principales eventos. Los diagramas de árbol de fallas explícitamente modelados para los modos de daños de las componentes de construcción se muestran en las figuras de la 3.3.1 a la 3.3.9. Las fragilidades de componentes básicas están dadas por las probabilidades de los eventos intermedios marcados B1 a B4 en los árboles de fallas, mientras que las componentes de fallas propagacionales se indican mediante los eventos intermedios cuya etiqueta empieza con la letra P. Por razones prácticas, los modos de falla modelado en los árboles de fallas son los que predominan en los huracanes y también puede contribuir de manera significativa al daño total del edificio. Se supone que los cimientos de los edificios no están sujetos a daño. Aunque los sistemas estructurales de los edificios deben ser considerados en la determinación de la resistencia individual del daño a las casas, sus probabilidades de daño son órdenes de magnitud menor que los de la cubierta del techo, la estructura del techo, las puertas y ventanas exteriores, y el muro exterior, y por tanto no se modelan explícitamente en los arboles de fallas. Sin embargo, los subsidios conservadores se han hecho en el desarrollo de las bandas de daños para dar cuenta de su susceptibilidad de daños en edificios de poca altura. Por motivos de claridad, se han utilizado eventos repetidos en los árboles de fallas. Estos son, sin embargo, removidos durante el análisis del árbol de fallas usando relaciones de álgebra Booleana (B. S. Dhillon et al.). (Ref.3)

La probabilidad de falla de los acontecimientos básicos (es decir, los eventos de nivel más bajo representados por los círculos en los árboles de fallas) se obtiene considerando la presión del viento y la resistencia de los componentes y conexiones como la carga (L) y la resistencia (R) variables, respectivamente, utilizando el método de interferencia tensión-resistencia. De la probabilidad clásica de tiempo-invariante de la expresión de falla para la tensión y resistencia aleatoriamente fijadas, la probabilidad condicional de falla para cargas determinísticas y resistencias variables aleatoriamente fijadas, están dadas por la ecuación (3.2.4). (Ref.3)

$$P_f = \int_{-\infty}^{\infty} f_L(l) \left[\int_{-\infty}^l f_R(r) dr \right] dl \text{ ----- (3.2.3)}$$

$$P_f(l_i) = P(R \leq l_i) = \int_{-\infty}^{l_i} f_R(r) dr = F_R(l_i) \text{ ----- (3.2.4)}$$

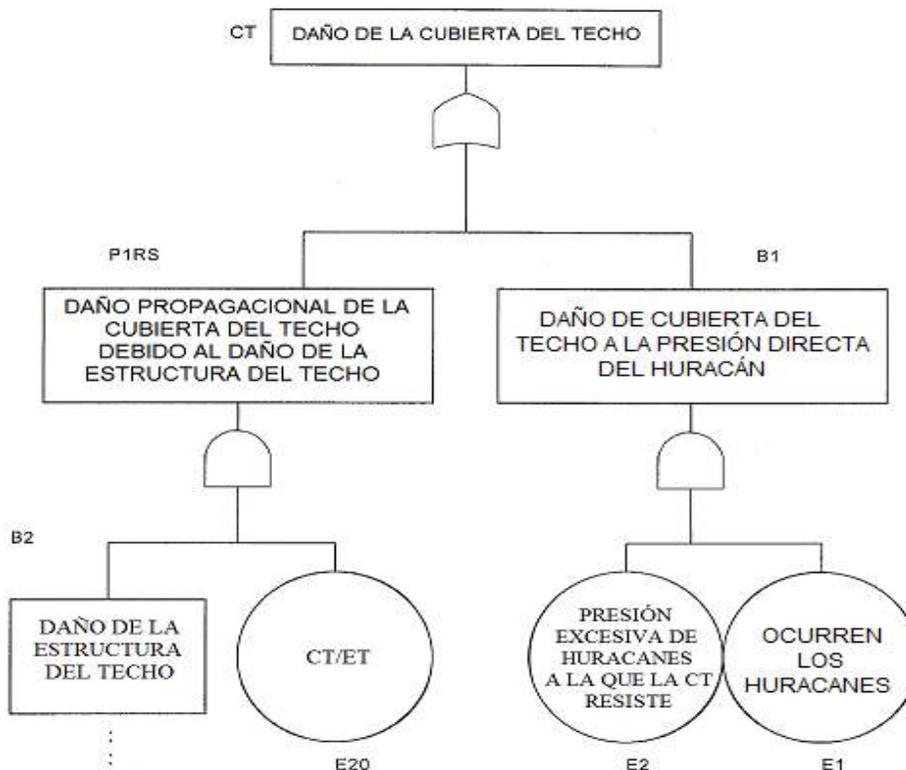


Fig. 3.2.2.- Árbol de Falla para daños en la cubierta del techo.

En (3.2.3) y (3.2.4), $f_R(r)$ y $f_L(l)$ son las funciones de densidad de probabilidad marginal de R y L, respectivamente, y $F_R(l_i)$ es la función de distribución acumulativa de la resistencia variable R. Las probabilidades de eventos básicos etiquetados E_2 - E_9 en los árboles de fallas se obtuvieron por medio de la ecuación (3.2.4). Aunque se reconoce que la carga de viento es una variable aleatoria cuya magnitud puede aumentar o disminuir con el tiempo, los métodos de análisis y diseño actuales para los efectos del viento sobre las estructuras (por ejemplo, la ASCE) generalmente consideran las condiciones más críticas de carga. (Ref.3)

El efecto de carga, l, tomada como determinista, corresponde a presiones de diseño de vientos huracanados obtenidos usando el procedimiento de la (ASCE) para la carga del viento. La probabilidad de falla de acontecimientos básicos que son de naturaleza condicional se obtienen a través de experiencia de los expertos. (Ref.3)

Además de los efectos de daño propagacionales, un fenómeno importante de daño de viento que debe tenerse en cuenta en el modelado del daño del viento es de causa común o efectos de modo común (W.C. Gangloff). El viento del huracán afecta a los componentes de construcción y a los de revestimientos al mismo tiempo y es un típico evento de causa común. Esto introduce otro nivel de complejidad en el análisis de árbol de fallas puesto que ya no puede hacerse la suposición simplificadora de que todos los eventos son independientes unos de otros. (Ref.3)

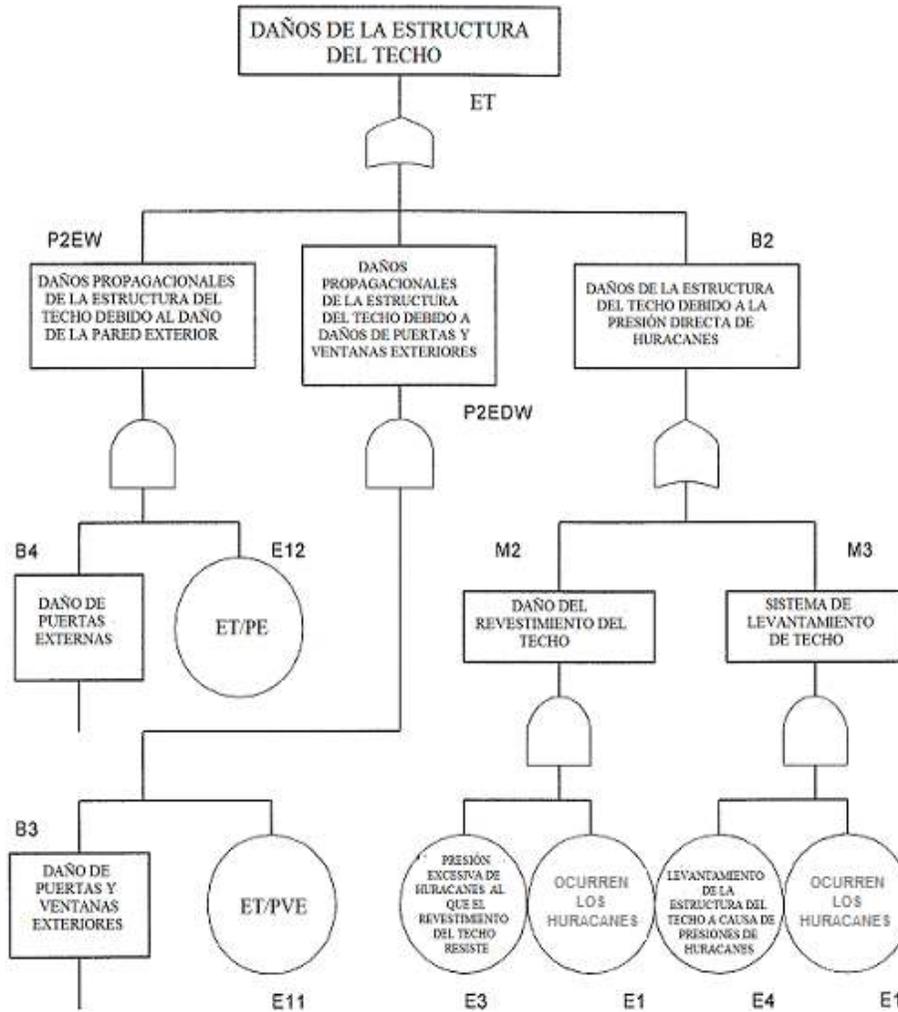


Fig. 3.2.3.- Árbol de falla para daños en la estructura del techo.

Tomando nota de que los eventos de falla de componentes son generalmente una correlación positiva (H. –S. Ang, H. –F, Ma), se estimó la dependencia entre dos sucesos por medio del coeficiente de correlación tradicional (J.R. Benjamín, C.A. Conell) utilizando el método propuesto por Reed y otros (J.W. Reed et al.), en la forma siguiente:

$$P(E_1E_2) = P(E_1)P(E_2) + \rho_{1,2}(\sqrt{P(E_1)P(E_2)[1 - P(E_1)][1 - P(E_2)]}) \quad (3.2.5)$$

En la ecuación (3.2.5), $P(E_1E_2)$ denota la probabilidad conjunta de falla de cualquiera de los dos eventos E_1 y E_2 , $P(E_1)$ y $P(E_2)$ son las probabilidades individuales de falla de eventos E_1 y E_2 , respectivamente, y $\rho_{1,2}$ es el coeficiente de correlación entre $P(E_1)$ y $P(E_2)$.

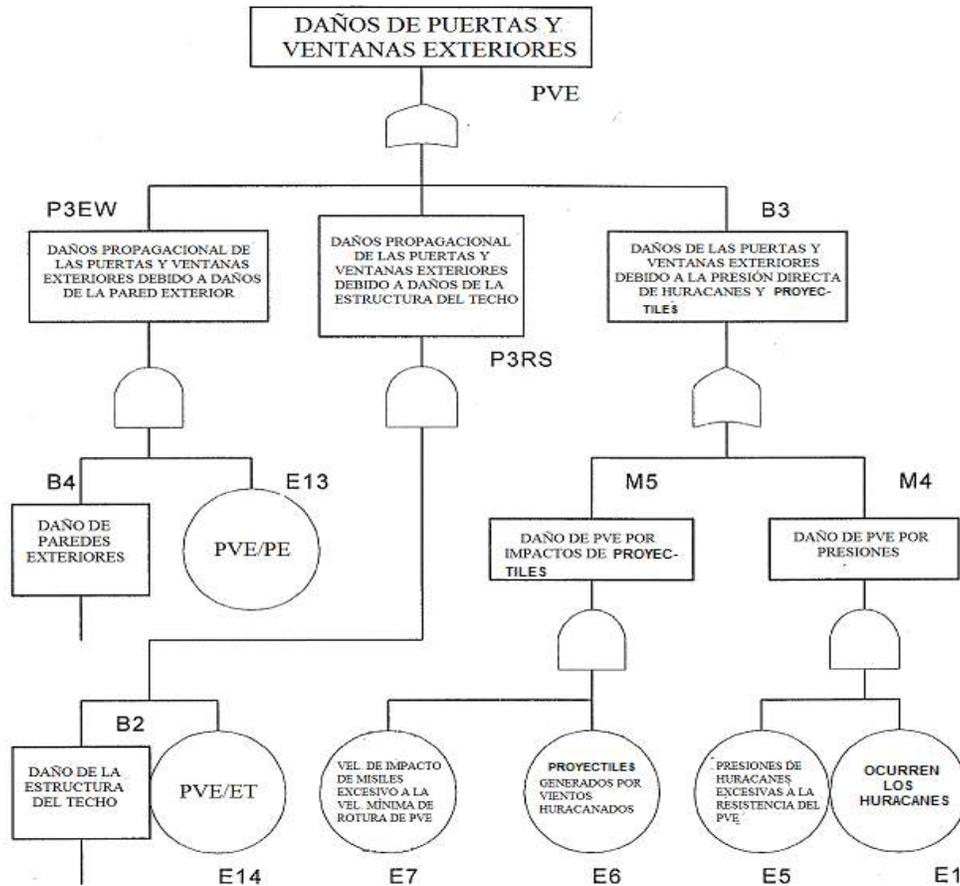


Fig. 3.2.4.- Árbol de falla para daños de puertas y ventanas exteriores.

Construcción de la probabilidad interior de falla

La probabilidad condicional de daño del interior del edificio, dado los daños de las componentes, P (daño interior), se obtiene a través de un análisis de árbol de cuasi-falla (véase la fig. 3.2.6). El símbolo especial usado en el árbol de fallas (F-OR) representa una función definida por el usuario, que en el presente caso se da por:

$$P(\text{Daño interior}) = \sum_{i=0}^n \left[P\left(\frac{INT}{C_i}\right) \right] RCF_i \text{ ----- (3.2.6)}$$

donde $P(INT/C_i)$ es la probabilidad de daño interior dado que la i -ésima componente está dañada, n el número de componentes utilizados en el modelo de daño interior, y RCF_i el componente relativo del factor de costo, dada por:

$$RCF_i = \frac{CCF_i}{\sum_{i=1}^n CCF_i} \text{ ----- (3.2.7)}$$

en el que CCF_i es el factor de costo de los componentes.

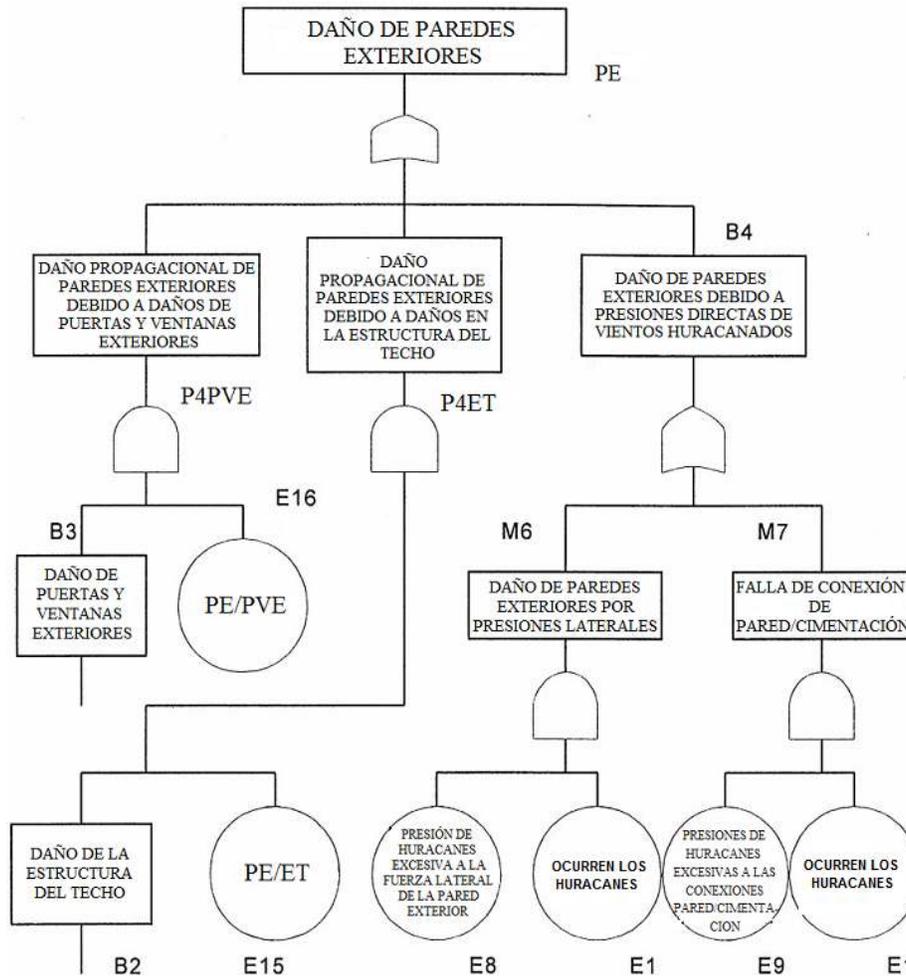


Fig. 3.2.5.- Árbol de falla para daño de paredes exteriores.

Las funciones de distribución y parámetros para la resistencia de componentes.

Los pasos cruciales en la técnica de bandas de daño son la selección del conjunto de componentes de construcción y las características de conexión que proporcionan una superior e inferior probabilidad de daño por el viento, y la elección de las funciones de distribución apropiadas de las resistencias de modos de falla y de sus parámetros de distribución. Las características del edificio utilizados para fragilidades del límite superior e inferior se muestran en la Tabla 3.2.1. De manera prematura se puede añadir que la combinación de componentes de construcción y características de conexión no refleja necesariamente la de cualquier edificio en particular. Las características de los componentes y las conexiones se eligieron sobre la base de los componentes individuales y modos de falla única, con la principal preocupación puesta a los resultados de daño por el viento, la tecnología de construcción, códigos de diseño, y los datos del material.

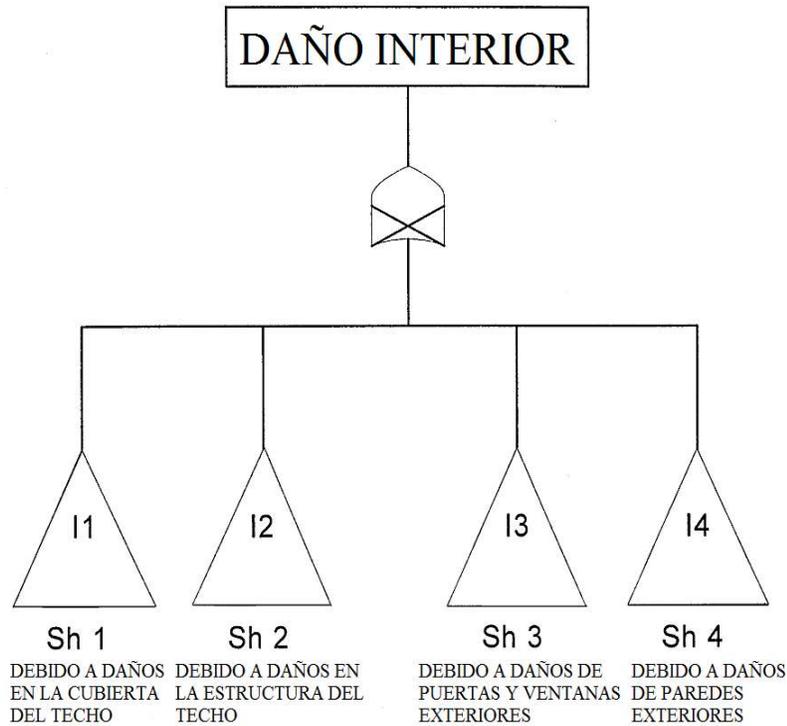


Fig. 3.2.6.- Árbol de falla para daño interior.

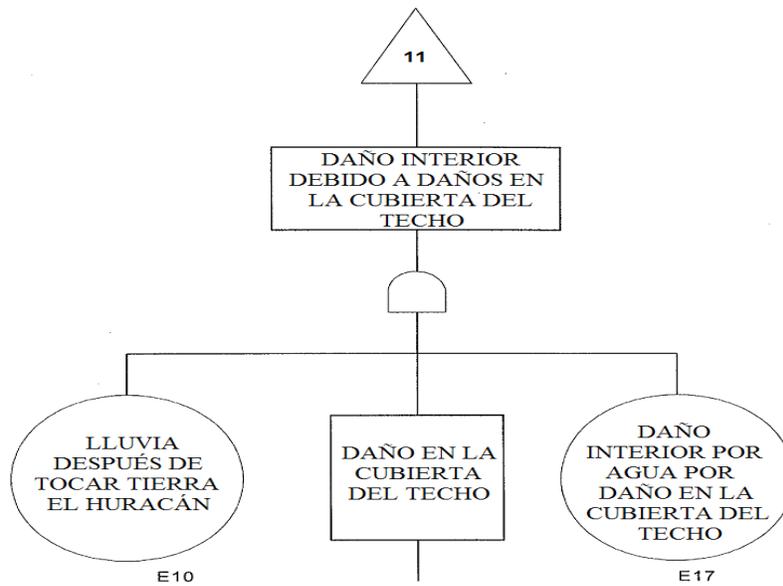


Fig. 3.2.7.- Árbol de falla para daños interiores debido a daños en la cubierta del techo (Sh. 1).

Como se ve en la ecuación. (3.2.4), la evaluación de las probabilidades de eventos condicionales básicas de la falla de los árboles de fallas requiere el uso de la función de densidad de probabilidad marginal de la variable resistencia, $f_R(r)$. Los tipos de distribución y parámetros de distribución correspondientes a

los modos de falla de componentes de la Tabla 3.2.1. se muestran en las Tablas 3.2.2 y 3.2.3. En la funciones de distribución acumulada $\Phi(\cdot)$ de la Tabla 3.2.2, I_i representa el efecto de la carga, μ_R y σ_R son, respectivamente, la media y la desviación estándar de la variable aleatoria de resistencia R , α es el parámetro de forma (o pendiente Weibull), β el parámetro de escala, y c la vida mínima.

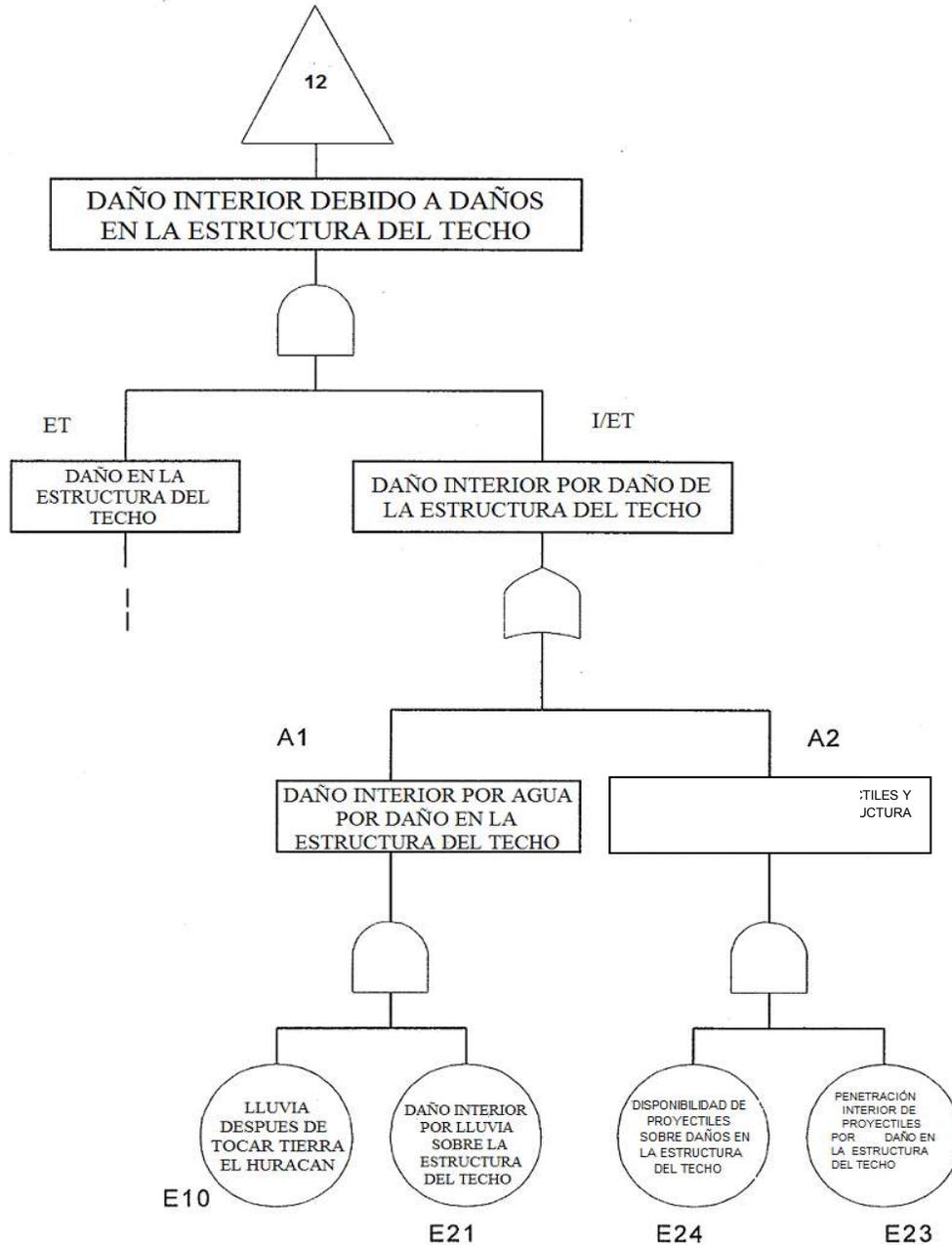


Fig. 3.2.8.- Árbol de falla para daños interiores debido a daños en la estructura del techo (Sh. 2).

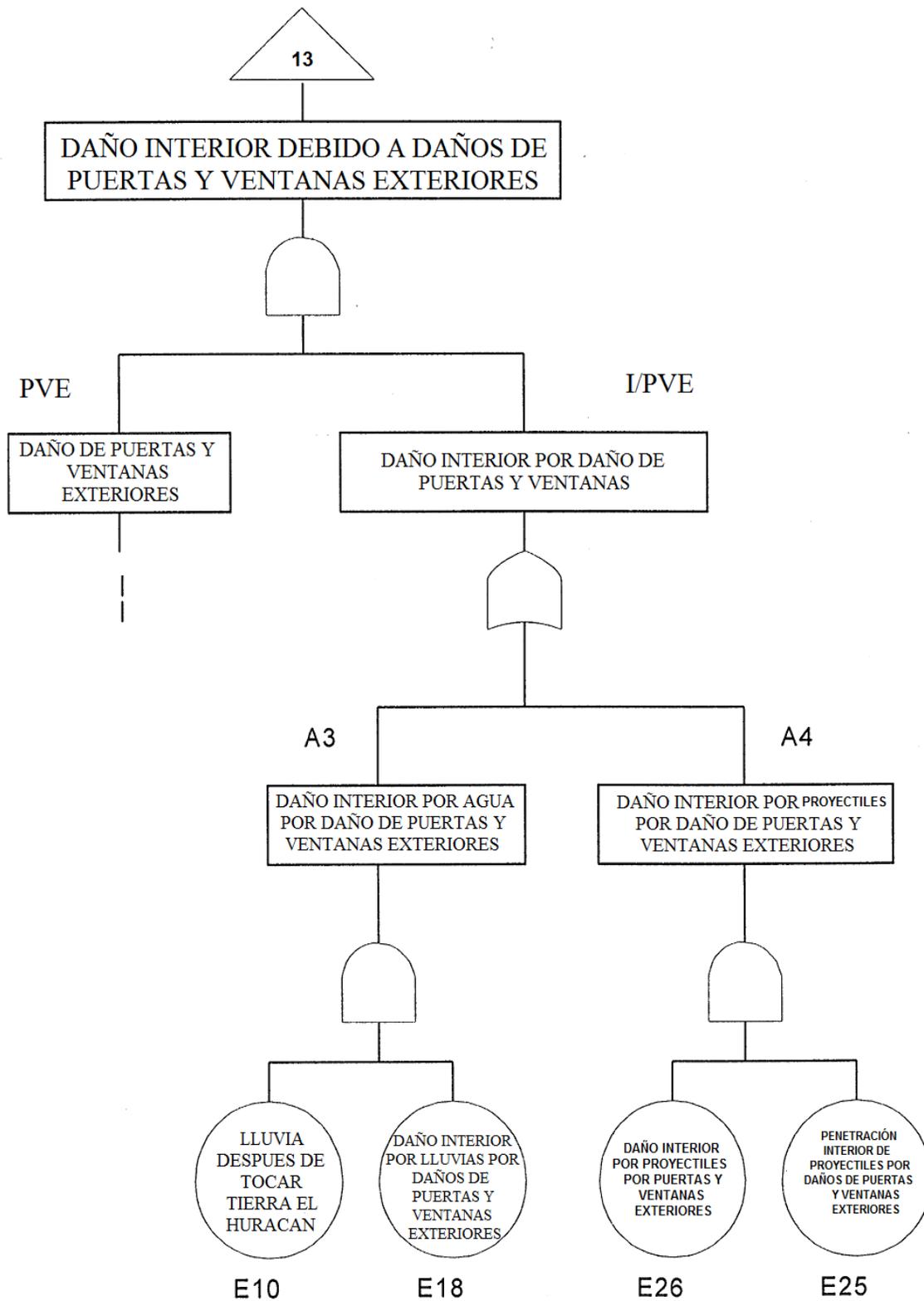


Fig. 3.2.9.- Árbol de falla para daños interiores debido a daños de puertas y ventanas exteriores (Sh. 3).

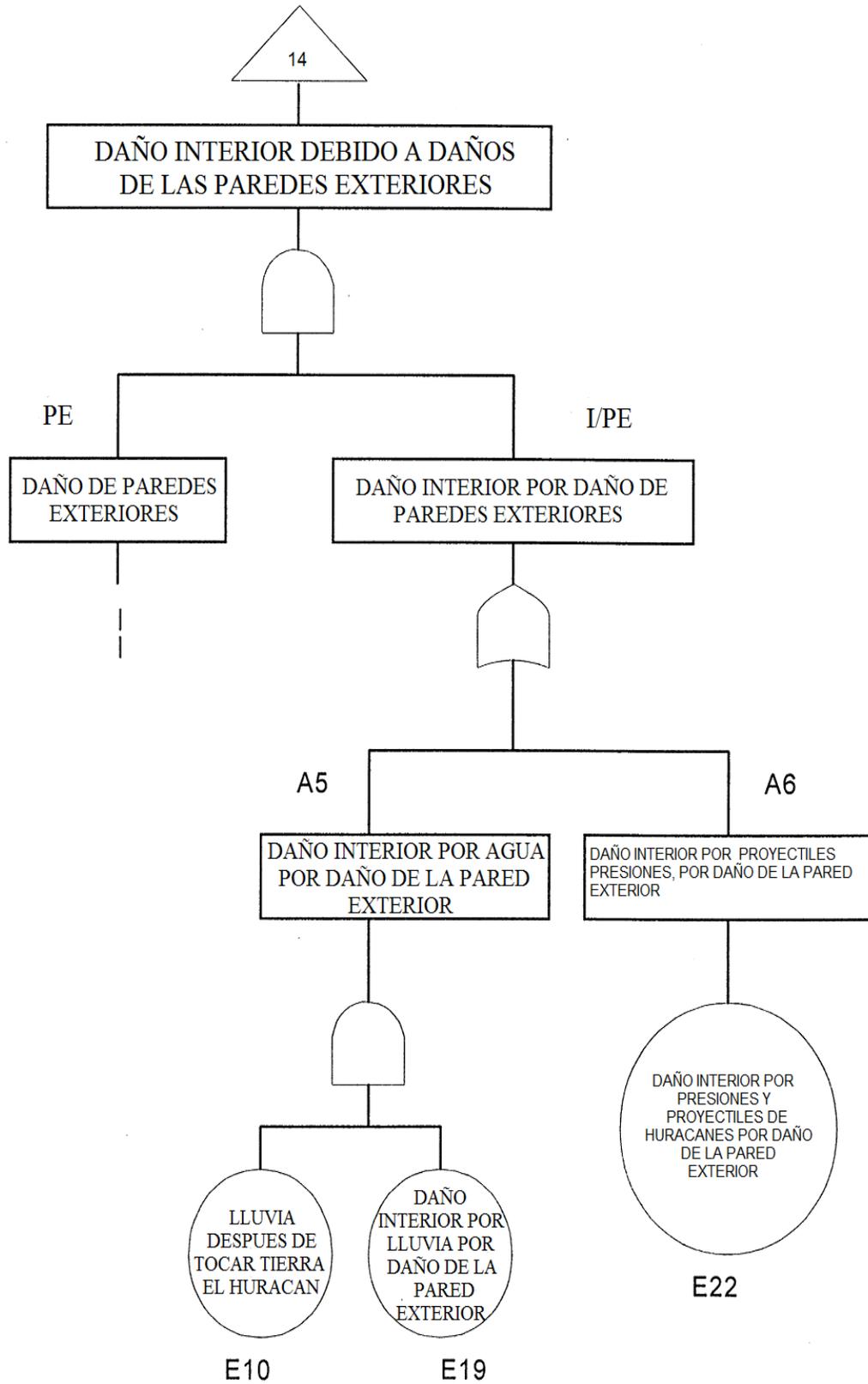


Fig. 3.2.10.- Árbol de falla para daños interiores debido a daños de las paredes exteriores (Sh. 4).

Tabla 3.2.1.- Características de construcción para los límites de fragilidad superior e inferior.

Componentes	Falla del modo de modelado por	Propiedades para el límite superior de fragilidad	Propiedades para el límite inferior de fragilidad
Cubierta del techo (CT)	Eliminación de accesorios	Tejas de asfalto grapadas @ 12 in (300 mm) o.c.	Tejas de concreto llano sujetas con clavos comunes 6d @ 6 in (150 mm) o.c.
Estructura del techo (ET)	Falla del revestimiento del techo por una fijación extraíble	OSB, 15/32 in (12 mm) de espesor, sujeta con clavos comunes 6d @ 12 in (300 mm) o.c., 24 in (600 mm) con soportes intermedios	Chapas de madera, 19/32 (15 mm) de 5-capas de espesor, sujetos con clavos comunes 10d @ 6 in (150 mm) o.c.
	Elevación en relación techo a pared	Vigas de madera @ 2 ft (0.6 m) o.c. clavado oblicuamente en la placa de pared con 3 clavos cuadrados no.16d	Marco del techo fijado a la pared con un conector de lazo fuerte Simpson no. H7 [20]
Puertas y ventanas exteriores (PVE)	Rotura por proyectiles llevadas por el viento	Vidrio recocido, 3/16 in (5 mm) de espesor.	Vidrio altamente templado, 3/4 in (19 mm) de espesor.
	Falla superficial interior por la presión	Vidrio templado desgastado por el tiempo.	Nuevo vidrio totalmente templado.
Pared exterior (PE)	Falla de presión lateral	Pared de madera clavada, clavos @ 16 in (400 mm) o.c.	Pared prefabricados de concreto
	Elevación de pared a base	Usando conexiones de 3/8 in (10 mm) y tornillos @ 8 ft (2.4 m) o.c.	Conexión que utiliza correa de apilamiento HST3 [20]
Interior (INT)	Falla de CT, ET, PVE, PE	De acuerdo con las propiedades de CT, ET, PVE, PE	De acuerdo con las propiedades de CT, ET, PVE, PE

En general, la forma de la resistencia del modo de falla de componentes, $f_R(r)$, depende de la disponibilidad y la forma de los datos de prueba. Para los modos de falla de componentes, donde los datos de prueba están disponibles y los datos se ajustan a una distribución, al tipo de distribución que se adoptó. Si los datos de falla disponibles no se ajustaron a una distribución, estos fueron analizados y se ajustaron a una distribución apropiada. En los casos en que los datos de prueba están disponibles sólo en forma de medias y varianzas, o donde la media de la intensidad de las conexiones se han determinado mediante cálculos analíticos, el modelo fue adoptado como log normal. Aunque la distribución normal es más manejable analíticamente y tiene propiedades bien conocidas, tiene algunas desventajas como un modelo para las propiedades del material de comportamiento (A.A. Mittenbergs, J.R. Benjamin et al. E.B. Havgen). La elección del modelo lognormal para los casos de resistencia descritas anteriormente se basa en su amplio uso en la práctica de ingeniería (N.R.C, J.R. Benjamín et al., T.V. Galambos et al., M.K. Ravindra) y su capacidad de ajustarse a algunas de las desventajas de la distribución normal, mientras que al mismo tiempo, posee la mayor parte de sus buenas propiedades.

Tabla 3.2.2.- Funciones de probabilidad de densidad de resistencia de componentes.

Componente de resistencia	Probabilidad de la distribución de resistencia de componentes	$F_R(l_i) = \Phi(\cdot)$
Resistencia del levantamiento de la cubierta del techo	Lognormal	$\Phi \left[\frac{\ln(l_i) - \ln(m_R)}{\sigma_{\ln(R)}} \right]$
Resistencia de sujetadores extraíbles para la cubierta del techo	Normal	$\Phi \left[\frac{l_i - \mu_R}{\sigma_R} \right]$
Resistencia de levantamiento de la conexión de techo a pared	Lognormal	$\Phi \left[\frac{\ln(l_i) - \ln(m_R)}{\sigma_{\ln(R)}} \right]$
Resistencia al impacto de proyectiles de puertas y ventanas exteriores	Lognormal	$\Phi \left[\frac{\ln(l_i) - \ln(m_R)}{\sigma_{\ln(R)}} \right]$
Resistencia a la presión lateral del revestimiento de vidrio	2 – Parámetros de Weibull	$1 - \exp \left[- \left(\frac{l_i}{\beta} \right)^\alpha \right]$
Resistencia a la presión lateral de la pared exterior	3 – Parámetros de Weibull	$1 - \exp \left[- \left(\frac{l_i - c}{\beta} \right)^\alpha \right]$
Resistencia de levantamiento de cimentación a pared	Lognormal	$\Phi \left[\frac{\ln(l_i) - \ln(m_R)}{\sigma_{\ln(R)}} \right]$

Evento condicional y otras probabilidades.

Las probabilidades de los eventos básicos de los árboles de fallas que son de naturaleza condicional y que no son evidentes a partir de la experiencia de daños por viento se obtienen mediante información especializada y la experiencia de viento e ingenieros estructurales utilizando un enfoque Delphi (H.A. Linstone, M. Turoff). El método consiste en los siguientes pasos: (1) Una reunión preliminar con cada experto para explicar el cuestionario, es decir, los datos de la probabilidad condicional, y solicitar respuestas. (2) La agregación de las respuestas iniciales de los expertos utilizando el método de la media aritmética ponderada:

$$P_i = \frac{\sum_{i=0}^n O_i R_i}{\sum_{i=0}^n R_i} \dots\dots\dots (3.2.8)$$

donde P_i son las respuestas agregadas de los expertos, R_i la calificación del experto i -ésimo, O_i la i -ésima estimación de los expertos, y N el número de expertos. Las puntuaciones para la agregación de las respuestas iniciales se basaron en el número de años de experiencia de daños por viento y documentación de daño realizado por cada experto. (3) Revisión por cada experto de las respuestas iniciales agregadas, y la indicación de una auto-clasificación. (4) La agregación de nuevas respuestas de los expertos utilizando la ec. (3.2.8) y la auto-clasificación de los expertos.

Tabla 3.2.3.- Parámetros de distribución para la resistencia de componentes.

Componente de resistencia	Parámetros de distribución		Referencias
	Superior	Inferior	
Resistencia del levantamiento de la cubierta del techo	LN(60, 0.20) ^a (psf) (28.7,0.10) (kPa)	LN(237, (113.5,0.10)	0.20) ^a [21-26]
Resistencia de sujetadores extraíbles para la cubierta del techo	N(82, 12 ²) ^b (psf) (39.3,5.7 ²) (kPa)	N(254, (121.6,25.9 ²)	54 ²) ^b [24,27-32]
Resistencia de levantamiento de la conexión de techo a pared	LN(950, 0.17) (plf) (13.87,0.002) (kN/m)	LN(2985, (43.6,0.00 2)	0.17) [20,21,24]
Resistencia al impacto de proyectiles de puertas y ventanas exteriores	LN(37.5 ² , 0.156) ^c (mph) (16.8 ² ,0.07) (m/s)	LN(80 ² ,0.156) ^c (35.8 ² ,0.07)	[33-36]
Resistencia a la presión lateral del revestimiento de vidrio	W(1.98, 182 psf) ^{d,e} W(α,β) W(1.98, 8.72 kPa)	W(2.89, 716 psf) ^{d,e} W (2.89, 34.3 kPa)	[36-39].
Resistencia a la presión lateral de la pared exterior	W(34.1 psf, 3.28, 38.8 psf) W(c, α,β) W(1.63 kpa, 3.28, 1.86 kPa)	Basado en (U) ^f	[40-42]
Resistencia de levantamiento de cimentación a pared	LN(2628, 0.20) (plf) (38.4,0.003) (kN/m)	LN(5126, (74.8,0.003)	0.20) [20,24,31,32]

- a. Distribución lognormal.
- b. Distribución Normal.
- c. Parámetros basados en velocidades de impacto de proyectiles y modificado para el 2 por 4 en proyectiles de madera.
- d. Distribución Weibull.
- e. Obtenidos los datos de ajuste para probar los resultados en erosionadas y nuevas muestras de vidrio para la fragilidad del límite superior e inferior, respectivamente. Factor de tipo de vidrio del 4 fué utilizado para el vidrio totalmente templado.
- f. La fragilidad del límite inferior obtenida por la modificación de los parámetros del límite superior para dar cuenta de una mayor resistencia debido al alto módulo de elasticidad del concreto utilizado en el establecimiento de la curva de fragilidad más bajo.

Las respuestas agregadas finales se muestran en la Tabla 3.2.4 cada valor de probabilidad condicional en la Tabla 3.2.4 representa la probabilidad de falla de un componente de construcción, debido a que otro componente falla. Además del uso de auto-evaluación de la agregación de las respuestas de los expertos, el procedimiento de recopilación de datos garantizado que las respuestas de los expertos fueron independientes el uno del otro en cada etapa de respuesta. Este método de dos etapas "Delphi" se considera más factible en un tiempo y situación de restricciones financieras. Dado que el grado de daño del edificio se obtiene como una función de los montos de daños de las componentes (ver ec. (3.2.7)), es importante tener en cuenta que las probabilidades de falla en la Tabla 3.2.4 se debe temprar para tener en cuenta la ubicación, distribución, y la propagación de

los daños de componentes en tormentas de viento (es decir, la localización de daño de las componentes).

Tabla 3.2.4.- Datos de probabilidad condicional

Evento condicional	Intensidad del huracán ^a en mph (m/s)				
	Cat. 1 74-95 (33-42)	Cat. 2 96-110 (43- 49)	Cat. 3 111-130 (50-58)	Cat. 4 131-155 (59-69)	Cat. 5 >155 (> 69)
Estructura del techo / Pared exterior	0.37	0.46	0.61	0.73	0.85
Estructura del techo / Puertas y ventanas exteriores	0.33	0.42	0.57	0.69	0.82
Pared exterior / Estructura del techo	0.16	0.25	0.38	0.51	0.65
Pared exterior / Puertas y ventanas exteriores	0.21	0.33	0.45	0.60	0.75
Puertas y ventanas exteriores / Estructura del techo	0.60	0.64	0.71	0.78	0.90
Puertas y ventanas exteriores / Pared exterior	0.70	0.80	0.85	0.89	0.93
Precipitación / Huracanes que ocurren	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94
Daño interior por lluvia / Daño de la cubierta del techo	0.50	0.54	0.63	0.78	0.90
Daño interior por lluvia / Daño de la pared exterior	0.76	0.81	0.86	0.93	0.95
Daño interior por lluvia / Daño de puertas y ventanas exteriores	0.74	0.79	0.84	0.88	0.92

^a Una velocidad media de 1-min.

Esto se realiza mediante el uso de parámetros de ubicación de componentes (véase la sección siguiente) para obtener las probabilidades reales de daños en los componentes.

Las probabilidades de falla de eventos E_{20} a E_{22} , y E_{24} son evidentes a partir de la experiencia de daño por el viento y se toma igual a uno. $P(E_{26})$ se calcula a partir de $P(E_7)$ mientras que $P(E_{23})$ y $P(E_{25})$ se calculan a partir de la relación entre el área promedio de los respectivos componentes a la de la envolvente del edificio. (Ref. 3).

3.2.2.- Parámetro de localización de componentes y los factores de costo.

Como se dijo anteriormente, el parámetro de localización de componentes, a_i , da cuenta de la ubicación y distribución de los elementos de construcción en relación con su grado de daño del viento. Las probabilidades de falla de expertos proporcionados por la tabla 3.2.4 representan las probabilidades de cualquier daño a un componente de construcción, similar al modelado binario de fallas en el análisis de fiabilidad clásico, es decir, operativos o no operativos. Un componente de edificio puede constar de varios elementos y también se puede encontrar en diferentes lugares en un edificio. Además, estos diferentes lugares donde puede ser encontrado un componente, puede tener diferentes exposiciones a los efectos del viento. Fenómenos de flujo del viento, tales como la separación del flujo y la turbulencia asociada experimentada por la forma farol de un edificio también

puede contribuir a la localización de la construcción de daños de los componentes. De ahí la falla de componentes en tormentas de viento es generalmente localizada, y la falla de un elemento de un componente no implica necesariamente daño total del componente. En general, la falla de componentes de edificios en tormentas de viento es por rangos o gradual. (Ref.3)

Los parámetros de localización de componentes se obtuvieron a través de la experiencia de expertos mediante el procedimiento Delphi descrito previamente. Los parámetros de ubicación de componentes, como una función de las velocidades del viento sostenidos en un minuto, V , están:

Cubierta del techo: $\alpha = 2.264612 - 0.067645V + 0.000666V^2 - 1.841 \times 10^{-6}V^3$

Estructura del techo: $\alpha = 0.046451 - 0.00668V + 0.000129V^2 - 3.94 \times 10^{-7}V^3$

Puertas y ventanas exteriores: $\alpha = 0.592731 - 0.029062V + 0.000366V^2 - 1.104 \times 10^{-6}V^3$

Puertas exteriores: $\alpha = -0.174995 - 0.005124V + 0.000134V^2 - 4.44 \times 10^{-7}V^3$

Construcción interior: $\alpha = 1.394525 - 0.044214V + 0.000454V^2 - 1.247 \times 10^{-6}V^3$

Los factores de costo de componentes, definidos como la relación de valor de reemplazo de un componente a el valor de reemplazo del edificio, objetivamente refieren grados individuales de daños de las componentes con el grado de daño de todo el edificio. Los factores de costo de los componentes utilizados en el desarrollo de las bandas de daños en este trabajo se evaluaron sobre la base de los modelos de edificios de la ref. (R.S. Means). El costo de los contenidos para cada edificio se calcula como un porcentaje del valor de reemplazo del edificio, siguiendo las directrices generales del consejo de Tecnología aplicada (Reedwood City, C.A. 1985) Los valores promedios de los factores de costo, utilizando seis, trece, ocho y cuatro tipos de modelo residencial, comercial/industrial, gubernamental/institucional, y edificios de 4 a 10 niveles, respectivamente, se muestran en la Tabla 3.2.5. Los factores de costo relativos de componentes, RCF_i (ver ec. (3.2.7)) usado en la evaluación de los daños de probabilidad interior se basa en los valores medios de los factores de costo indicados en la Tabla 3.2.5 Los valores resultantes de RCF_i se muestran en la Tabla 3.2.6. (Ref.3)

Tabla 3.2.5.- Factores de costos de componentes promedio de construcción.

Componentes	1 a 3 Niveles residenciales	1 a 3 Niveles comerciales / industriales	1 a 3 Niveles gubernamentales/ institucionales	4 a 10 Niveles de mediana altura
Sistema estructural	5.4	2.9	3.8	13.1
Cubierta del techo	1.4	1.8	1.5	0.4
Estructura del techo	2.7	4.1	3.3	3.0
Pared exterior	9.7	8.6	9.6	9.6
Puertas y ventanas exteriores	3.8	2.6	1.9	1.5
Construcción interior	71.9	75.6	76.5	71.0

Tabla 3.2.6.- Los factores de costo relativos de componentes

Componentes	Factor de costo	Factor de costo relativo
Cubierta del techo	1.5	0.09
Estructura del techo	3.5	0.21
Puertas y ventanas exteriores	2.5	0.15
Paredes exteriores	9.2	0.55
Total	16.7	1.00

3.3.- Elaboración de las bandas de daño. (Ref. 3)

Los árboles de fallas se evaluaron utilizando las ecuaciones y los datos de las Tablas 3.2.1. a 3.2.4, para obtener las probabilidades de falla de las componentes en relación con los datos de las componentes de costos de las tablas 3.2.5 y 3.2.7, y las ecuaciones de localización de las componentes de los parámetros, superior e inferior para los grados de daños de la construcción fueron obtenidos utilizando la ecuación (3.2.1). La evaluación de los árboles de fallas y su posterior cálculo de los grados de daño resultó ser más eficientemente implementado en varios archivos de hoja de cálculo que estaban vinculados el uno al otro. En la aplicación de la ecuación (3.2.1), se ha permitido de forma conservadora para las probabilidades de daños en sistemas estructurales de edificios de baja altura igual a la probabilidad de daño correspondientes de las paredes exteriores. Además, en vista de la utilización de muros de cortante, y una mejor atención en el diseño de construcción de edificios de altura media, las consideraciones adicionales se hicieron en el establecimiento de las bandas de daños para edificios de mediana altura. Se trata de la utilización de concreto reforzado y techos de estructuras de acero para las fragilidades inferior y superior, respectivamente, y las paredes exteriores que son dos veces más propensas a sufrir daños que los de edificios de baja altura. Dentro del contexto del concepto de banda daños, estas suposiciones están consideradas conservadoras y razonables.

Las funciones de daño resultantes superior e inferior que definen las bandas de daños fueron ajustadas posteriormente a los modelos de regresión polinomial y el 95% de los límites de confianza de los grados de daño previstos se encuentran utilizando la prueba estadística. (Ref. 3)

$$DD/l \pm t_{\alpha/2} S \sqrt{l'_0 (L'L)^{-1} l_0} \text{ ----- (3.3.1.)}$$

En la ecuación (3.3.1), $t_{\alpha/2}$ es el punto adecuado de la distribución T_{n-k-1} y $S \sqrt{l'_0 (L'L)^{-1} l_0}$ es el error estándar de predicción. Las bandas de daños resultantes se muestran en las figuras de la 3.3.1 a la 3.3.4, respectivamente, para edificios de 1 a 3 niveles residenciales, comerciales, industriales, y gubernamentales institucionales, y edificios de 4 a 10 niveles de mediana altura, en términos del equivalente de las velocidades del viento de huracanes sostenido en un minuto.

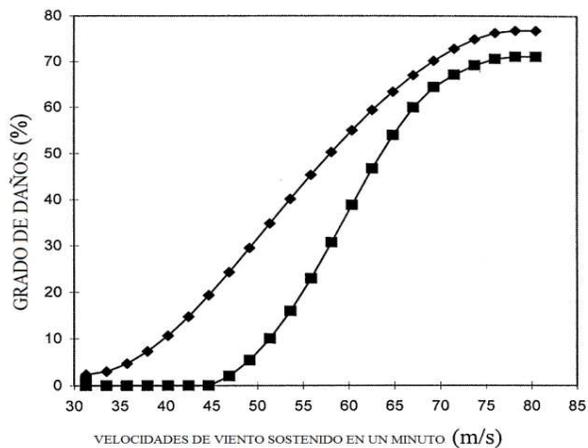


Fig. 3.3.1.- Banda de daños por vientos para edificios residenciales de 1-3 pisos. ◆ Superior, ■ inferior.

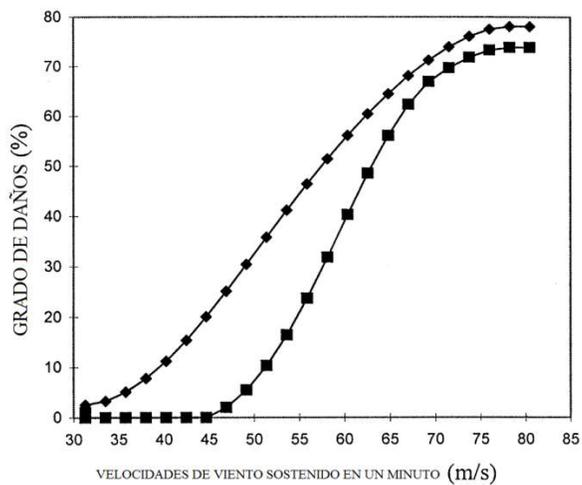


Fig. 3.3.2.- Banda de daños por vientos para edificios comercial/industrial de 1-3 pisos. ◆ Superior, ■ inferior.

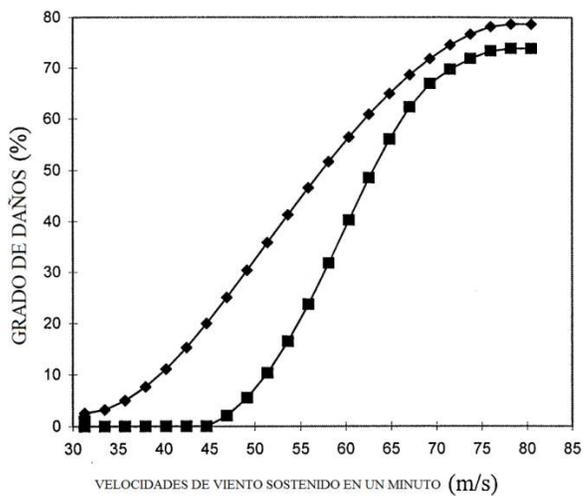


Fig. 3.3.3.- Banda de daños por vientos para edificios institucionales de 1-3 pisos. ◆ Superior, ■ inferior.

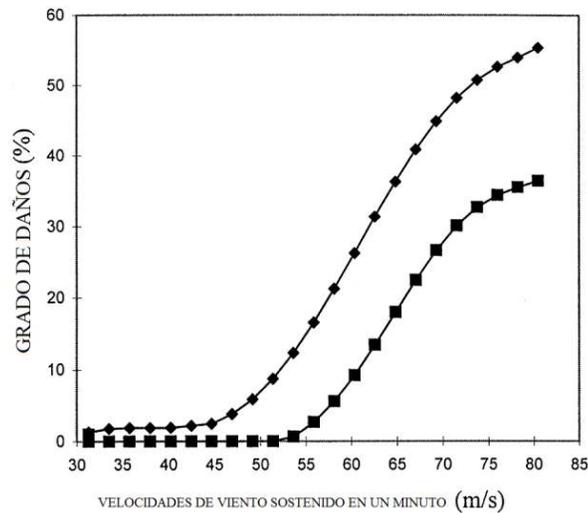


Fig. 3.3.4.- Banda de daños por vientos para edificios de mediana altura de 4-10 pisos. ♦ Superior, ■ inferior.

3.4.- Comparación de bandas de daño. (Ref. 3)

Para obtener una indicación de la solidez y validez del presente trabajo, las bandas de daños se compararon posteriormente con las relaciones de vulnerabilidad para las viviendas unifamiliares que se presentan en Sparks y Bhinderwala para vientos huracanados, y también a las relaciones de velocidad media del porcentaje de viento que se presentan en Hart para madera, concreto o mampostería, acero y edificios afectados por los tornados.

Por consistencia, las velocidades del viento de gradiente utilizadas por P.R. sparks S.A. Bhinderwala se han convertido en el equivalente sostenido de un minuto de vientos de superficie utilizando un factor conservador de 0,70 [8,53]. El resultado de la comparación se muestra en la figura 3.4.1.

La resistencia a daños por el viento de los tipos de edificios según G.C. Hart puede ser considerado como abarca el espectro de la resistencia del edificio por daño del viento, y por lo tanto se pueden comparar con las bandas de daños reportados en este documento. Para realizar esta comparación, fue necesario convertir las velocidades del viento del tornado a las velocidades de huracán equivalentes a un minuto. Desde la aparición de daño a las estructuras en tormentas de viento de la misma intensidad, es la misma independientemente del tipo de tormenta de acuerdo con J.R. Mc Donald, K.C. Metha (“respuesta de edificios a los vientos extremos y tornados”) y J.E. Minor, (“daños por tormentas”), la aplicación de las matrices de daños según G.C. Hart a daños por tornado, en la práctica no se utiliza, por que resta la utilización de la misma para otras tormentas de viento extremas, como huracanes. La conversión de las velocidades de viento del tornado al viento equivalente del huracán en un minuto se hizo convirtiendo en primer lugar las velocidades del tornado a las velocidades de ráfagas máximas correspondientes utilizando el procedimiento que se describe en Fujita, y luego la conversión de las velocidades resultantes máxima de la

ráfaga de huracanes a velocidades sostenidas de un minuto, utilizando el factor de ráfaga por la relación promedio de tiempo para vientos huracanados. Las funciones de daño superior e inferior de la presente obra, indicado como Autor, y las curvas medias de daños según G.C. Hart se presentan en las mismas gráficas (véanse las Figuras de la 3.4.1 a la 3.4.3) para la comparación.

En general, se observa que para el rango de velocidad del viento de interés en este trabajo, las curvas medias de daños de acuerdo con Hart y las curvas de vulnerabilidad de sparks proporcionan porcentajes de daños menores que los valores del límite superior de la presente investigación, es decir, las funciones de daño superiores del presente trabajo proporcionan superiores porcentajes de límite de daño. Por encima de una velocidad del viento de aproximadamente 53 m / s, las proporciones de pérdida global según sparks parecen ser mayores que los porcentajes de daños proporcionados por la función de daño superior desarrollado en la presente memoria.

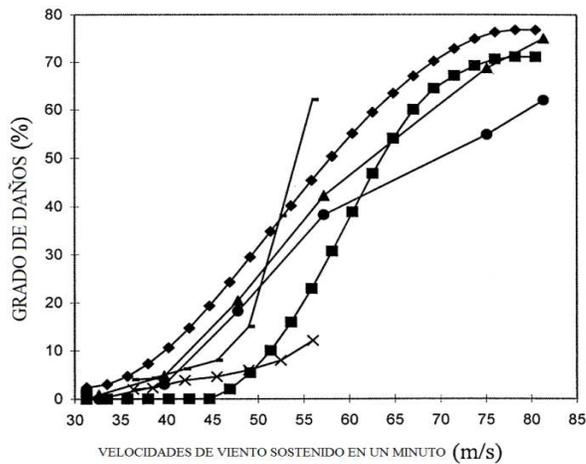


Fig. 3.4.1.- Comparación de las predicciones de daños en edificios residenciales. Autor ◆ (superior), autor ■ (inferior), ▲ Hart (madera), ● Hart (concreto), ■ Sparks (pérdida total), x Sparks (daño directo).

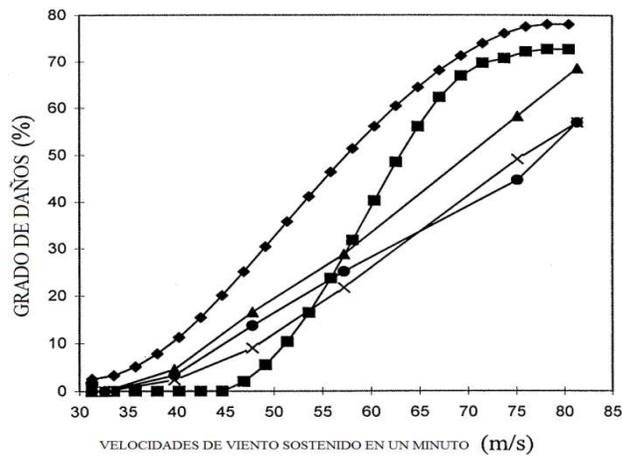


Fig. 3.4.2.- Comparación de las predicciones de daños en edificios comerciales. Autor ◆ (superior), autor ■ (inferior), ▲ Hart (madera), ● Hart (concreto), x Hart (metal).

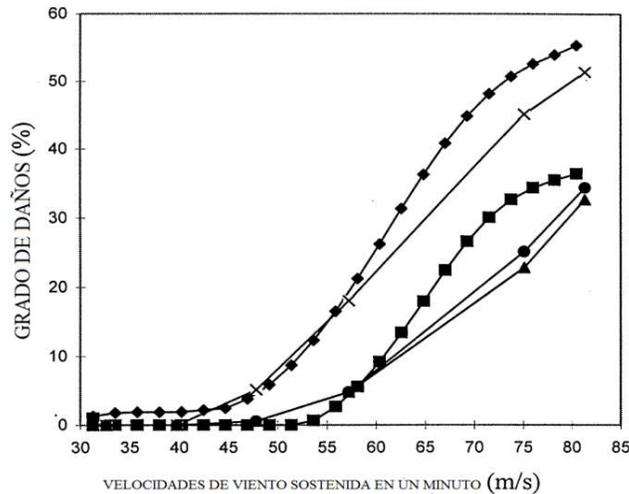


Fig. 3.4.3.- Comparación de las predicciones de daños en edificios de cuatro o más pisos de altura. Autor ♦ (superior), autor ■ (inferior), ● Hart (concreto con cizallamiento), × Hart (concreto sin cizallamiento), ▲ Hart (estructura de acero).

Esto se debe a que el índice de siniestralidad general de sparks incluyó temas tales como los pagos por gastos de vida adicionales y remoción de escombros, que no se incluyen en el cálculo de la pérdida máxima probable. También, debido a la relación de daños directos de sparks no incluyen la pérdida de contenidos, la función de daño inferior presentada en este documento predice un mayor porcentaje de daño de la curva de daño directo de sparks para velocidades de viento entre 50 y 56 m/s.

En los bajos regímenes de velocidad del viento (es decir, hasta la categoría 3 de la intensidad de los huracanes), las funciones de daño más bajas desarrolladas en este documento proporcionan los porcentajes más bajos de límites de daño que los de Hart, pero más allá de este régimen de vientos, los porcentajes medios de los daños en Hart se vuelven más bajas que las predicciones del estudio actual. En los regímenes de viento mayores, las pendientes de las curvas de daño para el concreto y el acero según Hart ya sea que disminuya o no, aumentan rápidamente como sería de esperar en virtud de daños por el viento siendo indirectamente proporcional a la segunda potencia de la velocidad del viento. Este hecho, unido a la naturaleza totalmente subjetiva de las matrices de daños puede explicar esta parte de las curvas medias de daños de acuerdo a Hart que cae fuera de las bandas de daños en edificios presentados en este documento. (Ref. 3)

3.5.- Importancia de las bandas de daños por viento.

La construcción de bandas de daños por viento se desarrollan para clases específicas (o tipos) de edificios tal como se representa en las Figuras de la 3.4.1 a la 3.4.3. Las relaciones de velocidades del viento-grado de daño superior e inferior (también conocida como funciones de daño) definen los límites de una banda de daños. El grupo así definido contiene las funciones de daño para todos los edificios de la clase de ocupación para la que se desarrolló la banda de daños. El límite superior de una banda de daño puede ser pensado como la

representación de la función de daños por viento de los menos resistentes a los vientos en esa clase de ocupación de los edificios. A la inversa, el límite inferior de una banda de daño corresponde a la función de daño de la construcción más resistente al viento para la clase de ocupación del edificio. Esta información es vital para la predicción de daños en edificios individuales. Las bandas de daños en edificios se emplean con la construcción de atributos para determinar la vulnerabilidad de daños por el viento de los edificios individuales, grupos de edificios y para la mitigación de los daños del viento. Los atributos de un edificio dado determina la función de daño de dicho edificio, que se encuentra entre los límites superior e inferior de la banda de daño para esa clase de construcción. (Ref. 3)

CÁPITULO 4.- PROCEDIMIENTO PARA EVALUAR EL NIVEL DE DAÑO.

4.1.- Introducción.

La República Mexicana, debido a su ubicación geográfica y por la gran extensión de litorales con que cuenta, es afectada por ciclones tanto de las costas del Pacífico, como de las del Golfo de México, Caribe y Atlántico. Asimismo, las regiones donde se originan los ciclones o huracanes, se les conoce como zonas ciclogénicas ó matrices, tal como se señala en la tabla 4.1. (Ref. 5)

Tabla 4.1. Regiones ciclogénicas que afectan a México

Regiones matrices que afectan a México			
Zonas	Ubicación	Incidencia	Trayectorias
Primera	Golfo de Tehuantepec.	Última semana de mayo hasta noviembre.	Tiende hacia el oeste, alejándose de México. Después de julio describen una parábola paralela a la costa del Pacífico; a veces penetran en tierra.
Segunda	Zona de Campeche en el Sur del Golfo de México.	Desde junio hasta noviembre.	Norte y Noreste; afectan los estados de Veracruz y Tamaulipas y algunos estados de los E.U.A.
Tercera	Oriente del Mar Caribe.	Desde julio especialmente entre agosto y octubre.	De gran intensidad y largo recorrido; afectan principalmente a Yucatán y Florida (EE.UU), Centroamérica e Islas del Caribe.
Cuarta	De 8 a 12 grados de latitud, en la región tropical del Atlántico.	Principalmente en agosto.	De mayor potencia y recorrido; generalmente se dirigen hacia el oeste; penetran en Yucatán, Veracruz y Tamaulipas, también afectan a otros países.

La figura 4.1.1 ilustra las regiones matrices de los ciclones en el sureste mexicano, así durante el siglo pasado del 78% de las depresiones tropicales ocurridas en el Golfo de México, el 36% alcanzaron a formarse como ciclones; la duración media de las depresiones tropicales ha sido de 4.4 días. (Ref.5)

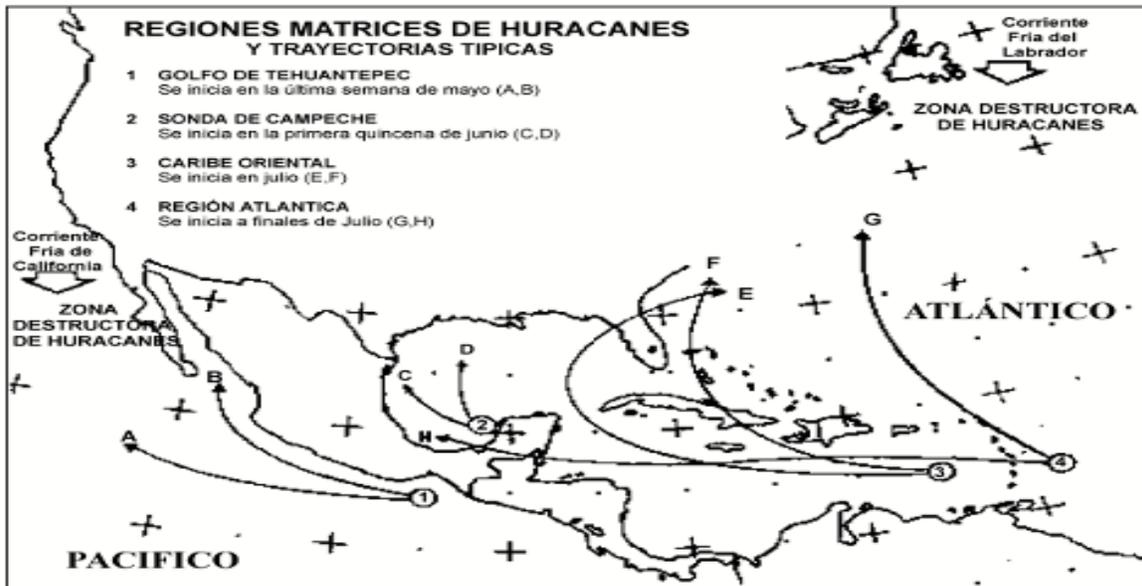


Figura 4.1.1.- Regiones matrices o ciclogénicas de huracanes que afectan a México

Un ciclón, así como cualquier fenómeno natural, puede ocasionar un desastre de diversas proporciones. Su impacto destructivo o de daño depende no sólo de su intensidad, sino también de la conformación urbana que tengan las poblaciones, su acercamiento relativo a la costa, entre otros factores.

4.2.-Efecto destructivo del viento en estructuras.

Una vez determinados los efectos del viento sobre los objetos que obstaculizan su libre flujo, se puede comentar sobre algunos de los mecanismos generadores de daño más comunes. El mecanismo más común es el que se presenta en las superficies planas, que son un obstáculo para el flujo del viento, como pueden ser las bardas y los anuncios publicitarios, por ejemplo estas fuerzas denominadas de arrastre, que son la conjunción de las presiones en las caras de barlovento y las succiones en la de sotavento, generarán momentos de volteo en la base de las estructuras de soporte. Conjuntamente con los efectos de los momentos de volteo que se generan por la incidencia sostenida de las fuerzas de arrastre, producto del carácter dinámico y aleatorio del mismo flujo de viento que generará incrementos intempestivos en la magnitud de la velocidad, denominados ráfagas, se generará un efecto cíclico de aumento y decremento del nivel de la fuerza de arrastre. Este tipo de carga cíclica reversible, independientemente que no alcance magnitudes que superen la resistencia por fluencia de los elementos de soporte, debido a la fatiga, pueden llegar a generar daños de consideración e, incluso, la falla de las estructuras. (Ref.13)

La clasificación de las fallas provocadas por el efecto del viento sobre las estructuras en general se puede clasificar, de manera similar a la clasificación del tipo de fallas ante otro tipo de fenómenos naturales como sismo, como totales, parciales o locales. Las **fallas totales**, generalmente tienden a ser frágiles y abruptas, se presentan en estructuras con pocas líneas de defensa o redundantes, como las bardas de colindancia y los anuncios espectaculares apoyados en un solo poste. Las **fallas locales** están asociadas a problemas en sitios específicos de la estructura, generalmente asociadas al deterioro de la misma por falta de mantenimiento o por haber sido sujeta de un uso inadecuado. En este tipo de falla pueden estar incluidas las fallas de sujetadores de láminas en las cubiertas de bodegas y naves industriales; resulta difícil afirmar que las fallas locales se deben a una concentración de fuerzas de viento en sitios específicos. Finalmente, las **fallas parciales** están asociadas a un conjunto de fallas locales; por ejemplo, se tendrá una falla parcial en el techo cuando se presenten un número suficiente de fallas locales en los dispositivos de fijación de las láminas de cubierta. (Ref. 13)

Para el profesional de la evaluación post-desastre del comportamiento de las estructuras ante la incidencia del fenómeno, y con objeto de determinar el tipo y mecanismo de falla, no siempre se puede ser concluyente. Una estructura totalmente fallada pudo presentar su falla debido a velocidades de viento relativamente bajas, y a problemas locales en los sujetadores de las láminas de cubierta. Sin embargo, también pudo haber ocurrido por la incidencia de velocidades de viento cuyos efectos superaran ampliamente las fuerzas de diseño consideradas originalmente y, por lo tanto, producirse la falla en los elementos estructurales por insuficiencia en la resistencia ante la fuerza demandada, independientemente del comportamiento adecuado o no de los sujetadores de las láminas de la cubierta. Obviamente, para poder emitir una opinión concluyente al respecto, será entonces necesario observar, si es posible, el comportamiento de las estructuras en la vecindad de la estructura dañada, de igual manera que el comportamiento de la vegetación en la zona, identificando el tipo, nivel y densidad de daño. A partir de ello se podrá suponer un cierto valor de la velocidad del viento. Es interesante que, desde el punto de vista del profesional del diseño de estructuras contra vientos, la calidad en el diseño y la adecuada elaboración de los planos para los detalles estructurales, como son las uniones entre todos los componentes del sistema de techo, incluyendo la forma de conectar éste con los elementos verticales de soporte, son tan importantes como la calidad de las componentes principales o la estructura en sí. Esta preocupación del profesional del diseño generalmente no es compartida por el constructor o el autoconstructor. De aquí que se considere necesaria la concientización sobre la importancia de cumplir con las recomendaciones mínimas en los detalles de unión entre los diferentes elementos estructurales, para lograr un comportamiento y niveles de seguridad estructural adecuados ante viento. (Ref. 13)

En la fig. 4.2.1 se observa el tipo de presiones a las que estaría sujeta una estructura inmersa en un viento intenso (Sotelo, 1979). Ante este tipo de solicitaciones, generalmente no se considera que las estructuras de mampostería, y sobre todo las de mampostería confinada, pudieran presentar una falla porque

las fuerzas resultantes de la presión de viento son menores que las fuerzas estáticas equivalentes que se consideran para su diseño por sismo. Sin embargo, aún en estados con un alto nivel de peligro por sismo, como es Oaxaca, producto del huracán Pauline, se pudieron observar daños de importancia en estructuras hechas con materiales competentes, tanto en muros como en techos; un ejemplo se puede observar en la fig. 4.2.2. Este tipo de comportamiento se puede asociar básicamente a dos aspectos: 1) Dificultad en la unión entre la estructura de la losa de techo con los muros, que permita una libre rotación entre los elementos ante el impacto de viento, lo cual coloca en una situación crítica de comportamiento a los muros; y, 2) Insuficiente estructura de cimentación ante la demanda de volteo, que permite la rotación de la base del sistema muro-cimentación ante el impacto de viento en la dirección perpendicular al plano del muro. De la evaluación del comportamiento de estructuras ante el efecto del viento, se puede mencionar que el primer aspecto es más frecuente en viviendas, sobresaliendo lo observado en eventos extraordinarios impactando las costas del Caribe y del Golfo de México, durante los huracanes Gilbert en 1988 y, recientemente, Isidore en 2002. (Ref. 13)

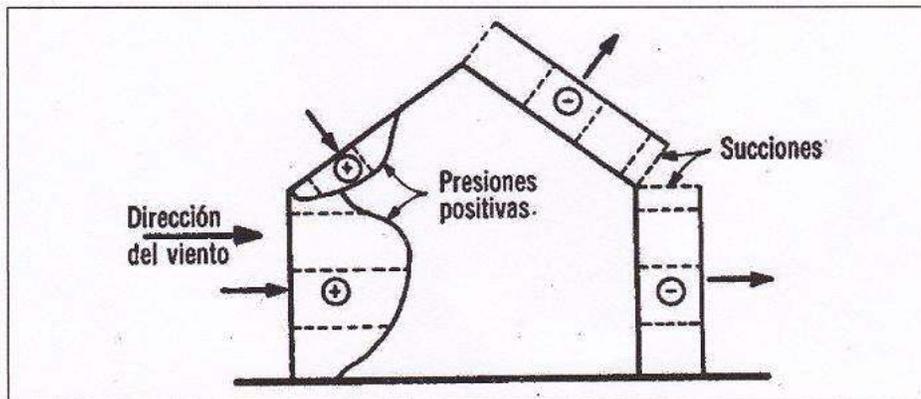


Fig. 4.2.1.- Ilustración de la distribución de presión o fuerzas producto del viento sobre una estructura (Sotelo, 1979).

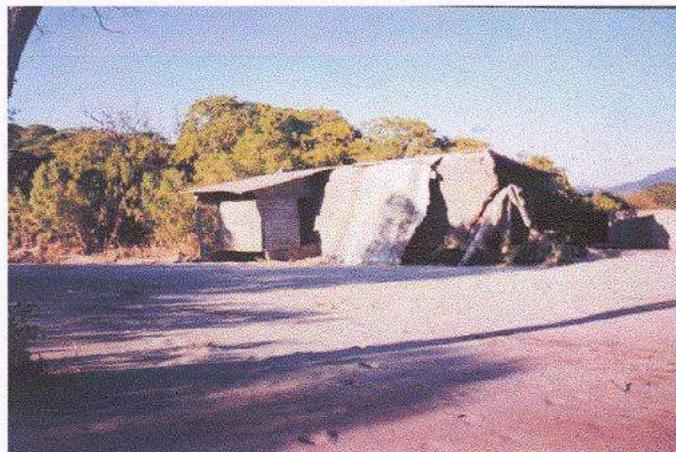


Fig. 4.2.2.- Falla de una estructura de mampostería confinada por efecto del viento (H. Toledo; Oaxaca, México, 1999)

En el caso de edificaciones temporales, como es el caso de casas o casetas móviles, donde, debido a la temporalidad y al poco peso de la estructura, las cimentaciones generalmente están simplemente apoyadas en el suelo, un tipo de falla común es el desprendimiento, desde la cimentación, de la estructura. Al contar con dispositivos de fijación en el suelo poco resistentes, las fuerzas de succión hacia arriba que genera el viento sobre la estructura llegan a ser significativamente superiores a las del peso propio, haciendo que las edificaciones se volteen (fig. 4.2.3). En edificaciones donde se usan muros de mampostería confinada, una unión deficiente entre la losa de techo y los muros, conjuntamente con una cimentación inadecuada, incrementará la probabilidad de que los muros fallen por flexión fuera de su plano (fig. 4.2.4). (Ref. 13).



Fig.4.2.3.- Caseta ligera prefabricada en Horizontal County, Alabama, Estados Unidos de América, volcada por los vientos de un tornado (Ray Phillips; Horizontal County, Alabama USA, 11/25/2001; Fotografía tomada de FEMA News Photo)

Además de los daños estructurales, existen daños en los elementos no estructurales, como son los vidrios de ventanas, caídas de elementos prefabricados de fachadas y daños en las losas de techo producto del daño generado en apéndices tales como anuncios publicitarios, entre otros. Los informes de las compañías de seguros indican que el mayor monto en pérdidas económicas relacionados con la incidencia de un huracán, no está relacionado directamente con el costo de reposición de las estructuras dañadas, sino con el costo de reposición de lo que contenían las mismas. Entonces, aunque una edificación no haya sufrido mayor daño en sus elementos estructurales, sí por daño o falla de los elementos no estructurales, como los vidrios de las ventanas, se presenta el ingreso de vientos con grandes contenidos de humedad salobre altamente intempérica, los daños que se presentan en el mobiliario e instalaciones del interior por intemperización directa inclusive resultan significativamente

superiores a los costos de reposición o reconstrucción de la misma edificación. (Ref. 13)

Para el caso de la edificación para vivienda resulta exactamente lo mismo, con el agravante de que el dueño de una casa de autoconstrucción no tendrá asegurados bienes ante la posible pérdida total durante un huracán. Nuevamente resulta importante tratar de concientizar a los habitantes de regiones con altos niveles de peligro por efecto de viento que, cumpliendo con un mínimo de recomendaciones para la construcción de sus viviendas, pueden evitar o reducir considerablemente la pérdida de todo su patrimonio. (Ref.13).

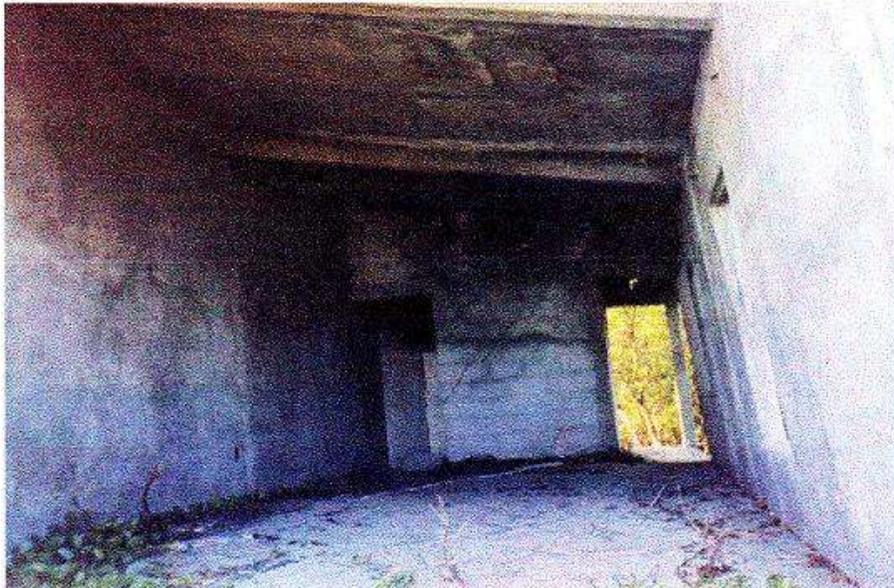


Fig. 4.2.4.- Falla por flexión del muro o por el giro de la cimentación en una estructura de mampostería confinada (H. Toledo; Huracán Pauline, Oaxaca, México, 1999)

4.3.- Tipos de daños ocasionados por los huracanes.

En las zonas propensas a huracanes, la adecuada ubicación de las edificaciones reviste gran importancia, ya que los vientos huracanados son capaces de levantar hasta los cimientos de una estructura. De ahí que en el diseño de las edificaciones se debe tener presente que los huracanes pueden voltear por completo los edificios cuya fijación sea inadecuada, en particular si se trata de estructuras ligeras (Ref.13).

Los entramados de acero que no están debidamente concebidos pueden también fallar ante las altas presiones del viento, las cuales suelen originarse en las conexiones. Las construcciones de mampostería no escapan a la acción del viento.

Aunque se les considera relativamente seguras, la pérdida del techo hace que las paredes de mampostería no reforzada se comporten como cantos libres provocando su falla parcial o total.

Las construcciones de madera son las menos seguras por su naturaleza inherente. El tipo de falla que se puede presentar es la que se inicia con el desprendimiento del techo, el cual habitualmente corresponde a algún tipo de lámina; seguido del desprendimiento o rompimiento de los elementos de sus paredes de barlovento y sotavento, con la falla simultánea de sus conexiones y terminando con la falla parcial o total de la estructura. (Ref.13)

4.4.- Escalas de daño por efecto del viento en función de la velocidad del mismo.

Cada vez que un fenómeno meteorológico incide sobre el territorio nacional deja a su paso una huella de daños ocasionados por su campo de vientos. Comúnmente se realizan estudios de evaluación limitados y desorganizados. Estos normalmente se realizan por diversas instituciones, cada una de ellas con un enfoque particular. Al integrarse los resultados individuales de cada uno de ellos, las conclusiones son tan genéricas y amplias que gran parte de la utilidad de hacer estos estudios se pierde para la sociedad. El principal defecto de dichos estudios es que no se establece una correlación entre los daños y los vientos que los causaron. Esto es, la experiencia de haber vivido un evento en la zona, no se encuadra de modo que permita a la sociedad aprender algo de dicha experiencia y mejorar su preparación para futuros eventos similares. En todo caso resulta una experiencia de valor sólo para personas o instituciones aisladas en contextos limitados, adoleciendo además de una adecuada difusión. Casi nunca se hace referencia a la variación espacial y temporal del campo de vientos y de manera intuitiva todos los daños son asignados a la velocidad máxima sostenida con la que se caracterizó al fenómeno. Un ejemplo es el del huracán Gilbert, muchos de los extensos daños que causó en el Sureste y el Noreste de México quedan en la memoria de la sociedad como cosas que muy probablemente no se volverán a repetir en el transcurso de una o varias generaciones. Sin embargo, grandes extensiones dañadas fueron afectadas por vientos equivalentes apenas a un huracán marginal, los que se pueden repetir frecuentemente en la vida de una misma persona. Es importante que, como sociedad, se aprenda a contestar ¿qué vientos producen qué tipo de daños? (Ref. 13)

En la actualidad sólo se puntualiza que la red de mediciones en superficie con la que cuenta México, sobre todo en cuanto a densidad de instrumentos, es insuficiente para poder realizar un buen trabajo de correlación entre vientos, sus características y los daños que producen, y que la designación de una institución que formalmente tenga la responsabilidad de recopilar en forma organizada y estructurada la información, es una imperiosa necesidad. Desgraciadamente, esto implica que aun resolviendo estas dos situaciones, la experiencia tendrá que empezar a acumularse en el futuro. (Ref. 13)

Los eventos meteorológicos se denominan de diferente manera en función de la intensidad que alcanzan; intensidad que también se relaciona con el nivel de velocidad del viento y, por lo tanto, por el efecto destructivo que llegase a tener sobre las estructuras diseñadas y construidas por el hombre. Así, si un evento definido como tormenta llega a intensificarse suficiente como para tener vientos que rebasen los 119 km/h, entonces se le clasifica como huracán. Conforme se intensifica un evento, la presión central (es decir la presión a nivel del mar sobre el centro de giro) se reduce, alcanzando hasta un déficit de presión del orden de 10% de la presión atmosférica normal a nivel del mar, se intensifica, su apariencia en imágenes de satélite, aumenta en cuanto a organización espiral y empieza a resultar obvio el centro de giro a través de una zona con nubes más bajas o ausencia total de ellas, coincidente con el llamado ojo del ciclón. Ya en la categoría de huracán, los ciclones se siguen clasificando de acuerdo con su intensidad en cinco categorías según la escala de Saffir-Simpson. Esta escala también permite establecer una relación entre velocidades de viento y nivel de daño probable esperado en las edificaciones. Esta escala se presenta en forma resumida en la tabla 4.4.1.

Es muy importante no sobreestimar la importancia de la clasificación oficial de un ciclón en detrimento de una comprensión fundamental de sus características. Es preciso observar que una tormenta tropical con vientos de 116 km/h es prácticamente igual de peligrosa que un huracán con vientos de 121 km/h (cabe la mención de que los ciclones, la tormenta tropical y el huracán, son fenómenos meteorológicos con la misma estructura, y la diferencia entre ellos radica fundamentalmente en las velocidades de los vientos que se generan). Al mismo tiempo, un huracán de categoría V puede ser decenas de veces más destructivo que uno de categoría I. Las escalas de clasificación, como la mostrada de Saffir-Simpson (tabla 4.4.1), se establecieron como un medio conveniente y resumido de comunicación entre especialistas, autoridades y la población en general. El fenómeno físico no sabe de estas clasificaciones, ni presenta cambios abruptos de comportamiento ante el cambio de categoría. Se trata de un solo fenómeno con un comportamiento continuo en su intensificación y decaimiento. Por otro lado, existen otros tipos de escalas de clasificación de los eventos meteorológicos en cuanto a su destructividad de las edificaciones y obras civiles. Una de las más mencionadas es la escala de Fujita-Pearson (tabla 4.4.3), la cual regularmente es usada para determinar la intensidad de los tornados (originalmente tifones) por medio del examen del nivel de daño generado por el evento en estructuras creadas por el hombre (Ahrnes, 2000; Borrouhgs, 1998). (Ref.13).

Escala Saffir-Simpson:

La escala de huracanes de Saffir-Simpson es una escala que clasifica los ciclones tropicales según la intensidad del viento, desarrollada en 1969 por el ingeniero civil Herbert Saffir y el director del Centro Nacional de Huracanes de Estados Unidos, Bob Simpson.

Tabla 4.4.1.- Escala Saffir-Simpson de Categoría de los huracanes

Categoría	Presión (milibar)	Velocidad de viento	Marea (m)	Nivel de daños
1	>980	119-153 km/h 64-82 nudos 74-95 mph	1.5	Sin daños en las estructuras de los edificios. Daños básicamente a casas flotantes no armadas, arbustos y árboles. Inundaciones en zonas costeras y daños de poco alcance en puertos.
2	965-980	154-177 km/h 83-95 nudos 96-110 mph	2.0-2.5	Daños en tejados, puertas y ventanas. Importantes daños en vegetación, casas móviles, etc. Inundaciones en puertos así como ruptura de pequeños amarres.
3	945-965	178-209 km/h 93-113 nudos 111-130 mph	2.6-3.7	Daños estructurales en edificios pequeños. Destrucción de casas móviles. Las inundaciones destruyen edificaciones pequeñas en zonas costeras y objetos a la deriva pueden causar daños en edificios mayores. Posibilidad de inundaciones tierra adentro.
4	925-945	210-249 km/h 114-135 nudos 131-155 mph	4.5-5.0	Daños generalizados en estructuras protectoras, desplome de tejados en edificios pequeños. Alta erosión de bancales y playas. Inundaciones de terrenos interiores.
5	<920	≥249 km/h ≥135 nudos ≥155 mph	>5.0	Destrucción de tejados completa en algunos edificios. Las inundaciones pueden llegar a las plantas bajas de los edificios cercanos a las costas. Puede ser requerida la evacuación de áreas residenciales.

Escala de Beaufort:

La Escala de Beaufort es una medida empírica para la intensidad del viento, basada principalmente en el estado del mar, de sus olas y la fuerza del viento. Su nombre completo es Escala de Beaufort de la Fuerza de los Vientos.

Tabla 4.4.2.- Escala de Beaufort de la fuerza de los vientos

No. Beaufort	Velocidad del Viento (Km/h)	Nudos (millas náuticas/h)	Denominación	Aspecto de la mar	Efectos en tierra
0	0 a 1	< 1	Calma	Despejado	Calma, el humo asciende verticalmente.
1	2 a 5	1 a 3	Ventolina	Pequeñas olas, pero sin espuma	El humo indica la dirección del viento.
2	6 a 11	4 a 6	Brisa muy débil	Crestas de apariencia vítrea, sin romper	Se mueven las hojas de los arboles, empiezan a moverse los molinos, se percibe el viento en la piel.
3	12 a 19	7 a 10	Brisa débil (Viento leve)	Pequeñas olas, crestas rompientes.	Se agitan las hojas, las ramas de los arboles, y ondulan las banderas.
4	20 a 28	11 a 16	Brisa Moderada (Viento Moderado)	Borreguillos numerosos, olas cada vez más largas	Se levanta polvo y papeles, se agitan las copas de los arboles.
5	29 a 38	17 a 21	Brisa fresca (Viento regular)	Olas medianas y alargadas borreguillos muy abundantes	Pequeños movimientos de los arboles, superficie de los lagos ondulada.
6	39 a 49	22 a 27	Brisa fuerte (Viento fuerte)	Comienzan a formarse olas grandes, crestas rompientes, espuma	Se mueven las ramas de los arboles grandes, dificultad para mantener abierto el paraguas.
7	50 a 61	28 a 33	Viento muy fuerte	Mar gruesa, con espuma arrastrada en dirección del viento	Se mueven los arboles grandes completos, dificultad para andar contra el viento.
8	62 a 74	34 a 40	Temporal (viento duro)	Grandes olas rompientes, franjas de espuma	Se quiebran las copas de los árboles, circulación de personas dificultosa.

9	75 a 88	41 a 47	Temporal fuerte (Viento muy duro)	Olas muy grandes, rompientes. visibilidad mermada	Daños leves en estructuras, desprendimientos de tejas, imposible andar contra el viento.
10	89 a 102	48 a 55	Temporal duro (Temporal)	Olas muy gruesas con crestas empenachadas. Superficie de la mar blanca	Árboles arrancados de raíz, daños en la estructura de las construcciones.
11	103 a 117	56 a 63	Temporal muy duro (Borrasca o tempestad)	Olas excepcionalmente grandes, mar completamente blanca, visibilidad muy reducida	Estragos abundantes en construcciones, tejados y arboles.
12	118 y mas	64 a 71 >	Temporal huracanado (huracán)	El aire está lleno de espuma y porciones enormes de oleaje, visibilidad casi nula	Destrucción importante.

Escala Fujita-Pearson:

Esta escala se basa en la destrucción ocasionada a las estructuras constructivas por el hombre y no al tamaño, diámetro o velocidad del tornado.

Tabla 4.4.3.- Escala de Fujita-Pearson

Intensidad	Velocidad del viento	Daños
F0	60-117 Km/h (45-72 mph)	Leves.
F1	117-181 Km/h (73-112 mph)	Moderados. Estos tornados pueden levantar tejas o mover coches en movimiento. Tráileres pueden ser tumbados y barcos pueden ser hundidos.
F2	181-250 Km/h (113-157 mph)	Considerables. Los tejados de algunas casas pueden ser levantados, los tráiler y casas rodantes que estuvieran en el camino del tornado serán demolidos. Este tornado también puede descarrilar vagones de trenes.
F3	250-320 Km/h (158-206 mph)	Graves. Arboles pueden ser arrancados de raíz, paredes, y tejados de edificios sólidos, serán arrancados con total facilidad.
F4	320-420 Km/h (207-260 mph)	Devastadores. Motores de trenes y de camiones de 40 toneladas serán lanzados fácilmente por los aires.
F5	420-550 Km/h (261-318 mph)	Extremadamente destructivos. Tornados con esta intensidad destruyen todo en su camino. Los coches pueden ser lanzados como si fueran juguetes, y edificios enteros pueden ser levantados del suelo. La fuerza es similar a la de una bomba atómica. Conocido coloquialmente como el "dedo de Dios".
F6	550-610 Km/h (319-379 mph)	Daño inconcebible. Nunca se ha registrado un tornado de estas magnitudes, exceptuando en simuladores.

4.5.- Metodología para evaluar el nivel de daño.

Para estimar los daños, se requiere realizar una descripción o predicción de los daños, ante eventos de velocidad media conocida. En el sentido general, se generan pérdidas, tanto en vidas humanas o de ganado, y daños en construcciones y en sus contenidos que es necesario reparar o reponer, así como daño o pérdida funcional de comunicaciones, transporte o en sistemas de infraestructura de la región afectada. (Ref.16)

En general se disponen de dos métodos para estimar el nivel de daño debido al efecto del viento en edificaciones los cuales corresponden al método cualitativo y el cuantitativo.

En el método cualitativo la estimación se realiza de forma rápida y sencilla del nivel de daño de la edificación en función del efecto o daño provocado por la categoría o intensidad del peligro o amenaza (vientos huracanados). Para esto se dispone de tablas de escala de la intensidad del viento con su correspondiente nivel de daño; las tablas comúnmente utilizadas a este respecto son las de Saffir-Simpson, Beaufort y de Fujita-Pearson presentadas en las tablas 4.4.1, 4.4.2 y 4.4.3 respectivamente. Las estimaciones realizadas de esta manera son aproximadas y por lo tanto poco confiables ya que solamente toman en cuenta las velocidades máximas que puede alcanzar el viento pero sin tomar en cuenta las características de la estructura, ni de los materiales que la conforman.

Por otra parte se tiene el método cuantitativo, en el que se requiere el acopio de gran cantidad de información; por lo que son más precisos para predecir el tipo de falla probable tanto en general como con respecto a elementos específicos, de ahí que sean más confiables al momento de evaluar la seguridad de una edificación ante los efectos del viento.

En la estimación de daños se deben considerar los siguientes aspectos: micrometeorología de la región, ingeniería del viento, ingeniería civil, confiabilidad de sistemas, aspectos referentes a seguros, consideraciones de carácter político, consideraciones económicas. (Ref.16)

La estimación del daño, interesa fundamentalmente a dependencias gubernamentales o a la industria de reaseguro, con el fin de generar estrategias para minimizar el daño a los habitantes y propiedades de una región, así como para evitar pérdida de vidas humanas y la alteración del ambiente socioeconómico de la zona afectada por vientos intensos; en esas estrategias interesan cuatro aspectos principales: (Ref.16)

- Mitigación y prevención de posibles desastres, lo que generalmente se logra mediante reglamentos de construcción, e interacción con la población.
- Alerta previa a la aparición de vientos, con establecimiento de planes de evaluación y diseño de sistemas de alerta temprana.

- Respuesta inmediata ante un desastre, que implican acciones encaminadas a rescate, distribución de alimentos y albergue provisional seguro de la población.
- Recuperación posterior y reconstrucción con visión a largo plazo.

Metodologías comúnmente empleadas. (Ref. 16)

La mayoría de los métodos para la estimación de pérdidas, recurren al método de **pérdida máxima probable**, el cual expresa la pérdida monetaria esperada por el daño a un tipo de construcción específico, como porcentaje del valor total asegurado de la edificación.

La metodología comúnmente usada incluye:

- Definición del territorio de interés
- Zonificación de la región en partes apropiadas
- Definición de eventos máximos posibles
- Consideración de la vulnerabilidad de la zona
- Estimación de la pérdida máxima probable

La metodología presenta aspectos lógicos, y para su aplicación se requiere una base amplia de datos, obtenidos durante un espacio de tiempo mayor al intervalo medio de recurrencia del evento considerado. El método presenta limitaciones, ya que aparentemente recurre a conceptos de probabilidad, pero en su aplicación no es totalmente probabilista, cuando se aplica a eventos de máximo peligro.

Por otra parte, el método utiliza datos actuariales que no corresponden a la zona donde se aplicará el método. Así, el método ignora las diferencias ambientales en la zona donde se adquirió la información, e ignora la práctica constructiva de la región la cual puede variar significativamente entre las regiones donde se aplicará el método.

Por las razones antes expuestas, en el tema posterior se presentan las bases de una nueva metodología, que permita evaluar de manera cuantitativa el comportamiento de tipos de estructuras sometidas a vientos intensos, a fin de resolver parcialmente el problema.

Esquema de pensamiento para la nueva metodología. (Ref. 16)

Con la intención de generar modelos matemáticos útiles para representar la condición de falla condicional probable de un sistema estructural, o de sus partes y de su contenido, en el cual exista un conjunto dado de variables, se recurre al empleo de **curvas de vulnerabilidad (o de fragilidad)**.

Para ello se establece la condición de falla del sistema, como la condición necesaria del sistema excitador generado por la acción del viento sobre el sistema estructural, cuando alcanza o sobrepasa un estado límite de comportamiento admisible, en términos de la experiencia acumulada.

Existen dos aproximaciones posibles para establecer curvas de fragilidad: La aproximación regresiva y la aproximación analítica (Ref. 16).

Aproximación regresiva.

Que recurre a resultados de observación del comportamiento de sistemas estructurales ante la acción de vientos intensos y de conjuntos de datos extraídos de las causas que generaron la falla de construcción en una región determinada.

En esta aproximación, en la que se recurre a estudios de investigadores en Japón, requiere de datos obtenidos directamente por observadores entrenados, los que realizan visitas de campo a regiones afectadas por un evento de vientos intensos; buscan identificar los daños en diversos tipos de estructuras, o de sus partes, para formar una base de datos óptima, que permita aplicar, de manera razonable, métodos analíticos. En la figura 4.5.1 se condensa el esquema de pensamiento implícito en esta aproximación regresiva. (Ref.16)

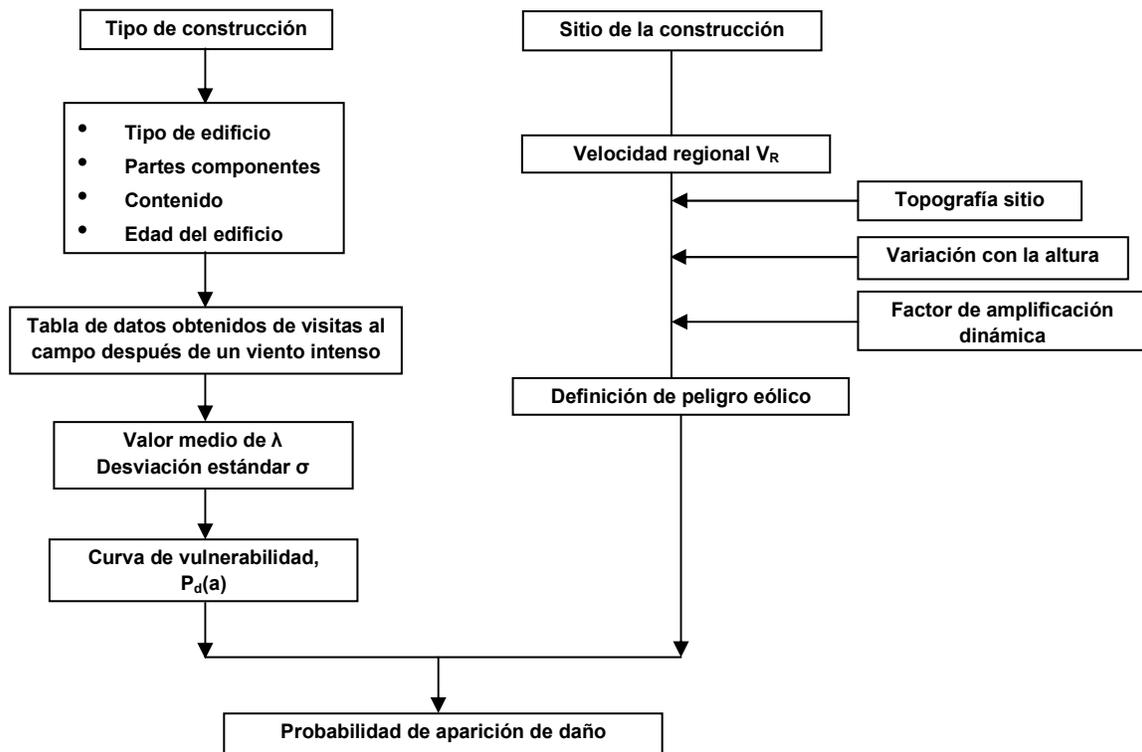


Fig. 4.5.1.- Esquema de pensamiento de la aproximación regresiva.

Modelo regresivo.

En el diagrama de la figura 4.5.1, se parte del conocimiento de las construcciones en una región, antes de ser afectada por la acción de un viento intenso, en el que se distingue el tipo de construcción, el número de pisos en cada edificación, el tipo de acabados en fachadas, con lo cual se forma una tabla regresiva de datos, en la

que se establece el valor medio de costo de cada tipo, y se definen valores medios, λ de la velocidad del viento a 10 m de altura, a la cual la construcción alcanza el umbral del estado de falla, d , y define σ , la desviación estándar del logaritmo natural de la velocidad media del viento correspondiente al estado de falla, d , con lo cual define a la función de distribución acumulativa normal, que representa a la función de probabilidad condicional, correspondiente a la velocidad del viento seleccionada. La figura 4.5.2 muestra a la curva de fragilidad correspondiente a daño moderado o completo. (Ref.16)

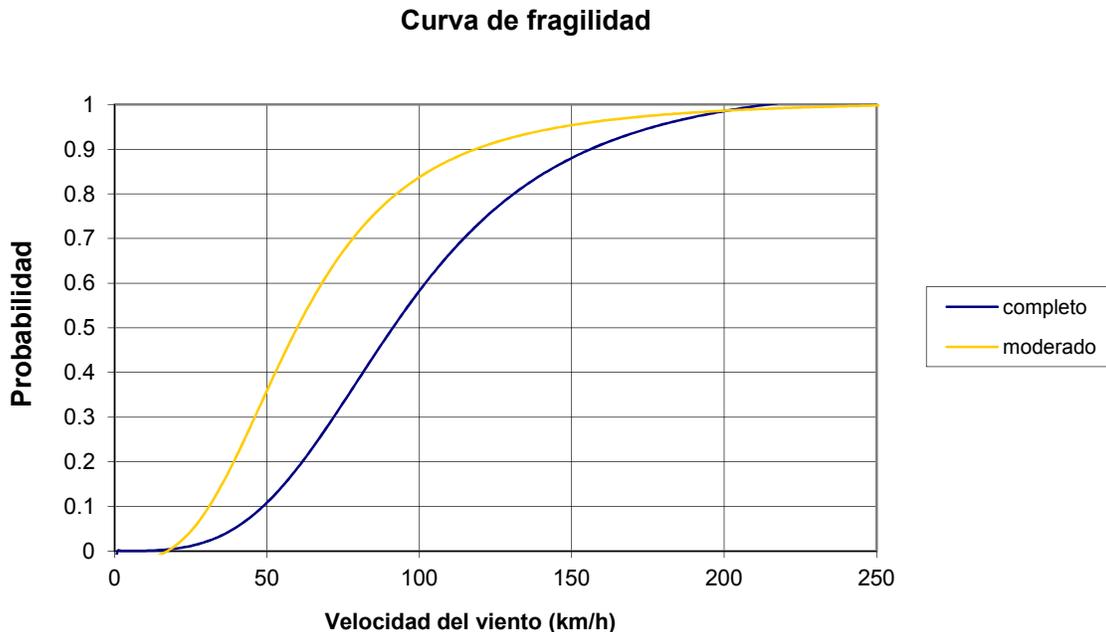


Fig. 4.5.2.- Curvas de fragilidad para daño moderado a completo.

Por otra parte, el método acepta el tipo de topografía y exposición de la construcción, la ley de amplificación de velocidad con la altura, y establece el espectro de respuesta inducido por la turbulencia en el sitio, y define una curva de peligro para la construcción, correspondiente a un cuantil establecido.

Aproximación analítica.

En ésta se recurre a modelos matemáticos, que tratan de establecer la posibilidad de falla de sistemas estructurales.

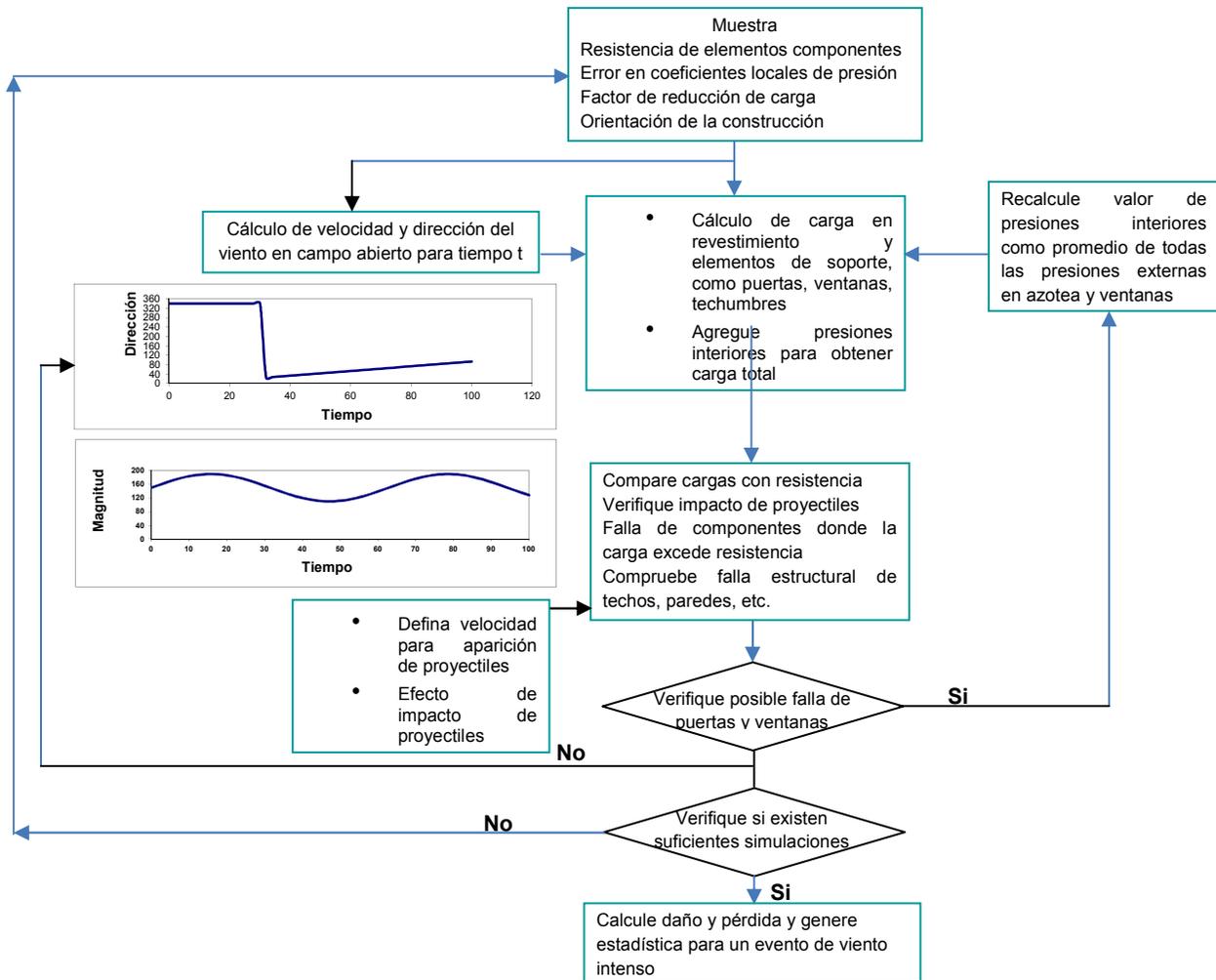


Fig. 4.5.3.- Esquema de pensamiento de la aproximación analítica. (Ref. 16)

Este método, que se encuentra en desarrollo, acepta la existencia del peligro asociado a vientos intensos, generados por tormentas severas, ciclones extratropicales, huracanes o tornados, y define modelos de respuesta de estructuras ante cargas inducidas por viento, provocadas por presión, proyectiles o cambios de presión atmosférica, con lo cual genera el modelo de respuesta estructural. (Ref. 16)

Establece la estimación del riesgo de falla y efectúa cálculos para estimar la pérdida ocasionada por la aparición de viento intenso, en edificios, instalaciones, sistemas y contenido, correspondiente a algún evento de viento intenso, basados en considerar a las construcciones como sistemas de un grado de libertad, cuya respuesta máxima se evalúa en función de la respuesta media amplificada por un factor de ráfaga, que considera la rugosidad del terreno, la topografía de la zona y la exposición de las construcciones. (Ref.16)

Observaciones sobre ambas aproximaciones. (Ref. 16)

Ambas aproximaciones recurren a un número limitado de parámetros, lo cual indica que se trata de modelos paramétricos. Sin embargo, la aproximación regresiva no presupone ningún modelo físico de la estructura, lo cual indica que resulta ser un modelo de caja negra, mientras que la aproximación analítica en desarrollo, presupone que la estructura queda definida por un sistema de un grado de libertad, por lo que sus modelos se pueden clasificar como de caja blanca..

Ambos modelos recurren a curvas de fragilidad, para estimar la probabilidad de daño, pero existe una diferencia en el manejo de la información. El método regresivo acepta que la fragilidad es solo dependiente de la velocidad media probable, mientras que en el método analítico se busca incorporar además los efectos de ráfaga en la estimación de la respuesta estructural.

En la aproximación analítica, el comportamiento estructural se estima a partir de curvas de capacidad, y del dato de entrada del espectro de demanda; las curvas de fragilidad se describen por el desplazamiento espectral, como parámetro de diseño.

Por otra parte, en la aproximación regresiva, los parámetros que describen la curva de fragilidad, se obtienen de manera regresiva de la información de campo que se recupera después de un evento de viento intenso, por lo que resulta más sencillo definir los valores límite. Sin embargo, estas curvas de fragilidad son muy dependientes de datos locales.

La estimación de daño caracterizado por curvas de fragilidad resulta extraordinariamente compleja, debido a que involucra toda clase de incertidumbres. Al construir curvas de fragilidad, se debe minimizar la varianza asociada con la incertidumbre, para lograr una evaluación cuantitativa más precisa. Para fines de comparación de la incertidumbre y variabilidad de ambas aproximaciones se presentan los siguientes comentarios:

La incertidumbre respecto a la variación espacial de la velocidad del viento es similar en ambas aproximaciones.

La incertidumbre en los modelos de construcciones asociadas con tipos específicos de edificaciones en la aproximación regresiva no se asocia directamente a construcciones individuales; mientras que en la aproximación analítica, la incertidumbre correspondiente se encuentra directamente asociada con edificaciones individuales.

La incertidumbre es altamente dependiente de la región en estudio en la aproximación regresiva, y en regiones donde exista información disponible de datos reales de daño, la incertidumbre es pequeña. Para otras regiones, el nivel de incertidumbre en la variabilidad total de cada estado de daño no se puede establecer fácilmente.

En la aproximación analítica, la incertidumbre en la variabilidad total de cada estado de daño se expresa por la combinación de las contribuciones siguientes a la variabilidad del daño:

- a) Incertidumbre en el umbral del estado de daño.
- b) Variabilidad en las propiedades de respuesta de los modelos de construcciones empleados.
- c) Variabilidad en la estimación del factor de ráfaga.

En la aproximación regresiva es necesario contar con información de campo, obtenida después de eventos de daño por vientos intensos, como se ilustra en la figura 2.1.5.2. Puede además recurrirse al concepto de índice de vulnerabilidad, para estimar la vulnerabilidad de zonas del país, en las cuales periódicamente se presentan daños ocasionados por vientos intensos. La aplicación de esta aproximación requiere información estadística de daños, suficientemente clasificados, para su aplicación. (Ref.16)

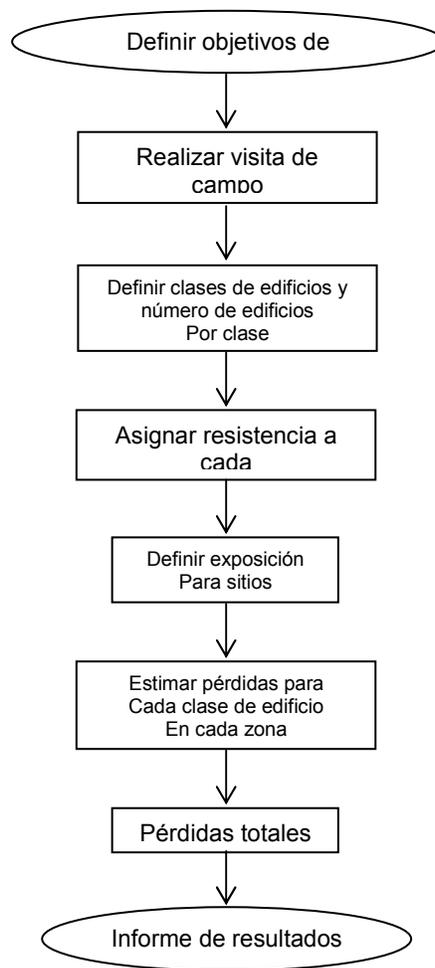


Fig. 4.5.4.- Lógica para el cálculo de pérdidas, por zonas.

Ya que en nuestro país se inicia la búsqueda de información de daños, se requerirá de tiempo para contar con información confiable. Con el fin de contar con una metodología para la estimación de riesgo de edificaciones ante vientos intensos, será necesario también recurrir a la aproximación analítica, mediante modelos matemáticos, que posteriormente sea validada. (Ref.16)

CAPÍTULO 5.- APLICACIONES A: CONSTRUCCIONES INDUSTRIALES, GRUPOS DE EDIFICIOS Y CONSTRUCCIONES COSTERAS.

5.1.- Aplicación a Construcciones Industriales.

Para el desarrollo de este tema se analizaron tres artículos encontrados en la literatura internacional, los cuales corresponden a las referencias 10, 11 y 12 del presente trabajo. De los tres artículos analizados se pudo identificar dos líneas de investigación independientes y diferentes: En la primera que corresponde a los investigadores Héctor D. López y Luis A. Godoy presentan una metodología para la estimación de daño basada en la obtención de las capacidades resistentes de tres componentes vulnerables y en la que sus principales aportaciones consisten en la recopilación de información, identificación de sistemas constructivos, selección de criterios de resistencia y la elaboración de una herramienta computacional para la estimación del daño; no se llega a elaborar curvas de vulnerabilidad o fragilidad. Una secuencia de este trabajo es el presentado por el investigador Antonio J. García P. et. Al, quien utiliza la base de datos del trabajo de Héctor D. López Y desarrolla una metodología de estimación de daño simplificada basada en curvas de fragilidad, incorporándose resistencias de conexiones atornilladas obtenidas mediante pruebas de laboratorio y la demanda inducida por el viento se realiza con el programa ETABS versión 8.5.

La otra línea de investigación corresponde al investigador Hee Jung Ham et. Al quien utiliza una base de datos de edificios diferentes a la de la línea anterior. En este trabajo se obtienen curvas de fragilidad para edificios utilizando la máquina de simulación de **Monte Carlo** para simular las cargas de viento probabilísticos y las resistencias de componentes de construcción vulnerables en base a pruebas de presión de cámara, para determinar la probabilidad de daños.

Del análisis anterior se pudo notar que el trabajo presentado por Antonio J. García et. Al. es el más completo por un lado y por otro, al utilizar un software comercial para modelar el efecto del viento también lo hace más accesible y por último es un procedimiento que está acorde con la metodología descrita en este trabajo. Por lo anterior, se ha tomado parte de esta investigación como una guía de procedimiento de aplicación para la determinación del daño por viento a través de curvas de fragilidad para construcciones industriales.

La preocupación sobre el riesgo estimado de una determinada construcción industrial existente es una preocupación genuina compartida (desde diferentes perspectivas) por los propietarios de la construcción, las compañías aseguradoras y el gobierno. Esta estimación de riesgo podría llevarse a cabo para una determinada construcción y obtener valores específicos de utilidad restringida al caso estudiado, o ser realizada de manera más general de modo de tener en cuenta tipos constructivos. Desde el punto de vista de seguros y gobierno, este último enfoque es de gran interés, con el fin de evaluar riesgos típicos en lugar de

casos particulares. En la actualidad, las metodologías de estimación de riesgos para tipos de construcciones se llevan a cabo utilizando curvas de fragilidad. (Ref. 11)

En un análisis de fragilidad se determina la probabilidad condicional de que una construcción (o un elemento estructural) experimente o exceda un estado límite predeterminado, dada la ocurrencia de una demanda en particular. Teniendo en cuenta esta definición, por ejemplo, si $P(C/v)$ representa la probabilidad de falla de la cubierta de una estructura para la velocidad de viento v (probabilidad de que los esfuerzos generados por el viento excedan la resistencia del componente), la fragilidad de la cubierta estará entonces definida como $F(C/v) = 1 - P(C/v)$. (Ref. 11)

La metodología de estimación de daño propuesta en esta investigación se conoce como **Fragilidad Basada en Componentes** o CBF por sus siglas en inglés. En esta metodología se propone un muestreo aleatorio de variables (demandas y capacidades de los componentes estructurales) con el fin de simular artificialmente el comportamiento de los sistemas bajo estudio. (Ref.11).

Caracterización de las edificaciones industriales estudiadas.

Debido a sus características estructurales y arquitectónicas (estructuras livianas con grandes superficies expuestas a viento), las edificaciones industriales pueden llegar a ser altamente vulnerables bajo la acción de vientos huracanados. Este tipo de edificaciones son usadas principalmente para el desarrollo de actividades de manufactura, así como para el almacenaje de productos y equipos. Generalmente se trata de estructuras livianas y de baja altura (menor a 10 m), con uno o dos pisos como máximo, cuyo sistema principal de resistencia consta de pórticos de acero estructural de sección W o elementos de sección variable a lo largo de su longitud (tanto en vigas como en columnas) en pórticos de un solo claro, tal como se observa en la Figura 5.1.1. (Ref. 11)

Las columnas del sistema de resistencia principal se apoyan ya sea mediante el uso de pedestales de concreto o directamente sobre zapatas o sobre la losa de cimentación. La base de la columna se conecta a una placa de acero por medio de soldadura con el fin de distribuir uniformemente las cargas de viento que soporta la estructura, que se traducen en esfuerzos de tensión y corte en la conexión. A su vez, dicha placa se fija al concreto por medio de pernos de alta resistencia o ganchos, los cuales proveen anclaje al sistema. La Figura 5.1.2. muestra los componentes anteriormente descritos, en el caso de una columna apoyada sobre un pedestal de concreto. (Ref.11)

El sistema de cubierta y fachada construido con láminas metálicas consta básicamente de tres elementos: la lámina o panel metálico, los elementos secundarios de apoyo y los tornillos de fijación de los paneles a los elementos de apoyo, tal como se observa en la Figura 5.1.3.

Las láminas metálicas se fabrican con acero galvanizado Grado 90, es decir, con un recubrimiento de 21.45 kg/m^2 (90 onzas/ft²) y un límite de fluencia que varía entre 225 y 550 MPa. Actualmente existe una gran variedad de configuraciones y calibres disponibles. Las edificaciones estudiadas en este trabajo corresponden a una de las configuraciones más comunes, la cual consta de paneles metálicos de cubierta y fachada de calibre 24. Las láminas metálicas se conectan a elementos secundarios de apoyo que generalmente son perfiles de lámina delgada doblados en frío de sección C o Z, fabricados con acero galvanizado Grado 90 y un límite de fluencia de 345 MPa. El espaciamiento entre dichos elementos varía entre 0.9 m y 2.25 m. Los componentes ubicados en el envoltorio de la edificación (láminas de cubierta y fachada, puertas y ventanas) son los encargados de transmitir las cargas de viento al sistema principal de resistencia, por medio de los elementos secundarios de apoyo. Además, estos elementos en combinación con arriostramientos en las zonas de fachada y cubierta proveen rigidez al sistema principal de resistencia ante la presencia de cargas laterales (véase la Figura 5.1.4). Las láminas metálicas se conectan a los elementos secundarios de apoyo usando tornillos auto perforantes ("self-drilling"), ya sea en los valles o crestas de la lámina (véase la Figura 5.1.5). En la mayoría de los casos se observó una preferencia por el uso de tornillos N12, con espaciamientos que dependen de la geometría de la lámina y su ubicación en la cubierta de la edificación. (Ref.11)

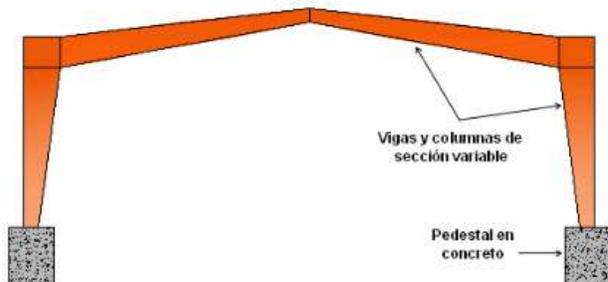


Fig. 5.1.1.- Pórtico de un claro con elementos de sección variable.

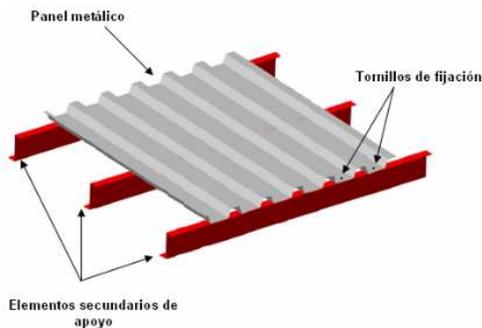


Fig. 5.1.3.- Sistema de cubierta y fachada en lámina metálica.

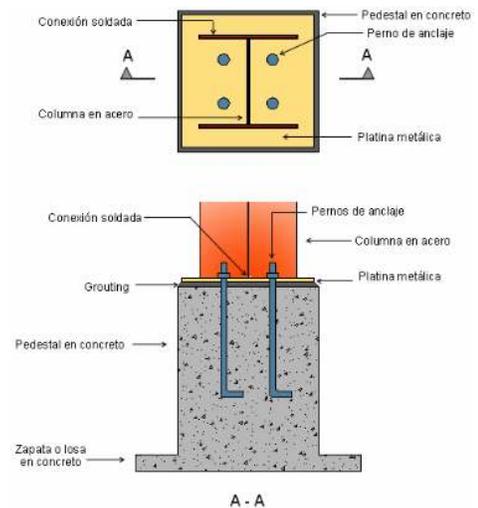


Fig. 5.1.2.- Sistema de conexión columna-cimentación y sus componentes.

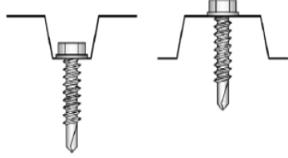


Figura 5.1.5.- Conexiones de las láminas en valles (izquierda) y en crestas (derecha).

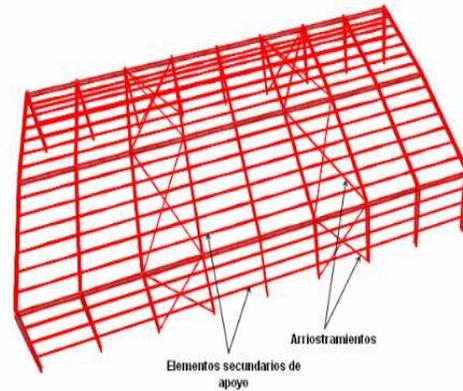


Figura 5.1.4.- Ubicación de elementos secundarios de apoyo y arriostramientos en las zonas laterales y de fachada.

Las aberturas en las fachadas de edificaciones industriales consisten en las ventanas (en vidrio o aluminio) y las puertas enrollables. El sistema de ventanas está compuesto de la placa de vidrio o la persiana en aluminio, el marco metálico de soporte y los elementos de fijación del marco. Es frecuente el uso de vidrios templados de espesor de 6.35 mm. El marco metálico de soporte sirve para asegurar las placas de vidrio o las persianas de aluminio bajo las condiciones de uso normales. A su vez, los marcos se fijan a las fachadas de bloque o concreto por medio de tornillos espaciados a lo largo del perímetro de la ventana, mientras que en el caso de fachadas en lámina metálica se fijan a los elementos secundarios de apoyo ya sea por medio de soldadura o tornillos en el ala de la sección. (Ref. 11)

Las puertas enrollables están compuestas por una cortina metálica, el marco metálico y el mecanismo de accionamiento. Las cortinas metálicas generalmente se fabrican de acero galvanizado de calibre 20 como mínimo, de acuerdo con información contenida en planos de construcción. El marco metálico sirve como guía cuando se abre y/o cierra la cortina metálica y el mecanismo de accionamiento puede ser manual o automático.

Metodología.

En esta investigación se consideraron cuatro componentes vulnerables de la edificación bajo la acción de vientos intensos, de acuerdo con investigaciones que están ampliamente documentadas en la literatura. Estos son: **Sistemas de cubierta** y **fachada** en lámina metálica, **aberturas** y el **sistema de conexión columna-cimiento**. Las curvas de fragilidad por componente que resultan de la implementación computacional de estas tareas se utilizaron como datos de entrada en un algoritmo de combinación para obtener la fragilidad de una de las configuraciones típicamente usadas en edificaciones metálicas. Ésta consta de sistemas de cubierta y fachada con conexiones atornilladas en láminas metálicas de calibre 24. Se consideraron tres categorías de conexiones para las láminas metálicas: en las convencionales (C) se emplean conexiones atornilladas en los valles de la lámina; en las no convencionales (NC), se emplean conexiones en las

crestas de la lámina; y en las mejoradas (M) se usan arandelas de mayor diámetro en las conexiones. Adicionalmente se analizaron las consecuencias de proteger los sistemas de aberturas de la edificación. (Ref.11)

Para la estimación de daños, la metodología de trabajo siguió las siguientes etapas:

- Establecer el grupo de edificaciones bajo estudio
- Generar las demandas mediante simulaciones aleatorias
- Evaluar las capacidades resistentes en cada uno de los componentes vulnerables
- Definir la matriz de daño
- Obtener las curvas de fragilidad

Grupo de edificaciones bajo estudio.

Se usó una base de datos desarrollada por López (2005), de la que se escogieron 12 edificaciones tipo. Tomando como parámetro de variación tres patrones comunes de espaciamiento entre los tornillos de conexión de las láminas metálicas de cubierta, se generó una población base de 36 unidades. El alcance de esta investigación se limita a estructuras de baja altura (menores a 18.3 m) y que tengan forma regular en planta y en altura; la mayoría de edificaciones observadas en el inventario cumplen con estos requisitos. Las tareas llevadas a cabo en esta etapa de la investigación incluye la determinación de las características geométricas de la edificación, espaciamiento entre elementos secundarios de apoyo, calibre de las láminas de cubierta y fachada, número de paneles, número de tornillos por panel y espaciamiento de los tornillos (Ref.11).

Generación de demandas de viento mediante simulaciones aleatorias.

Se construyó una base de datos con las edificaciones bajo estudio y a cada una de ellas se les asignó un número de clasificación. Para cada velocidad de viento, n número de estructuras se seleccionan de la base de datos, algunas de ellas más de una vez y a cada una de ellas se les asigna una dirección de viento. La metodología requiere la generación de demandas (que en este caso son presiones de viento) aleatorias en una rutina de simulación, con el fin de evaluar la resistencia de cada componente vulnerable. La presión de diseño de viento dada por ASCE 7-05 es determinística. Para tener en cuenta las incertidumbres en las demandas, se introdujo una expresión que permite generar diferentes demandas, V para cada edificio analizado a partir de una velocidad de ráfaga de viento de 3 segundos V_o : (Ref.11).

$$V = V_o[1 + \zeta COV(V)] \text{ ----- (5.1.1)}$$

Donde ζ es un número aleatorio que varía entre -1 y 1. El coeficiente de variación $COV(V)$ se tomó como 0.1. En el algoritmo de simulación, las velocidades de viento V_0 varían de 50 mph a 250 mph con intervalos de 5 mph. Adicionalmente, la ecuación de presión de viento dada por la ASCE 7-05 se modificó en la forma: (Ref.11).

$$p = 0.8q_u \left[(GC_p) - (GC_{pi}) \right] \dots\dots\dots (5.1.2)$$

El factor 0.8 se adicionó para contrarrestar el factor de seguridad que está incluido en la Norma ASCE 7-05. El factor que se obtiene de ASCE 7-05 y los valores de los coeficientes de presión externa GC_p se obtuvieron dependiendo del tipo de componente (estructural o no estructural), de acuerdo con las definiciones dadas en el método 2 de la norma ASCE (ASCE, 2005; pp. 49, 55, 56). El factor GC_{pi} se tomó igual ± 0.18 , correspondiente a una clasificación de cerramiento “cerrada” (ASCE, 2005; pp. 47), de acuerdo con el porcentaje de aberturas en fachadas obtenido de los planos revisados. En todos los modelos se consideró categoría de exposición C, mientras que el factor de direccionalidad K_d , el factor topográfico K_{zt} y el coeficiente de importancia I se supusieron iguales a uno. (Ref.11)

Matriz de daño de la edificación

La matriz de daño propuesta en este trabajo, que se muestra en la Tabla 5.1.1, consta de filas y columnas que definen estados de daño y demandas sobre los componentes de la edificación, respectivamente. Los límites de daño se basan en los establecidos en el programa HAZUS (FEMA, 2003). Adicionalmente se modeló el daño en el sistema de conexión columna-cimentación. (Ref.11)

Es posible definir dos tipos de falla de los componentes: La primera (y más común) es la falla progresiva y se presenta en las aberturas y en los sistemas de cubierta y fachada en lámina metálica. El segundo tipo de falla responde a fallas repentinas, y su análisis se asocia a una proposición de tipo “Sí” o “No”. Este es el caso del sistema de conexión columna-cimentación y se supone que ocurre falla cuando se alcanzan condiciones límites en al menos tres pórticos consecutivos (llevando supuestamente al colapso de la estructura). (Ref.11)

Tabla 5.1.1: Matriz de daño para edificaciones industriales modificada de HAZUS (FEMA, 2003)

Estado de daño	Fallas en el sistema de cubierta en lámina metálica	Fallas en el sistema de fachada en lámina metálica	Fallas en las aberturas en fachadas	Fallas en la conexión columna-cimentación
Menor	No	Un panel	Una	No
Moderado	Uno o dos paneles	> Uno y $\leq 1.5\%$	> Una y $\leq 33\%$	No
Severo	> 2% y $\leq 33\%$	> 15% y $\leq 33\%$	> 33% y $\leq 75\%$	No
Total	> 10%	> 33%	> 75%	Si

Obtención de las curvas de fragilidad.

Durante el proceso de simulación de daño, para cada velocidad de viento V_0 se calcula el estado de daño correspondiente por componente (1 para daño menor, 2 para daño moderado, 3 para daño severo y 4 para daño total) en cada uno de los n edificios evaluados. Se ha analizado cada edificación bajo dos direcciones de viento asignadas aleatoriamente (paralela y perpendicular a la cumbrera). Las edificaciones son escogidas aleatoriamente de la base de datos, de modo que algunas resultan escogidas más de una vez. Luego, a cada edificio se le asigna el estado de daño correspondiente. Si una edificación presenta estado de daño 4, se la cuenta en los estados menor, moderado, severo y total, debido a la naturaleza acumulativa de las curvas de fragilidad.

Este proceso se repite con velocidades de viento V_0 que van entre 50 y 250 mph, con intervalos de incremento de 5mph. A continuación se grafican los números acumulados usando las velocidades de viento V_0 en las abscisas y se ajustan los datos a una función de **distribución acumulativa log-normal**. La probabilidad $P_x(w)$ de que un cierto nivel de daño ocurra o sea excedido a una velocidad de ráfaga de 3 segundos w está dada por:

$$P_x(w) = \Phi\left(\frac{\ln w - \mu_{\ln X}}{\sigma_{\ln X}}\right) \dots\dots\dots (5.1.3)$$

Los parámetros estadísticos $\mu_{\ln X} = X$ y $\sigma_{\ln X} = \sigma$ se varían hasta que las diferencias al cuadrado entre los valores de la curva de ajuste log-normal y los datos de la simulación sean mínimos. La función $\Phi(z)$ representa la distribución acumulativa para la variable normal estandarizada Z , con valor medio $\mu = 1$ y desviación estándar $\sigma = 1$:

$$\Phi(z) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^z \exp\left(\frac{-v^2}{2}\right) dv \dots\dots\dots (5.1.4)$$

Fragilidad del sistema de cubierta y fachada en lámina metálica.

Las demandas por presión uniforme en cubierta y fachada se calculan aquí basándose en los coeficientes de presión externa de los componentes no estructurales (en inglés se usa la designación “Components and Claddings”), dados en la Norma ASCE (ASCE, 2005; Figura 6-11A y Figura 6-11B). La Tabla 5.1.2 muestra las resistencias de conexiones atornilladas bajo diferentes configuraciones, para láminas de calibre 24, obtenidos mediante pruebas a escala real. De prototipos con conexiones en: (a) valles (identificado como S1), (b) crestas de la lámina (S2) y (c) valles, pero incluyendo arandelas de mayor diámetro (S3).

La capacidad al arrancamiento C de un panel individual puede tomarse como la suma de las resistencias individuales promedio $C_{conexión}$ de sus conexiones atornilladas; esto puede expresarse mediante la ecuación:

$$C = \sum_{i=1}^N (C_{conexión}) (1 + \zeta_i cov(C)) \text{ ----- (5.1.5)}$$

donde Nt es el número de tornillos por panel; ζ_i es un número aleatorio que varía entre -1 y 1 y permite obtener resistencias en un rango que varía entre $0.9 C_{conexión}$ y $1.1 C_{conexión}$; y $COV(C)$ es el coeficiente de variación de la conexión atornillada, que se adopta igual a 0.1.

Tabla 5.1.2.- Resistencia de las conexiones atornilladas, por tipo de conexión y espesor de lámina

Prototipo	Calibre	Resistencia experimental (N)	Resistencia ajustada (N)	COV
S1	24	834	871	0.1
S2	24	974	1005	0.1
S3	24	1668	1649	0.1

Durante el proceso de simulación las demandas y capacidades en cada uno de los tornillos del panel se asignan independientemente y se considera que ocurre falla de un panel cuando se cumple la condición:

$$D - C > 0 \text{ ----- (5.1.6)}$$

donde D es la demanda en un panel y C es la capacidad definida en la ecuación 5.1.5, ambas en unidades de fuerza. La demanda se calcula como:

$$D = \sum_{i=1}^{Nt} (D_{conexión}) (1 + \zeta_i cov(D)) \text{ ----- (5.1.7)}$$

donde Nt y ζ_i fueron definidos para la ecuación (5.1.5); $COV(D)$ es el coeficiente de variación en las demandas por tornillo que se adopta igual a 0.1, ya que en realidad las presiones de viento no se distribuyen por igual en cada conexión; y $D_{conexión}$ es la demanda por tornillo que es igual a la presión de viento de diseño p por zona de la edificación multiplicada por el área tributaria del tornillo A :

$$D_{conexión} = p.A \text{ ----- (5.1.8)}$$

Durante la simulación se evaluó el desempeño de cada panel metálico mediante la ecuación (5.1.6); dependiendo del valor obtenido se determina si se presenta o no, falla del elemento. A continuación se calcula el porcentaje de paneles de cubierta que fallan en la edificación. Este porcentaje se compara con los límites dados en

la Tabla 5.1.1, asignando el estado de daño correspondiente, es decir, 1 para daño menor, 2 para daño moderado, 3 para daño severo y 4 para daño total.

Las fragilidades de sistemas de cubierta S1, S2 y S3 se muestran en la Figura 5.1.6. Las curvas de fragilidad de sistemas de fachada fueron obtenidas siguiendo el mismo procedimiento explicado anteriormente. Las curvas correspondientes a fachadas tipo S1 se muestran en la Figura 5.1.7(a). El uso de conexiones en las crestas de la lámina es casi exclusivo de los sistemas de cubierta, por lo que las fragilidades de sistemas de fachada S2 no fueron tenidas en cuenta en este trabajo. Las curvas correspondientes a sistemas S3 se muestran en la Figura 5.1.7. (b).

Fragilidad de aberturas.

Las demandas por presión uniforme en todas las aberturas se calcularon usando los coeficientes de presión externa para componentes no estructurales. En el caso de los sistemas de ventanas se considera que también son susceptibles a daños causados por impacto de escombros, suponiendo conservativamente que éstos golpean tanto la fachada de barlovento como una de las fachadas laterales.

De acuerdo con un modelo utilizado por García (2007), se supone que la capacidad de las ventanas de vidrio bajo presión uniforme está controlada por el valor mínimo entre la capacidad del vidrio y la resistencia a cortante de los tornillos que conectan el marco de la ventana al sistema de fachada. En el caso de las ventanas de aluminio solo se evalúa la capacidad del marco. El número de tornillos usados en cada marco varía entre cuatro y seis, independiente del tamaño o tipo de tornillo usado. La tabla 5.1.3 muestra las resistencias usadas por componente. (Ref.11)

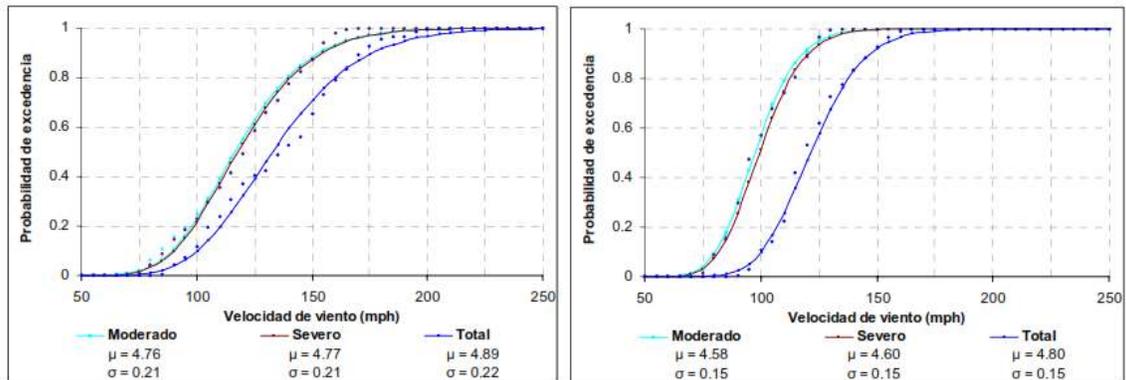
Para cada velocidad de viento se registró el número de fallas y éstas se combinaron con los resultados del modelo de impacto, asegurándose que una ventana no fuera contada dos veces.

Durante un huracán, el viento levanta y arrastra escombros con suficiente fuerza para dañar e incluso penetrar el sistema de ventanas de una edificación. En esta investigación se usó un modelo de impacto simple, que da la probabilidad de que una ventana sea golpeada y dañada por escombros. (Ref.11)

$$p_D(w) = 1 - \exp(-A \cdot N_A \cdot B \cdot C \cdot D) \dots \dots \dots (5.1.9)$$

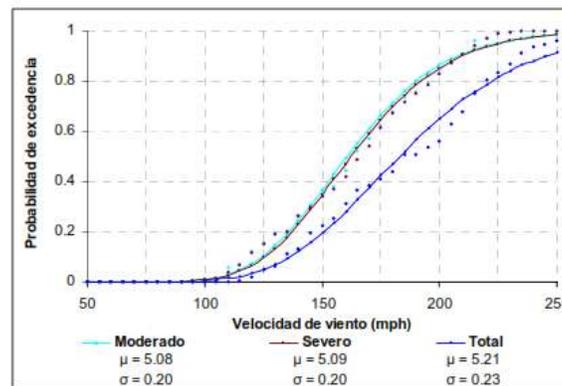
donde w es la velocidad de ráfaga de viento de tres segundos a la cual se evalúa la probabilidad de daño $p_D(w)$; A y N_A están relacionados con el número potencial de proyectiles en el aire durante un huracán; el parámetro B es el porcentaje de proyectiles que golpean la edificación, que depende de la velocidad de viento; C representa el porcentaje de ventanas respecto al área de la fachada y D indica si el impacto del proyectil fue lo suficientemente grande como para causar daño en

la ventana. En el caso de las puertas enrollables se suponen que éstas son resistentes a impacto.



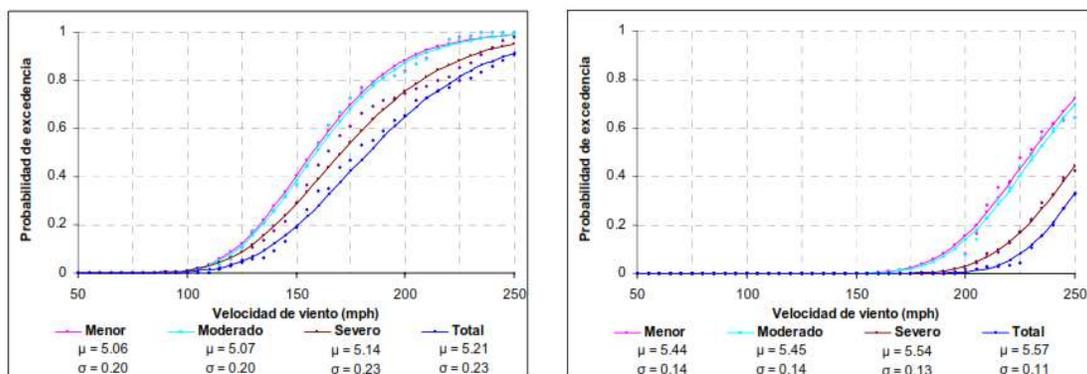
(a)

(b)



(c)

Fig. 5.1.6.- Curvas de fragilidad de sistemas de cubierta; (a) Sistemas de cubierta tipo S1; (b) Sistemas de cubierta tipo S2; (c) Sistemas de cubierta tipo S3.



(a)

(b)

Fig. 5.1.7.- Curvas de fragilidad de sistemas de fachada; (a) Sistemas de fachada tipo S1; (b) Sistemas de fachada tipo S3.

Tabla 5.1.3.- Resistencias de los componentes del sistema de aberturas

Componente	Resistencia promedio	COV
Cristal, Templado	7182 Pa	0.4
Tornillos	3559 N ^(a) ; 11010 N ^(b)	0.2
Puertas enrollables (convencionales)	1484 Pa	0.4
Puertas enrollables (resistentes a huracanes)	2394 Pa	0.1

(a): tornillos “dry-wall” ; (b): tornillos de madera.

Las curvas de fragilidad del sistema de aberturas se muestran en la Figura 5.1.8(a). En la Figura 5.1.8 (b) se muestran las fragilidades teniendo en cuenta sistemas de ventanas protegidos con tormenteras y puertas enrollables resistentes a huracanes. El efecto de las tormenteras se logra, de manera simplificada, eliminando el sistema de ventanas de la simulación. (Ref.11)

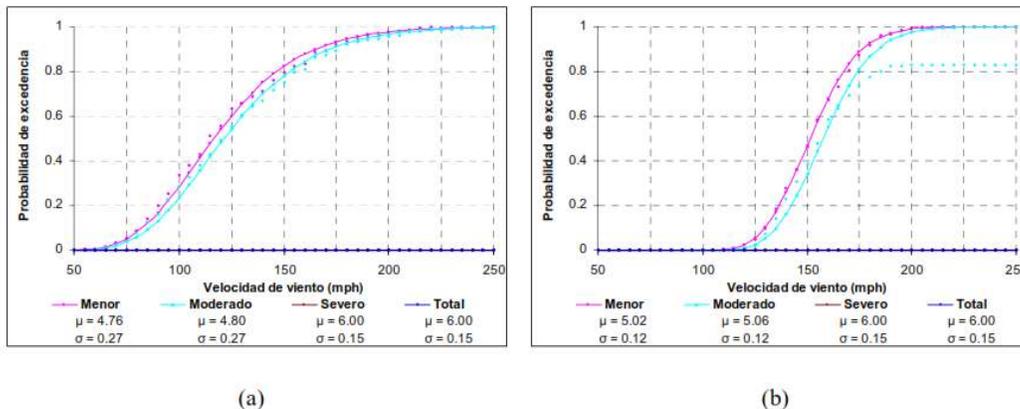


Fig. 5.1.8.- Curvas de fragilidad del sistema de aberturas en edificaciones industriales; (a) sin protección en las aberturas; (b) con protección en las aberturas.

Fragilidad del sistema de conexión columna-cimentación.

Un anclaje ubicado lejos del borde de un elemento de concreto y sometido a cargas de tensión, se supone que desarrollará un cono de falla en el concreto, como se observa en la Figura 5.1.9. (a) (Newman, 2004). En la mayoría de diseños se usan anclajes espaciados cercanamente, lo que hace que sus conos de falla se traslapen parcialmente (Figura 5.1.9. (b)). Los anclajes utilizados cerca de los bordes de un pedestal solo desarrollarán parcialmente un cono de falla.

Frecuentemente durante el diseño de anclajes sobre pedestales se tiene en cuenta la capacidad del refuerzo vertical del pedestal, para transferir las cargas de tensión a la cimentación. Los estribos alrededor de las barras verticales confinan el elemento, ayudando a transferir fuerzas cortantes y evitando el agrietamiento del concreto. Las barras de anclaje deben tener una longitud embebida en el pedestal que sea al menos igual al largo de la longitud de desarrollo l_d .

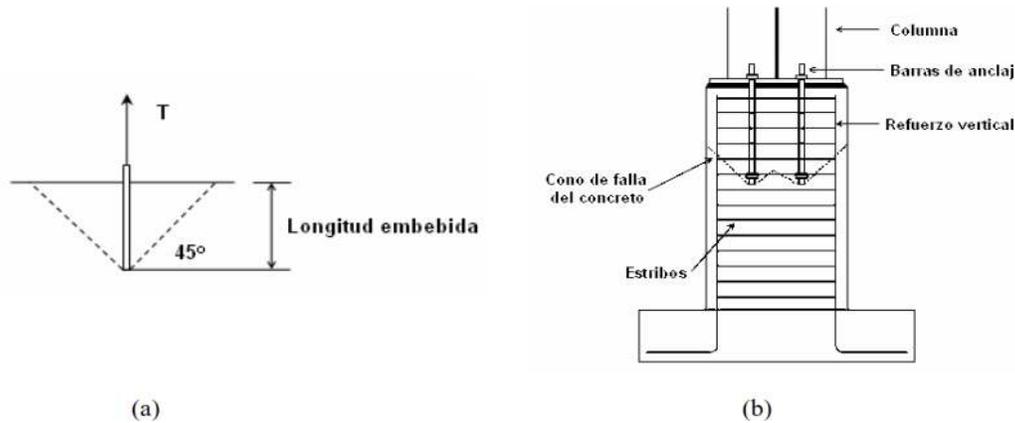


Figura 5.1.9: Conos de falla en el concreto: (a) completo, en un anclaje aislado (Newman, 2004); (b) traslapado parcialmente

La capacidad a tensión de un anclaje depende de las capacidades a tensión de las barras de anclaje y del cono de falla de concreto. Generalmente durante el diseño se dimensionan los elementos de tal forma que bajo condiciones extremas se presente una falla dúctil, es decir, asegurándose que el cono de falla del concreto sea más resistente en tensión que las barras de anclaje de acero. La Tabla 5 muestra las resistencias obtenidas en el caso de columnas apoyadas sobre pedestales de concreto reforzado. (Ref.11)

En la Tabla 5.1.4, V_b es la resistencia a cortante de las barras (ACI 318, 2005; ecuación D-20); V_n es la resistencia a cortante del pedestal (ACI 318, 2005; ecuación 11-2); V_c es la resistencia a cortante del concreto para miembros sometidos a tensiones significativas (ACI 318, 2005; ecuación 11-8) de tal forma que es una resistencia variable con la demanda sobre el elemento U_n y sólo puede evaluarse en la rutina de simulación; y N_u es la fuerza axial factorizada normal a la sección transversal del elemento y se toma negativa para tensión. (Ref.11)

De acuerdo con el Comentario RD.7 de la Norma ACI 318-05, la resistencia del anclaje bajo esfuerzos combinados de tensión y corte, puede calcularse por medio de la ecuación de interacción:

$$\left(\frac{N_{ua}}{\phi N_n}\right)^\xi + \left(\frac{V_{ua}}{\phi V_n}\right)^\xi \leq 1.0 \text{ -----(5.1.10)}$$

Tabla 5.1.4.- Capacidades a tensión y cortante de las conexiones estudiadas en columnas apoyadas sobre un pedestal de concreto reforzado.

Conexión Tipo	Resistencia Tensión (kN)	Parámetros de la capacidad a cortante			Resistencia cortante (kN)	COV
		V_b (kN)	V_s (kN)	V_c (kN) $f(N_u)$		
5	164.58	207.29	151.68	$136.11+8.41*10^{-4}N_u$	(a)	0.1
6	625.42	396.34	171.26	$170.36+8.54*10^{-4}N_u$	(a)	0.1
7	625.42	396.34	190.83	$209.06+8.63*10^{-4}N_u$	(a)	0.1
8	476.85	290.91	190.83	$209.06+8.63*10^{-4}N_u$	(a)	0.1
9	61.83 ^(b)	--	--	--	81.40 ^(b)	0.1

(a): El menor valor entre V_b y V_n (donde $V_n = V_s + V_c$); (b): Calculado usando el Apéndice D de la norma ACI 318-05, suponiendo que el pedestal no tiene refuerzo.

donde N_{ua} y V_{ua} representan, respectivamente, las fuerzas de tensión y cortantes mayores aplicadas al anclaje, pero que en nuestro caso son las fuerzas netas resultantes de aplicar la combinación de carga muerta más carga de viento, aplicando un factor de amplificación igual a 1. N_n y V_n son, respectivamente, las resistencias nominales en tensión y cortante que se muestran en las Tablas 5.1.4. El factor de reducción de capacidad ϕ se toma igual a 1. Según el comentario RD.7 de la Norma ACI 318-05, el exponente ζ se supone igual a 5/3.

A diferencia de los componentes no estructurales, la complejidad en la determinación de demandas inducidas por viento en estructuras estáticamente indeterminadas hizo necesario recurrir a herramientas computacionales más sofisticadas. Mediante la revisión de planos constructivos se procedió a realizar 12 modelos computacionales en el programa ETABS versión 8.5 (CSI, 2004), correspondientes a las edificaciones bajo estudio, con el fin de determinar las demandas debido a viento, las cuales se traducen en la aparición de fuerzas de tracción y corte en la conexión columna-cimiento.

La metodología de simulación requiere determinar para cada edificación dos ecuaciones que definan la variación de las reacciones horizontales y las reacciones verticales de una columna que se llaman crítica en función de la presión en la fachada de barlovento, es decir, la primera columna que experimenta arrancamiento debido al efecto combinado de fuerzas cortantes y de tensión. Esta variación, que es lineal, se obtuvo mediante análisis estáticos lineales de los modelos bajo dos velocidades de ráfaga de tres segundos diferentes, V_0 y V_1 . Las presiones asociadas en la fachada de barlovento p_0 y p_1 se calculan con la ecuación:

$$p = q_h[(GC_p) - (GC_{pi})] \text{-----}(5.1.11)$$

El valor de q_h se obtiene de ASCE 7-05 (ASCE, 2005; ecuación 6-15) mientras que GC_p es el correspondiente al producto del factor de ráfaga por el coeficiente de presión externa en la fachada de barlovento (ASCE, 2005; Figura 66). Para considerar el caso más crítico se adoptó $GC_{pi} = -0.18$ ya que las presiones internas negativas favorecen el incremento de las fuerzas de succión en la

cubierta y por consiguiente la magnitud de las reacciones verticales en las conexiones.

Las reacciones en la base de las columnas pueden obtenerse mediante la relación:

$$R_i = m \cdot p_i + b \quad \text{----- (5.1.12)}$$

donde R_i es el valor de la reacción horizontal o vertical en la columna crítica y p_i es la presión en la fachada de barlovento asociada a la velocidad de viento de ráfaga de tres segundos V_i . Los valores de la pendiente de la recta m y la intercepción con el eje de las reacciones b fueron obtenidos para cada una de las edificaciones estudiadas, los cuales dependen básicamente de la dirección de viento analizada.

Se definió el daño en el sistema de conexión columna-cimiento como la falla de al menos tres pórticos consecutivos (colapso de la estructura), ya que suponer daño en una sola columna conduciría a resultados demasiado conservadores. Debido a lo anterior se llevó a cabo un estudio detallado de una de las edificaciones de la base de datos mediante el uso del programa ETABS y de esta forma se estimó la capacidad residual en términos de presión de viento Δp que tiene la estructura entre la falla de la primera columna y el colapso total. La principal conclusión a la que se llegó con este análisis es que la capacidad residual de resistencia de la estructura una vez se presenta falla de la primera columna, es bastante limitada (entre un 7% y un 20% de la velocidad inicial de falla V). Teniendo en cuenta lo anterior, se supuso una velocidad de falla del sistema V_{col} igual a $1.07V_{ff}$ que corresponde al valor mínimo obtenido en los dos modelos de presiones. Durante el proceso de simulación en cada edificación muestreada se calculó la velocidad de falla V de la primera columna bajo esfuerzos combinados de tensión y corte, mediante el uso de la ecuación de interacción dada en la ecuación (5.1.10) y su respectiva velocidad de colapso V . Si las velocidades de viento generadas aleatoriamente resultaban mayores que V_{col} , se registró estado de daño total. La curva de fragilidad correspondiente se muestra en la Figura 10. A partir de una velocidad de ráfaga de 120 millas por hora se registra colapso en edificaciones con conexiones débiles, lo cual es consistente con la información histórica disponible. (Ref.11)

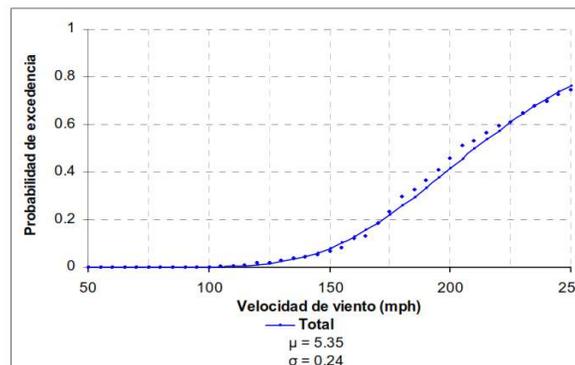
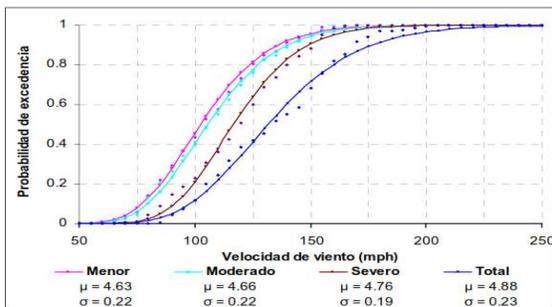


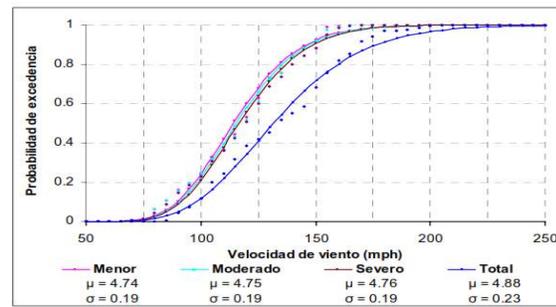
Figura 5.1.10.- Curva de fragilidad del sistema de conexión columna-cimentación

Fragilidad de sistemas

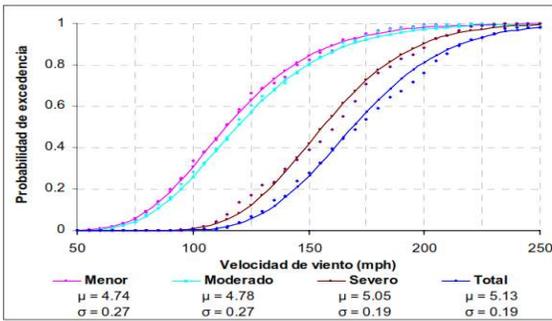
La metodología para obtener las curvas de fragilidad del sistema está basada en el algoritmo de combinación propuesto por García (2007), que supone igual contribución de cada componente vulnerable al daño del sistema, es decir, independientemente de cuál sea el componente que presente el mayor estado de daño, la estructura caerá bajo la misma designación de daño. Las fragilidades correspondientes a sistemas convencionales (C), no convencionales (NC) y mejorados (M) se muestran en las Figura 5.1.11(a), (b) y (c). El efecto de la protección en las aberturas (AP) se muestra en las Figuras 5.1.11 (d), (e) y (f).



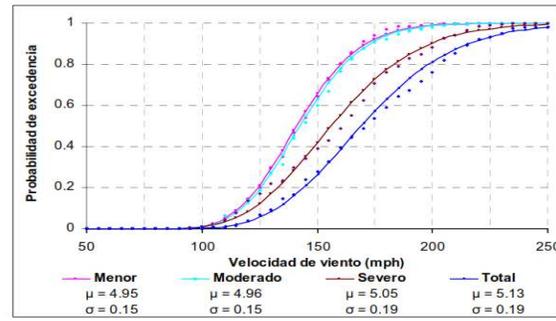
(a)



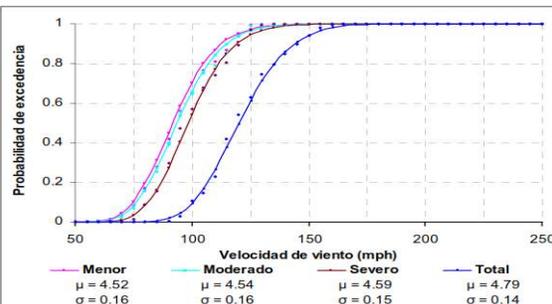
(d)



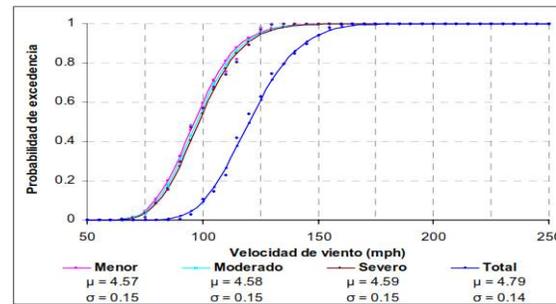
(c)



(f)



(b)



(e)

Figura 5.1.11: Familia de curvas de fragilidad de sistemas c; a) Sistemas; b) Sistemas Nc; c) Sistemas M; d) Sistemas c (AP); e) Sistema Nc (AP); f) Sistemas M (AP).

5.2.- Aplicación a Grupos de Edificios.

La última década de los Estados Unidos estuvo caracterizada por una pérdida en propiedades atribuidas a daños por viento, generándose en el proceso, una gran conciencia para ligar los problemas de predicción de tormentas y su mitigación de daños por viento.

El investigador Cristian O. Unanwa et al. En el año 2000 desarrolla el concepto de bandas de daño, el cual es apropiado para abordar el problema de la predicción de daños a edificios individuales o a grupos y para la disminución o mitigación de daño por viento.

La metodología de predicción por bandas de daño emplea una técnica de ponderación objetiva obtenida para factores de costos de componentes de edificios, componentes de fragilidad y parámetros de ubicación para obtener límites superior e inferior para los umbrales de daño de edificios. Las bandas de daño son desarrolladas para edificios de 1 a 3 niveles (rango-bajo), así como para edificios de 4 a 10 niveles (rango-medio). Las bandas de daño revelan que la respuesta de daño por viento de edificios individuales de 1 a 3 niveles es más fácilmente distinguida en el régimen de viento de 43 a 60 m/seg (Para 1 min. de Vel. Media Sostenida) y para aquellas velocidades arriba de 73 m/s para edificios de 1 a 3 niveles pueden experimentar destrucción total inmediata de sus superestructuras, con la respuesta de daño de la mayor y menor resistencia al viento ambas construcciones se van acercando. (Según se ilustra en las figuras 5.2.1, 5.2.2, y 5.2.4). En contraste, la respuesta al daño de edificios de niveles medios es más fácilmente distinguida en el régimen de velocidades de viento de 60 a 81 m/s y continúa dependiendo en gran parte de sus elementos y conexiones (se ilustra en la figura 14). Las bandas de daño por viento constituyen las bases para nuevos métodos de predicción de daño por viento de edificios individuales y grupos de edificios, la mitigación de daños por viento y la planeación de la gestión de emergencia.

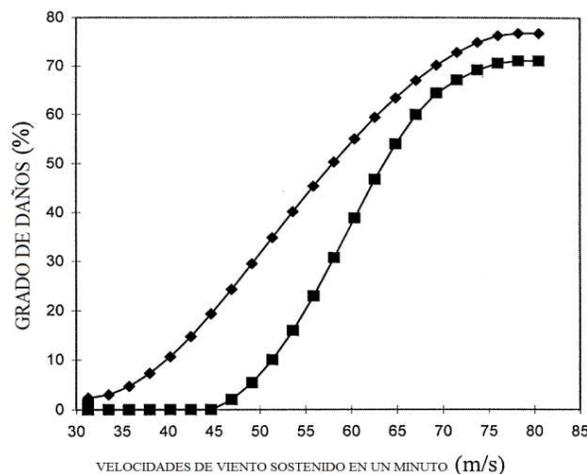


Fig. 5.2.1.- Banda de daños por vientos para edificios residenciales de 1-3 pisos. ◆ Superior, ■ inferior.

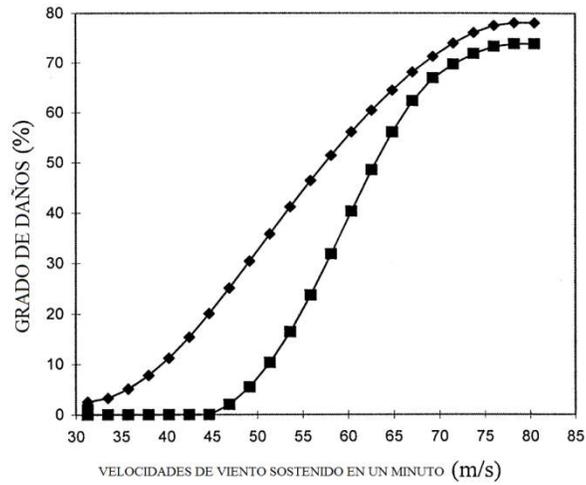


Fig. 5.2.2.- Banda de daños por vientos para edificios comercial/industrial de 1-3 pisos. ◆ Superior, ■ inferior.

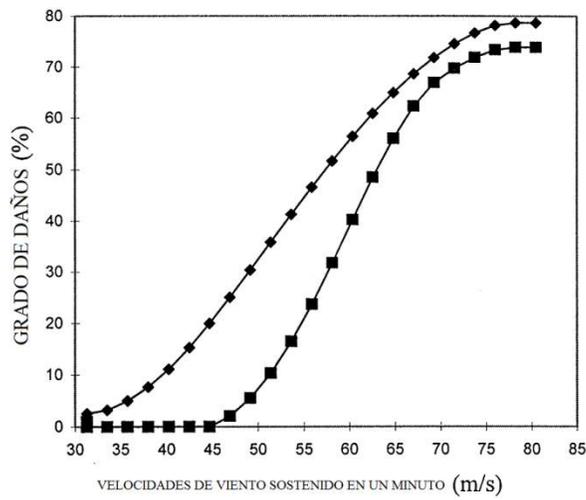


Fig. 5.2.3.- Banda de daños por vientos para edificios institucionales de 1-3 pisos. ◆ Superior, ■ inferior.

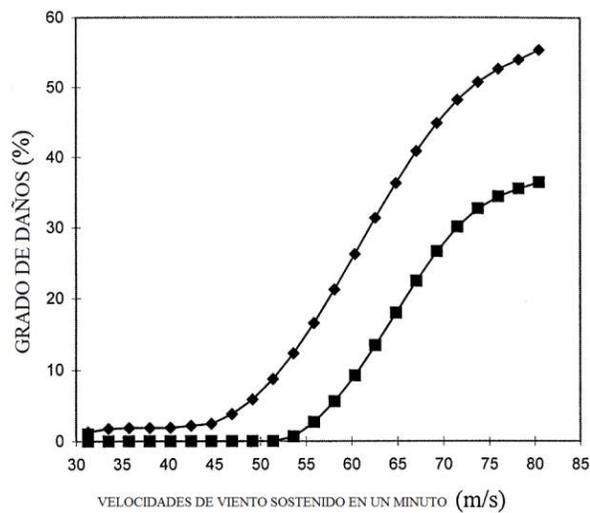


Fig. 5.2.4.- Banda de daños por vientos para edificios de mediana altura de 4-10 pisos. ◆ Superior, ■ inferior.

Uso de las bandas de de daño por viento: La construcción de bandas daños por viento se desarrollan para clases específicas (o tipos) de edificios tal como se representa en las Figuras de la 5.2.1 a la 5.2.4. Las relaciones de velocidades del viento-grado de daño superior e inferior (también conocida como funciones de daño) definen los límites de una banda de daños. El grupo así definido contiene las funciones de daño para todos los edificios de la clase de ocupación para la que se desarrolló la banda de daños. El límite superior de una banda de daño puede ser pensado como la representación de la función de daños por viento de los edificios menos resistentes a los vientos en esa clase de ocupación. A la inversa, el límite inferior de una banda de daño corresponde a la función de daño de la construcción más resistente al viento para la clase de ocupación del edificio. Esta información es vital para la predicción de daños en edificios individuales. Las bandas de daños en edificios se emplean con la construcción de atributos para determinar la vulnerabilidad de daños por el viento de los edificios individuales, grupos de edificios y para la mitigación de los daños del viento. Los atributos de un edificio dado determinan la función de daño de dicho edificio, que se encuentra entre los límites superior e inferior de la banda de daño para esa clase de construcción.

La decisión de utilizar bandas de daño obtenidas sobre la base de grupos de ocupación del edificio o sobre la base de un tipo particular de ocupación de la edificación depende de la clase de ocupación o uso del edificio para su aplicación. Puesto que una banda de daño es finalmente utilizada en conjunción con las resistencias relativas de los edificios para predecir el daño a los edificios individuales y grupos de edificios, se recomienda que las bandas de daños basadas en los factores de costo del tipo específico de edificio bajo consideración sea usada en la determinación del grado de daño de un edificio individual en lugar de los factores de costo para la clase de grupos de ocupación de los edificio. Para el análisis de cartera o de portafolio, sin embargo, se recomiendan las bandas de daño basadas en factores de costo promedio para grupos de ocupación de edificios.

5.3.- Aplicación a Construcciones Costeras.

En las zonas costeras, se requieren una localización y evaluación precisa de la vulnerabilidad de cualquier estructura propuesta, incluyendo la naturaleza y el alcance de los riesgos costeros. No identificar y diseñar correctamente contra los peligros costeros pueden llevar a consecuencias graves, con mayor frecuencia el daño o destrucción de la construcción.

Los peligros naturales que afectan a las zonas costeras, son principalmente: vientos fuertes, inundaciones, erosiones y terremotos. (Ref. 1)

Los vientos fuertes son capaces de imponer grandes fuerzas laterales (horizontales) y elevación (vertical) en los edificios. Edificios residenciales pueden sufrir daños por el viento extenso cuando están mal diseñados y construidos y cuando la velocidad del viento es superior a los niveles de diseño (ver Figuras 5.3.1, 5.3.2 y 5.3.3).



Fig. 5.3.1 El huracán Andrew (1992). Destrucción de la pared típico fracaso de la primera planta de estructura de madera del edificio en Dade County,



Fig. 5.3.2.- El huracán Niki (1992), Condado de Kauai, Hawái. Pérdida del revestimiento del techo debido a un diseño inadecuado clavado de la madera.



Fig. 5.3.3.- El huracán Fran (1996). Caso extremo de socavar la cimentación localizada en una casa de losa sobre el grado en Topsail Island, Carolina del Norte.

Caracterización de las edificaciones costeras del estado de Chiapas.

La mayoría de este tipo de construcciones se caracterizan por estar provistas de un techo ligero el cual puede consistir de palma o manáca, lámina galvanizada, lámina metálica acanalada, lámina de cartón, o teja de barro, y pocas son las que poseen losa de concreto reforzado. Sus elementos de apoyo pueden consistir de postes de tronco de árboles, polines de madera, columnas metálicas a base de canal monten soldado o PTR o bien columnas aisladas de concreto y sus sistemas de fachada o paredes pueden consistir de tablas, mampostería de block o tabique a veces a media altura o muros mixtos con mampostería y tabla.

La mayoría de estas construcciones sirven como vivienda y algunas pocas para comercio. Se trata generalmente de estructuras ligeras, de baja altura menor a (6 m), con uno o dos pisos como máximo, con un sistema principal de defensa (resistencia) consistente en postes o columnas de madera, metálica o concreto ahogados o empotrados en tierra simple o con pedestales de concreto simple; y sobre estos se apoyan las vigas principales las que a su vez servirán de soporte a las vigas secundarias, las que a su vez apoyaran directamente a la techumbre, por el tipo de materiales y la forma en la que están estructuradas se puede notar que la mayoría de estas construcciones son altamente vulnerables al efecto del viento.

Para mostrar la aplicación de la metodología del desarrollo de curvas de vulnerabilidad (fragilidad) se está proponiendo un prototipo de vivienda (el más común) de varios diferentes que podrían encontrarse en la zona costera del estado de Chiapas.

La vivienda en su planta consta de un área de usos múltiples de 4.00 m, por 6.00 m y dos recámaras o dormitorios de 3.00 m por 4.00 m (Fig. 5.3.4.) se encuentra estructurada a base de polines principales de soporte de 4" por 4" y secundarios de 3" por 3" ahogados en pedestales de concreto simple sobre los cuales apoyan vigas principales de madera sólida de 2" por 4" (Fig. 5.3.5 y 5.3.6). sobre las vigas principales se apoyan las vigas secundarias de 2" por 3", las cuales sirven de apoyo a la lámina ondulada galvanizada calibre 32; las que se sujetan a dichas vigas por medio de clavos de alambre de acero de 2 ½ ", (Fig. 5.3.7). Se muestran detalles de conexión de viga principal a polines (Fig. 5.3.10), de viga secundaria a viga principal (Fig. 5.3.11) y de conexión de lámina a viga secundaria (Fig. 5.3.12).

Prototipo de Vivienda 1 para zona costera del estado de Chiapas.
 (Techo de lámina y paredes de madera).

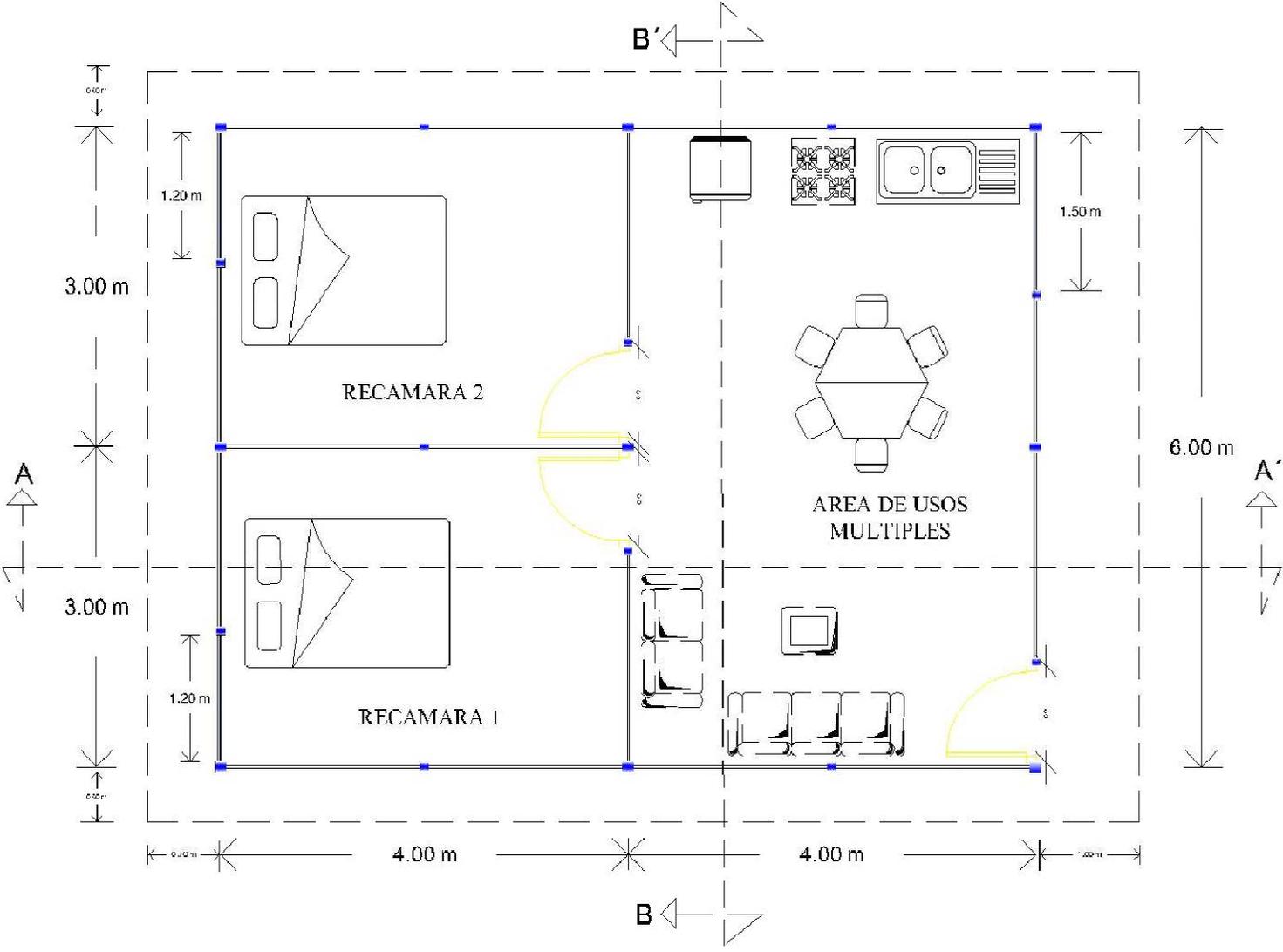


Fig. 5.3.4.- Planta Arquitectónica

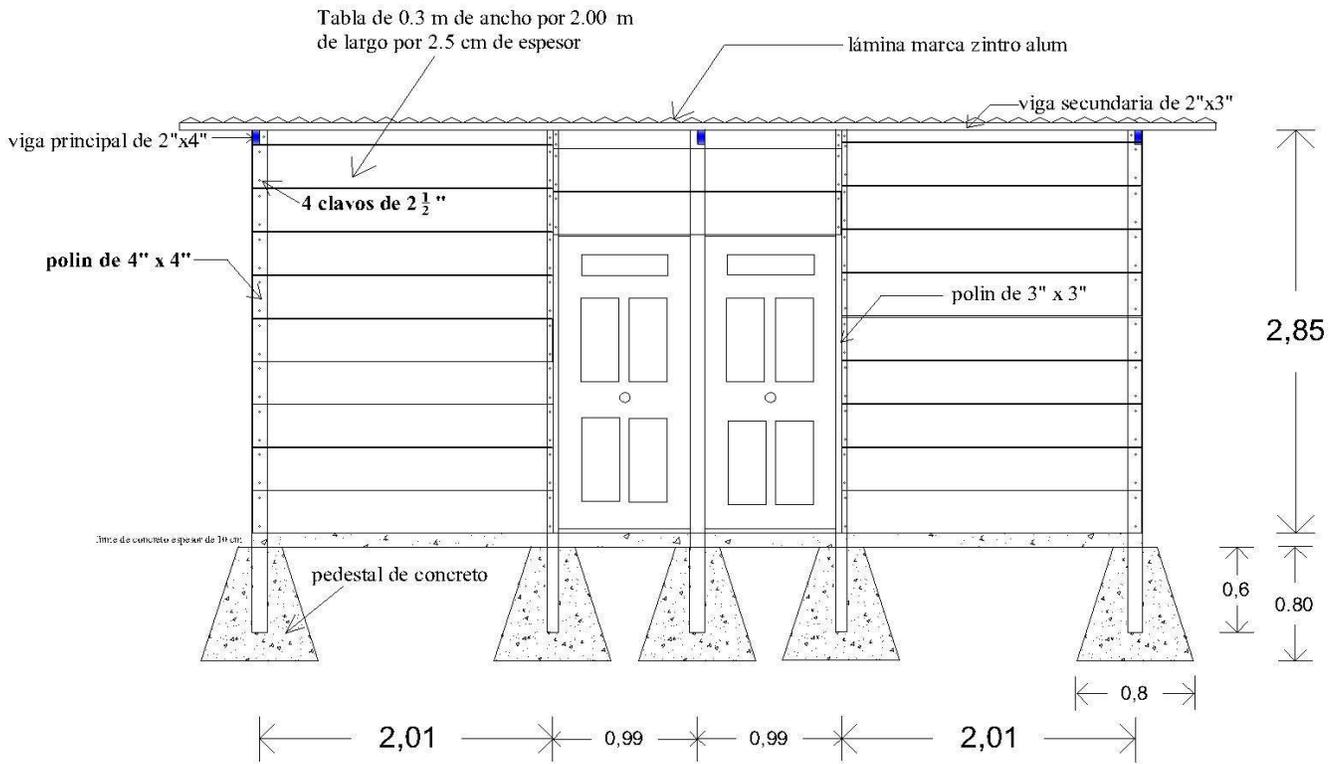


Fig. 5.3.5.- Corte B-B'

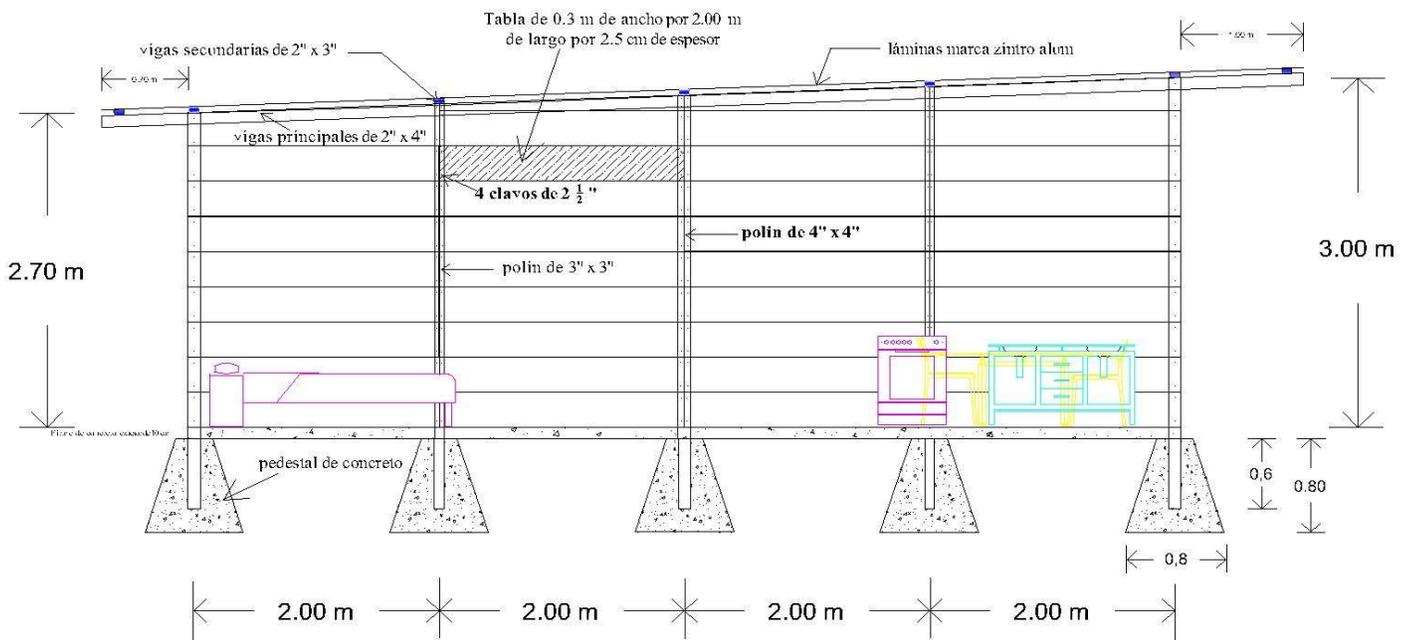


Fig. 5.3.6.- Corte A-A'

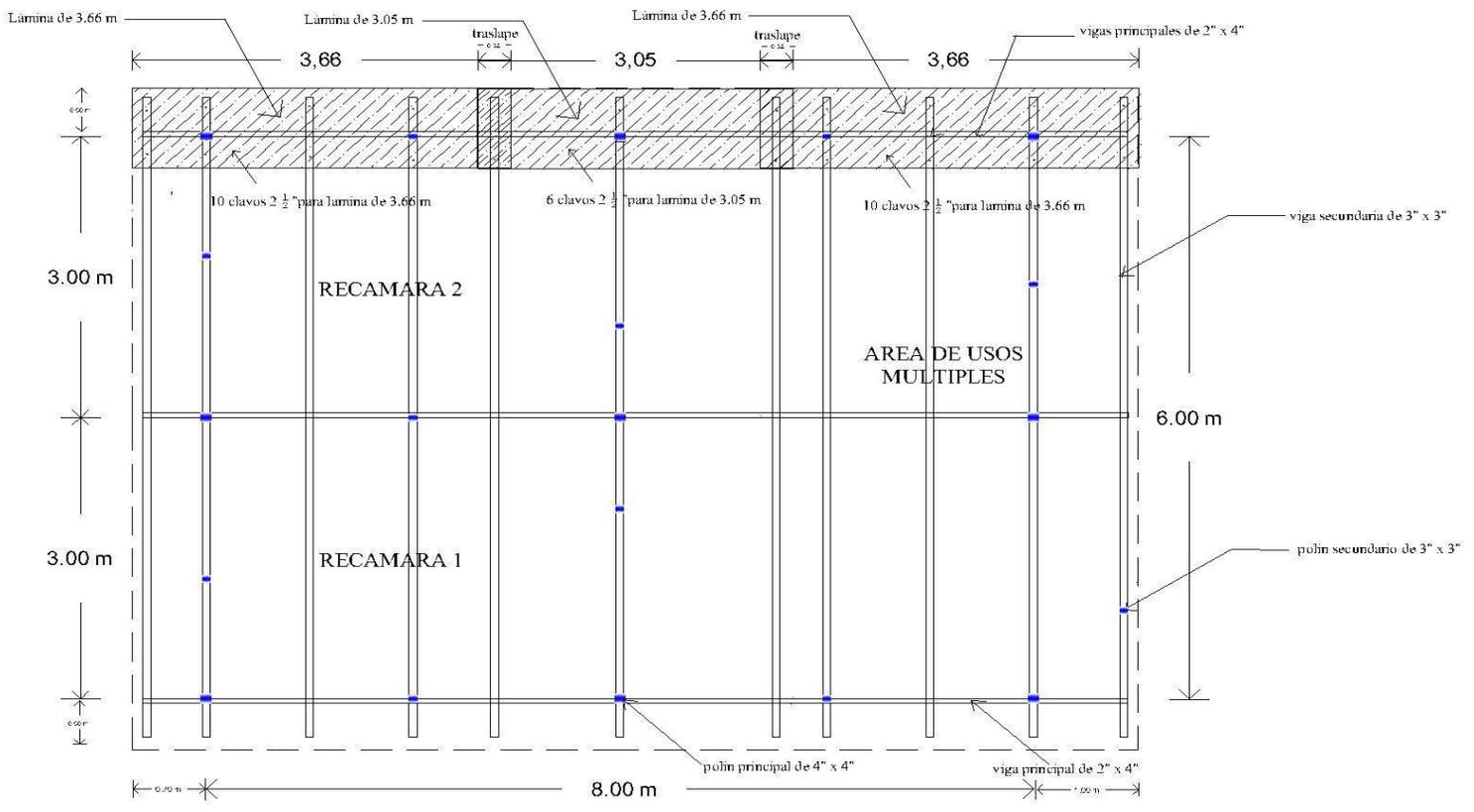


Fig. 5.3.7.- Detalle de fijación de la techumbre y su estructura

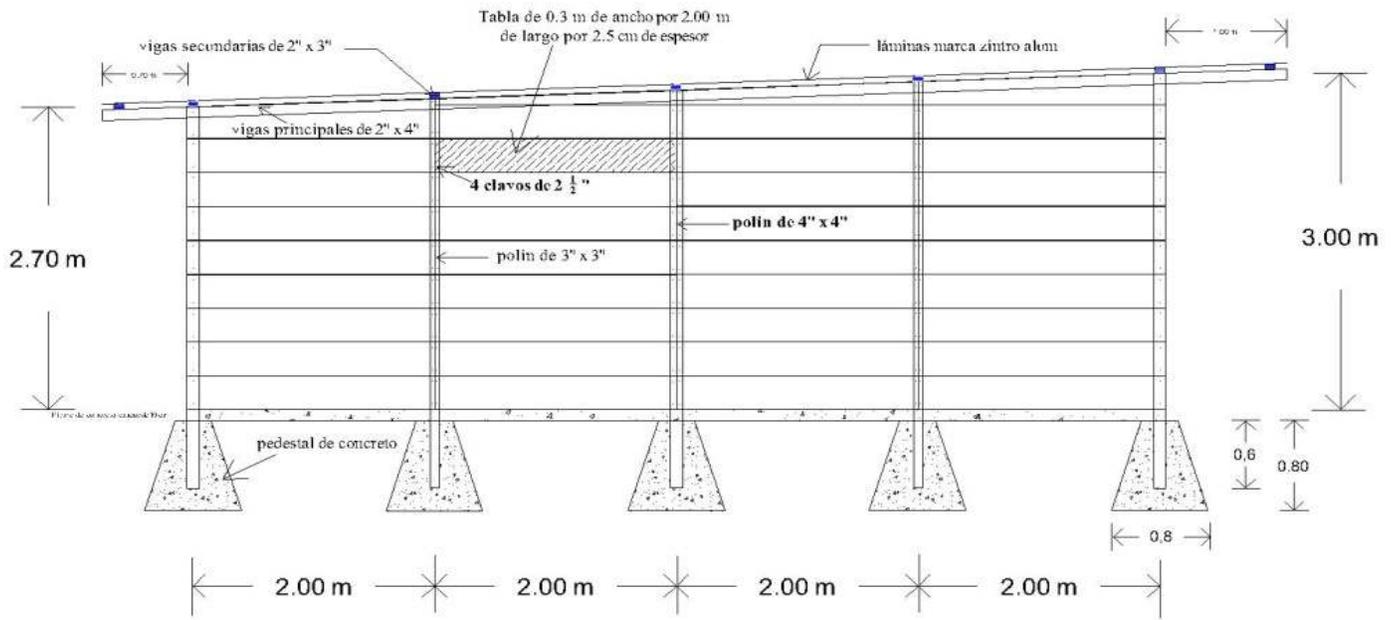


Fig. 5.3.8.- Detalle del recubrimiento de pared lateral

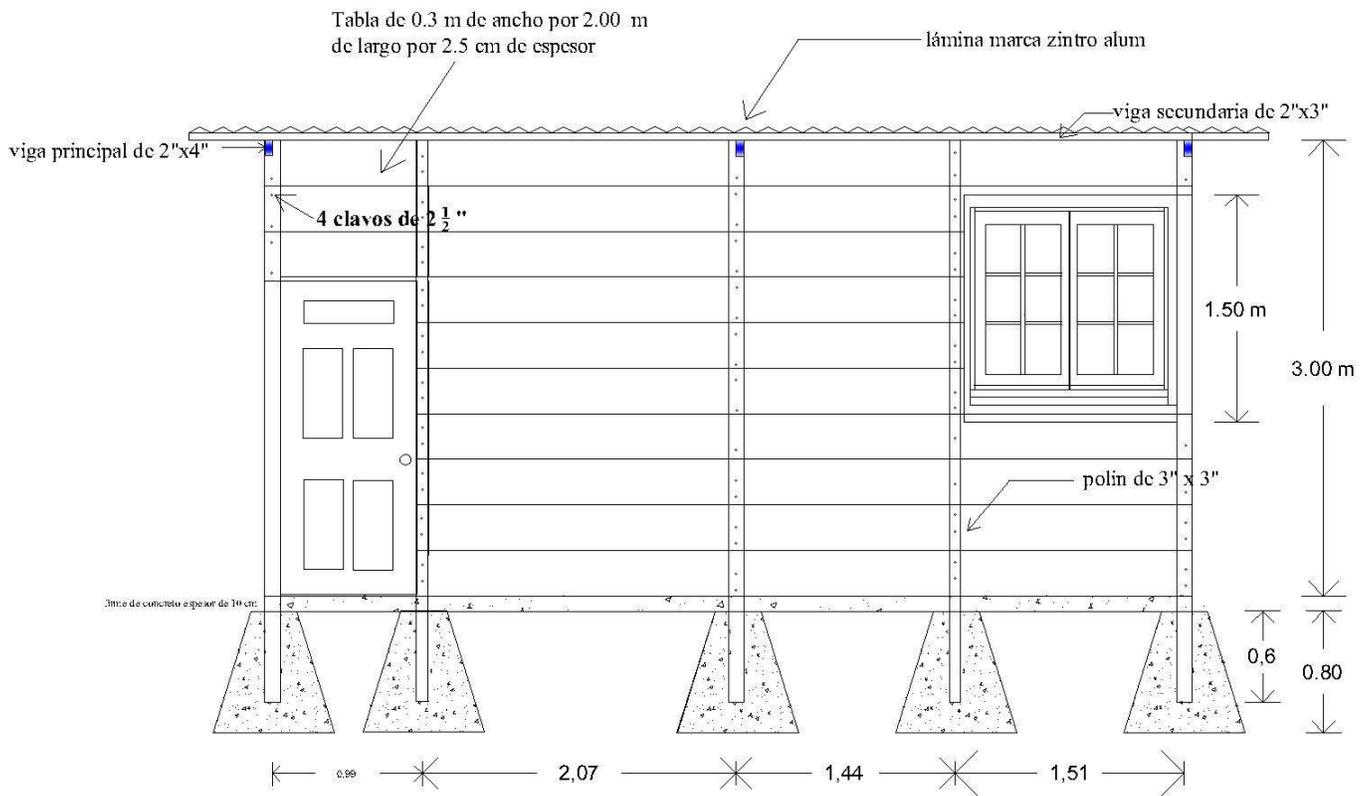


Fig. 5.3.9.- Detalle del recubrimiento de pared frontal

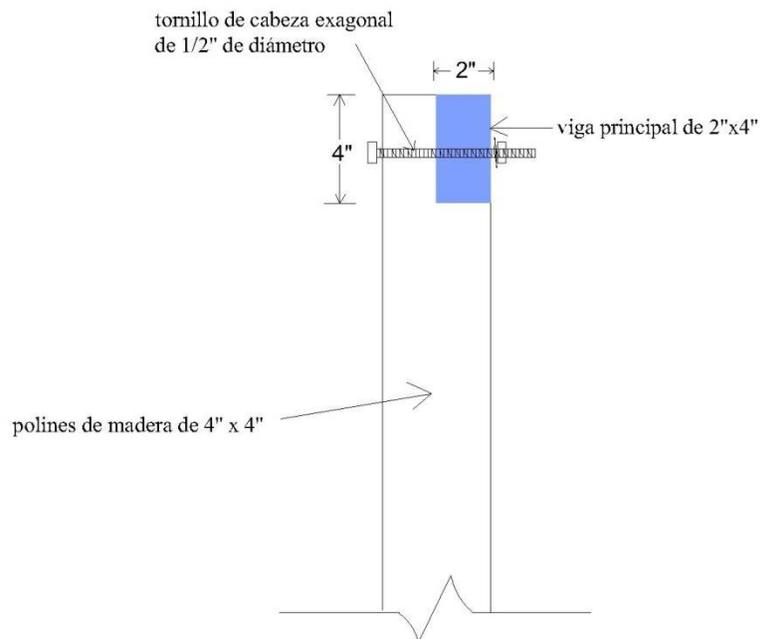


Fig. 5.3.10.- a) Detalle de conexión de polines con viga principal

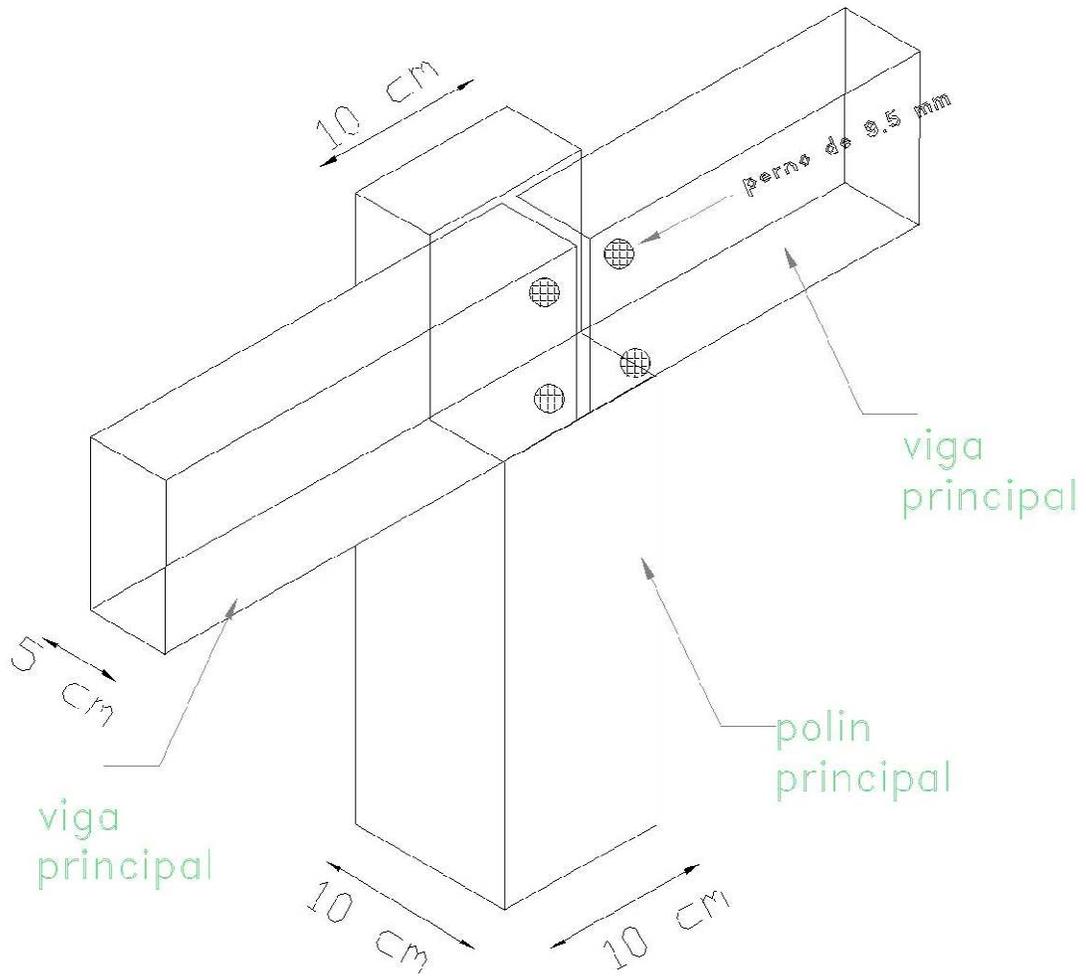


Fig. 5.3.10.- b) Detalle de conexión de polines con viga principal

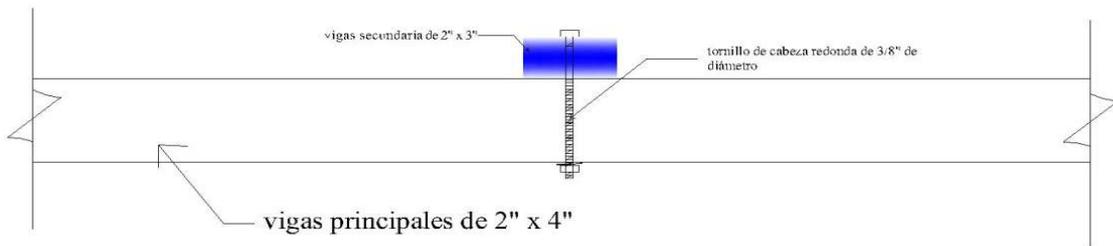


Fig. 5.3.8 Detalle de conexión de viga secundaria a viga principal

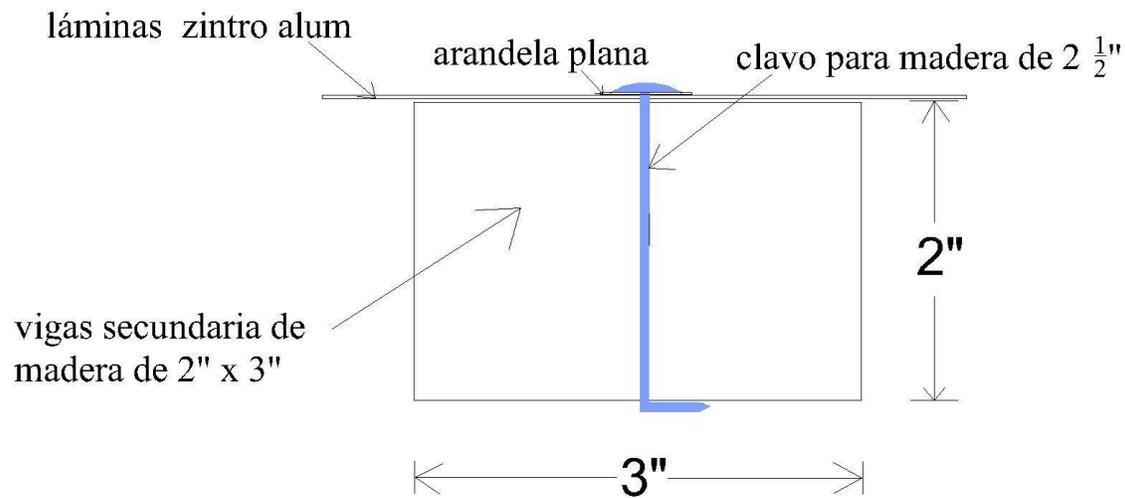


Fig. 5.3.12.- Conexión de lámina a viga secundaria

Metodología:

En este trabajo se consideraron cuatro componentes vulnerables de la edificación bajo la acción de vientos intensos y estas corresponden a **sistema de cubierta** en lámina ondulada metálica, sistema de fachada o recubrimiento con tablas, **sistema de conexión viga principal a polines** y **sistema de conexión de columna a cimiento**. No se consideró como componente vulnerable las aberturas de puertas y ventanas, debido a que corresponde al mismo tipo de material del sistema de recubrimiento de fachada. Se consideró una sola categoría de conexión para las láminas con conexiones clavadas en las crestas, aunque se pudieron considerar otras categorías con mayor o menor número de clavos, cambiar diámetros, etc.

Para la estimación de daños, la metodología de trabajo siguió las siguientes etapas:

- Se establece la edificación bajo estudio.
- Generación de las demandas de viento mediante simulaciones.
- Evaluación de las capacidades resistentes en cada uno de los componentes vulnerables.
- Definición de la matriz de daño.
- Obtención de las curvas de fragilidad

Prototipo de edificación bajo estudio.

Los trabajos llevados a cabo en esta etapa incluyen las características geométricas de la edificación, espaciamiento entre elementos principales y

secundarios de apoyo (vigas y polines) calibre de las láminas de cubierta, espesor de las tablas de fachada, número de láminas, número de tablas, número de clavos por lámina y tabla y espaciamiento de los tornillos.

Generación de demandas de viento mediante simulaciones.

La metodología requiere la generación de demandas de viento, (que en este caso son presiones de viento) en una rutina de simulación con el programa SAP 2000 versión 14 a fin de evaluar la resistencia de cada componente vulnerable. La presión de diseño dada por las Normas Técnicas Complementarias (NTC) del reglamento de construcciones para el Distrito Federal (RCDF) es determinista. Para tener en cuenta las incertidumbres en las demandas, se introdujo una expresión que permite generar diferentes demandas, V para la vivienda analizada, a partir de una velocidad de ráfaga de viento de 3 segundos V_0 :

$$V = V_0[1 + \zeta COV(V)] \text{ ----- 5.3.1}$$

Donde ζ es un número aleatorio que varía entre -1 y 1. El coeficiente de variación $COV(V)$ se tomó como 0.1. En el algoritmo de simulación, las velocidades de viento V_0 varían de 30 Km/h con intervalos de 10 Km/h. la ecuación de presión de viento esta proporcionada por las NTC del RCDF de diseño por viento de la siguiente forma.

$$P_s = 0.048 C_p V_D^2 \text{ ----- 5.3.2}$$

En la que: C_p es el coeficiente local de presión, que depende de la forma de la estructura el cual para construcciones cerradas se tiene.

Tabla 5.3.1.- Coeficiente local de presión

	C_p		C_p
<i>Pared de barlovento</i>	0.8	<i>Paredes Laterales</i>	-0.8
<i>Pared de Sotavento</i>	-0.4	<i>Techos Planos</i>	-0.8

$V_D = V$, es decir corresponde a la velocidad generada en la simulación.

Matriz de daño de la edificación.

La matriz de daño propuesta en esta aplicación, se muestra en la tabla 5.3.2 y consta de filas y columnas que definen estados de daño y demandas sobre los componentes de la edificación, respectivamente. Los límites de daño se basan en los establecimientos en el programa HAZUS (FEMA, 2003).

Es posible definir dos tipos de falla de los componentes:

- La primera y la más común es la falla progresiva y se presenta en los sistemas de cubierta, de fachada y de abertura.
- El segundo tipo de falla responde a fallas repentinas, y su análisis se asocia a una proposición de tipo “si” o “no” este es el caso del sistema de conexión de vigas principales sobre polines y el de conexión columna-cimentación y se supone que falla, cuando se alcanzan condiciones límites en al menos dos marcos longitudinales consecutivos, llevando supuestamente al colapso la estructura.

Tabla 5.3.2.- Matriz de daño para vivienda para zona costera tipo 1, modificada de Hazus (FEMA 2003).

Estado de daño	Fallas en el sistema de cubierta en lámina ondulada metálica	Fallas en el sistema de fachada en tablas de madera	Fallas en la conexión de viga secundaria a viga principal	Fallas en la conexión columna cimentación.
Menor	dos láminas (10%)	Una tabla	No	No
Moderado	>10% y ≤30%	>una y ≤15	No	No
Severo	>30% y 60%	>15% y ≤33%	Si	No
Colapso	>60%	>33%	Si	Si
Total	>13.5%	32%	60%	Si

Obtención de las Curvas de Fragilidad.

Con el propósito de mostrar la aplicación de la metodología, se han obtenido solamente las curvas de fragilidad correspondiente a la **componente del sistema de cubierta de lámina ondulada metálica**, debido a lo extenso del proceso. El proceso de simulación de daño, para cada velocidad de viento V_0 se ha desarrollado a través del programa SAP 2000 versión 14, con el que se calcula el estado de daño correspondiente por componente (en este caso solo para la primer componente). Los niveles de daño están asignados de la siguiente manera: 1 para daño menor, 2 para daño moderado, 3 para daño severo y 4 para colapso. Se ha analizado la vivienda bajo dos direcciones de viento, las cuales son perpendicular y paralela a la fachada principal. Después de una corrida del programa para una velocidad de inicio V_0 se registra el estado de daño correspondiente, si la vivienda presenta estado de daño 4, se le cuenta en los estados menor, moderado, severo y colapso, debido a la naturaleza acumulativa de las curvas de fragilidad. Este proceso se repite con velocidades de viento V_0 que van desde 30 Km/h y hasta 150 Km/h con intervalos de incremento de 10 Km/h. se ha considerado como velocidad máxima, la de 150 Km/h debido a que es la máxima que podría alcanzarse en la zona costera para un periodo de retorno de 100 años, de acuerdo al mapa de isótacas elaborado correspondiente.

A continuación se grafican los números acumulados usando las velocidades de viento V_0 en la abscisas y se ajustan los datos a una función de distribución acumulativa log-normal. La probabilidad $P_x(w)$ de que un cierto nivel de daño ocurra o sea excedido a una velocidad de ráfaga de 3 seg. w está dada por:

$$P_x(w) = \Phi\left(\frac{\ln w - \mu_{\ln X}}{\sqrt{V_{\ln X}}}\right) \text{-----} 5.3.3$$

Los parámetros estadísticos $\mu_{\ln X} = \bar{X}$ y $\sqrt{V_{\ln X}} = \sqrt{V}$ se varían hasta que las diferencias al cuadrado entre los valores de la curva de ajuste log-normal y los datos de la simulación sean mínimos.

La función $\Phi(z)$ representa la distribución acumulativa para la variable normal estandarizada Z , con valor medio $\mu=1$ y desviación estándar $\sqrt{V}=1$.

$$\Phi(z) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^z \exp\left(-\frac{v^2}{2}\right) dv \text{-----} 5.3.4$$

Fragilidad del sistema de cubierta en lámina ondulada metálica.

Las demandas por presión uniforme en cubierta se calculan basándose en los coeficientes de presión externa (Ec. 5.3.2) de las NTC del RCDF de diseño por viento. Las resistencias de conexión clavadas se obtienen a partir de las NTC del RCDF para diseño y construcción de estructuras de madera.

Elementos de Unión.

Uniones clavadas con madera maciza.

La resistencia lateral de diseño de una unión clavada, N_{ru} , deberá ser mayor que o igual a la carga actuante de diseño, y se obtendrá por medio de la expresión.

$$N_{ru} = FR N_u n \text{-----} 5.3.5$$

Donde: FR se tomará igual a 1.0, debido a que no se trata de una resistencia de diseño sino de la resistencia considerada como real.

$N_u = N_u J_h J_d J_{gc} J_a J_{dp} J_p J_{di}$

- El valor especificado de resistencia por clavo N_u se obtendrá de la tabla 5.3.3, en función del estilo del clavo, del tipo de madera y de la longitud y diámetro del clavo.

Por lo tanto, para clavo estilo delgado de 2 ½" de longitud y para madera tipo coníferas se tiene $Nú= 48 \text{ Kg}$.

- Factor de contenido de humedad, J_h se obtiene de la tabla 5.3.4.
Por lo tanto, para madera seca con contenido de humedad menor o igual al 18% para clavos $J_h= 1.00$
- Factor por duración de carga J_d , se obtiene de la tabla 5.3.5.
Por lo tanto para carga muerta más carga viva en cimbras, obras falsas y techos con pendiente menor al 5% $J_d=1.25$
- Factor por grosor de piezas laterales en clavos J_{gc} , el cual se obtiene de la tabla 5.3.6.
-
Por lo tanto, para paredes laterales de tabla con espesor de 1" igual a 2.54 cm se tiene: **$J_{gc}= 1.0$**
- Factor para clavos lanceros J_a , se obtiene de la tabla 5.3.7.
Por lo tanto para clavo normal se tiene $J_a= 1.00$
- Factor por doblado de la punta en clavos J_{dp} , se obtiene de la tabla 5.3.8.
por lo tanto para cortante simple se tiene $J_{dp}= 1.6$
- - Factor para clavos hincados paralelamente a la fibra J_p , para este caso no aplica, por lo que $J_p=1$
- - Factor para clavos para diagramas J_{di} , este caso tampoco aplica por lo que $J_{di}=1$

n = número de clavos

Al sustituir los valores de los factores anteriormente descritos en la ecuación de la resistencia lateral se tiene.

$$N_{ru} = [48(1.00)(1.25)(1.00)(1.00)(1.60)(1.00)(1.00)] n$$



$$N_{ru} = 96.00 n = C_{conexión}$$



Esta expresión se utilizará tanto para revisar la unión o conexión de las láminas del techo así como para la conexión de las tablas de las paredes.

A continuación se anexan las tablas mencionadas en este análisis.

Tabla 5.3.3.- Resistencia lateral especificada para clavos de alambre, Nu'

a) Estilo delgado (comunes)			Nu', N (kg)				
Longitud, l mm	Diámetro, D pulg.	Diámetro, D mm	Coníferas	Latifoliadas			
				Grupo I	Grupo II	Grupo III	Grupo IV
38	1 ½	2.0	235 (24)	353 (36)	314 (32)	294 (30)	186 (19)
45	1 ¾	2.3	245 (25)	451 (46)	402 (41)	373 (38)	245 (25)
51	2	2.7	343 (35)	618 (63)	559 (57)	510 (52)	343 (35)
64	2 ½	3.1	471 (48)	814 (83)	736 (75)	657 (67)	441 (45)
76	3	3.4	589 (60)	981 (100)	883 (90)	775 (79)	520 (53)
89	3 ½	3.8	746 (76)	1 226 (125)	1 109 (113)	942 (96)	628 (64)
102	4	4.5	1 050 (107)	1 717 (175)	1 550 (158)	1 265 (129)	844 (86)
114	4 ½	4.5	1 050 (107)	1 717 (175)	1 550 (158)	1 265 (129)	844 (86)
127	5	4.9	1 246 (127)	2 031 (207)	1 795 (183)	1 472 (150)	981 (100)
140	5 ½	4.9	1 246 (127)	2 031 (207)	1 795 (183)	1 472 (150)	981 (100)
152	6	5.3	1 462 (149)	2 374 (242)	2 060 (210)	1 687 (172)	1 128 (115)
b) Estilo grueso (americano)							
38	1 ½	2.2	275 (28)	412 (42)	373 (38)	343 (35)	216 (22)
45	1 ¾	2.7	392 (40)	618 (63)	559 (57)	510 (52)	314 (32)
51	2	3.1	500 (51)	814 (83)	736 (75)	657 (67)	422 (43)
64	2 ½	3.4	589 (60)	981 (100)	883 (90)	775 (79)	520 (53)
76	3	3.8	716 (73)	1 226 (125)	1 109 (113)	942 (96)	628 (64)
89	3 ½	4.1	814 (83)	1 422 (145)	1 285 (131)	1 079 (110)	716 (73)
102	4	4.9	1 109 (113)	2 031 (207)	1 795 (183)	1 472 (150)	981 (100)
114	4 ½	5.3	1 275 (130)	2 374 (242)	2 060 (210)	1 687 (172)	1 128 (115)
127	5	5.7	1 452 (148)	2 747 (280)	2 345 (239)	1 913 (195)	1 275 (130)
140	5 ½	6.2	1 678 (171)	3 257 (332)	2 717 (277)	2 217 (226)	1 481 (151)
152	6	6.7	1 923 (196)	3 796 (387)	3 110 (317)	2 541 (259)	1 697 (173)
178	7	7.2	2 178 (222)	4 385 (447)	3 522 (359)	2 884 (294)	1 923 (196)
203	8	7.8	2 511 (256)	5 150 (525)	4 052 (413)	3 316 (338)	2 207 (225)

Tabla 5.3.4.- Factor de modificación por contenido de humedad en uniones, Jh

Condición de la madera cuando se fabrica la junta	Seca CH ≤ 18 %		Húmeda CH > 18 %	
	Seca	Húmeda	Seca	Húmeda
Pernos y pijas				
Compresión paralela a la fibra	1.0	0.67	1.0	0.67
Compresión perpendicular y pijas en extracción	1.0	0.67	0.4	0.27
Clavos	1.0	0.67	0.8	0.67

Tabla 5.3.5.- Factor de modificación por duración de carga en uniones, J_d

Condición de carga	J_d
Carga continua	0.90
Carga normal: carga muerta más carga viva	1.00
Carga muerta más carga viva en cimbras, obras falsas y techos (pendiente < 5 %)	1.25
Carga muerta más carga viva más viento o sismo y carga muerta más carga viva en techos (pendiente \geq 5 %)	1.33
Carga muerta más carga viva más impacto	1.60

Tabla 5.3.6.- Factor de modificación por grosor de piezas laterales de madera para clavos, J_{gc}

Grosor de la pieza lateral ¹	J_{gc}
1/3	1.00
1/6	0.50

¹ Para valores intermedios de grosores de piezas laterales hacer una interpolación lineal; donde l es la longitud del clavo.

Tabla 5.3.7.- Factor de modificación para clavos lanceros, J_a

Condición de carga	J_a
Clavo lancero	0.80
Clavo normal	1.00

Tabla 5.3.8.- Factor de modificación por doblado de la punta de clavos, Jdp

Condición	J _{dp}
Cortante simple	1.6
Cortante doble ¹	2.0

La capacidad al arrancamiento C_R de una lámina individual puede tomarse como la suma de las resistencias individuales promedio $C_{conexión}$ de sus conexiones clavadas; esto puede expresarse mediante la siguiente ecuación:

$$C_R = \sum_{i=1}^{NC} (C_{conexión}) (1 + \zeta_i COV(C)) \text{ ----- } 5.3.6$$

Donde N_c es el número de clavos por lámina; ζ_i es el número aleatorio que varía entre -1 y 1; y permite obtener resistencias en un intervalo que varía entre 0.9 $C_{conexión}$ y 1.1 $C_{conexión}$; y $COV(c)$ es el coeficiente de variación de la conexión clavada, que se adopta igual a 0.10.

Tabla 5.3.9 Resistencia de conexiones clavadas por tipo de clavo y espesor de lámina o tabla.

Elemento	Tamaño del clavo o tornillo	No. de clavos o tornillos	Resistencia calculada (Kg)	COV
Lámina extrema de 3.05 m	2 ½"	9	864	0.10
Lámina intermedia de 3.05 m	2 ½"	6	576	0.10
Lámina extrema de 3.66 m	2 ½"	15	1440	0.10
Lámina intermedia de 3.66 m	2 ½"	10	960	0.10

Durante el periodo de simulación, las demandas y resistencias en cada uno de los clavos de la lámina se asignan independientemente y se supone que ocurre falla de una lámina cuando se cumple la condición:

$$C_D - C_R > 0 \text{ ----- } 5.3.7$$

Donde C_D es la capacidad demandada en una lámina y C_R es la capacidad resistente definida en la ecuación 5.3.4, ambas en uniones de fuerza. La capacidad demandada se calcula como.

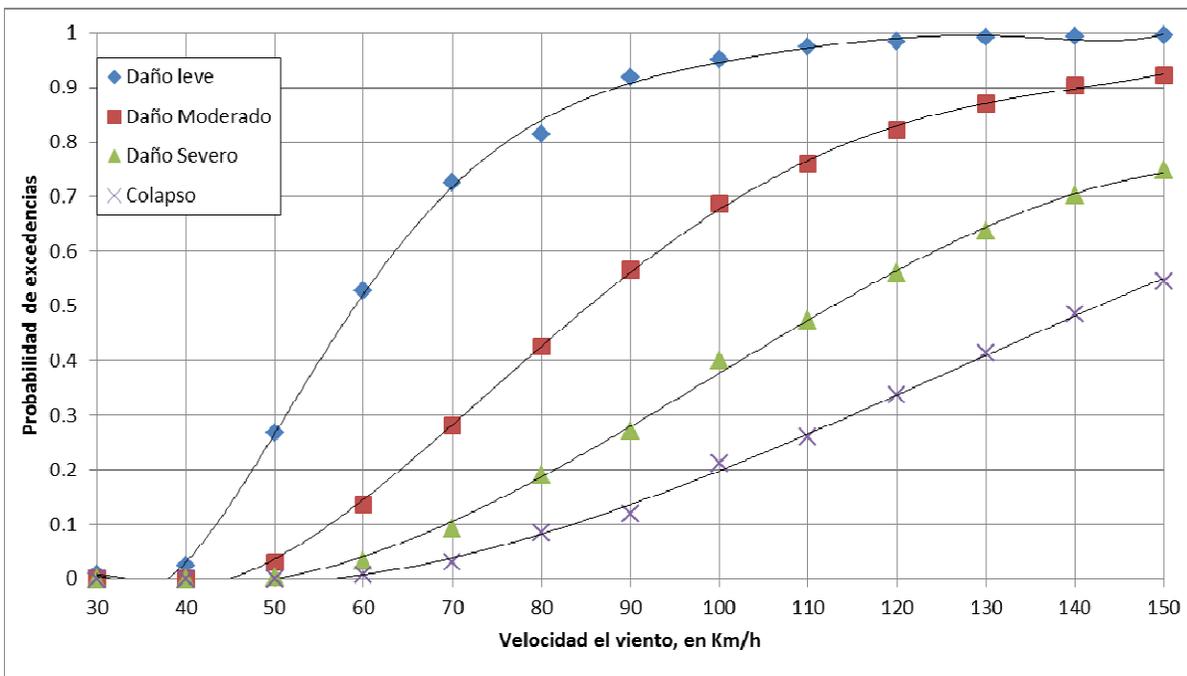
$$CD = \sum_{i=1}^{NC} (C_{D \text{ conexión}})(1 + \zeta_i COV(D)) \text{ ----- } 5.3.8$$

Donde N y ζ_i fueron definidos para la ecuación 5.3.4; y $COV(D)$ es el coeficiente de variación en las demandas por clavo que se adopta igual a 0.10, ya que en realidad las presiones de viento no se distribuyen por igual en cada conexión; y C_D conexión es la capacidad demandada por clavo, que es igual a la presión de viento de diseño P por la zona de la edificación multiplicada por el área tributaria del clavo A .

$$C_D = C \text{ conexión} = P.A \text{ ----- } 5.3.9$$

Durante la simulación se evaluó el desempeño de cada lámina metálica mediante la ecuación 5.3.5; dependiendo del valor obtenido se determina si presenta o no, falla del elemento. Posteriormente se calcula el porcentaje de láminas que fallan en la vivienda. Este porcentaje se compara con los límites proporcionados en la tabla 5.3.2, asignado en el estado de daño correspondiente, es decir, 1 para daño menor, 2 para daño moderado, 3 para daño severo y 4 para colapso.

Las curvas de fragilidad para el sistema de cubierta se muestran en la figura 5.3.8



.13.- Curvas de Fragilidad para sistema de cubierta

Tabla 5.3.14.- De Generadores de Obra de Vivienda Zona

06- CONTENIDO										
061	BASE PARA CAMA MATRIMONIAL DE MADERA	\$1,690.00						1		\$1,690.00
062	COLCHÓN MATRIMONIAL	\$1,990.00						1		\$1,990.00
063	BASE PARA CAMA INDIVIDUAL DE MADERA	\$1,450.00						2		\$2,900.00
064	COLCHÓN INDIVIDUAL	\$1,590.00						2		\$3,180.00
065	ESTUGA MABE Em504mm 20"	\$2,200.00						1		\$2,200.00
066	REFRIGERADOR MABE 15' BLANCO	\$5,200.00						1		\$5,200.00
067	COMEDOR PARA 6 PERSONAS	\$5,900.00						1		\$5,900.00
068	JUEGO DE SALA 3-2-1 DE TELA	\$5,990.00						1		\$5,990.00
069	TELEVISIÓN SPELER PANTALLA PLANA DE 24 "	\$2,895.00						1		\$2,895.00
0611	MINICOMPONENTE LG MP3	\$600.00						1		\$600.00
0612	CLOSET DE MADERA 1.60 DE ALTO	\$3,000.00						1		\$3,000.00
0613	VESTIMENTA Y CALZADO PARA 6 PERSONAS	\$2,000.00						1		\$2,000.00
0615	LAVADORA MARCA DAEWOO 10 KG 1 TINA	\$2,300.00						1		\$2,300.00
0616	LICUADORA MARCA PHILLIS 6 VELOCIDADES	\$500.00						1		\$500.00
0617	FLANCHA MARCA MOULINEX DE VAPOR	\$350.00						1		\$350.00
0618	VAJILLA, BATERA, Y UTENSILIOS DE COCINA	\$700.00						1		\$700.00
Total de Contenido=										\$41,395.00

Subtotal \$146,422.74
11%IVA \$16,106.50
Total \$162,529.24

Tabla 5.3.15.- De Generadores de Obra de Vivienda Zona

RESUMEN

CONCEPTO	IMPORTE
CIMENTACIÓN	\$42,259.17
ESTRUCTURACIÓN DEL REVESTIMIENTO (PAREDES)	\$23,284.82
REVESTIMIENTO (PAREDES, VENTANAS Y PUERTAS)	\$18,168.85
ESTRUCTURACIÓN DE LA TECHUMBRE	\$7,164.14
TECHUMBRE	\$14,150.76
CONTENIDO	\$41,395.00

Subtotal \$146,422.74
11%IVA \$16,106.50
Total \$162,529.24

Para velocidad de 120 Km/h.

Tabla 5.3.16.- Resultados de niveles de daño para Vel.= 120 Km/h.

Nivel de Daño	Probabilidad	Indice de Daño	Multiplicación
Daño Leve	0.16177	0.10	0.01617
Daño Moderado	0.26224	0.30	0.07866
Daño Severo	0.22235	0.60	0.13341
Colapso	0.33787	1	0.33787
			$\Sigma = 0.56611$

Costo total de la vivienda con I.V.A incluido----- \$ 121, 134.24
 Costo de los contenidos----- \$ 41,395.00
 Costo total de la vivienda con I.V.A más contenidos----- \$ 162,529.24

⇒ Pérdida (sin contenidos)= 14,150.76 (0.56611)= \$ 8,010.88
 Pérdida (con contenidos)= [14,150.70+(41,395.00)(0.6)](0.56611)= \$22,071.32

Para velocidad de 150 Km/h

Tabla 5.3.17.- Resultados de niveles de daño para Vel.= 150 Km/h.

Nivel de Daño	Probabilidad	Indice de Daño	Multiplicación
Daño Leve	0.07311	0.10	7.311×10^{-3}
Daño Moderado	0.17425	0.30	0.05227
Daño Severo	0.20281	0.60	0.12168
Colapso	0.54535	1	0.54535
			$\Sigma = 0.72711$

⇒ Pérdida (sin contenidos)= 14,150.76 (0.72711)= \$ 10,289.16
 Pérdida (con contenidos)= [14,150.70+(41,395.00)(0.6)](0.72711)= \$28,348.39

Por lo que al conocer el número de viviendas con características similares en cuanto a las cubiertas o techos del prototipo de vivienda es posible entonces extrapolar el resultado obtenido para estimar la pérdida total en la zona debido a esta componente para las velocidades consideradas del efecto del viento.

Recomendaciones de la FEMA para Construcciones Costeras.

Zonas de peligro Costeras

La evaluación de riesgo a los edificios costeros y sitios de construcción requiere de la identificación o la delimitación de las zonas peligrosas. Esto, a su vez, requiere que los siguientes factores se consideren:

- Los tipos de riesgos que se sabe afectan una región
- Las variaciones geográficas en la incidencia del riesgo y la gravedad
- Los métodos y los supuestos subyacentes a cualquiera de los mapas de riesgos existentes de identificación o productos
- El concepto de “nivel aceptable” de riesgo

FEMA se basa en cuatro elementos básicos para la determinación de los riesgos.

- Condiciones de inundación (Stillwater level [SWL] y oleaje) durante el evento de inundación base
- Tipo de costa
- Información topográfica y batimétrica
- Modelos de computadora para calcular las inundaciones de zonas de riesgo y las elevaciones bases de la inundación (BFEs)

Las actuales directrices y normas para la cartografía de las zonas costeras del peligro de inundaciones a lo largo del Atlántico y del Golfo de México se describen en FEMA (1995).

Fuentes de Inundaciones Considerado por el programa Nacional de Seguro contra Inundaciones (NFIP).

FEMA considera actualmente cinco fuentes principales de las inundaciones costeras para establecer las elevaciones bases de la inundación (BFEs) en las zonas costeras:

- Ciclones tropicales tales como los huracanes o tifones.
- Ciclones extratropicales tales como las tormentas del noreste.
- Los tsunamis.
- Análisis de la altura de olas y frecuencia de la marea.
- Los niveles de lago (Grandes Lagos).

Tabla 5.3.18.- Resumen de los requisitos regulatorios del programa Nacional de Seguro contra Inundaciones (NFIP) y recomendaciones para superarlos.

Notas

- a. "Prohibir" y "permitir" se refieren a los requisitos reglamentarios mínimos del NFIP, los estados individuales y las comunidades pueden hacer cumplir unos requisitos más estrictos que sustituyan a los que se resumen aquí. Exceder los requisitos mínimos del NFIP proporcionará mayor protección contra las inundaciones y puede dar lugar a primas más bajas de seguro contra inundaciones.
- b. En esta columna, "TB" significa NFIP Boletín técnico (por ejemplo, 1 TB = Boletín Técnico 1), y "CFR" significa el Código de los EE.UU. de Regulaciones Federales. Consulte el Apéndice H para obtener copias de los boletines citados aquí.
- c. Algunas comunidades pueden permitir las invasiones para provocar una subida de 1 pie en el nivel de inundación, mientras que otros pueden no permitir la subida.
- d. Algunas comunidades costeras requieren cimientos abiertos en las zonas A.
- e. La parte inferior del elemento estructural horizontal más bajo debe estar en o por encima de la BFE (Base Flood Elevación) elevación base de la inundación..
- f. El estado o las comunidades podrían regular a una elevación más alta (DFE).
- g. Algunas comunidades costeras prohíben paredes desprendibles y sólo permitir el enrejado abierto o cribado.
- h. Si un área por debajo de la BFE en un edificio de zona A está completamente cerrado por paredes desprendibles, las paredes deben cumplir con el requisito de aberturas que permiten la igualación de la presión hidrostática.
- i. La colocación de relleno estructural adyacente a los edificios en las zonas costeras AO no es recomendable.
- j. Hay algunas diferencias entre lo que está permitido por las regulaciones del manejo de planicies de inundación y lo que está cubierto por el seguro de inundación del NFIP. Los diseñadores de edificios deben guiarse por las necesidades de gestión de planicies de inundación, no por las disposiciones de la póliza de seguro de inundación. Consulte la Sección 9.3.1.1, en el capítulo 9, para obtener información adicional.
- k. Las paredes inferiores al BFE deben ser diseñados y construidos de paredes desprendibles que cumplan con los requisitos mínimos de la normativa NFIP (véase la Sección 6.4.3.3)

Tabla 5.3.20.- Resumen de los requisitos regulatorios del programa Nacional de Seguro contra Inundaciones (NFIP) y recomendaciones para superarlos.

							
		Zona V		Costa zona A		Zona A	
		Guía ^a	Ref-X ^b	Guía ^a	Ref-X ^b	Guía ^a	Ref-X ^b
Cimientos							
Relleno estructural	Prohibido	Sección 6.4.3.3 TB5 (véase apéndice H)	Se admite pero no se recomienda ; compactación requerida cuando se utilice; protección contra la socavación y erosión ^d	Sección 6.5.2	Se admite ; compactación requerida cuando se utilice; protección contra la socavación y erosión ^d		
Cimentación sólida	Prohibido	Sección 6.4.3.3 TB5 (véase apéndice H)	Se admite pero no se recomienda ^d	Sección 6.5.2	Se permite ^d		
Cimentación abierta	Necesario	Sección 6.4.3.3 TB5 (véase apéndice H)	No es necesario, pero se recomienda ^d	Sección 6.5.2	Se permite ^d		
Elevación de planta baja	No aplicable ^e		Requisito: La parte de arriba de la planta deberá ser igual o superior a BFE ^f Recomendación: Eleva la parte inferior de miembro estructural horizontal más bajo hasta o por encima del del BFE ^f (véase la categoría inmediatamente inferior), orientar perpendicularmente el miembro a la cresta de ola.	Sección 6.4.3.2	Requisito: La parte de arriba de la planta deberá ser igual o superior a BFE ^f	Sección 6.4.3.2	
Parte inferior del miembro estructural horizontal más bajo	Requisito: El fondo deberá estar en o por encima del BFE ^f	Sección 6.4.3.3 TB5 (véase apéndice H)	Permitidas bajo la BFE, pero no se recomienda Recomendación: Igual a la zona V	Sección 6.5.2	Permitidas bajo la BFE, pero no se recomienda Recomendación: Igual a la zona V		
Orientación del miembro estructural horizontal más bajo	No se requiere. Recomendación: Orientar perpendicular a la cresta de ola.	Sección 6.5.2	No se requiere.		No se requiere.		
Bordo libre	No es necesario ^f , pero se recomienda	Sección 6.5.2	No es necesario ^f , pero se recomienda	Sección 6.5.2	No es necesario ^f , pero se recomienda		

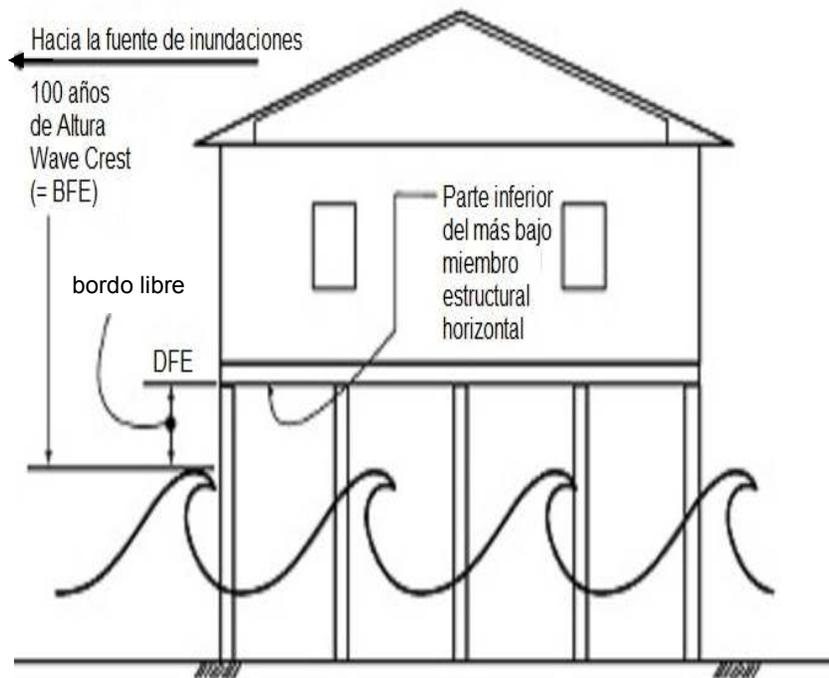
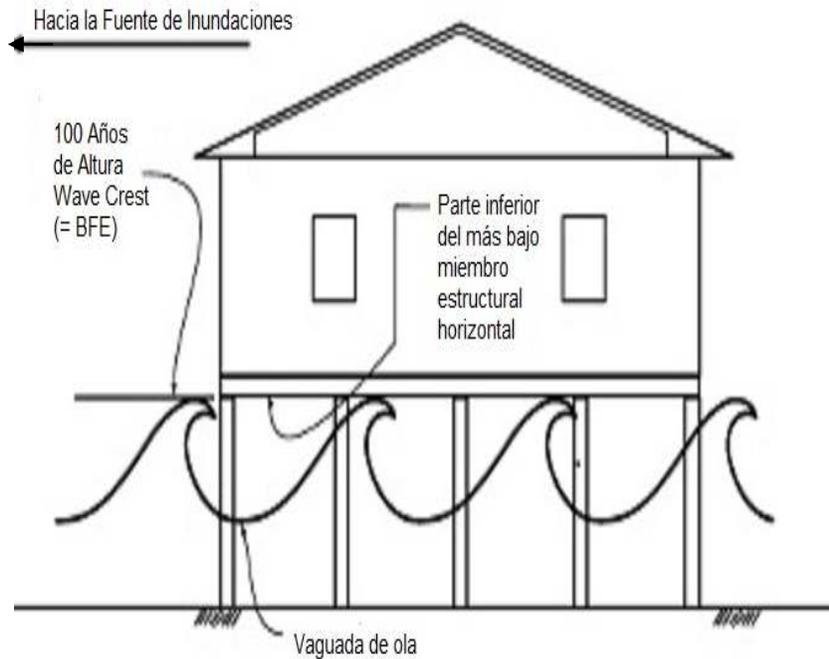
Tabla 5.3.21.- Resumen de los requisitos regulatorios del programa Nacional de Seguro contra Inundaciones (NFIP) y recomendaciones para superarlos.

					
Zona V		Costa zona A		Zona A	
Guía ^a	Ref-X ^b	Guía ^a	Ref-X ^b	Guía ^a	Ref-X ^b
Recintos por debajo de la BFE					
(Ver también certificación)	<p>Prohibido, excepto para paredes desprendibles, celosía abierta, y el cribado^g</p> <p>Recomendación: si se construye, utilizar celosía abierta o cribado en lugar de paredes desprendibles</p>	<p>Sección 6.4.3.3</p> <p>TB5 y TB9 (véase apéndice H)</p>	<p>Permitido, pero no se recomienda; si un área está completamente cerrada, las paredes del recinto deben estar equipadas con la apertura para igualar la presión hidrostática; el tamaño, la ubicación, y la protección de las aberturas se rige por los requisitos reglamentarios</p> <p>Recomendación: Si el recinto está construido, utilice paredes desprendibles, celosía abierta, o de cribado (como se requiere en la zona V)^{g,h}</p>	<p>Sección 6.5.2</p> <p>Sección 6.4.3.2</p> <p>TB1 (véase apéndice H)</p>	<p>Permitido; si un área está completamente cerrada, las paredes del recinto deben estar equipados con la apertura para igualar la presión hidrostática; tamaño, ubicación, y la protección de aberturas rige por los requisitos reglamentarios^{g,h}</p> <p>Sección 6.4.3.2</p> <p>TB1 (véase apéndice H)</p>
Relleno no estructural					
	<p>Permitido para jardinería menor y alcantarillado, siempre que el rellenar no interfiera con el libre paso de las aguas de inundación y los restos debajo del edificio o provocar cambios en la dirección del flujo durante las tormentas costeras que podrían causar daños a los edificios.</p>	<p>Sección 6.4.3.3</p> <p>TB5 (véase apéndice H)</p>	<p>Se permiteⁱ</p> <p>Recomendación: Igual como la zona V</p>	<p>Sección 6.5.2</p>	<p>Se permite</p>
El uso del espacio por debajo del BFE^j					
	<p>Sólo se permite para estacionamiento, para construcción de acceso y almacenamiento</p>	<p>Sección 6.4.3.3</p> <p>TB5 (véase Apéndice H)</p>	<p>Sólo se permite para estacionamiento, para construcción de acceso y almacenamiento</p>	<p>Sección 6.4.3.2</p> <p>TB1 (véase Apéndice H)</p>	<p>Sólo se permite para estacionamiento, para construcción de acceso y almacenamiento</p> <p>Sección 6.4.3.2</p> <p>TB5 (véase Apéndice H)</p>
Utilidadesⁱ					
	<p>Requisitos: Debe ser diseñado, ubicado y elevado para evitar la entrada de aguas de la inundación y se acumule en los componentes durante las inundaciones</p>	<p>Sección 6.4.3.1</p> <p>FEMA 348 (FEMA 1999b)</p>	<p>Requisitos: Debe ser diseñado, ubicado y elevado para evitar la entrada de aguas de la inundación y que se acumule en los componentes durante las inundaciones</p>	<p>Sección 6.4.3.1</p> <p>FEMA 348 (FEMA 1999b)</p>	<p>Requisitos: Debe ser diseñado, ubicado y elevado para evitar la entrada de aguas de la inundación y que se acumule en los componentes durante las inundaciones</p> <p>Sección 6.4.3.1</p> <p>FEMA 348 (FEMA 1999b)</p>

Tabla 5.3.22.- Resumen de los requisitos regulatorios del programa Nacional de Seguro contra Inundaciones (NFIP) y recomendaciones para superarlos.

					
Zona V		Costa zona A		Zona A	
Guía ^a	Ref-X ^b	Guía ^a	Ref-X ^b	Guía ^a	Ref-X ^b
Certificación					
Estructura	Requerido: Un ingeniero o arquitecto debe certificar que el diseño y los métodos de construcción son de acuerdo con los estándares aceptados de práctica para el cumplimiento de los requisitos de diseño descritos en REQUISITOS GENERALES	Sección 6.4.3.3	Recomendación: Igual como la zona V	Sección 6.5.2	Recomendación: Igual como la zona V
Paredes desmontables (Véase también CAJAS POR DEBAJO DE LA BFE)	Requerido: Cualquiera de las siguientes: (1) las paredes deben estar diseñados para proporcionar una resistencia de carga segura de entre 10 y 20 lb/ft ² o (2) un ingeniero o arquitecto debe certificar que las paredes se derrumbarán bajo una carga de agua asociada con la inundación base y la porción elevada del edificio y su cimiento no será objeto de un colapso, desplazamiento o el movimiento lateral en condiciones de viento y carga simultánea de agua ^{g,h}	Sección 6.4.3.3 TB9 (véase apéndice H)	No es necesario, pero se recomienda ^{g,h}	Sección 6.5.2	No es necesario
Las aberturas en las paredes por debajo del BFE (Véase también RECINTOS POR DEBAJO DE LA BFE)	No aplicable ^k		Requerido: A menos que el número y el tamaño de la abertura cumpla los requisitos normativos, un ingeniero o arquitecto debe certificar que las aberturas están diseñados para igualar automáticamente las fuerzas hidrostáticas en las paredes por lo que permite la entrada y salida automática de las aguas de inundación	Sección 6.4.3.3 TB1 (véase apéndice H)	Requerido: A menos que el número y el tamaño de la abertura cumpla los requisitos normativos, un ingeniero o arquitecto debe certificar que las aberturas están diseñados para igualar automáticamente las fuerzas hidrostáticas en las paredes por lo que permite la entrada y salida automática de las aguas de inundación

a.- Requisito mínimo de elevación del NFIP en las zonas costeras A, zonas A y zonas V



b.- Requisito máximo de elevación del NFIP en las zonas costeras A, zonas A y zonas V

Fig. 5.3.14.- Elevación recomendable para edificios en zonas costeras A y zonas V: La parte inferior del **miembro estructural horizontal** más bajo debe estar por encima de la BFE. La cantidad adicional de elevación por encima de la BFE se denomina **bordo libre**. En las zonas V, los **miembros estructurales horizontales** más bajos deben ser perpendiculares a la cresta de la ola esperada.

CAPÍTULO 6.- COMENTARIOS SOBRE LA APLICABILIDAD DEL PROCEDIMIENTO EN CHIAPAS.

6.1.- Generalidades.

El Estado de Chiapas junto con los estados de Tabasco, Campeche y Quintana Roo conforman la compleja región de la frontera sur, la extensión territorial de Chiapas es de aproximadamente 7.4 millones de hectáreas, equivale a 3.8% del país; posee más de 300 km de litorales, un plataforma continental de 67,000 km² y un vasto sistema hidrológico.

Chiapas, colinda al norte con el Estado de Tabasco; al oriente con la República de Guatemala, con quien se comparte 658.5 km lineales de frontera; al sur con el Océano Pacífico, donde se tienen 260 km lineales de costa, compuesta por barras, esteros y lagunas; al poniente con los estados de Oaxaca y Veracruz. Actualmente la entidad tiene una división político-territorial de 118 municipios, integrados en nueve regiones geoeconómicas, que son: (1) Centro; (2) Altos; (3) Fronteriza; (5) Frailesca; (6) Norte; (7) Selva; (8) Sierra; y (9) Soconusco e Istmo-Costa.

Ubicado en la región más al norte del cinturón tropical, situación latitudinal que junto con una fisiografía compleja y una variación topográfica que va desde los 0 hasta los 4100 msnm, crean condiciones propicias para resguardar una diversidad de ecosistemas. Chiapas es el segundo Estado con la mayor riqueza de especies de flora y de fauna, únicamente detrás del Estado de Oaxaca.

Por su situación geográfica Chiapas se ve afectado por lluvias derivadas de diversos fenómenos meteorológicos, en el periodo que abarcan los meses de mayo a noviembre, en este periodo la entidad se ve sujeta a la acción de ciclones y tormentas tropicales particularmente en la zona costa, a estos fenómenos se suman los efectos orográficos y las precipitaciones originadas por fenómenos convectivos, los cuáles producen tormentas intensas aunque de poca duración y extensión.

La información referente a los riesgos de diferente naturaleza que pudieran estar afectando las regiones del territorio chiapaneco no es abundante, la cultura de la prevención no es sino hasta fechas recientes que ha comenzado a permear en la sociedad, ante la incidencia año con año de fenómenos que han costado la vida a muchas personas, o que ha significado la pérdida de bienes en muchos casos invaluable, como resultado de esta falta de cultura preventiva los esfuerzos para documentar los riesgos a los que se encuentran expuestos los diferentes núcleos de población, han sido aislados y poco sistemáticos abarcando regiones pequeñas o sobre riesgos específicos.

La precipitación pluvial en la entidad registran los índices más altos a nivel nacional, alcanzado valores promedio entre los 1000 a 3977.5 mm anuales. Las zonas con mayor índice de precipitación, corresponden a localidades ubicadas en

la zona septentrional del Estado (Pichucalco, Ocosingo) incluyendo a los Altos (San Cristóbal las Casas).

Los aspectos fisiográficos, no se pueden disociar con las características climatológicas, estas interrelaciones geográficas, como es la latitud, orografía, altitud, modifican la temperatura y humedad, haciendo que Chiapas carezca de un clima uniforme. Por el contrario, se caracteriza por la variación, originando con ello la identificación de zonas climatológicas con distintos comportamientos cíclicos de los diversos elementos atmosféricos haciendo susceptible a inundaciones, principalmente durante los meses de mayo a noviembre, en todo el Estado, particularmente a 72 municipios de las diferentes regiones fisiográficas.

Dentro de la problemática de origen hidrometeorológicos, se encuentran las lluvias intensas provocadas por las ondas y ciclones tropicales, tormentas eléctricas, deslaves, hundimientos, desbordamientos, otros, que en muchas ocasiones se traducen en inundaciones, considerándose como uno de los fenómenos destructivos que con mayor frecuencia han afectado al Estado de Chiapas. La magnitud de los daños que generan difiere ampliamente por su origen, naturaleza, grado de predicción, probabilidad y control, así como por la velocidad con la que aparecen, por su alcance y efectos destructivos en la población, bienes materiales y el entorno.

Los fenómenos hidrometeorológicos representan un alto costo a la población, siendo el principal motivo del desquiciamiento de la actividad humana y la armonía social. Estos fenómenos naturales afectan principalmente los sistemas de vivienda, vialidad, transporte, equipamiento, imagen urbana y medio ambiente. En Chiapas los escurrimientos y derrumbes son más frecuentes en las zonas altas y montañosas de las regiones Sierra, Norte, Selva y Fronteriza.

Ciclones Tropicales de 1954 a 2007 que afectaron a Chiapas.

Los ciclones por lo regular no afectan de manera directa a Chiapas, las bandas nubosas asociadas a la circulación de estos sistemas, ocasionan en la mayoría de los casos las lluvias torrenciales cuyo valor exceden por lo general los 100 mm siendo éstas, las que ocasionan la mayoría de daños en la infraestructura de los municipios y comunidades. Las tablas 6.1.1 y 6.1.2 muestran los ciclones tropicales que impactaron en Chiapas, así como los que se localizaron cerca de los litorales y fronteras de la Entidad. (Ref. 5)

Tabla 6.1.1. Ciclones tropicales del Pacífico que afectaron al Estado de Chiapas (1954-2007)

Nombre del Ciclón	Categoría	Año/Fecha		Lugar de entrada a tierra en la zona	Vientos Máximos en la región (Km/h)
Sin nombre	Tormenta tropical	1954	12-14 Oct.	Puerto Madero, Chis.	83
Olivia	Tormenta tropical	1978	20-23 Sep.	Puerto Arista, Chis.	93
Paul	Depresión tropical	1982	18-30 Sep.	A 100 Km al sur de Tapachula, Chis.	56
Miriam	Tormenta Tropical	1988	23 Oct-2 Nov.	A 60 km al sur de Tapachula, Chis.	83
Rick	Tormenta tropical	1997	07-10 Nov.	Ingresó a tierra a 75 kms. al nor-noroeste de Arriaga y se disipó rápidamente al norte de Tuxtla. Sin daños.	74
Barbará	Tormenta tropical	2007	29 May-02 Jun.	Toco tierra en las inmediaciones de Puerto Madero Chiapas, con vientos máximos de 85 Km/h y rachas de 100 Km/h	85

Tabla 6.1.2. Ciclones tropicales del Atlántico que afectaron al Estado de Chiapas (1974-2007)

Nombre del Ciclón	Categoría	Año/Fecha		Lugar de entrada a tierra en la zona	Vientos Máximos en la región (Km/h)
Fifi	Tormenta Tropical	1974	14-22 Sept.	A 125 Km al este de Ocosingo, por Yaxchilán, atravesó por Ocosingo con vientos de 80 Km/h hasta salir por los Chimalapas en DT.	100
Hermine (Herminia)	Tormenta Tropical	1980	20-26 Sept.	A 205 Km al noroeste de Cintalapa. Ingresó por Coatzacoalcos, Ver.	80

Nombre del Ciclón	Categoría	Año/Fecha		Lugar de entrada a tierra en la zona	Vientos Máximos en la región (Km/h)
Mitch	Depresión tropical	1998	21 Oct – 5 Nov	35 km al noreste de Tapachula, Chis. como Depresión Tropical.	45
Chantal	Depresión Tropical	2001	15-22 Ago.	A 60 km al nor-noreste de Pichucalco, por Huimanguillo, Tab.	46
Iris	Depresión tropical	2001	4-9 Oct.	Ingresó como Tormenta Tropical por Marqués de Comillas, atravesando La Angostura hasta salir por Arriaga en DT.	55
Larry	Depresión tropical	2003	1-6 Oct.	Ingresó como Depresión Tropical al norte de Chiapas, disipándose al oriente de Tuxtla Gtz.	45
Stan	Huracán	2005	1-5 Oct.	Desde el día 3 de Octubre “Stan” afectaba fuertemente con sus bandas nubosas a todos los estados del litoral de Golfo. En la madrugada del día 4, cuando se encontraba a 75 km al Norte de Coatzacoalcos, Ver. “Stan” se había intensificado a huracán de categoría I, con vientos máximos sostenidos de 130 km/h y rachas de 155 km/h iniciando su disipación el día 5.	75

6.2.- Procedimiento para la aplicación de la metodología en Chiapas.

En el capítulo 2 de este trabajo se expresa a la **vulnerabilidad** en términos de la función de vulnerabilidad, la que a su vez define la **distribución de probabilidad de las pérdidas como función de la intensidad producida por la amenaza** durante un escenario específico.

Por su parte el riesgo se refiere a **las pérdidas potenciales asociadas con una amenaza**, definido en términos de frecuencia y probabilidad esperadas, exposición y consecuencias.

Al analizar los conceptos de vulnerabilidad y el de riesgo se puede notar que en ambos conceptos está involucrada la **amenaza**, la cual generará daños o pérdidas de acuerdo a ciertas distribuciones de probabilidad.

Por esta razón, como parte de la aplicabilidad se ha elaborado un mapa de susceptibilidad de daño por efecto del viento para el estado de Chiapas, el cual se obtiene a partir del análisis probabilista de la amenaza que corresponde a la intensidad del viento, obtenido a través de los planos de isótacas y de las características de exposición, tipos de materiales y características estructurales de las construcciones en las zonas donde es crítico el efecto del viento. Se describe a continuación la forma en que se elaboraron los planos de isótacas.

6.3.- Conceptos teóricos para el proceso de elaboración de los planos de isótacas de velocidad regional.

Se han establecido observatorios que mantienen registro continuo de velocidad y dirección del viento y del análisis de los registros es posible establecer estudios estadísticos para conocer la velocidad probable en un sitio a 10 m de altura sobre el nivel del terreno.

Del resultado de la medición de la velocidad del viento en un sitio al instalar un aparato de registro se puede llegar a obtener registros en donde se muestra la variación de la dirección y de velocidad del viento.

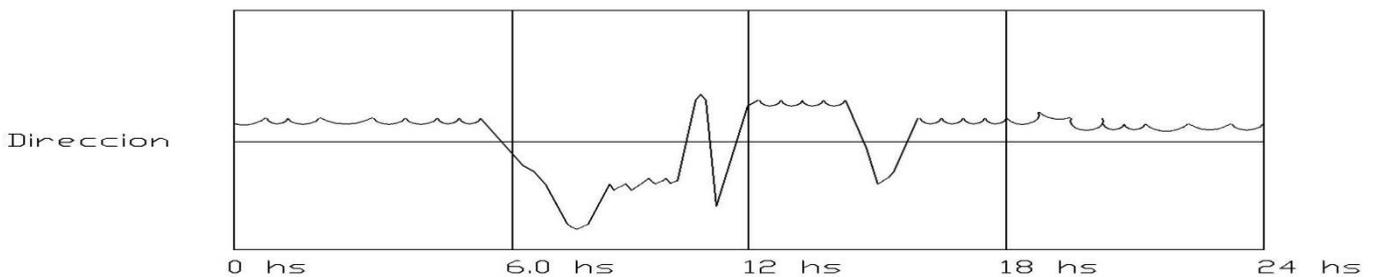


Fig. 6.3.1.- Registro de variación de la dirección del viento.

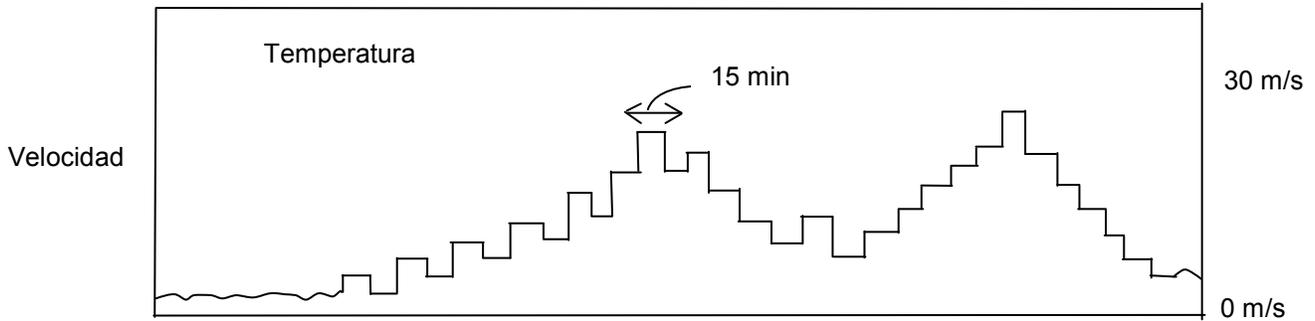


Fig. 6.3.2.- Registro de variación de velocidad del viento.

Existen diversos tipos de registros:

- a). Aparatos con registro instantáneo
- b). Aparatos con registro continuo de dirección y valores promedio en intervalos pre-establecidos.
- c). Aparatos con registro digital que promedia la velocidad y la dirección en intervalos de tiempo prefijado.

En los registros interesa establecer las características de variación de la velocidad en magnitud y dirección. Para ello se recurre a procedimientos estadísticos para establecer las propiedades del movimiento del aire.

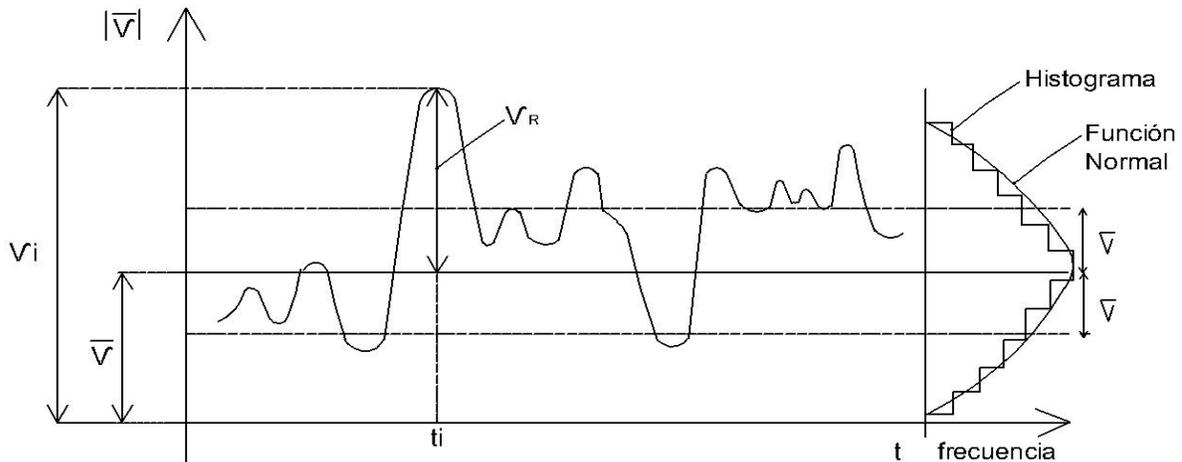


Fig. 6.3.3.- Características de variación de la velocidad.

$\left\{ \begin{matrix} t_i \\ v_i \end{matrix} \right\}$ Se establece así un conjunto de datos (universo). Del cual se puede establecer un histograma que defina la variabilidad del proceso.

El universo de datos se puede representar de diversas maneras:

Estadísticamente, el valor medio, la desviación estándar y la varianza, son medidas estadísticas comunes.

Mediante la estadística se tiene:

$$V_i = V + V_R \quad \text{-----} \quad (6.3.1)$$

V_R = Velocidad de Reynolds, variable en el tiempo.

\bar{V} = Constante en el intervalo

$$V_i = \bar{V} + g \nabla \implies V_i = \bar{V} \left[1 + g \left(\frac{\nabla}{\bar{V}} \right) \right] \quad \text{-----} \quad (6.3.2)$$

En la que:

g = factor de ráfaga

∇ = desviación estándar

$\frac{\nabla}{\bar{V}}$ = Coeficiente de variación que para fines de diseño, se le conoce como índice de turbulencia.

El índice de turbulencia es una medida del cambio de las velocidades de Reynolds.

Los índices de turbulencia pueden cambiar de acuerdo con el estado de la atmósfera y oscilan entre 5 ó 6 en vientos muy turbulentos.

Es evidente que el índice de turbulencia es dependiente del valor medio de la velocidad y que éste es a su vez dependiente del intervalo en el que se obtiene el valor medio.

Se deberá especificar el intervalo de tiempo para el cual se desea obtener el valor medio y el índice de turbulencia.

Existe además una medida estadística que se conoce como varianza del conjunto.

$$\text{Varianza} = (\text{desviación estándar})^2$$

Para conocer la velocidad media de diseño a 10 m de altura se recurre a un análisis estadístico de registros que se asocia a una distribución probabilística conocida, que permite definir una velocidad probable, una vez que se define el nivel de probabilidad para fines de diseño.

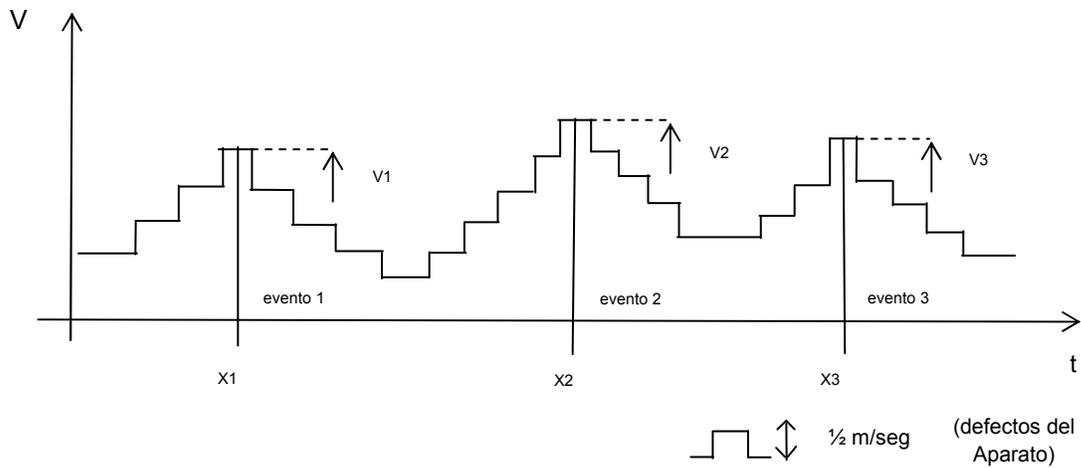


Fig. 6.3.4.- Conjunto de eventos de vientos máximos.

$$\left\{ \begin{array}{c} X_1 \\ X_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ X_n \end{array} \right\} \quad \left\{ \begin{array}{c} V_1 \\ V_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ V_n \end{array} \right\}$$

Se establece un conjunto de eventos de vientos máximos obtenidos de registros y se asocia a cada evento una velocidad máxima.

Los eventos se pueden asociar en intervalos de velocidad, para generar un histograma de barras en donde se presenta el número de eventos que se presentaron en cada intervalo seleccionado.

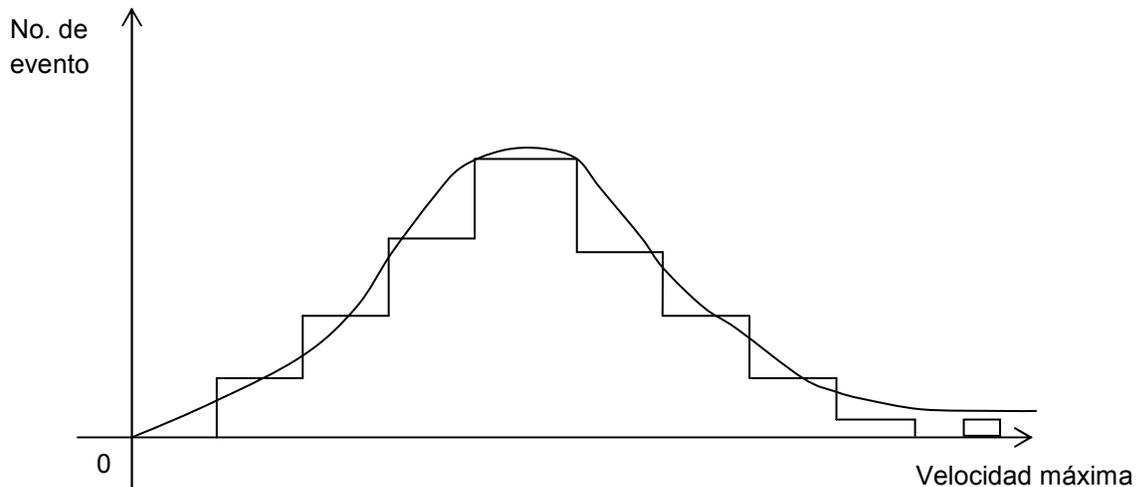


Fig. 6.3.5.- Histograma de barras con curva teórica de ajuste.

Al histograma de eventos de velocidad máxima se asocia una curva teórica que mejor se ajusta a dicho histograma.

En teoría de valores extremos han aparecido diversas curvas de distribución entre las que se pueden mencionar las siguientes.

- 1.- Fisher - Tippet
- 2.- Weibul
- 3.- Rayleigh

La probabilidad de ocurrencia de velocidades de viento superiores a las de diseño, durante la vida útil de las estructuras es valorada por medio del análisis de velocidades extremas. La determinación de valores de velocidades de vientos máximas, utilizando análisis estadísticos de valores extremos, es de interés en aplicaciones de ingeniería estructural, considerando la probabilidad de que la estructura será expuesta durante su vida útil a este tipo de cargas de viento. Un extremo es el mayor valor de un conjunto de valores, todos pertenecientes a la misma población (registros originales o parent), que posee una determinada distribución de probabilidades. (Ref.18).

Si en lugar de considerar los valores medios de las muestras se tienen en cuenta los valores máximos, la distribución conjunta no será definida por una función normal, debiendo ser analizadas por la teoría de las distribuciones extremas. Dicha teoría, desarrollada por Fisher y Tippet (1928), es comúnmente utilizada en este tipo de análisis; se basa en el supuesto que la Función de Distribución Acumulada (FDA) de la variable no necesita ser conocida ya que la FDA de los extremos de cualquier distribución original (parent) se aproxima asintóticamente a una distribución conocida cuando el tamaño de la muestra crece.

Si se consideran N observaciones independientes de velocidades medias V_M , la probabilidad de que todos los N valores, con $i= 1, 2, 3, \dots, N$, resulten inferiores o iguales a X puede hallarse recurriendo a la regla de multiplicación para sucesos independientes:

Determinar la función de probabilidad de datos obtenidos de registros realizados en el sitio de interés es muy poco probable. Los métodos de análisis de valores extremos intentan superar esta dificultad inherente a la falta de registros lo suficientemente prolongados en el tiempo, ajustando los datos a una forma asintótica, a la cual tienden los registros cuando N es lo suficientemente grande.

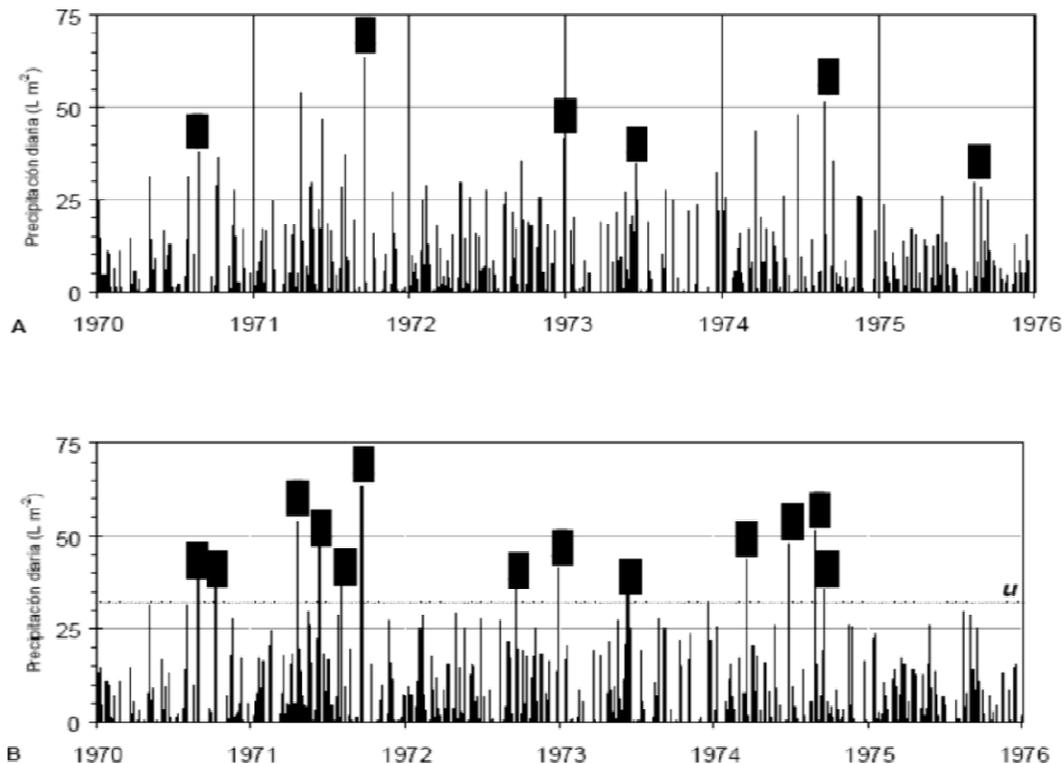
Como por lo general la expresión matemática de la función de probabilidad acumulada P_V no se conoce, Fréchet (1927) y Fisher y Tippet (1928) estudiaron un conjunto de funciones asintóticas conocidas como distribuciones de valores extremos, las que, partiendo de ciertas funciones iniciales brindan un ajuste adecuado para grandes valores de N .

En resumen, el análisis de frecuencias de eventos extremos se basa en los siguientes aspectos:

- a) Los eventos climáticos extremos son variables aleatorias que pueden ser expresadas mediante algún tipo de distribución de probabilidad.
- b) La serie de eventos extremos son independientes; es decir, la magnitud de cada suceso no tiene correlación con los sucesos anteriores.
- c) La distribución de probabilidad que describe el proceso extremo no varía en el tiempo, ni cambia en función de la magnitud de la variable.

Cabe acotar que los registros de la distribución original no son estadísticamente independientes, ya que los datos tomados en horas adyacentes estarán correlacionados debido a picos de bajas frecuencias observados en el espectro de Van der Hoven. Para estudiar los extremos será necesario separarlos de la distribución de referencia, para lo cual existen diversas técnicas.

Existen principalmente dos procedimientos de muestreo de valores extremos en series de datos: **las series de máximos** y **las series de excedencias**. En la Figura 6.3.6 se aprecia el procedimiento de obtención de las muestras obtenidas a partir de los mismos registros originales.



umbral

Distribución de Valores Extremos Generalizados (GEV).

Serie de máximos.

Las series de máximos se construyen a partir de los valores máximos de la variable tomados a intervalos fijos de tiempo, habitualmente un año, por lo que el tamaño final de la muestra es igual al número de años de registro. La Teoría de los Valores Extremos supone la existencia de independencia en las observaciones, hecho que está garantizado en las series de máximos anuales por la metodología de muestreo.

A partir de mediciones de velocidades efectuadas, se dispondrá de una muestra de velocidades medias horarias anuales máximas, extraídas de los registros primitivos, aportando por cada año, de registro un solo valor. Cada valor es un máximo del evento aleatorio “velocidad media horaria anual”, por tanto puede presumirse que la curva de distribución del nuevo suceso aleatorio “velocidad media horaria extrema anual” obedecerá al extremo de la curva de registros de velocidades anuales. (Ref. 18)

Para garantizar la independencia de los registros, los datos subyacentes de los cuales se extrajeron los extremos deben ser de largos periodos de observación. Cook (1985) sugiere que deben disponerse de datos de al menos 20 años para obtener resultados confiables (20 valores extremos para analizar) y establece que el método no es aplicable con datos de menos de 10 años. Así, los datos a ser analizados deberán estar separados por varios días para que cumplan la condición de independencia estadística. (Ref. 18)

Series de excedencias.

Las series de excedencias se construyen extrayendo de la serie original todos aquellos valores superiores a un determinado valor de umbral, μ , fijado de antemano, por lo que el tamaño de la muestra es variable. La selección del valor de umbral μ permite controlar el tamaño final de la muestra. Este es un aspecto de gran importancia en todo procedimiento de regresión, donde el tamaño de la muestra condiciona la fiabilidad de los resultados. En este sentido, las series de excedencias hacen un uso mucho más eficiente de la información contenida en las series originales, pues permiten incluir más de un evento por año si éste cumple el requisito para ser considerado extremo. (Ref. 18)

El mayor problema relacionado con el uso de series de excedencias, es la dificultad para asegurar la independencia de las observaciones. En efecto, en las series de máximos anuales se asegura el espaciado temporal de los sucesos muestreados, al contrario de lo que sucede con las series de excedencias. En éstas, un valor de umbral excesivamente bajo puede hacer que las ocurrencias queden agrupadas en el tiempo, en lugar de mantener sus características aleatorias. Además los registros deben ser continuos y completos. (Ref. 18)

Dentro de los métodos de series de excedencias, se distinguen el **Método de Picos sobre Umbral** (Peaks Over Threshold-POT) y el **Método de las Tormentas Independientes** (Independent Storms Method-MIS). El método de las tormentas independientes (MIS) utiliza un periodo de calma o de velocidades de viento por debajo de un valor umbral seleccionado (Threshold) para separar las tormentas. Entonces, se seleccionan los extremos mayores de cada tormenta y los datos se ajustan al GEV. Cook (1982), señala una tasa de frecuencia típica de tormentas de alrededor a 100 eventos/año. (Ref. 18)

Aunque los métodos POT y MIS resultan semejantes en su implementación, poseen ligeras diferencias conceptuales, tal como pueden apreciarse en la figura 6.3.7. El método MIS considera todos valores que superan un cierto valor de umbral (μ), los que deberían ser valores independientes. Sin embargo, es posible que sean considerados valores provenientes de una misma tormenta, como se puede observar en la figura. Por otra parte, el POT utiliza los valores reales de los máximos por tormenta, e ignora otros picos más pequeños dentro de una misma tormenta. Al incrementar el valor del umbral en el POT, solo se reduce el número de valores independientes, en tanto que en el análisis MIS afecta tanto al número como a la magnitud de los excesos. (Ref. 18)

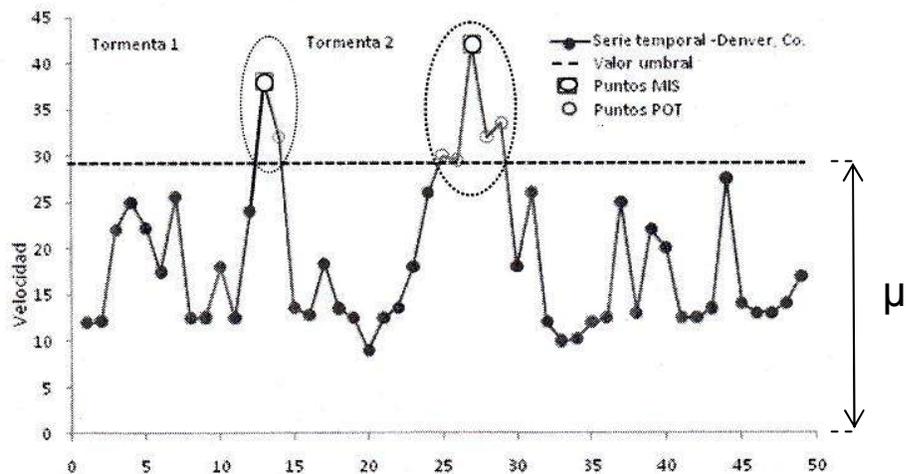


Fig. 6.3.7.-Diferencias entre los registros considerados en los métodos MIS v POT

Para la determinación de las velocidades regionales se utilizó un análisis estadístico de valores extremos.

La distribución de Fisher Tippet tiene la siguiente expresión matemática.

$$F(v_i) = e^{-\left(\frac{B}{v_i}\right)^{\gamma}} \quad \text{----- (6.3.3)}$$

En la que:

$F(v_i)$ Representa la función de probabilidad de que se presente un evento de magnitud V_i ; en función de los parámetros β y γ ; $0 \leq F(v_i) \leq 1$.

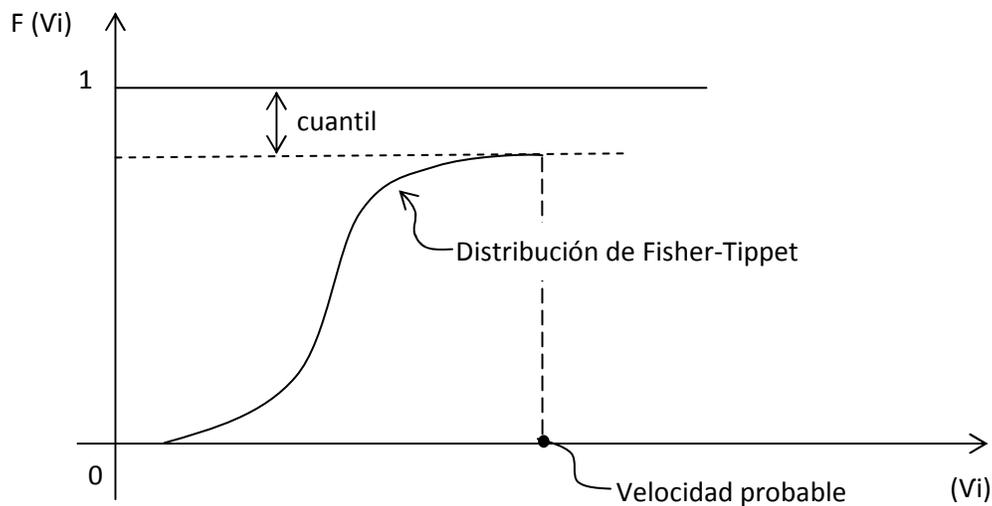
V_i es la velocidad esperada, en m/s

β parámetro que representa una velocidad del conjunto (m/s)

γ parámetro adimensional

Al conocer β y γ en un sitio, se puede establecer la probabilidad de que se presente un viento máximo de magnitud (v_i).

Gráficamente, la función $F(v_i)$ tiene la siguiente forma.



Al conocer la función $F(v_i)$ es fácil conocer la velocidad probable, una vez que se establece el nivel de probabilidad seleccionado para fines de diseño.

Características de la función de Fisher - Tippet tipo II:

La ecuación 6.3.3 se tiene:

$$F(v_i) = e^{-\left(\frac{\beta}{v_i}\right)^\gamma} \Rightarrow \boxed{F(v_i) = e^{-\left(\frac{v_i}{\beta}\right)^\gamma}} \quad (6.3.4)$$

A partir de esta función, y mediante derivación respecto a la velocidad, se obtiene lo siguiente:

$$\frac{d F (V_i)}{d V_i} = e^{-\left(\frac{v_i}{\beta}\right)^{-\gamma}} \cdot \frac{d}{d V_i} \left[-\left(\frac{V_i}{\beta}\right)^{-\gamma} \right]$$

$$\Rightarrow \frac{d F (V_i)}{d V_i} = e^{-\left(\frac{v_i}{\beta}\right)^{-\gamma}} \cdot (\gamma) \left[\frac{V_i}{\beta} \right]^{-\gamma-1} \cdot \frac{1}{\beta}$$

$$\therefore \boxed{\frac{d F (V_i)}{d V_i} = \frac{\gamma}{\beta} e^{-\left(\frac{V_i}{\beta}\right)^{-\gamma}} \cdot \left[\frac{V_i}{\beta} \right]^{-(\gamma+1)}} \quad (6.3.5)$$

Esta derivada define a la función de frecuencia de eventos de magnitud v_i , una vez que se definen los parámetros β y γ de la distribución $F(v_i)$. Bastará así definir los parámetros β y γ de la distribución para representar a un histograma.

Para definir los parámetros se puede recurrir al siguiente enfoque

$$L F (V_i) = -\left(\frac{\beta}{V_i}\right)^{\gamma} L e \Rightarrow \boxed{-L F (V_i) = \left(\frac{\beta}{V_i}\right)^{\gamma}} \quad (6.3.6)$$

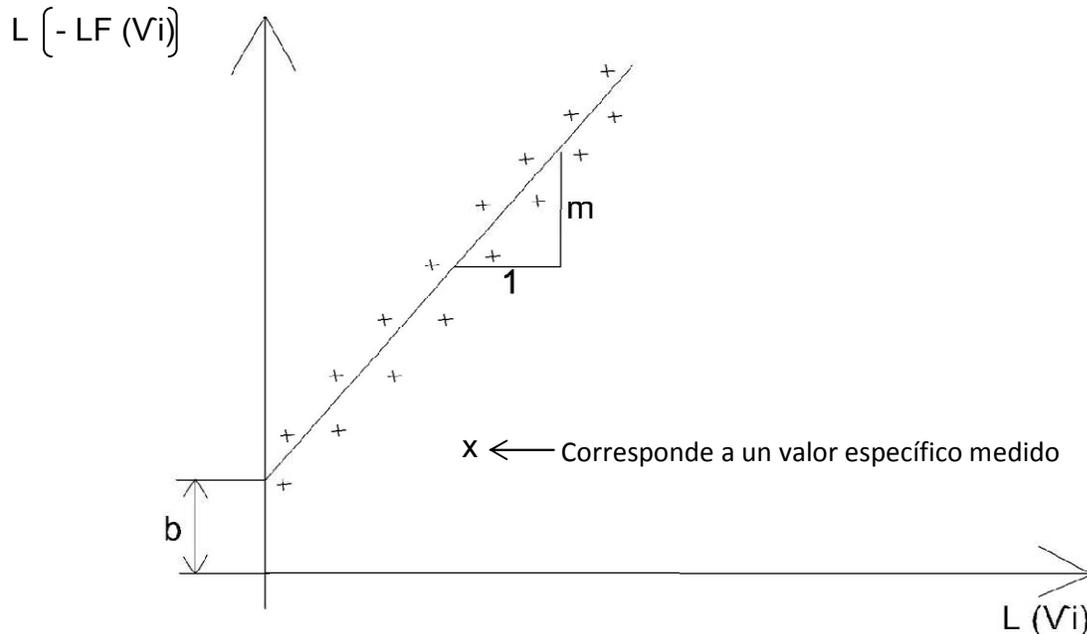
En la expresión L es el logaritmo natural y $F(V_i)$ varía de 0 a 1 por ser una función de probabilidad y el logaritmo de $F(V_i)$ resulta un número negativo, por lo que al multiplicarse por -1 se vuelve positivo, entonces al volver a aplicar logaritmo natural se tiene.

$$L \left[-L F (V_i) \right] = L \left(\frac{\beta}{V_i} \right)^{\gamma} = \gamma L \left(\frac{\beta}{V_i} \right) = \gamma L \beta - \gamma L V_i$$

$$\text{Haciendo: } L \left[-L F (V_i) \right] = y \quad ; \quad L (V_i) = X \quad y \quad \gamma L \beta = b$$

$$Y \text{ para la ecuación de la recta, } Y = mx + b, \text{ si } m = -\gamma \Rightarrow y = -\gamma x + b$$

Por lo que graficando se tiene:



Al conocer, γ por la pendiente, $L \beta^y = b \Rightarrow \beta^y = e^b \therefore \beta = \sqrt[y]{e^b}$

A partir de datos de mediciones se pueden establecer puntos representativos del histograma, en la gráfica LL, L y ajustar una línea recta que mejor se ajuste a los puntos representativos de mediciones. El ajuste se puede hacer por:

- a).-Mínimos cuadrados
- b).-Máxima Probabilidad

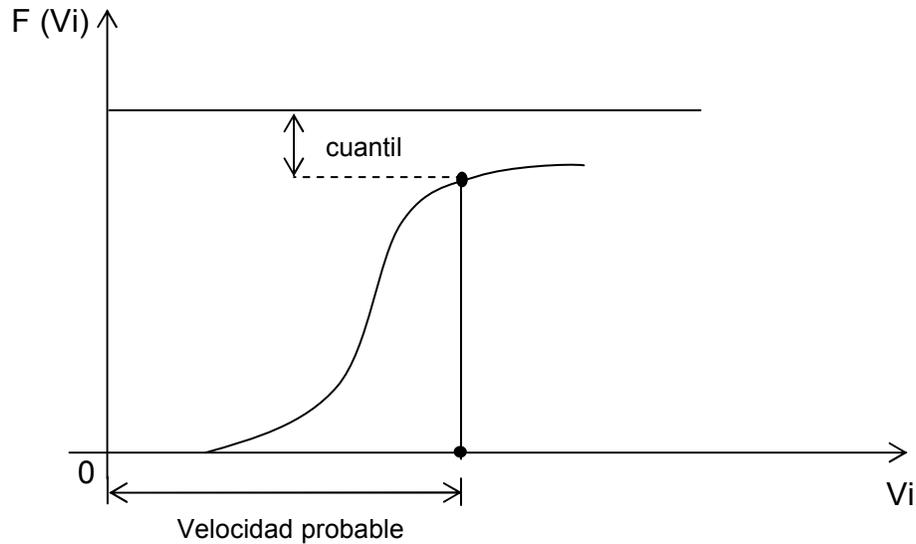
Mínimos cuadrados conduce a la representación con mínima varianza respecto a los datos de medición.

Conocida la distribución de probabilidad, se puede siempre fijar la velocidad probable que se presente en el sitio para un cuantil preestablecido.

$$\text{Cuantil} = 1 - F(v_i) = \frac{1}{R}$$

El cuantil es el inverso del periodo de retorno R, que representa, para fines de diseño, la vida útil de la estructura que se quiere diseñar en un sitio.

Así al conocer $F(v_i)$ en un sitio, se puede llegar a establecer la velocidad probable para un cuantil preestablecido.



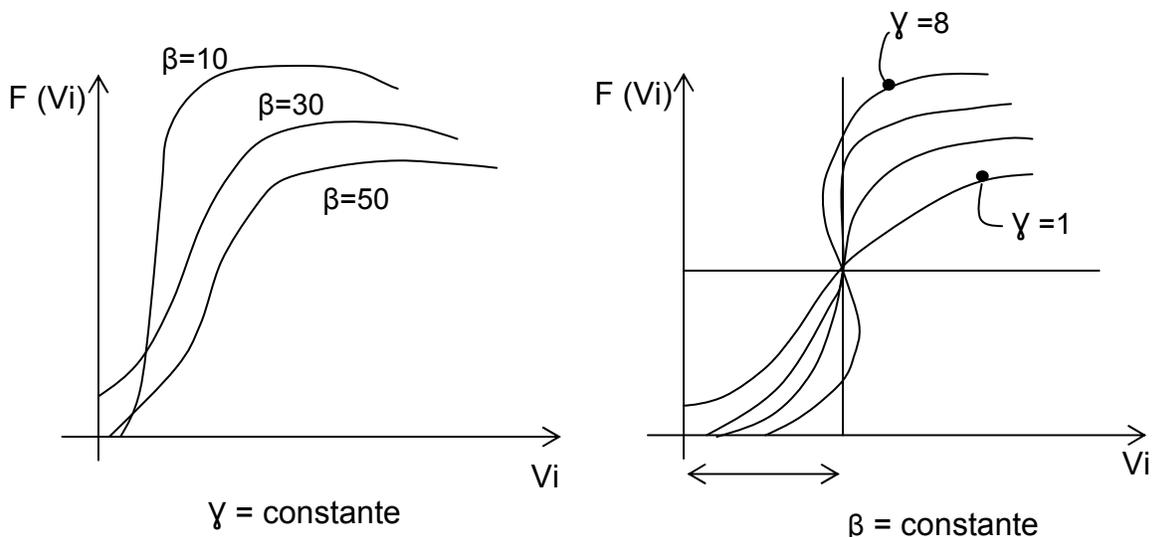
Las leyes, los reglamentos y la experiencia fijan la vida útil probable de una edificación, en función de razonamientos de uso de ganancia económica, o de las propiedades de los materiales que la forman.

La velocidad máxima probable de diseño es así función de las características meteorológicas de la zona y del periodo de retorno seleccionado.

Así, en términos numéricos, para establecer la velocidad probable de diseño a 10 m de altura, a partir de datos de un observatorio en la zona se definen β y γ y de reglamentos, se fija R para establecer la velocidad probable de diseño.

Al procesar datos para definir los parámetros β y γ de la distribución de Fisher-Tippet, se intenta representar a esa población de datos por los parámetros β y γ . Dependiendo del tipo de población, se obtendrán diversos valores de β y γ .

Es posible demostrar que $F(v_i)$ presenta las siguientes variaciones.



Así, de la ecuación 6.3.4

$$F(v_i) = e^{-\left(\frac{v_i}{\beta}\right)^\gamma} \quad \text{Se tiene que:}$$

- a).-Al mantener γ constante, las curvas $F(v_i)$ tienden a aumentar el valor de β .
- b).-Por otra parte al aumentar γ , y mantener β constante se obtiene una curva que tiende a pararse.

En cada población, al ajustar la distribución, se obtienen valores particulares de β y γ que definen a los vientos probables.

Los valores de β y γ son sensibles al número de eventos que se considere en el análisis y se ha derivado que al aumentar el número de eventos aumentan β y γ .

Se puede así establecer que se obtiene una buena definición de los parámetros β y γ cuando se dispone de más de 5000 datos.

Una vez que se definen β y γ se puede establecer la velocidad probable de retorno R mediante expresiones del siguiente tipo.

$$V_R = \left[\frac{1}{G_m} + \frac{R}{E_m} + \frac{1}{G_k} (1 - e^{-R/\tau_k}) \right] \dots \dots \dots (6.3.7)$$

Donde G_m , E_m , G_k y τ_k son parámetros que se definen para cada sitio y de manera estadística ha sido posible mostrar que una expresión del siguiente tipo $V_R = \beta \gamma \sqrt[\gamma]{R}$ proporciona información similar a la que se obtiene de la expresión.

Para justificar la expresión

$$V_R = \beta \gamma \sqrt[\gamma]{R} \quad \text{Se recurrió al siguiente razonamiento:}$$

De la distribución de Fisher-Tippet (ecuación 6.3.4) se tiene:

$$F(V_i) = e^{-\left(\frac{v_i}{\beta}\right)^\gamma} \quad \text{Pero } F(V_i) = 1 - \text{cuantil} \implies F(V_i) = 1 - \frac{1}{R}$$

$$\therefore 1 - \frac{1}{R} = \frac{R-1}{R} = e^{-\left(\frac{v_i}{\beta}\right)^y} \quad \text{Al aplicar logaritmo se tiene}$$

$$L\left(\frac{R-1}{R}\right) = -\left(\frac{v_i}{\beta}\right)^y \Rightarrow -L\left(\frac{R-1}{R}\right) = \left(\frac{v_i}{\beta}\right)^y \quad \text{----- (6.3.8)}$$

Al obtener los recíprocos de la expresión anterior se tiene

$$\therefore \frac{1}{\left|L\frac{R-1}{R}\right|} = \left(\frac{v_i}{\beta}\right)^y \quad \text{tomando la raíz gamaésima se tiene}$$

$$\sqrt[y]{\frac{1}{\left|L\frac{R-1}{R}\right|}} = \frac{v_i}{\beta} \Rightarrow \left(v_i\right)_R = \beta \sqrt[y]{\frac{1}{\left|L\left(\frac{R-1}{R}\right)\right|}} \quad \text{----- (6.3.9)}$$

y por aproximación:

$$\left(v_i\right)_R = \beta \sqrt[y]{R} \quad \text{----- (6.3.10)}$$

6.4.- Elaboración de los planos de isótacas.

La aplicación de la estadística para el análisis de registros en observatorios, permite establecer la velocidad probable correspondiente, a cada observatorio para un periodo de retorno predefinido.

Se puede así representar en mapas los valores de velocidades máximas probables en cada punto de medición y mediante interpolación, establecer curvas de igual velocidad máxima probable, correspondientes al mismo periodo de retorno.

Para realizar el cálculo de las distribuciones para el estado de Chiapas fué necesario conformar la base de datos para el análisis estadístico de valores extremos, la cual se formó con las velocidades de ráfagas máximas mensuales de registros desde el año 1951 y hasta el año 2010. Dichos datos se recopilaron principalmente de 13 observatorios del Servicio Meteorológico Nacional, 5 de ellos corresponden al estado de Chiapas, y 5 a los estados de vecinos de Oaxaca, Veracruz, y Tabasco; así como 3 de los estados cercanos correspondientes a Campeche y Quintana Roo. Adicionalmente se solicitó información a la vecina República de Guatemala, quienes proporcionaron información de observatorios meteorológicos ubicados en los departamentos de Huehuetenango,

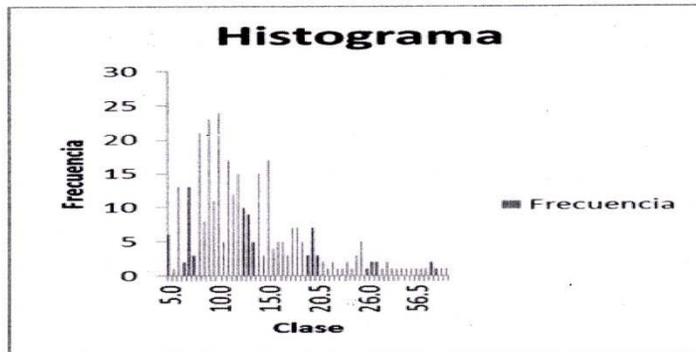
Quetzaltenango, Flore Petén, Retalhuleu, Coban y Puerto de San José. Sin embargo, la información de Guatemala no se pudo utilizar, debido a la incongruencia de valores en sus registros de velocidades, ya que la mayoría de sus valores oscilan entre 1 Km/h y 15 km/h y al procesarlos de acuerdo con la teoría de valores extremos para periodos de retorno de 50 y 100 años, se obtuvieron valores muy bajos (por debajo de 30 km/h).

Con los resultados obtenidos del análisis de los valores extremos utilizando el método de Fisher-Tippet para periodos de retorno de 50 y 100 años y con la posición geográfica de cada observatorio se ubicaron en un mapa del estado con sus correspondientes valores de velocidades para los diferentes periodos de retorno y se procedió posteriormente a la interpolación aritmética para obtener valores cerrados de velocidades de viento. Finalmente se fueron uniendo puntos de igual valor de velocidades de viento, con lo cual se fué conformando u obteniendo las isótacas. Se anexan las tablas de cálculo de los 13 observatorios cuyos datos de registros se procesaron y utilizaron.

Observatorio Meteorologico de Puerto Angel, Oaxaca

Intervalos de clase		Clase	Frecuencia
5,0	6	35,0	1
5,5	1	37,0	1
6,0	13	38,0	1
6,5	2	40,0	1
7,0	13	55,0	1
7,5	3	56,5	1
8,0	21	60,0	1
8,5	8	64,0	1
9,0	23	66,0	2
9,5	11	80,0	1
10,0	24	84,0	1
10,5	5	90,0	1
11,0	17		
11,5	12		
12,0	15		
12,5	10		
13,0	9		
13,5	5		
14,0	15		
14,5	3		
15,0	17		
15,5	4		
16,0	5		
16,5	5		
17,0	3		
17,5	7		
18,0	7		
18,5	5		
19,0	3		
20,0	7		
20,5	3		
21,0	2		
21,5	1		
22,0	2		
22,5	1		
23,0	1		
23,5	2		
24,0	1		
25,0	3		
25,5	5		
26,0	1		
26,5	2		
27,0	2		
30,0	1		
32,5	2		

Tabla de Datos	
N° de Observaciones del Registro Original	37148
N° de Observaciones Seleccionadas	341
N° de Observaciones Utilizadas	321
Valor Maximo	90
Valor Mínimo	5
Media	14,537



Observatorio Meteorologico de Puerto Angel, Oaxaca

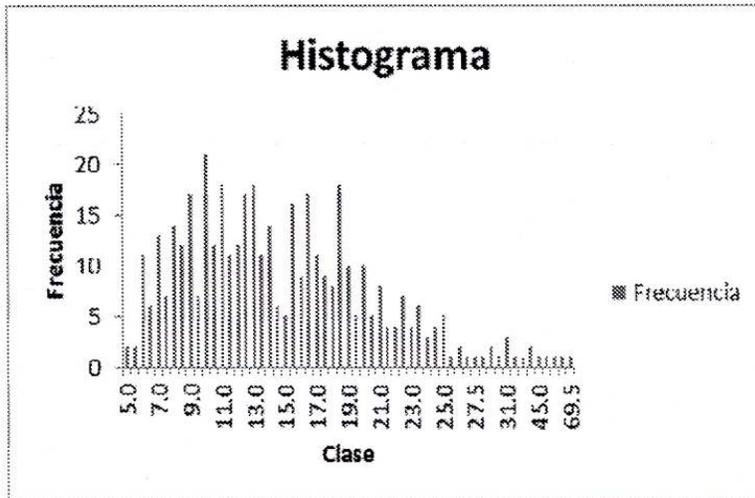
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	DIRECCION DEL VIENTO											T-
RENGLON	v_i	# DE EVENTO OI	No. DE EVENTOS ACOMULADO m_s	$F(v_i)=m/N+1$	$\frac{1}{F(v_i)}$	$\epsilon_i = L v_i$	$\epsilon_i - \bar{\epsilon}$	$(\epsilon_i - \bar{\epsilon})^2$	$L \left[\frac{1}{F(v_i)} \right]$	$n_i = L L \left[\frac{1}{F(v_i)} \right]$	$n_i * (\epsilon_i - \bar{\epsilon})$	$R = 1/1 - F(v_i)$
1	15.0	17	17.00	1.7526E-01	5.7059	2.708050201	-4.28E-01	1.83E-01	1.74E+00	0.554745452	-2.3734E-01	1.2125E+00
2	15.5	4	21.00	2.1649E-01	4.6190	2.740840024	-3.95E-01	1.56E-01	1.53E+00	0.425390957	-1.6805E-01	1.2763E+00
3	16.0	5	26.00	2.6804E-01	3.7308	2.772588722	-3.63E-01	1.32E-01	1.32E+00	0.275063624	-9.9928E-02	1.3662E+00
4	16.5	5	31.00	3.1959E-01	3.1290	2.803360381	-3.33E-01	1.11E-01	1.14E+00	0.13166295	-4.3780E-02	1.4697E+00
5	17.0	3	34.00	3.5052E-01	2.8529	2.833213344	-3.03E-01	9.16E-02	1.05E+00	0.047217933	-1.4291E-02	1.5397E+00
6	17.5	7	41.00	4.2268E-01	2.3659	2.862200881	-2.74E-01	7.49E-02	8.61E-01	-0.14949945	4.0915E-02	1.7321E+00
7	18.0	7	48.00	4.9485E-01	2.0208	2.890371758	-2.46E-01	6.03E-02	7.04E-01	-0.351673234	8.6338E-02	1.9796E+00
8	18.5	5	53.00	5.4639E-01	1.8302	2.917770732	-2.18E-01	4.76E-02	6.04E-01	-0.503487505	1.0981E-01	2.2045E+00
9	19.0	3	56.00	5.7732E-01	1.7321	2.944438979	-1.91E-01	3.66E-02	5.49E-01	-0.599002611	1.1467E-01	2.3659E+00
10	20.0	7	63.00	6.4948E-01	1.5397	2.995732274	-1.40E-01	1.96E-02	4.32E-01	-0.84031107	1.1777E-01	2.8529E+00
11	20.5	3	66.00	6.8041E-01	1.4697	3.020424886	-1.15E-01	1.33E-02	3.85E-01	-0.954365887	1.1018E-01	3.1290E+00
12	21.0	2	68.00	7.0103E-01	1.4265	3.044522438	-9.14E-02	8.35E-03	3.55E-01	-1.035065052	9.4559E-02	3.3448E+00
13	21.5	1	69.00	7.1134E-01	1.4058	3.068052935	-6.78E-02	4.60E-03	3.41E-01	-1.077033375	7.3050E-02	3.4643E+00
14	22.0	2	71.00	7.3196E-01	1.3662	3.091042453	-4.48E-02	2.01E-03	3.12E-01	-1.164652412	5.2218E-02	3.7308E+00
15	22.5	1	72.00	7.4227E-01	1.3472	3.113515309	-2.24E-02	5.00E-04	2.98E-01	-1.210511269	2.7071E-02	3.8800E+00
16	23.0	1	73.00	7.5258E-01	1.3288	3.135494216	-3.84E-04	1.48E-07	2.84E-01	-1.257895738	4.8334E-04	4.0417E+00
17	23.5	2	75.00	7.7320E-01	1.2933	3.157000421	2.11E-02	4.46E-04	2.57E-01	-1.357812391	-2.8680E-02	4.4091E+00
18	24.0	1	76.00	7.8351E-01	1.2763	3.17805383	4.22E-02	1.78E-03	2.44E-01	-1.410678705	-5.9496E-02	4.6190E+00
19	25.0	3	79.00	8.1443E-01	1.2278	3.218875825	8.30E-02	6.89E-03	2.05E-01	-1.583462581	-1.3142E-01	5.3889E+00
20	25.5	5	84.00	8.6598E-01	1.1548	3.238678452	1.03E-01	1.06E-02	1.44E-01	-1.938677113	-1.9930E-01	7.4615E+00
21	26.0	1	85.00	8.7629E-01	1.1412	3.258096538	1.22E-01	1.49E-02	1.32E-01	-2.024501019	-2.4743E-01	8.0833E+00
22	26.5	2	87.00	8.9691E-01	1.1149	3.277144733	1.41E-01	2.00E-02	1.09E-01	-2.21821766	-3.1336E-01	9.7000E+00
23	27.0	2	89.00	9.1753E-01	1.0899	3.295836866	1.60E-01	2.56E-02	8.61E-02	-2.452540815	-3.9230E-01	1.2125E+01
24	30.0	1	90.00	9.2784E-01	1.0778	3.401197382	2.65E-01	7.04E-02	7.49E-02	-2.591583923	-6.8760E-01	1.3857E+01
25	32.5	2	92.00	9.4845E-01	1.0543	3.481240089	3.45E-01	1.19E-01	5.29E-02	-2.938928562	-1.0150E+00	1.9400E+01
26	35.0	1	93.00	9.5876E-01	1.0430	3.555348061	4.19E-01	1.76E-01	4.21E-02	-3.167434764	-1.3286E+00	2.4250E+01
27	37.0	1	94.00	9.6907E-01	1.0319	3.610917913	4.75E-01	2.26E-01	3.14E-02	-3.460431715	-1.6438E+00	3.2333E+01
28	38.0	1	95.00	9.7938E-01	1.0211	3.63758616	5.02E-01	2.52E-01	2.08E-02	-3.87116484	-1.9422E+00	4.8500E+01
29	40.0	1	96.00	9.8969E-01	1.0104	3.688879454	5.53E-01	3.06E-01	1.04E-02	-4.569534059	-2.5270E+00	9.7000E+01
OPER	①	②	③	④ = ③ / ②	⑤ = 1 / ④	⑥ = 1 / ①	⑦ = ⑥ * (Σ ⑥ / n)	⑧ = ⑦ ²	⑨ = L ⑤	⑩ = L ⑨	⑪ = ⑦ * ⑩	⑫ = 1 / (1 - ④)
n=	29.0	N=	96		Σ ε _i	90.940475	9.33E-15	2.170035		-41.29438483	-10.25	
ε=	Σ ε _i / n	A=	Σ n _i (ε _i - ε̄) / Σ (ε _i - ε̄) ²		B= Σ n _i / n							
ε̄=	3.135878457	A=	-4.72		B=	-1.424	Periodo de retorno a 50 años		Periodo de retorno a 100 años			
LN β̄=	ε̄ - (B/A) = LN β̄	2.83448832	β̄=	17.02169			139.95 Km/Hr		162.24 Km/Hr			
	Log β̄ = 0.4343x	x = -A	x=	4.7246								

Observatorio Meteorologico de Coatzacoalcos, Veracruz

Intervalos de Clase	
Clase	Frecuencia
5.0	2
5.5	2
6.0	11
6.5	6
7.0	13
7.5	7
8.0	14
8.5	12
9.0	17
9.5	7
10.0	21
10.5	12
11.0	18
11.5	11
12.0	12
12.5	17
13.0	18
13.5	11
14.0	14
14.5	6
15.0	5
15.5	16
16.0	9
16.5	17
17.0	11
17.5	9
18.0	8
18.5	18
19.0	10
19.5	5
20.0	10
20.5	5
21.0	8
21.5	4
22.0	4
22.5	7
23.0	4
23.5	6
24.0	3
24.5	4
25.0	5
25.5	1
26.5	2
27.0	1
27.5	1
28.5	1
29.0	2
30.0	1

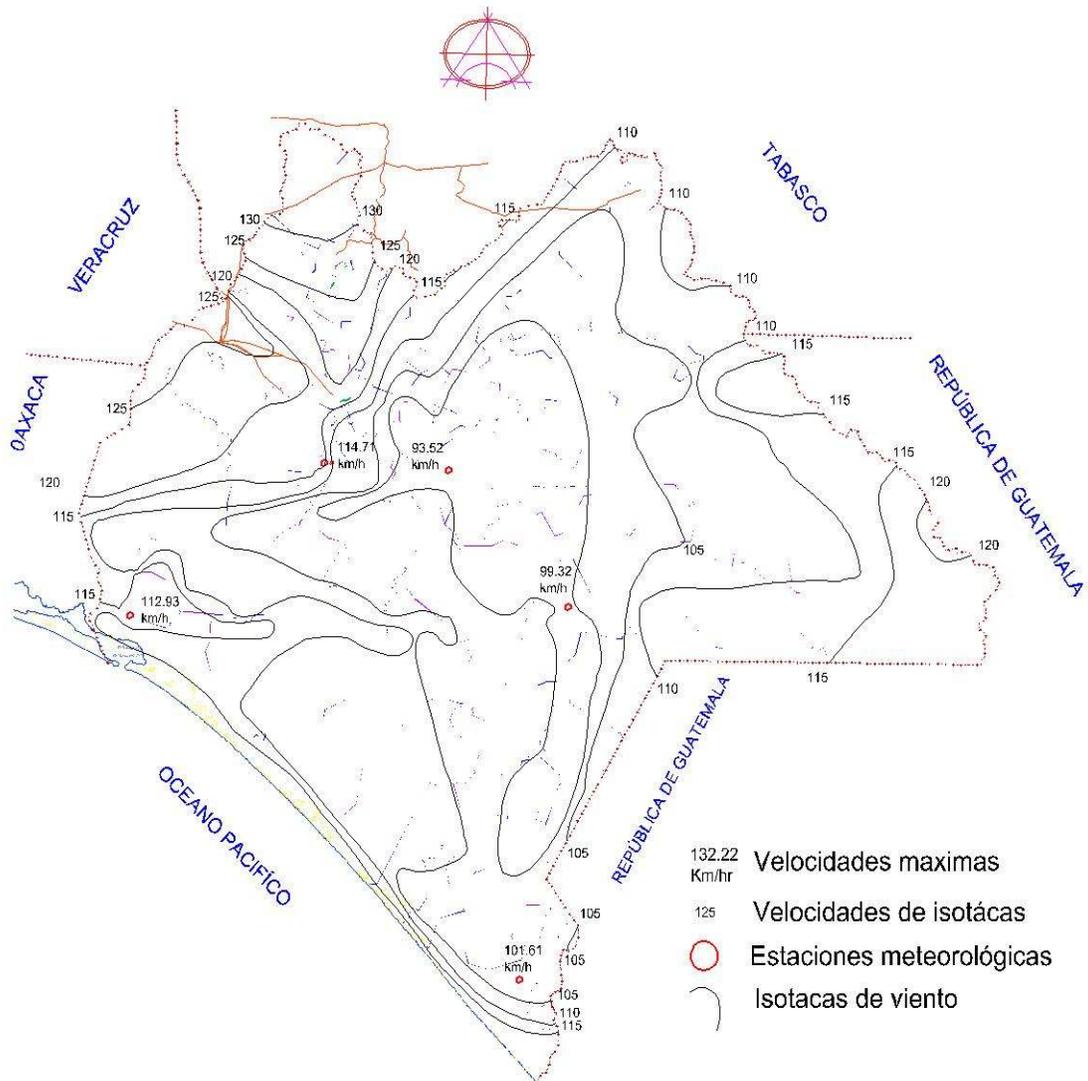
Clase	Frecuencia
31.0	3
32.0	1
33.5	1
36.5	2
45.0	1
46.0	1
47.0	1
64.0	1
69.5	1

Tabla de Datos	
N° de Observaciones del Registro Original	16647
N° de Observaciones Seleccionadas	537
N° de Observaciones Utilizadas	420
Valor Maximo	69.2
Valor Mínimo	5
Media	14.866905

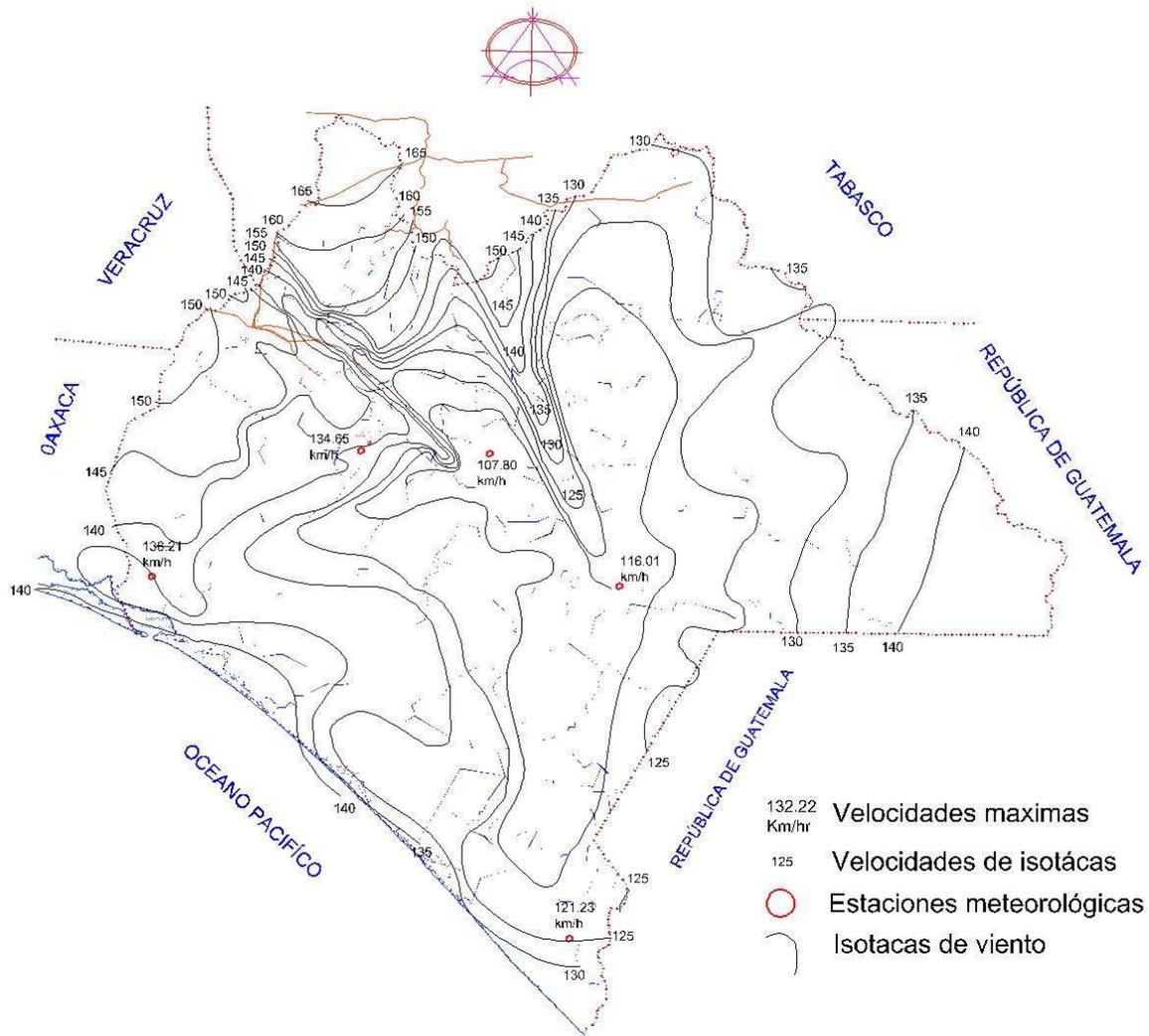


Observatorio Meteorologico de Coatzacoalcos, Veracruz

DIRECCION DEL VIENTO												T.-
RENGLON	Vj	# DE EVENTO OI	No. DE EVENTOS ACOMULAD m s	F(Vj)=m/N+1	1/(F(Vj))	$\epsilon = Lv_i$	$\epsilon_i - \epsilon$	$(\epsilon_i - \epsilon)^2$	$L[1/(F(Vj))]$	$m_i = L[1/(F(Vj))]$	$m_i^2 (\epsilon_i - \epsilon)$	R=1/1-F(Vj)
1	15.0	5	5.00	2.6455E-02	37.8000	2.708050201	-5.02E-01	2.52E-01	3.63E+00	1.289868562	-6.4751E-01	1.0272E+00
2	15.5	16	21.00	1.1111E-01	9.0000	2.740840024	-4.69E-01	2.20E-01	2.20E+00	0.787195008	-3.6936E-01	1.1250E+00
3	16.0	9	30.00	1.5873E-01	6.3000	2.772588722	-4.37E-01	1.91E-01	1.84E+00	0.610064241	-2.6688E-01	1.1887E+00
4	16.5	17	47.00	2.4868E-01	4.0213	2.803360381	-4.07E-01	1.65E-01	1.39E+00	0.330453743	-1.3439E-01	1.3310E+00
5	17.0	11	58.00	3.0688E-01	3.2596	2.83213344	-3.77E-01	1.42E-01	1.18E+00	0.166618917	-6.2788E-02	1.4427E+00
6	17.5	9	67.00	3.5450E-01	2.8209	2.862200881	-3.48E-01	1.21E-01	1.04E+00	0.036384383	-1.2656E-02	1.5492E+00
7	18.0	8	75.00	3.9683E-01	2.5200	2.890371758	-3.20E-01	1.02E-01	9.24E-01	-0.07876305	2.5179E-02	1.6579E+00
8	18.5	18	93.00	4.9206E-01	2.0323	2.917770732	-2.92E-01	8.54E-02	7.09E-01	-0.343691704	1.0045E-01	1.9688E+00
9	19.0	10	103.00	5.4497E-01	1.8350	2.944438979	-2.66E-01	7.05E-02	6.07E-01	-0.49919679	1.3259E-01	2.1977E+00
10	19.5	5	108.00	5.7143E-01	1.7500	2.970414466	-2.40E-01	5.74E-02	5.60E-01	-0.580504824	1.3911E-01	2.3333E+00
11	20.0	10	118.00	6.2434E-01	1.6017	2.995732274	-2.14E-01	4.59E-02	4.71E-01	-0.75276473	1.6133E-01	2.6620E+00
12	20.5	5	123.00	6.5079E-01	1.5366	3.020424886	-1.90E-01	3.60E-02	4.30E-01	-0.844987658	1.6023E-01	2.8636E+00
13	21.0	8	131.00	6.9312E-01	1.4427	3.044522438	-1.66E-01	2.74E-02	3.67E-01	-1.003621182	1.6613E-01	3.2586E+00
14	21.5	4	135.00	7.1429E-01	1.4000	3.068052935	-1.42E-01	2.02E-02	3.36E-01	-1.08923964	1.5467E-01	3.5000E+00
15	22.0	4	139.00	7.3545E-01	1.3597	3.091042453	-1.19E-01	1.42E-02	3.07E-01	-1.180018409	1.4043E-01	3.7800E+00
16	22.5	7	146.00	7.7249E-01	1.2945	3.113515309	-9.65E-02	9.32E-03	2.58E-01	-1.354251682	1.3073E-01	4.3953E+00
17	23.0	4	150.00	7.9365E-01	1.2600	3.135494216	-7.46E-02	5.56E-03	2.31E-01	-1.464854045	1.0921E-01	4.8462E+00
18	23.5	6	156.00	8.2540E-01	1.2115	3.157700421	-5.30E-02	2.81E-03	1.92E-01	-1.650827736	8.7576E-02	5.2729E+00
19	24.0	3	159.00	8.4127E-01	1.1887	3.17805383	-3.20E-02	1.02E-03	1.73E-01	-1.755372694	5.6165E-02	6.3000E+00
20	24.5	4	163.00	8.6243E-01	1.1595	3.198673118	-1.14E-02	1.29E-04	1.48E-01	-1.910564531	2.1736E-02	7.2692E+00
21	25.0	5	168.00	8.8889E-01	1.1250	3.218875825	8.83E-03	7.79E-05	1.18E-01	-2.138911028	-1.8878E-02	9.0000E+00
22	25.5	1	169.00	8.9418E-01	1.1183	3.238678452	2.85E-02	8.20E-04	1.12E-01	-2.190611789	-6.2714E-02	9.4500E+00
23	26.5	2	171.00	9.0476E-01	1.1053	3.277144733	6.71E-02	4.50E-03	1.00E-01	-2.301750855	-1.5444E-01	1.0500E+01
24	27.0	1	172.00	9.1005E-01	1.0988	3.295836866	8.58E-02	7.36E-03	9.43E-02	-2.36177522	-2.0261E-01	1.1118E+01
25	27.5	1	173.00	9.1534E-01	1.0925	3.314186005	1.04E-01	1.08E-02	8.85E-02	-2.425256576	-2.5256E-01	1.1813E+01
26	28.5	1	174.00	9.2063E-01	1.0862	3.349904087	1.40E-01	1.96E-02	8.27E-02	-2.492635853	-3.4861E-01	1.2600E+01
27	29.0	2	176.00	9.3122E-01	1.0739	3.36729583	1.57E-01	2.47E-02	7.13E-02	-2.641377739	-4.1535E-01	1.4538E+01
28	30.0	1	177.00	9.3651E-01	1.0678	3.401197382	1.91E-01	3.65E-02	6.56E-02	-2.724221009	-5.2073E-01	1.5750E+01
29	31.0	3	180.00	9.5238E-01	1.0500	3.433987204	2.24E-01	5.01E-02	4.88E-02	-3.02022654	-6.7634E-01	2.1000E+01
30	32.0	1	181.00	9.5767E-01	1.0442	3.465735903	2.56E-01	6.54E-02	4.32E-02	-3.14075842	-8.0305E-01	2.3625E+01
31	33.5	1	182.00	9.6296E-01	1.0385	3.511545439	3.01E-01	9.09E-02	3.77E-02	-3.277026048	-9.8801E-01	2.7000E+01
32	36.5	2	184.00	9.7354E-01	1.0272	3.597312261	3.87E-01	1.50E-01	2.68E-02	-3.618933426	-1.4015E+00	3.7800E+01
33	45.0	1	185.00	9.7884E-01	1.0216	3.80666249	5.97E-01	3.56E-01	2.14E-02	-3.844776125	-2.2938E+00	4.7250E+01
34	46.0	1	186.00	9.8413E-01	1.0161	3.828641396	6.19E-01	3.83E-01	1.60E-02	-4.135145223	-2.5580E+00	6.3000E+01
35	47.0	1	187.00	9.8942E-01	1.0107	3.850147602	6.40E-01	4.10E-01	1.06E-02	-4.543285351	-2.9081E+00	9.4500E+01
36	64.0	1	188.00	9.9471E-01	1.0053	4.158883083	9.49E-01	9.00E-01	5.31E-03	-5.239095662	-4.9710E+00	1.8900E+02
OPER	①	②	③	④=③/②	⑤=1/④	⑥=L①	⑦=⑥-(Σ⑥/n)	⑧=(⑦)²	⑨=L⑤	⑩=L⑨	⑪=(⑦)·⑩	⑫=1/(1-④)
n=	36.0	N=	188		Σεi	115.561796	1.64E-14	4.079423		-61.38386299	-18.48	
ε=	Σεi/n	A=	Σni(εi-ε)/Σ(εi-ε)²		B=Σni/n							
ε=	3.21005	A=	-4.53		B=	-1.705	Periodo de retorno a 50 años		Periodo de retorno a 100 años			
LNβ=	2.83373			κ=-A	β	17.01	145.19 Km/Hr		169.19 Km/Hr			
LNβ=	1.04159				κ=	4.53						



PLANO DE ISOTACAS PARA PERIODO DE RETORNO DE 50 AÑOS.

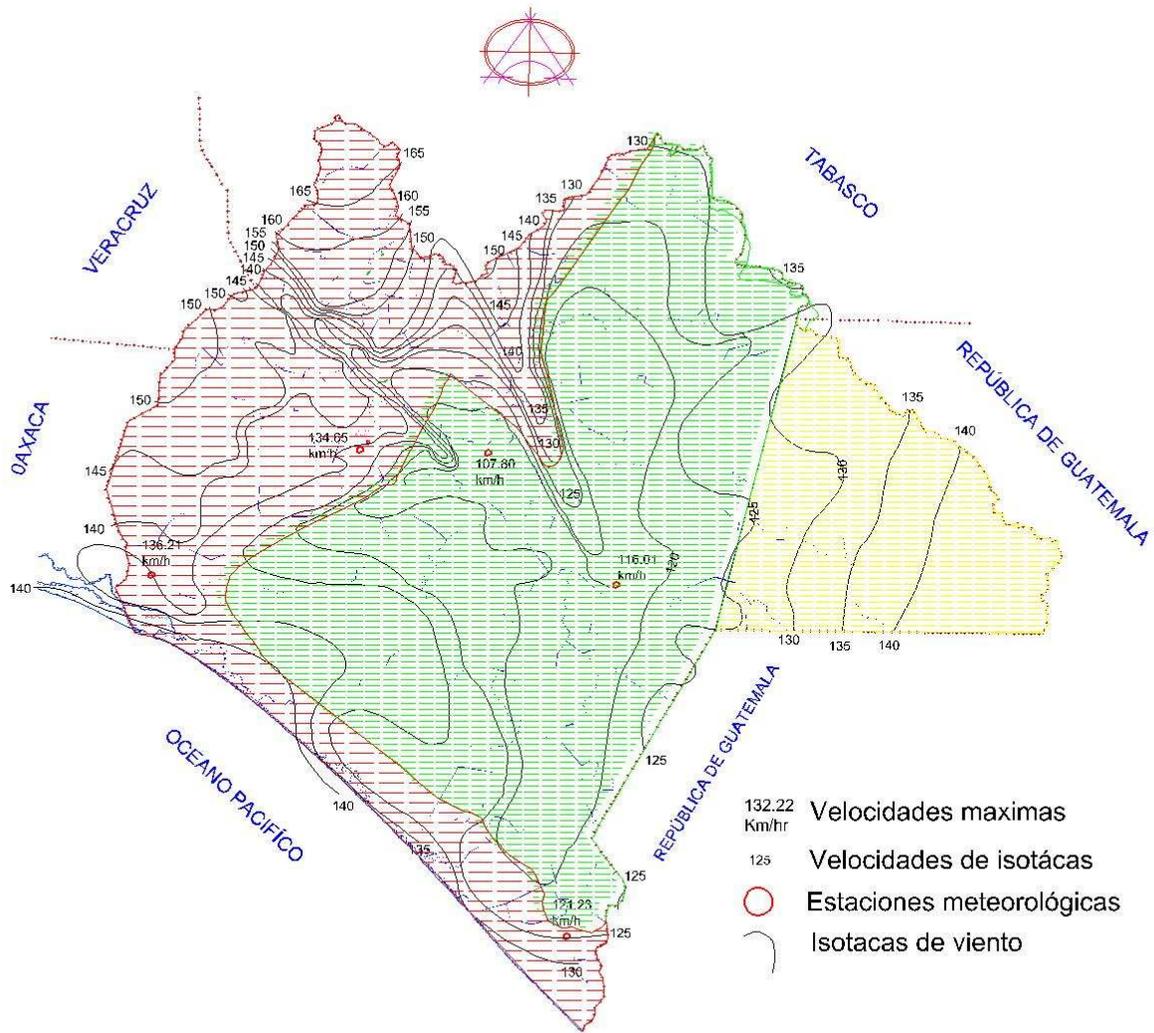


PLANO DE ISOTACAS PARA PERIODO DE RETORNO DE 100 AÑOS.

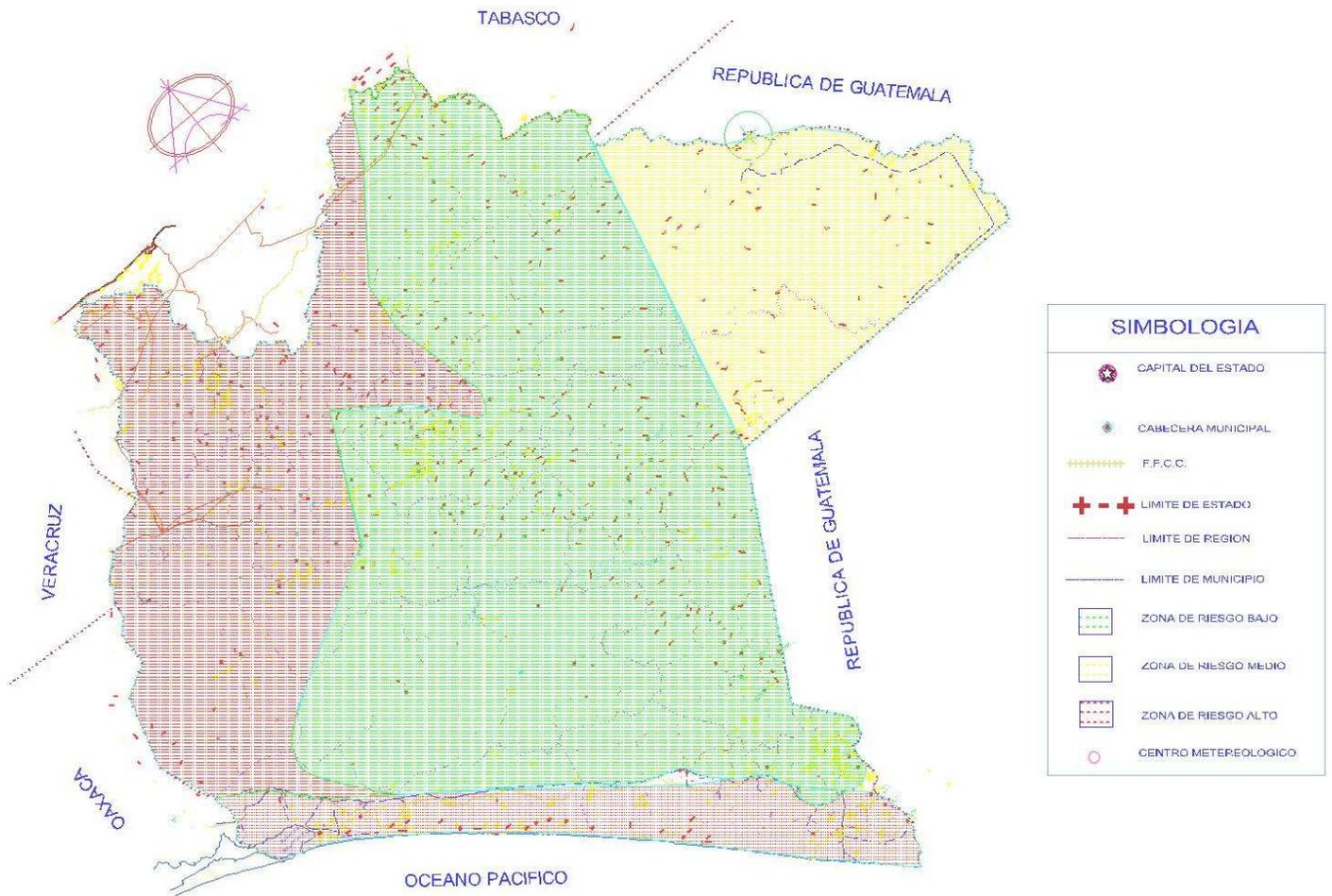
6.5.- Elaboración de Mapa de Susceptibilidad de Daño.

Este mapa se elabora a partir de los mapas de isótacas, en particular se seleccionó el correspondiente al periodo de retorno de 100 años por tener las velocidades más críticas (mayores). Primero se procedió a delimitar zonas comprendidas entre velocidades (isótacas) menores a 120 km/h debido que a partir de ese valor se tiene ya la categoría de huracán tipo I. después de marcados los anteriores límites iniciales, el estado queda dividido en 3 zonas, delimitado por 3 líneas, la primera que corresponde a la zona sur, que delimita la zona costera con resto del estado, y sigue la trayectoria de oriente a poniente, iniciándose en el municipio de Suchiate en la colindancia con Guatemala, desplazándose por la carretera costera hasta el municipio de Arriaga en la colindancia con Oaxaca. La segunda línea corresponde a la zona norte del estado en la colindancia con Oaxaca y Veracruz y se desplaza de poniente a oriente, separando la zona norte del resto del estado, atravesando los municipios de Tonalá, Catazaja, Salto de Agua, Tila, etc. Finalmente se tiene la línea del oriente que se desplaza del norte a sur separando la zona oriente del resto del estado, atravesando parte de la selva lacandona, y los municipios de Las Margaritas, La Independencia, Ocosingo, Palenque y Trinitaria.

Una vez demarcadas las zonas anteriores, se procedió a asignar las categorías de susceptibilidad de daño “alto”, “medio” y “bajo”. Para dicha asignación se tomó en cuenta primeramente la intensidad del viento a través de las isótacas, identificándose la zona norte en la colindancia con Veracruz como la más crítica, seguido por la zona Costera y la zona oriente y por último la zona central del estado. A continuación se analizaron las características de exposición de las construcciones, correspondientes a tipos de materiales, sistemas estructurales y conexiones, este análisis se llevó a cabo a través de información obtenida del INEGI, así como de la obtenida por algunos municipios, también a través de revisiones con el sistema Google Earth vía internet y se realizaron algunos recorridos estratégicos de campo tomando fotografías por las zonas más vulnerables (Fotografía de la 6.5.1 a la 6.5.16) y de mayor predicción de velocidad de viento. Se observa que la zona costera se encuentra en una situación de desventaja o más vulnerable respecto a las otras dos zonas de velocidades altas norte y oriente respectivamente por lo que se ha considerado como de riesgo alto (rojo) a la zona norte del estado en la colindancia con el estado de Veracruz, ya que se alcanzan velocidades hasta del orden de 165 Km/h y de manera comparable también como de riesgo alto (rojo) para la zona costera en la que se alcanzan velocidades hasta de 140 Km/h pero con tipo de construcciones muy vulnerables, por esta razón se unieron las zonas norte y costa en una sola de color rojo. Se consideró de riesgo medio (amarillo) a la zona oriente en la colindancia con Guatemala, esta zona presenta velocidades similares a las de la zona costera pero con construcciones menos vulnerables por último la zona de riesgo bajo (verde), la cual corresponde a la parte central del estado, delimitada por las dos zonas anteriormente mencionadas (costera - norte y oriente); en la cual se tienen velocidades inferiores a 110 Km/h.



PLANO DE TRANSICIÓN DE ISOTACAS A SUSCEPTIBILIDAD DE DAÑO.



MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD DE DAÑO PARA EL ESTADO DE CHIAPAS



Foto 6.5.1.- Localidad: Playa Linda; Municipio; Tapachula, Chiapas.

Descripción: Esta vivienda cuenta con techo de palma, muro de ladrillo, y piso de concreto.

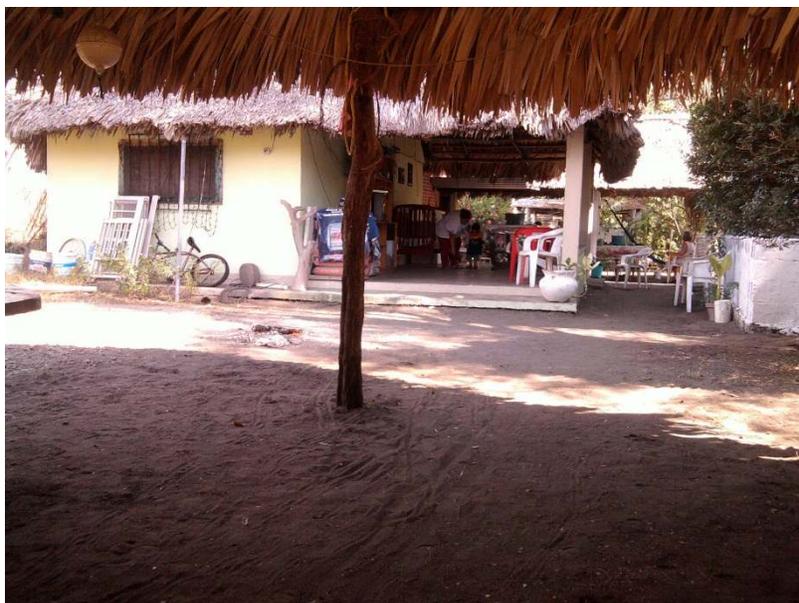


Foto 6.5.2.- Localidad: Playa Linda; Municipio; Tapachula, Chiapas.

Descripción: La vivienda con vista al fondo cuenta con techo de palma, muro de block, y piso de concreto.



Foto 6.5.3.- Localidad: Playa Linda; Municipio; Tapachula, Chiapas.

Descripción: Esta edificación de comercio cuenta con techo de palma, sin muros, y piso de concreto.



Foto 6.5.4.- Localidad: Playa Linda; Municipio; Tapachula, Chiapas.

Descripción: Esta vivienda cuenta con techo de palma, muro de block, y piso de concreto.



Foto 6.5.5.- Localidad: Playa Linda; Municipio; Tapachula, Chiapas.

Descripción: Esta vivienda cuenta con techo de teja, muro de block, y piso de concreto.



Foto 6.5.6.- Localidad: Playa Linda; Municipio; Tapachula, Chiapas.

Descripción: Esta vivienda cuenta con techo de palma, muro de ladrillo, y piso de concreto.



Foto 6.5.7.- Localidad: Playa Linda; Municipio; Tapachula, Chiapas.

Descripción: Esta vivienda cuenta con techo de palma, muro de ladrillo, y piso de concreto.



Foto 6.5.8.- Localidad: Playa Linda; Municipio; Tapachula, Chiapas.

Descripción: Esta vivienda cuenta con techo de palma, muro de block, y piso de concreto.



Foto 6.5.9.- Localidad: Playa Linda; Municipio; Tapachula, Chiapas.

Descripción: Esta vivienda cuenta con techo de palma, muros de madera, y piso de tierra.



Foto 6.5.10.- Localidad: Playa Linda; Municipio; Tapachula, Chiapas.

Descripción: Este comercio cuenta con techo de lamina, muro de block, y piso de concreto.



Foto 6.5.11.- Localidad: Roberto Barrios; Municipio; Mapastepec Chiapas.

Descripción: Esta vivienda cuenta con techo de lámina, muro concreto, y piso de tierra.



Foto 6.5.12.- Localidad: Roberto Barrios; Municipio; Mapastepec Chiapas.

Descripción: Esta vivienda cuenta con techo de lámina, muro de madera, y piso de tierra.



Foto 6.5.13.- Localidad: Roberto Barrios; Municipio; Mapastepec Chiapas.

Descripción: Esta vivienda cuenta con techo de lámina, muro de madera, y piso de tierra.



Foto 6.5.14.- Localidad: Zacapulco; Municipio; Acapetahua Chiapas.

Descripción: Esta vivienda cuenta con techo de palma, muro de madera, y piso de tierra.



Foto 6.5.15.- Localidad: Embarcadero las garzas; Municipio; Acapetahua Chiapas.

Descripción: Esta vivienda cuenta con techo de palma, muro de madera, y piso de tierra o firme.



Foto 6.5.16.- Localidad: Embarcadero las garzas; Municipio; Acapetahua Chiapas.

Descripción: Esta vivienda cuenta con techo de lámina, muro de madera, y piso de tierra o firme.

CÁPITULO 7.- CONCLUSIONES.

Después de haber realizado el presente trabajo puedo comentar lo siguiente:

Por una parte se dispone de la metodología cualitativa la cual es **sencilla, práctica y rápida** para estimar y predecir el nivel de daño de las edificaciones en función del efecto provocado por la intensidad de la amenaza (vientos huracanados). Para esto se dispone de tablas con escalas de la intensidad del viento con su correspondiente nivel de daño (Saffir-Simpson, Beaufort y Fujita-Pearson). Las estimaciones realizadas de esta manera son **aproximadas** y por lo tanto, **poco confiables** ya que al estimar el nivel de daño solamente toman en cuenta las velocidades máximas que puede alcanzar el viento pero sin tomar en cuenta las características de exposición, de los materiales, estructurales y de conexiones de sus elementos en las edificaciones.

Por otra parte se tiene también la metodología cuantitativa, la cual toma en cuenta las características de exposición, de los materiales, estructurales y de conexiones de las edificaciones además de las intensidades del peligro o amenaza (vientos huracanados). Esta metodología a cambio de **mayor precisión y certidumbre** que los hace más confiable, requieren el acopio de gran cantidad de información, volviéndolos **complejos** y altamente **dependientes de expertos** y procesos matemáticos probabilísticos por lo que resultan **costosos**, ya que **demandan** de un **equipo evaluador** y de **tiempo**.

En el presente trabajo se ha buscado la **aplicación cuantitativa**, en primer lugar analizando el efecto de la amenaza (viento) a través de la **elaboración de los planos de isótacas** para el estado de Chiapas, siguiendo el proceso probabilístico descrito en el capítulo 6. Posteriormente **se elabora el plano de susceptibilidad de daño** tomando como base los planos de isótacas mencionados anteriormente y las características de exposición, tipo de materiales, sistemas estructurales y conexiones de las viviendas o construcciones. Finalmente se seleccionó un tipo de vivienda de la zona costera que es considerada como la más representativa, la cual se analizó para obtener sus **curvas de fragilidad**, debido a uno solo de sus componentes de falla (sistema de cubierta) para determinar el nivel de pérdidas por este concepto, con lo cual se puede extrapolar a todas las viviendas de la zona con características similares y con ello estimar la pérdida total en la zona debido a este efecto para las velocidades consideradas del viento.

Debido a que el peligro o amenaza no se puede modificar porque corresponde a un efecto natural, por lo que si se quiere disminuir el riesgo, entonces habrá que trabajar en disminuir o mitigar la vulnerabilidad por medio de programas de concientización y recomendaciones a la población respecto a la ubicación, proyecto, construcción y tipo de materiales, de sus casas o viviendas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

1. Federal Emergency Management Agency (FEMA); "Coastal Construction Manual, Tomos I y III.
2. Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), Organismo de Cuenca Frontera Sur Dirección Técnica Jefatura de Proyecto de Hidrometeorología.
3. C.O. Unanwa, J.R. McDONALD, K.C. Mehta, D.A. Smith; "The development of wind damage bands for buildings", aceptado el 09 de junio de 1999.
4. Christian O. Unanwa, Member, ASCE, and James R. McDonald, Fellow, ASCE; "Building Wind Damage Prediction And Mitigation Using Damage Bands".
5. MDGIF (Fondo Para el Logro de los objetivos del Milenio), Naciones Unidas México; "Programa Conjunto del Gobierno de los Estados Unidos Mexicanos y el Sistema de las Naciones Unidas en México" Julio 2010.
6. American Society of Civil Engineers (ASCE) paper No. 3269, wind Forces on structures
7. Carlos Avelar Frausto; "Vulnerabilidad de estructura ante viento, ERN Ingenieros Consultores. Ciudad de México 07 de abril de 2005.
8. Daniel Comarazamy (Grupo de Estabilidad Estructural Ge^2 /INTEC); Mitigación de Desastres en Instalaciones de Salud, Santo Domingo, República Dominicana, 2005.
9. ERN-CAPRA; Vulnerabilidad ante huracanes (vientos y mareas).
10. Héctor D. López y Luis A. Godoy, "Metodología para la estimación de daños estructurales ocasionados por vientos huracanados en edificaciones industriales", Rev. Int. de Desastres Naturales. Accidentes e Infraestructuras Civil. Vol. 5(2)121, Puerto Rico.
11. Antonio J. García Palencia, Ali Saffar y Luis A. Godoy "Curvas de fragilidad debidas a viento para edificaciones industriales metálicas". Rev. Int. de Desastres Naturales. Accidentes e Infraestructura Civil, Vol. 8(2)165, Puerto Rico.

12. Hee Jung Ham, Sungsu Lee, y Hak-Sun Kim; "Development of Typhoon Fragility For Industrial Buildings", APCWE-VII the Seventh Asia-Pacific Conference on wind Engineering November 8-12, 2009, Taipei, Taiwan.
13. Oscar A. López Bátiz, Hector M. Toledo Sánchez; "Estudio de la seguridad de las edificaciones de vivienda ante la incidencia de viento", Subdirección de estructuras y geotécnia (CENAPRED).
14. Miller-Frend "Probabilidad y Estadística para Ingenieros tercera edición", Edit. Prentice Hall.
15. Jay L. Devore; "Probabilidad y Estadística (Para Ingeniería y Ciencias)" editorial CENGAGE Learning Octava Edición.
16. Rodríguez C. Neftalí "Estimación de daño en edificaciones causado por vientos intensos", Instituto de Ingeniería, UNAM.
17. Manual de Diseño de obras civiles; Diseño Por Viento Comisión Federal de Electricidad.
18. Normas Técnicas Complementarias del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal, Editorial Sista.
19. ASADES "avances en energías renovables y medio ambiente, Vol 15, 2011. Impreso en argentina ISSN 0329-5184.
20. T. Rossetto and A. Elnashai "Derivación of vulnerability Functions for RC Buildings based on Observational Data", European Commission, Community Research "SAFERR.