

I NFORMES

TÉCNICOS

ESTUDIO DE LA SEGURIDAD DE LAS EDIFICACIONES DE VIVIENDA ANTE LA INCIDENCIA DE VIENTO

OSCAR A. LÓPEZ BÁTIZ
HÉCTOR M. TOLEDO SÁNCHEZ

DIRECCIÓN
DE
INVESTIGACIÓN

Subdirección de
Estructuras y Geotécnia



CENAPRED
MÉXICO

Sistema Nacional de Protección Civil
Centro Nacional de Prevención de Desastres

**ESTUDIO DE LA SEGURIDAD DE LAS EDIFICACIONES DE VIVIENDA
ANTE LA INCIDENCIA DE VIENTO**

Oscar A. López Bátiz
Héctor M. Toledo Sánchez

Coordinación de Investigación
Subdirección Estructuras y Geotecnia

Agosto, 2003

SECRETARÍA DE GOBERNACIÓN

Miguel Ángel Osorio Chong
SECRETARIO DE GOBERNACIÓN

Luis Felipe Puente Espinosa
COORDINADOR NACIONAL
DE PROTECCIÓN CIVIL

Dr. Carlos M. Valdés González
DIRECTOR GENERAL DEL
CENTRO NACIONAL DE
PREVENCIÓN DE DESASTRES

1 agosto, 2003
Versión Electrónica 2014

©SECRETARÍA DE GOBERNACIÓN
Abraham González Núm. 48,
Col. Juárez, Deleg. Cuauhtémoc,
C.P. 06699, México, D.F.

©CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN DE DESASTRES
Av. Delfín Madrigal Núm. 665,
Col. Pedregal de Santo Domingo,
Deleg. Coyoacán, C.P.04360, México, D.F.
Teléfonos:
(55) 54 24 61 00
(55) 56 06 98 37
Fax: (55) 56 06 16 08
e-mail: editor@cenapred.unam.mx
www.cenapred.gob.mx

©Autores: Oscar A. López Bátiz y Héctor M. Toledo Sánchez
Edición: Violeta Ramos Radilla
Portada: Demetrio Vázquez Sánchez

ISBN: 970-628-637-3

Derechos reservados conforme a la ley
IMPRESO EN MÉXICO. PRINTED IN MEXICO

Distribución Nacional e Internacional: Centro Nacional de Prevención de Desastres
EL CONTENIDO DE ESTE DOCUMENTO ES EXCLUSIVA RESPONSABILIDAD DE LOS AUTORES

CONTENIDO

RESUMEN EJECUTIVO	5
RESUMEN Y ABSTRACT	6
CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN	7
1.1 ANTECEDENTES.....	7
1.2 OBJETIVOS Y ALCANCES.....	8
CAPÍTULO II EFECTOS DESTRUCTIVOS DEL VIENTO	9
2.1 INTRODUCCIÓN AL FENÓMENO DEL VIENTO	9
2.2 EFECTO DEL VIENTO SOBRE CUERPOS	13
2.3 EFECTO DESTRUCTIVO DEL VIENTO EN ESTRUCTURAS Y ESCALAS DE DAÑO	14
2.3.2 Escalas de daño por viento en función de la velocidad del mismo.....	18
CAPÍTULO III VULNERABILIDAD DE LA VIVIENDA DE BAJO COSTO ANTE EL EFECTO DEL VIENTO	21
3.1 ESTRUCTURAS MUY VULNERABLES	21
3.2 ELABORACIÓN DE MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD GLOBAL PARA LA REPÚBLICA.....	24
3.3 PROCEDIMIENTOS DE DISEÑO DE ESTRUCTURAS ANTE EL EFECTO DEL VIENTO.....	28
CAPÍTULO IV ISIDORE: EJEMPLO DE HURACÁN CON GRAN CAPACIDAD DE DAÑO	31
4.1 INTRODUCCIÓN	31
4.2 CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL VIENTO DURANTE ESTE METEORO	32
4.3 DAÑOS GENERADOS POR EL EFECTO DEL VIENTO	34
4.3.1 Daños en líneas vitales e instalaciones industriales	34
4.3.2 Daños en edificaciones de vivienda	38
4.4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	43
4.4.1 Conclusiones	43
4.4.2 Recomendaciones.....	44
CAPÍTULO V EDIFICACIÓN DE BAJO COSTO RESISTENTE A VIENTO	47
5.1 MECANISMOS COMUNES DE FALLA.....	47
5.2 ELEMENTOS ESTRUCTURALES RESISTENTES A VIENTO	49
5.3 EDIFICACIÓN DE AUTOCONSTRUCCIÓN RESISTENTE A VIENTO	55
5.3.1 Características del refuerzo en muros de la estructura de la vivienda	56
5.3.2 Características del refuerzo en muros para las bardas de colindancia	58
5.3.3 Características del anclaje para cubiertas de techos.....	58
5.3.4 Características de la estructura de techo para recibir a los elementos de cubierta.....	61

CAPÍTULO VI	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	65
6.1	CONCLUSIONES.....	65
6.2	RECOMENDACIONES.....	66
	6.2.1 Refuerzos para muros de vivienda.....	66
	6.2.2 Refuerzo para muros de bardas colindantes	67
	6.2.3 Anclaje para cubiertas de techos	67
6.3	NECESIDADES FUTURAS	72
REFERENCIAS.....		73
AGRADECIMIENTOS.....		75
ANEXO.....		77

ESTUDIO DE LA SEGURIDAD DE LAS EDIFICACIONES DE VIVIENDA ANTE LA INCIDENCIA DE VIENTO

RESUMEN EJECUTIVO

Los efectos directos e indirectos causados por los fenómenos meteorológicos en las viviendas en México, significan una gran cantidad de pérdida de vidas humanas y daños materiales que superan ampliamente los daños generados por la conjunción de cualquier otro tipo de eventos naturales durante décadas. Estas pérdidas, de igual manera que para otros eventos naturales, han recaído en mayor medida en los grupos más desprotegidos y vulnerables de la población.

En este estudio y de acuerdo con la estrategia planteada en el Plan Nacional de Desarrollo 2001-2006 de avanzar en una política frente a los desastres que priorice la prevención, se describen los eventos, tipos de daños que genera y la forma de poder convivir con ellos de una manera lógica y racional. Así mismo, se incluyen estrategias y procesos encaminados a la prevención y mitigación del riesgo por vientos fuertes, a la atención de la emergencia así como a la recuperación y reconstrucción después de la incidencia de éstos. El trabajo está enfocado a la vivienda, especialmente la de bajo costo.

Con base en la información existente sobre las características promedio de la vivienda en los diferentes estados de la República Mexicana, y con los valores de velocidades máximas de viento medidas en todo el territorio nacional, se presenta la relación vulnerabilidad-peligro en todos los estados de la República para uso de las autoridades estatales y municipales de protección civil.

Las medidas de reducción de la vulnerabilidad de los asentamientos humanos ocupan un lugar importante en este trabajo. Se trata, en general, de edificaciones consideradas “no ingenieriles” (o de auto construcción), las cuales normalmente constituyen el total del capital de sus dueños. La falta de atención al comportamiento de la vivienda ante fenómenos meteorológicos extremos ha sido una de las principales causas de desastres en años recientes.

Se incluyen también recomendaciones dirigidas a la población sobre qué hacer antes, durante y después de un evento de este tipo. El grado de conocimiento que los pobladores tengan de las amenazas de los eventos naturales y de las medidas para enfrentarlas, es factor fundamental para disminuir sus consecuencias, así como lo es la participación en la organización de los operativos de protección.

Finalmente se presenta en el anexo un mapa de susceptibilidad de daño por viento en edificación de vivienda para la República Mexicana.

RESUMEN

Con objeto de reducir los daños en las viviendas de bajo costo ante la incidencia de vientos fuertes, producto de fenómenos meteorológicos extremos, se presenta una interpretación sencilla sobre el origen de los fenómenos que originan el viento, así como el efecto de éste sobre las construcciones.

Con base en la información existente sobre las características promedio de la vivienda en los diferentes estados de la República Mexicana, y con los valores de velocidades máximas medidas en todo el territorio nacional, se presentan procedimientos de construcción y refuerzo enfocados a la autoconstrucción para la vivienda; también se incluye información de la relación susceptibilidad peligro en todos los estados de la República para uso de las autoridades estatales y municipales de protección civil.

Finalmente, se presenta un mapa de susceptibilidad de daño por viento en vivienda para la República Mexicana.

ABSTRACT

In order to reduce the damage on low-cost housing due to strong winds, a simple interpretation about the origin of the wind phenomenon, as well as the effect of the wind on constructions are presented.

Based on the existing information on low-cost housing, along with the maximum wind velocities measured over the country, a procedure for construction and rehabilitation of low-cost housing is presented. A hazard susceptibility relation for all states of the country, aimed at state and municipal civil protection authorities, is also presented.

Finally, it is shown a damage susceptibility map for house dwelling due to wind forces in Mexico..

I INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES

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

En cuanto a los fenómenos meteorológicos, el aspecto que mayormente genera daño es el viento. El viento, junto con la lluvia, es una de las principales manifestaciones de los fenómenos meteorológicos. Una de las definiciones más conocidas del viento es aquella que menciona que es la masa del aire en movimiento; los vientos son ríos de aire que se mueven a través de la atmósfera terrestre a diferentes velocidades.

Los vientos se generan principalmente ante la incidencia de los rayos solares sobre la Tierra, los cuales calientan la superficie del planeta y el aire de las capas inferiores de la atmósfera terrestre. Quizá la forma más fácil de comprenderlo sea observar el humo de un cerillo encendido. El humo de la combustión subirá sin cesar; esto sucede por que la llama ha calentado el aire, y el aire caliente se dilata; esto lo hace más liviano. Ahora bien, el aire más liviano, rodeado de aire más pesado, se ve obligado a subir, y el aire más pesado acude desde todos lados a ocupar su lugar. El aire calentado se ve así obligado a elevarse, como cuando un corcho tiene que subir a la superficie del agua que llena una cubeta.

Esas corrientes de aire ascendente, como las que se ven cuando se enciende un cerillo y el aire caliente hace subir el humo, se podrían denominar como “vientos ascendentes”. La mayoría de los movimientos del aire en los grandes espacios abiertos se originan así, al ascender el aire calentado por el Sol, lo que produce una corriente de aire frío que acude a ocupar el lugar que deja el aire caliente al elevarse.

Para poder entender cómo se genera el viento en la atmósfera terrestre, se podría considerar el ejemplo de un recipiente lleno de agua expuesto al fuego. Se observa que cuando la llama toca el fondo, el agua burbujea rápidamente; pero si hay sitios del fondo a los cuales no llega la llama, el agua se puede conservar allí bastante fría. Algo muy parecido es lo que sucede con el aire de la atmósfera bajo el efecto de los rayos del Sol. A lo largo del Ecuador, cuando el Sol está directamente arriba, el suelo está sujeto a un proceso de calentamiento, de modo que el aire que está sobre él se calienta. Pero, más al Norte y al Sur, a ambos lados, los rayos del Sol descargan con menor intensidad su calor, y el aire es mucho más frío. De este modo, el aire caliente que hay a lo largo del Ecuador se eleva, siendo remplazado por el aire más frío y pesado que llega desde el Norte y el Sur. Ese aire frío es calentado a su vez por el Sol y forzado a subir también. Por eso, una corriente de aire corre continuamente desde las zonas templadas, más frescas, hacia el Ecuador. Este proceso de calentamiento y desplazamiento de las masas de aire es cíclico y es lo que produce lo que conocemos como viento.

El flujo del viento de las regiones frías (zonas de alta presión) a las regiones de aire caliente (zonas de baja presión) no sucede necesariamente desde el Norte y el Sur hacia el Ecuador. En realidad, el viento se mueve desde el Noreste y el Sureste, debido a la rotación de la Tierra. El globo terráqueo, al girar, lo hace envuelto en su atmósfera, pero también es cierto que, alrededor de la parte media de la Tierra, es decir, cerca del Ecuador, todo lugar de la superficie debe viajar con rapidez mucho mayor que uno situado más cerca de los polos, porque tiene que hacer un recorrido más largo en su viaje alrededor del eje terrestre. Ahora bien, los vientos que se mueven hacia el Ecuador nacen en regiones cercanas a los polos, donde no necesitan girar con gran rapidez para seguir el ritmo de la Tierra. Por lo tanto, al avanzar hacia el Ecuador, penetran en zonas donde el suelo gira cada vez más velozmente debajo de ellos. Los vientos no pueden adquirir suficiente velocidad para seguir la velocidad más alta de la superficie terrestre y, aunque continúan avanzando, llegan tan “retardados” que su trayectoria hacia el Ecuador toma una inclinación hacia el Oeste, porque la Tierra gira hacia el Este debajo de ellos.

Este movimiento incesante de la masa de aire dentro de la atmósfera terrestre provoca manifestaciones extremas que se conocen como ciclones tropicales (el nombre del fenómeno varía, dependiendo del nivel de velocidades de viento que se generen y de la región geográfica sobre el globo terráqueo). En el caso de estas manifestaciones extremas, generadoras de vientos de altas velocidades, el problema más común en las edificaciones de vivienda es la pérdida de los techos, y con ello gran parte de las pertenencias personales, debido a la succión que se genera (Eagleman, 1985).

Surge, entonces, la necesidad de plantear recomendaciones y procedimientos sencillos y claros, que permitan que las personas que “autoconstruyen” sus viviendas puedan contar con una herramienta-instructivo que les permita edificar sus construcciones con niveles de seguridad estructural adecuadas, sobre todo en las techumbres, ante la incidencia de vientos fuertes.

1.2 OBJETIVOS Y ALCANCES

Las recomendaciones que se proponen representan una opción para lograr un mejor comportamiento de las edificaciones para vivienda, y hacen énfasis en las techumbres de edificaciones rurales y urbanas de bajo costo cuando se ven sometidas a vientos intensos. Dicha mejora influirá intrínsecamente en una disminución del daño en este tipo de estructuras (reducción de la vulnerabilidad), mitigando también la pérdida de bienes materiales y, por lo tanto, disminuyendo el nivel de riesgo ante eventos naturales.

En el trabajo se discute la estabilidad y resistencia de sistemas de techo sujetos al efecto de vientos fuertes. Se presenta, de manera simplificada, una zonificación del nivel de susceptibilidad de daño de las edificaciones ante la incidencia de vientos fuertes en los estados de la República Mexicana, partiendo de la base de conocer las velocidades máximas para periodos de retorno dados (obtenidas del Manual para Diseño de Obras Civiles de la Comisión Federal de Electricidad, CFE, 1993), y conociendo la distribución de vivienda con características estructurales precarias en el país (información obtenida del INEGI, 1998). Finalmente, se propone un instructivo (tipo tríptico) para uso de la población, de modo que puedan, durante la construcción de sus viviendas, contar con las indicaciones para lograr sistemas estructurales de elementos verticales con la rigidez y resistencia adecuada para las fuerzas generadas por el viento, así como recomendaciones para fijar sus techos con procedimientos viables, seguros y económicos.

El trabajo va dirigido a la sociedad en general que “autoconstruye” sus viviendas, y que generalmente no cuenta con el apoyo de un profesional de la ingeniería estructural.

El objetivo de este trabajo es proporcionar un grupo claro y sencillo de recomendaciones y lineamientos para lograr procedimientos de “autoconstrucción” razonablemente lógicos y seguros. El documento contiene los conceptos básicos para entender el fenómeno y su efecto sobre las edificaciones, tratando de proponer algunas recomendaciones prácticas para lograr reducir el nivel y densidad de daño que generan este tipo de fenómenos en las construcciones, específicamente en la vivienda de bajo costo.

II EFECTOS DESTRUCTIVOS DEL VIENTO

2.1 INTRODUCCIÓN AL FENÓMENO DEL VIENTO

El viento, junto con las inundaciones que se producen por las lluvias intensas, son los dos efectos que caracterizan a los fenómenos que operan en la atmósfera terrestre, producto de las diferencias de presiones que, como se mencionó, surgen de la diferencia de temperatura entre masas de aire calentadas de manera diferente por los rayos del Sol. Aunque los niveles de daño y pérdidas económicas generados por estos fenómenos meteorológicos ocuparon en conjunto aproximadamente el 55% de los daños generados en el planeta en la década de los años noventas, nos ocuparemos en este trabajo únicamente del fenómeno de los vientos intensos, el cual generó el 34% de muertes no naturales (incluyendo desastres no naturales) y el 24% de las pérdidas económicas en la misma década señalada (Fuente: Universidad de Luvaina, Bélgica).

Los vientos que interesan a los fines de la protección civil son aquellos que se presentan en la biosfera, son los vientos de superficie. Como ya se ha dicho, los vientos de la zona templada del hemisferio Norte soplan generalmente de Oeste a Este, pero en vez de correr con regularidad a unos 60 km/h, las ciudades, las montañas y los bosques entorpecen y desvían su marcha de tal modo que solo a unos 5,000 metros de altura puede considerarse que soplan de manera uniforme (Ahrens, 2000), mientras que cerca del suelo o de una superficie rugosa su trayectoria se ve alterada y giran de manera tan aleatoria que es imposible adivinar de dónde vienen y hacia dónde van.

Desde el punto de vista del estudio del efecto de los vientos fuertes sobre las estructuras creadas por el hombre, resulta importante conocer cuáles son los patrones probables de flujos de vientos tanto en temporadas de calma, cuando se tiene un flujo quieto y uniforme al que se le da el nombre de flujo laminar, como en temporadas de perturbaciones importantes, como los ciclones tropicales cuando se presentan flujos con trayectorias impredecibles que se conocen como flujos turbulentos. En ambos casos, los meteorólogos han podido establecer patrones de trayectorias probables y rangos de influencia para diferentes niveles de velocidad de viento (indicándose tanto magnitud como dirección del viento). A esta información sobre la distribución espacial del viento durante un meteoro se le da el nombre de campo de vientos (Rosengaus, 1998; Strahler, 1963).

Los vientos que determinan la mayor parte de nuestro tiempo atmosférico obedecen a grandes remolinos de aire, que los meteorólogos llaman ciclones tropicales. El ciclón tropical es una inmensa rueda de aire que gira y avanza a velocidades tan bajas, que en algunas ocasiones no se puede siquiera advertir su movimiento traslacional. Generalmente se mueve con un movimiento tan regular que permite a los meteorólogos establecer adónde irá y cuánto tardará en llegar y, por lo tanto, pronosticar con bastante antelación el tiempo que tomará en llegar a las distintas zonas situadas en su ámbito de acción.

Como ya se ha mencionado, el movimiento de las masas de aire en la atmósfera terrestre se debe básicamente a la existencia de zonas de alta y de baja presión. Cuando en el periódico, la radio o la televisión se da el pronóstico del tiempo, generalmente se habla de la existencia de zonas de baja o de alta presión. Ahora bien, en la atmósfera se crean zonas de alta y baja presión debido básicamente al calentamiento de diversos lugares en la superficie terrestre. Cuando en un cierto lugar, la superficie del mar se calienta por la acción de los rayos solares, provoca un incremento en la temperatura; en consecuencia, el aire que yace sobre ella también se calienta y comienza a elevarse, formando una corriente convectiva ascendente, que llega tan alto como su temperatura lo permite, hasta que vuelve a enfriarse, haciéndose más pesada que su alrededor y hundiéndose hacia la superficie nuevamente. Donde la corriente convectiva comienza a elevarse, se crea una zona de baja presión por pérdida de aire, y entonces el circundante, que ahora está a mayor presión, se dirigirá hacia esta zona para, más tarde, elevarse como el anterior, sobre todo si está caliente y húmedo. Si además en la zona de baja presión el aire comienza a circular enrollándose, formando un torbellino que gira en el sentido contrario de las manecillas del reloj, se dice entonces que hay un movimiento ciclónico.

Durante los meses de mayo a noviembre, en el hemisferio Norte, en una región oceánica donde confluyen los vientos provenientes del Noreste y del Sureste (vientos que se denominan alisios), y en lugares donde la superficie del mar alcanza temperaturas de hasta 29 grados centígrados, se crean enormes masas de

aire y vapor que comienzan a elevarse. Estas masas crean, a partir de la superficie y hasta una altura de aproximadamente tres kilómetros, una gran zona de baja presión a la cual confluye el aire circundante formando enormes espirales, debido a la fuerza de Coriolis (fuerza o efecto que se presenta producto del movimiento de rotación del globo terráqueo). El aire que ha sido atraído, a su vez, comenzará a ascender en forma de espiral por el “camino” abierto por el primero. De esta manera, en la zona tropical donde se presenta la convergencia de los vientos alisios se formará una gran cantidad de nubes, que conjuntamente formarán una mancha que comenzará a desplazarse preferentemente hacia el Norte. En esta etapa de la formación de un meteoro los vientos giran a una velocidad de apenas 64 km/h.

Conforme se desplaza a lo largo de su camino, el meteoro puede encontrarse con aguas con temperaturas alrededor de los 27°C. La intensidad de las corrientes de viento se incrementará, alcanzando velocidades de 67 km/h. Ahora, contemplado desde arriba, el remolino de nubes habrá tomado perfectamente una forma, y en su centro habrá una región circular vacía: el ojo del meteoro. Conforme pasa el tiempo, si la temperatura superficial del mar que encuentra en su camino no desciende, el ciclón tendrá una capacidad de generar vientos con una velocidad superior a los 118 km/h y su ojo estará perfectamente formado, con grandes bandas nubosas en forma de espiral a su alrededor. En su base, sobre la superficie del mar, “succionará” grandes cantidades de aire y vapor que saldrán por su parte superior debido a la menor presión reinante en ella. En resumen, se puede considerar que ha nacido un huracán, que durante los días posteriores podrá causar enormes daños, la muerte de decenas de personas, y providenciales lluvias en las zonas desérticas cercanas, para más tarde “morir” al encontrar zonas frías de la superficie terrestre en su camino.

La circulación del viento en los niveles bajos de una tormenta tropical puede dividirse en tres distintas regiones: la porción externa que, extendiéndose desde la periferia de la tormenta hacia la región de vientos máximos, se incrementa conforme se avanza hacia el centro. La región de vientos máximos, que rodea al ojo del huracán y es una de las características de una tormenta, tiene del orden de 9 a 18 kilómetros de ancho en promedio (Domínguez *et al.*, 1998) y coincide con las paredes nubosas que rodean al ojo de la tormenta. Es a esta velocidad de vientos máximos en el campo de vientos superficiales a la que se denomina como la velocidad máxima sostenida: el calificativo de máxima se refiere al máximo con respecto a la distribución en planta del viento (Rosengaus, 1998). La velocidad máxima sostenida es el índice de intensidad de este tipo de fenómenos para las disciplinas relacionadas con la revisión de estructura ante el embate de vientos intensos. A pesar de que se indica como un solo valor, no se trata de una velocidad constante y uniforme en el tiempo, se deberá estar consciente de que puede presentar variaciones en el tiempo y espacio.

Los vientos que se consideran dentro del presente trabajo, así como dentro de la ingeniería civil y la prevención de desastres, son vientos generados por el estado superior del fenómeno meteorológico conocido como ciclón tropical; llamado en occidente huracán y en oriente tifón. Resulta interesante saber que la palabra usada en occidente, para definir este meteoro tan majestuoso, como destructivo, es de origen Maya. La palabra huracán surge de la forma como los Mayas denominaban a su dios del Trueno y los Vientos. Por otro lado, en oriente, la palabra tifón, tiene su origen en el idioma japonés, y significa “gran plataforma de vientos”.

Desde el punto de vista de la protección civil y del estudio del comportamiento de las estructuras ante la incidencia de un ciclón tropical con características de huracán, interesa la zona de influencia, dentro de la estructura del huracán y definido a partir del punto central que define su trayectoria de traslación, de vientos con niveles de velocidades determinados. Por ejemplo, para poder estimar el nivel de daño que pudiera generar un fenómeno al impactar tierra, resulta importante poder entender los niveles de velocidades esperados y la probable zona de influencia. De esta manera, se tiene la información sobre el nivel de peligro que afectará una cierta región, parámetro que, tratado conjuntamente con los niveles de vulnerabilidad de la zona de impacto, permitiría establecer una estimación preliminar del nivel de susceptibilidad de daño esperado. A esta zona de influencia de vientos con una velocidad y dirección determinada se le denomina “campo de vientos”.

Algunos estudiosos de este tipo de fenómenos mencionan que, en términos generales, en un evento muy intenso la zona de vientos con altas velocidades será más extensa que en un evento más débil. Pero deberá entenderse que esto es sólo la tendencia de comportamiento observado; se han logrado identificar eventos intensos que son relativamente compactos en su extensión y viceversa, así como eventos

relativamente débiles que mantienen vientos fuertes en una gran zona dentro de la estructura del meteoro (Rosengaus, 1998). Desafortunadamente sólo algunos boletines meteorológicos contienen información sobre la extensión del campo de vientos, definiendo las distancias radiales en las direcciones NE, SE, SO y NO desde el centro de giro hasta donde se presentan los vientos de categoría tormenta tropical y huracán, por ejemplo. Con el propósito de llevar a cabo labores de evacuación de una región susceptible de ser impactada por vientos intensos, o cuando se requiere evaluar la susceptibilidad de daño, es importante tener en mente que existirá una diferencia entre el punto, dentro del ojo del huracán, que define la trayectoria del fenómeno, y la frontera del campo de vientos. La diferencia entre los dos puntos puede ser de cientos de kilómetros y repercutirá en que los vientos intensos arriben horas antes que el centro de giro, pudiendo alterar el desarrollo de las tareas de emergencia.

Además de la importancia de determinar el campo de vientos dentro de una perturbación, resultará de vital importancia, para labores de análisis posterior de los daños ocasionados, la obtención de mapas de las máximas velocidades de vientos producidos por el paso de un evento durante toda su evolución. Este tipo de mapas generalmente se presenta como un conjunto de líneas que indican puntos donde se registraron iguales intensidades (velocidades) de viento (llamadas isotacas). La bondad de contar con este tipo de información *a posteriori* es que se puede establecer una correlación entre las velocidades de vientos locales con los diferentes tipos, niveles y densidades de daños observados.

Otro aspecto que caracteriza al comportamiento del movimiento de la masa de aire durante un ciclón tropical es la irregularidad de los niveles de velocidad del viento. Podría aceptarse que, de manera similar a las aceleraciones en el terreno provocadas por un sismo, las velocidades de viento registradas en un punto dentro de la estructura del meteoro también tendrán propiedades netamente aleatorias. De la teoría de los fluidos en movimiento se sabe que se pueden presentar movimientos con una variación suave y en capas paralelas, generalmente llamado flujo laminar y asociado a velocidades muy bajas de movimiento del fluido. Pero para las velocidades que se observan en la naturaleza y, principalmente para las velocidades de viento de un fenómeno meteorológico, la masa de aire presenta una gran irregularidad en su movimiento, con numerosos vórtices de distintos tamaños llamado flujo turbulento. Este flujo turbulento tiende a presentarse preferentemente cerca de las superficies inmóviles. La irregularidad en el movimiento genera lapsos cortos con velocidad mucho mayor que la velocidad que se da en promedio en un intervalo de tiempo mayor. Entonces, lo que se ha comentado sobre las velocidades reportadas en el campo de vientos de un fenómeno meteorológico se refiere a la velocidad media. Así, los meteorólogos acostumbran usar el término velocidad sostenida para indicar el valor promedio en lapsos de tiempo de alrededor de un minuto, mientras que cuando se menciona a la velocidad de ráfaga se refieren a los valores máximos de velocidad instantáneos registrados en intervalos de uno o dos segundos. La velocidad de ráfaga siempre resultará del orden de 30 a 35% mayor a la velocidad sostenida del viento. Esta diferencia entre las dos velocidades tiende a magnificarse al entrar el fenómeno a tierra, pues la turbulencia será mayor (Tanck, 1971).

Para fines de protección civil y de evaluación de susceptibilidad de daño, ambas velocidades del viento son importantes. Existen estructuras vulnerables ante cargas repetidas y constantes, a las cuales les afectará el efecto de la velocidad sostenida del viento. Por otro lado, existen también estructuras más sensibles a cargas del tipo cíclico, para lo cual será importante conocer las propiedades de la velocidad de ráfaga en cuanto a magnitud y periodicidad. Los dos tipos de velocidades se muestran en la fig. 2.1, donde se presenta un segmento de un registro de viento, así como una interpretación de lo que sería la velocidad sostenida y la velocidad de ráfaga dentro del mismo.

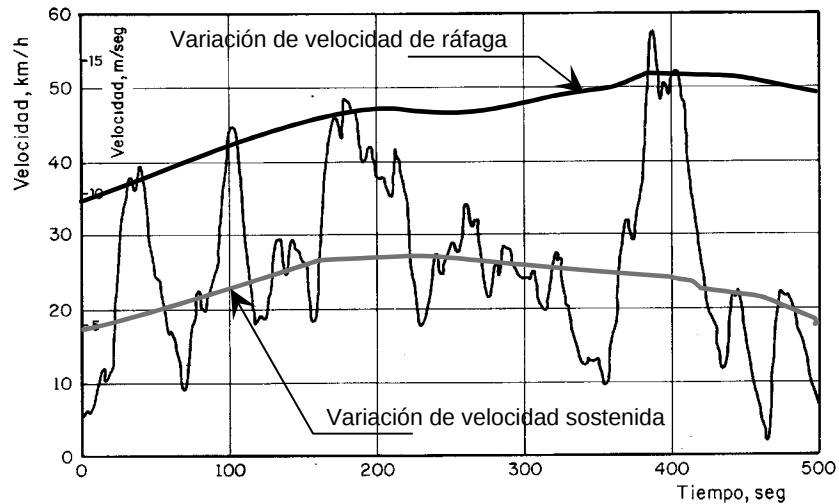


Figura 2.1 Interpretación de velocidad sostenida y velocidad de ráfaga sobre un registro de velocidad de viento (Rodríguez, 1972)

De la figura se nota que ninguno de los dos tipos de velocidades son constantes en el tiempo; ambos presentan variaciones de acuerdo con la evolución del fenómeno sobre el punto de interés. En general, se considerará la velocidad sostenida máxima en un sitio; de igual manera, los estudios que intenten establecer relaciones entre niveles y densidades de daño con velocidades, se recomienda se hagan considerando esta misma velocidad. Según algunos autores, se considera conveniente informar a la población sobre lo que significan estos términos relativos a las velocidades de viento durante un meteoro. Otro aspecto que se considera importante que la población conozca es la diferencia entre la velocidad del viento y la velocidad de translación del evento. La primera generalmente es mucho mayor que la segunda; por ejemplo, en el caso del huracán Isidore, las velocidades de viento alcanzaban valores de 250 km/h cuando la de traslación era del orden de 6 km/h.

Para estudiar el comportamiento de las estructuras, en este caso de edificaciones de vivienda, ante la incidencia de viento, resulta necesario determinar si la velocidad de viento medida o determinada en un cierto punto de la biosfera, a una altura determinada sobre la superficie del terreno, será la misma para cualquier otro punto ubicado en la misma capa de la atmósfera terrestre. De estudios en laboratorio y de mediciones controladas en campo, se ha podido determinar que la distribución de las velocidades de viento en la altura resulta variable. Este hecho se menciona en la parte de la Física que estudia a los fluidos en movimiento, donde se indica que un fluido que está en contacto con un cuerpo o superficie fija, también se encontrará inmóvil, y que paulatinamente el nivel de inmovilidad variará hasta, a una cierta altura sobre el nivel del terreno, donde se podrá aceptar que la velocidad del viento es uniforme y, por lo tanto, el flujo se considerará como libre (Rosengaus, 1998). A esta característica de la distribución de la velocidad de viento en la altura se le conoce como capa límite (Rosengaus, 1998). La altura a la que se alcanza esta capa límite, dependerá de las características de rugosidad del terreno. Así, para un terreno relativamente liso, como un campo abierto con vegetación baja o como los frentes de costa, a alturas bajas, el viento alcanzará velocidades muy altas; y viceversa, para terrenos con gran rugosidad, las altas velocidades del viento se tendrán a grandes alturas. Desde la altura donde se presenta la capa límite, hasta la superficie del terreno, se acepta que la velocidad del viento disminuye rápidamente; de estudios en túnel de viento se ha podido determinar una expresión exponencial que permite determinar una aproximación adecuada de esta variación de la velocidad del viento con la altura. En la fig. 2.2 se muestra la variación de la velocidad del viento con la altura para distintas condiciones del terreno. Se puede esperar que la capa límite se presente aproximadamente a 250 m en campo abierto o frente de costa, entre 350 y 400 m para zona rural, y para una altura sobre el nivel del terreno del orden de 500 m para zonas urbanizadas.

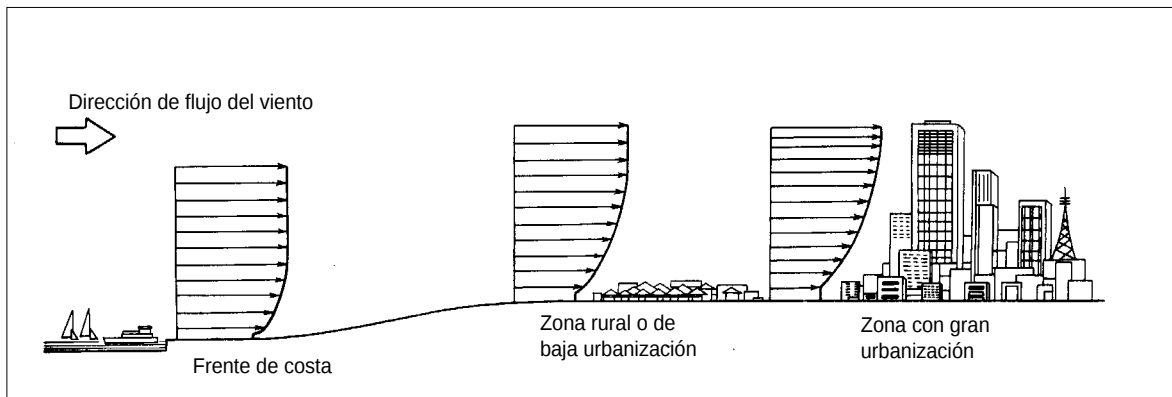


Figura 2.2 Ilustración del efecto de la capa límite o velocidad gradiente

2.2 EFECTO DEL VIENTO SOBRE CUERPOS

De igual manera que cualquier otro flujo, cuando el libre flujo del viento se ve obstaculizado por un objeto fijo o tiene que pasar alrededor de obstáculos que impiden su paso, y tiene que desviarse para rodearlo, se producen variaciones en las velocidades de viento con respecto a las que se esperarían de estar en una zona completamente plana sin obstáculos. En la fig .2.3 se muestra un esquema que muestra las variaciones de flujo cuando se tiene un obstáculo de gran escala, como pueden ser consideradas las montañas.

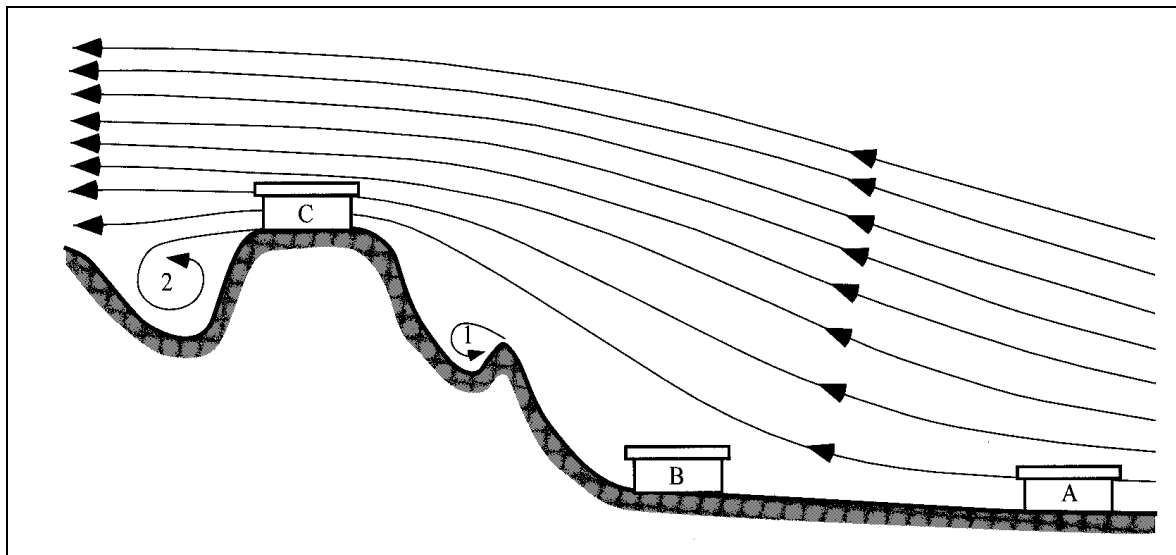


Figura 2.3 Flujo del viento alrededor de un obstáculo orográfico (Rosengaus, 1998)

En la fig 2.3 se observa que habrá zonas donde se presentará cierta tranquilidad, como serían las hondonadas, donde se localiza la edificación identificada con la letra B; y contrariamente, también habrá puntos donde la velocidad del viento se incremente notablemente, como sucedería en la edificación identificada con la letra C. En la actualidad, la mayor parte de la población no puede darse el lujo de elegir una ubicación de su vivienda con el menor nivel de peligro en la zona. Sin embargo, es recomendable que se tenga conciencia de la ubicación dentro de una misma zona, y de los puntos donde el nivel de peligro ante viento resulte mayor (como el C dentro de la figura) que en otros puntos dentro de la misma vecindad (como el B).

Cuando se revisa a nivel local el comportamiento del viento alrededor de una edificación, se puede decir que ocurrirá algo similar a lo indicado en los párrafos anteriores. Como se muestra en la fig. 4, cuando el

flujo del viento se ve obstaculizado por un objeto fijo, tendrá que desviarse para poder rodearlo, lo cual producirá una distribución de presiones y succiones sobre todas las caras externas del cuerpo. Resulta claro que las partículas de aire al golpear la cara expuesta directamente al efecto del viento, generalmente conocida como cara de barlovento, producirán un empuje o presión sobre la misma. En la cara opuesta, llamada de sotavento, las líneas de flujo presentan un carácter turbulento, tendiéndose a separar del objeto y provocar una succión sobre las caras del mismo. Los dos efectos podrían sumarse dando lugar a lo que generalmente se define como fuerza de arrastre sobre el objeto. En las caras laterales (paralelas a la dirección original del flujo) también se presentará un fenómeno de flujo turbulento, que provocará un cambio en la distribución de presiones sobre las caras, variando éstas a efectos de succión. En una vivienda como la mostrada en la fig. 2.4, el efecto de succión generado por el viento en la cara superior, que sería la techumbre de la estructura, produce una fuerza resultante hacia arriba. Este efecto sobre las techumbres de las edificaciones de vivienda de bajo costo, autoconstrucción o que están constituidas predominantemente de “material precario” (entendiéndose por material precario al cartón, láminas sin estructura de soporte, bahareque, y cualquier tipo de mampostería sin elementos confinantes de concreto reforzado), es el detonante de un alto porcentaje de los daños reportados durante el impacto de huracanes en regiones de las costas de nuestro país.

Como se puede notar en la fig. 2.2, en las zonas altamente urbanizadas, debido a que se puede considerar una mucho mayor rugosidad al viento por la presencia de edificaciones altas, se acepta que para edificación de baja altura el nivel de peligro resultará bajo; siendo más notable esta protección en las zonas centrales de las ciudades que en la periferia. Sin embargo, una zona urbana generalmente presentará una mayor densidad de objetos que al ser arrastrados por el viento se convertirán en proyectiles peligrosos, esto sin contar la probabilidad de que se presenten otros detonadores de daño, como tuberías de gas, combustibles, líneas de electricidad, etc.

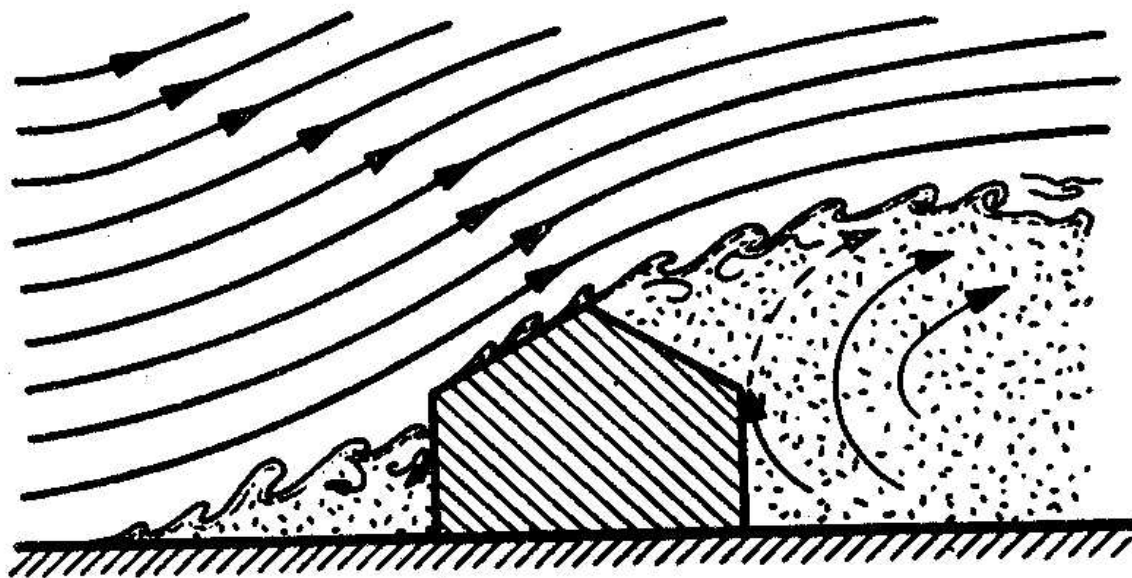


Figura 2.4 Flujo del viento alrededor de obstáculos artificiales.

2.3 EFECTO DESTRUCTIVO DEL VIENTO EN ESTRUCTURAS Y ESCALAS DE DAÑO

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. Como ya se explicó en párrafos anteriores, 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.

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 local en el techo cuando se presenten un número suficiente de fallas locales en los dispositivos de fijación de las láminas de cubierta.

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.

En la fig. 2.5 se observa el tipo de presiones a las que estaría sujeta una estructura inmersa en un viento intenso (Sotelo, 1979). Ante este tipo de sollicitaciones, 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 2.6. 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.

Cabe señalar que las recomendaciones que se presentan en este trabajo se centran en tratar de reducir la vulnerabilidad de las edificaciones y sus componentes, observando el comportamiento de la estructura, suponiendo que la estructura de cimentación tiene una profundidad y ancho en la base adecuadas.

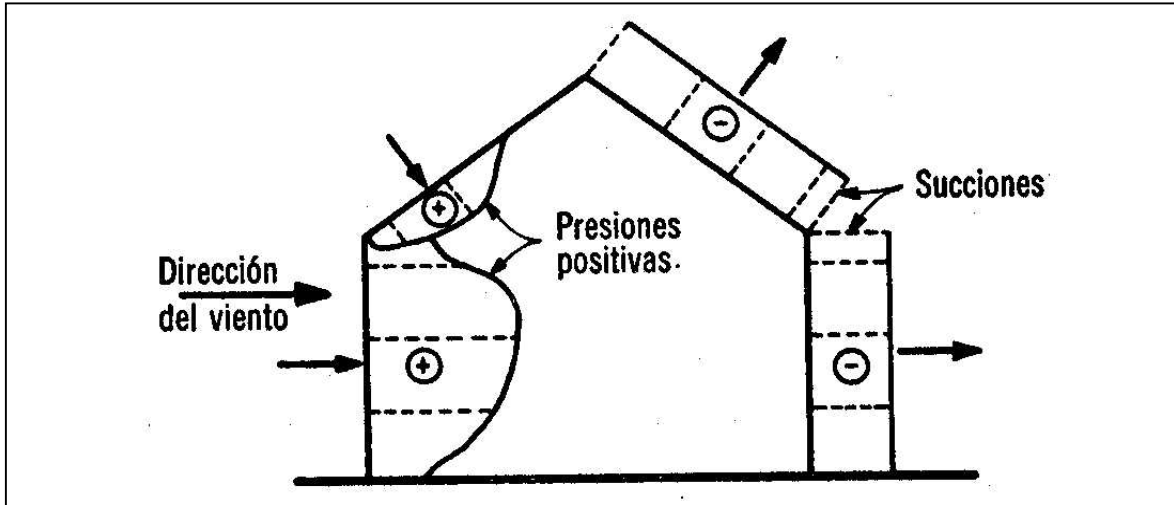


Figura 2.5 Ilustración de la distribución de presión o fuerzas producto del viento sobre una estructura (Sotelo, 1979)



Figura 2.6 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. 2.7). 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. 2.8).



Figura 2.7 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.

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. Las recomendaciones para lograr comportamientos adecuados y seguros de las viviendas ante el impacto del viento se presentan en el capítulo 6.



Figura 2.8 *Falla por flexión del muro o por giro de la cimentación en una estructura de mampostería confinada (H. Toledo; Huracán Pauline, Oaxaca, México, 1999)*

2.3.2 Escalas de daño por 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? 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 cuestiones, la experiencia tendrá que empezar a acumularse en el futuro.

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. El término huracán corresponde a una categoría de ciclón tropical;

todos los huracanes son ciclones tropicales, pero no todos los ciclones tropicales alcanzan la intensidad necesaria para ser denominados como huracanes. Conforme se intensifica un evento, la presión central (es decir la presión a nivel del mar sobre el centro de giro) se reduce, alcanzando hasta un déficit de presión del orden de 10% de la presión atmosférica normal a nivel del mar. Conforme 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 2.1 (Ahrens, 2001; Borroughs, 1998; CENAPRED, 2001; Eagleman, 1985).

Tabla 2.1 Escala de categorización de eventos meteorológicos de Saffir-Simpson

Categoría	Presión (milibar)	Velocidad del viento (km/h)	Marea (m)	Características Observaciones
Huracán I	> 980	119 - 153	1.5	Altamente destructivo
Huracán II	965 - 980	154 - 177	2.0 - 2.5	Altamente destructivo
Huracán III	945 - 965	178 - 209	2.6 - 3.7	Extremadamente destructivo
Huracán IV	925 - 945	210 - 249	4.5 - 5.0	Extremadamente destructivo
Huracán V	<920	> 250	> 5.0	El más destructivo

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, 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 (Rosengaus, 1998).

Por otro lado, existen otro tipo de escalas de clasificación de los eventos meteorológicos en cuanto a su destructividad de las edificaciones y obras civiles. Una de las más mencionadas es la escala de Fujita (tabla 2.2), la cual regularmente es usada para determinar la intensidad de los tornados (originalmente tifones) por medio del examen del nivel de daño generado por el evento en estructuras creadas por el hombre (Ahrens, 2000; Borroughs, 1998).

Tabla 2.2 Escala de categorización de eventos meteorológicos de Fujita

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

La escala de Fujita (también conocida como Escala de Fujita-Pearson) puede ser un sistema no perfecto de liga entre velocidades de viento y nivel de daño en edificación, pero ha mostrado ciertos avances en cuanto a los procedimientos de clasificación comparativamente con escalas anteriores; sin embargo, el consenso entre el medio académico es la consideración de velocidades de viento superiores a las que regularmente se observan y reportan durante fenómenos meteorológicos.

Uno de los aspectos más interesantes de la escala de Fujita es la premisa de poder estimar las velocidades de viento probables ocurridas durante un evento a partir de la revisión de los daños observados durante el paso de un fenómeno natural. La escala de Fujita establece una relación entre la intensidad de un tornado, los daños observables al paso del mismo y las velocidades probables del viento que ocurrieron durante el mismo.

III VULNERABILIDAD DE LA VIVIENDA DE BAJO COSTO ANTE EL EFECTO DEL VIENTO

3.1 ESTRUCTURAS MUY VULNERABLES

En realidad, cualquier estructura, por el hecho de presentar una superficie que resulte obstáculo al flujo del aire, se ve afectada, de mayor a menor grado, por el efecto de vientos intensos. Existen algunos tipos que son más vulnerables que otros, siendo la vulnerabilidad de las estructuras ante viento generalmente en función de la superficie exterior y del peso de la estructura. En este capítulo se mencionarán los diferentes tipos de estructuras vulnerables a vientos intensos y, de igual manera, se mencionará el tipo de estructura poco vulnerable al viento.

El tipo de estructura que más se ve afectada por vientos intensos son los grandes árboles, que son una estructura con una gran superficie que se opone al libre flujo del viento, que la constituye el follaje, y cuentan con solamente un elemento vertical de soporte, el tronco. Estructuralmente hablando un árbol es un péndulo invertido donde no hay redundantes y al presentar un comportamiento inadecuado en la base, sobreviene la falla de toda la estructura. Dentro de las estructuras creadas por el hombre, la más parecida a la estructura de un árbol, es el anuncio publicitario llamado espectacular. Este tipo de estructuras generalmente se reporta con el mayor porcentaje de daños durante vientos intensos. Se pudiera considerar que los procedimientos de diseño y construcción de este tipo de estructuras, en la mayoría de los casos, es inadecuado; sin embargo, se debe recordar que en la ciudad de México, en años recientes (después de la emisión del reglamento de 1987) se ha tenido cuidado en el diseño y construcción de este tipo de apéndices de edificios o estructuras independientes, y aun así, ante vientos considerablemente menores que los que pudieran presentarse en un huracán categoría III o superior (velocidades máximas de viento sostenido del orden de 150 km/h), se han presentado problemas de fallas. Es recomendable tratar de erradicar totalmente la lógica de que la pérdida total de este tipo de estructuras no representa un impacto económico notable, y sí hay que recordar que las fallas de estos anuncios ponen en peligro a los habitantes de su alrededor, al convertirse en piezas que al ser suspendidas por el viento se convierten en proyectiles peligrosos y al producir fallas secundarias de líneas de servicios aéreas (electricidad, teléfono, etc.) pueden generar incendios u otro tipo de daños en líneas vitales (Rosengaus, 1998).

Considerando las características de distribución de las velocidades de viento, que se pueden ver en la fig. 2.2, independientemente de la zona que se trate, estructuras de gran altura o que sobresalgan significativamente de las estructuras (artificiales o naturales) de la vecindad, estarán sujetas a velocidades y efectos más significativos de viento. Así, si se puede suponer que para un mismo valor de velocidad sostenida, reportada por los reglamentos para diseño como el valor medio medido a una altura de 10 m, se tiene un nivel de peligro asociado a una distribución de peligro superficial, se debe aceptar también una distribución de peligros en la altura si se supone que el efecto sobre las estructuras será proporcional a la velocidad del viento. Entonces, se tiene que las estructuras altas estarán sujetas a niveles de peligro mayores que las estructuras bajas. Este aspecto conlleva a que generalmente se haga énfasis en el diseño de las estructuras altas y se omita el diseño o revisión alguna de estructuras pequeñas, donde generalmente se ubican a las edificaciones de vivienda de bajo costo y autoconstrucción.

Dentro de las estructuras que mayormente se difunde su daño ante el efecto del viento se encuentran las estructuras metálicas. Lo que llama la atención del daño de estas estructuras, y resulta interesante observar, es el hecho de que el acero, al fluir o pandearse, aun en intervalo elástico se deforme. Las edificaciones de acero empleadas para almacenamiento, ubicadas en zonas relativamente libres de obstáculos para el flujo del viento, (generalmente bodegas o naves industriales), tienen la característica de presentar grandes superficies expuestas en cualquier dirección y son muy ligeras. Estas dos propiedades las hace ser edificaciones muy vulnerables.

De igual manera que para las estructuras metálicas, entre las que sobresalen los anuncios publicitarios, se tiene a las estructuras de los árboles. Estas siempre estarán sujetas a vientos intensos, pudiendo generar fallas locales (desprendimiento de ramas) o globales (desprendimiento total del árbol desde la raíz). Este tipo de estructuras naturales, aunque no generan un daño económico directo al fallar, si pueden, de manera

indirecta, generar daños y pérdidas económicas significativas. Uno de los casos de mayor relevancia se tuvo durante la incidencia del huracán Isidore en la península de Yucatán durante septiembre de 2002. De la falla de este tipo de estructuras se pueden dilucidar algunos aspectos que pueden servir para tratar de reducir los niveles de vulnerabilidad. Las fallas parciales o locales se deben generalmente al envejecimiento y, por tanto, degradación de la resistencia de las ramas que fallan; las fallas globales se pueden asociar a una fijación o anclaje insuficiente que, en el caso de Mérida significativamente, se debió a la poca profundidad que pueden alcanzar las raíces en el suelo de la región. Por lo demás, difícilmente se podrá observar un árbol dañado o fallado por un problema de comportamiento en alguno de sus troncos principales, esto debido a la elevada resistencia y capacidad de deformación que poseen.

Del análisis del comportamiento de los árboles ante la incidencia de viento se puede aceptar que la vulnerabilidad se reduce si se usan elementos estructurales suficientemente resistentes y con capacidad de deformación (dúctiles), proporcionando un mantenimiento adecuado a las edificaciones y logrando además un anclaje por medio de la cimentación suficiente para soportar los momentos de volteo que pudiera generar el impacto del viento.

Esto se logra, por lo general, en estructuras metálicas para uso industrial, donde los diseños tienen un sustento reglamentario y se hacen bajo la supervisión de un profesional de la ingeniería estructural; sin embargo, aun en este tipo de estructuras se presentan problemas importantes por la falla y pérdida de las láminas de cubierta, principalmente en las techumbres. Se ha observado que los problemas en techumbres de este tipo de edificación se debe a dos aspectos: a) insuficiencia en la cantidad y/o resistencia de los dispositivos para fijación de las láminas de cubierta con los largueros estructurales y, b) inexistencia u omisión del manual de operación y mantenimiento que toda estructura deberá tener, producto del proceso de diseño (según la mayoría de los reglamentos de construcción, junto con la memoria de cálculo y los planos estructurales de diseño, se deberá entregar siempre, independientemente del tipo de estructura que se trate, el manual de operación y mantenimiento). El segundo aspecto repercute en una degradación de las características de los dispositivos de fijación, que pueden llegar a fallar ante vientos con intensidades menores que las consideradas en el diseño original.

Las estructuras de mampostería, que generalmente se asocian a viviendas con una alta densidad de muros en ambas direcciones, producto de las recomendaciones para diseño por sismo en las regiones de la costa Pacífico, en la mayoría de los casos no se revisan ante la incidencia del viento. Sin embargo, es de la mayoría conocido el hecho de que un muro en la dirección de su plano tiene generalmente rigidez y resistencia suficiente para soportar las demandas; pero no necesariamente el mismo muro tendrá la misma capacidad para lograr un comportamiento adecuado ante la incidencia de fuerzas perpendiculares a su plano (denominadas también fuera del plano). Esta omisión en la revisión y diseño del comportamiento de muros ante fuerzas fuera del plano se acentúa cuando la edificación es producto de la autoconstrucción, procedimiento de construcción muy socorrido para resolver la demanda de vivienda de bajo costo. Una característica de la autoconstrucción es la ausencia de detalles adecuados para soportar los efectos de fuerzas laterales, como las generadas por viento. Debido a sus características, las mamposterías no tienen resistencias a tensión; así, para solventar la demanda de esfuerzos por momento de flexión debido a fuerzas de viento, generalmente se requiere de la presencia de elementos confinantes de la mampostería, como castillos y dadas, contrafuertes y columnas. Muros que pudieran verse suficientemente resistentes para soportar fuerzas laterales, pudieran resultar vulnerables al efecto de fuerzas laterales fuera de su plano. Aunado a lo anterior, el peso de los componentes de un muro de mampostería generalmente es grande, y la falla pudiera ocasionar daños considerables e incluso se constituye en un peligro para la población. Hay casos en eventos recientes, como Gilbert, Pauline (en México) o Andrew (en los Estados Unidos de América), en que se observaron fallas parciales de muros de mampostería sujetos a velocidades de viento muy altas (fig. 3.1). En la mayoría de los casos la falla ocurre entre los elementos estructurales de concreto reforzado si éstos existen, o en la mitad del muro cuando no existan. El problema en muros de mampostería de vivienda se acentuará cuando no se tengan elementos confinantes de concreto reforzado. Por lo tanto, con objeto de reducir los niveles de vulnerabilidad de las edificaciones de mampostería, de manera similar a lo propuesto para este tipo de estructuras sujetas a las fuerzas laterales provocadas por sismo, resultan necesarios refuerzos estructurales suficientemente cercanos e idealmente formando marcos perimetrales confinantes.



Figura 3.1 Daños en muros de mampostería por efecto de viento (Huracán Andrew, Florida, USA, 08/24/1992; Fotografía tomada de FEMA News Photo)

Igualmente, los muros de mampostería usados como bardas de colindancia o como simples fachadas aisladas, independientemente de la altura de las mismas, resultan altamente vulnerables ante el empuje del viento en la dirección fuera del plano. En todos los huracanes reportados, el porcentaje de daño en muros de barda resultan de consideración (ver fig. 3.2).



Figura 3.2 Daños y falla en muros de mampostería usados en bardas de colindancia

En este tipo de muros resulta más crítico el uso inadecuado de elementos confinantes de concreto reforzado (castillos y dadas de cerramiento) que para los muros de edificación. Dado que en este tipo de estructuras no existe la restricción que proporcionan los muros ortogonales, las demandas de momentos de volteo y rotación en la base resultan muy altas para ser soportadas adecuadamente por los castillos tradicionales y, sobre todo, para los castillos prearmados, que generalmente se emplean para resolver este tipo de elementos muchas veces considerados como no estructurales.

Otro tipo de daño que se puede presentar en estructuras de mampostería de vivienda o para resolver bardas de colindancia, aun cuando éstas estén adecuadamente diseñadas y construidas, es la falla por volteo del muro debido a una cimentación inadecuada. Este tipo de daños se observó con frecuencia en la costa del estado de Oaxaca ante la incidencia del huracán Pauline (ver fig. 2.8).

Las edificaciones con grandes superficies de ventanales expuestas al exterior resultan también altamente vulnerables. Se ha señalado en meteoros recientes que impactaron en la península de Yucatán, que gran parte de las pérdidas económicas provocadas por un huracán, por ejemplo en Cancún, se debió a los daños en los acabados interiores de los hoteles localizados en la costa (Rosengaus, 1998). El daño se produjo por la falla de los vidrios y ventanales, lo que permitió la entrada de agua salada y ésta generó el deterioro por intemperismo severo de los muebles y materiales de acabados. De igual manera, en las edificaciones de vivienda la falla o daño de ventanas permite el ingreso de vientos con grandes cantidades de agua al interior de las mismas provocando, además de una variación de la distribución de presiones sobre los elementos estructurales, el deterioro del menaje del interior. Una de las formas con que tradicionalmente se ha tratado de reducir este problema es por medio del refuerzo o “sellado” de ventanas con cintas plásticas o con protección temporal a base de madera y láminas. Esta solución resulta en cierto costo ya que se tendrá que hacer cada vez que se reporte la proximidad de un huracán. En países donde también la incidencia de eventos de esta naturaleza es grande, como Japón por ejemplo, este tipo de protección en las ventanas ha dejado de tener el carácter de temporal para ser obligatoria a partir de los lineamientos plasmados en los reglamentos de construcción.

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

3.2 ELABORACIÓN DE UN MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD GLOBAL PARA LA REPÚBLICA

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

Por ausencia de información suficiente, no se considera la expresión tradicional para determinar el riesgo; únicamente se trata de establecer un indicador de la posibilidad de que se genere gran nivel y densidad de daño en las viviendas de bajo costo. Este indicador se define como susceptibilidad de daño, y resulta del producto de la vulnerabilidad y el peligro antes mencionados (índice de riesgo). Con base en este indicador se elabora un mapa de zonificación del nivel de daño esperado en viviendas para cada estado de la República Mexicana. Para la elaboración de dicho mapa se tomó en cuenta, como parámetro de peligro, la velocidad regional máxima esperada dentro de cada estado. El valor de esta velocidad se extrajo de los mapas de isotacas del Manual de Obras Civiles de la Comisión Federal de Electricidad para diferentes periodos de retorno de los eventos. Para este trabajo, de manera arbitraria y como una primera aproximación, se está considerando únicamente el periodo de 200 años, suponiendo que para este tipo de eventos se pueden esperar daños en mampostería de buena calidad (ver figs. 2.6 y 2.8). Por otro lado, el nivel de vulnerabilidad de las

construcciones se asoció con el hecho de que las edificaciones tuvieran techos o muros elaborados con material no considerado en los reglamentos de construcciones, el cual dentro de este estudio se definió como “material precario” para ser congruente con la terminología del INEGI; de la observación de edificaciones definidas por el INEGI como vivienda con material precario, se entiende que éstas contarán con un sistema inadecuado o inexistente de sujeción conectores del techo. Así, de información recopilada por el INEGI en el censo de 1995, se pudo determinar, a nivel estatal, el porcentaje de casas que están construidos con material precario en sus techos y en sus muros y que, por lo tanto, pueden considerarse altamente vulnerables al efecto del viento. La información recabada sobre porcentaje de vivienda con material precario en techos y muros, así como las velocidades regionales de viento máximas que se reportan en cada estado de la República Mexicana se muestran en la tabla 3.1

Tabla 3.1 Información por estado del porcentaje de vivienda con material precario y velocidades regionales de viento máximas registradas

Estado	Porcentaje de vivienda con material precario en: ^{*1}		Velocidad regional del viento (km/h) ^{*2}		
	Techos	Muros	T=100 años	T=200 años	T=2000 años
Aguascalientes (Ags)	7.6	16.8	151	150	155
Baja California (BC)	81.3	40.9	170	200	260
Baja California Sur (BCS)	49.4	19.4	182	260	260
Campeche (Camp)	58.0	34.0	146	180	200
Chiapas (Chis)	82.2	52.6	121	160	180
Chihuahua (Chih)	52.2	41.0	152	180	200
Coahuila (Coah)	18.6	24.7	180	180	220
Colima (Col)	42.9	12.6	177	220	260
Distrito Federal (DF)	15.0	2.9	120	120	142
Durango (Dgo)	29.4	48.1	122	180	220
Guanajuato (Gto)	38.7	18.3	144	145	160
Guerrero (Gro)	73.3	56.4	172	240	260
Hidalgo (Hgo)	44.2	21.9	133	160	185
Jalisco (Jal)	21.5	14.1	170	260	260
México (Mex)	31.6	11.2	118	125	145
Michoacán (Mich)	49.4	35.8	97	160	260
Morelos (Mor)	39.6	19.1	114	125	143
Nayarit (Nay)	42.0	16.2	108	180	200
Nuevo León (NL)	16.8	8.1	151	170	200
Oaxaca (Oax)	70.5	51.6	135	180	220
Puebla (Pue)	44.4	28.7	112	170	190
Querétaro (Qro)	33.3	9.2	124	150	170
Quintana Roo (QR)	37.2	27.6	173	220	260
San Luis Potosí (SLP)	35.0	31.2	147	160	190
Sinaloa (Sin)	22.7	13.9	225	260	260
Sonora (Son)	39.3	21.5	177	200	240
Tabasco (Tab)	71.9	26.5	132	160	220
Tamaulipas (Tamps)	40.6	28.5	185	220	260
Tlaxcala (Tlax)	25.9	24.2	108	140	160
Veracruz (Ver)	59.8	33.6	185	200	240
Yucatán (Yuc)	40.2	21.6	181	190	220
Zacatecas (Zac)	27.8	49.1	127	160	160

*1: Información obtenida del INEGI, 1995,

*2: Información obtenida de CFE, 1997

Para definir los niveles probables de daño esperado, se aplicó un criterio simple consistente en que a mayor velocidad de viento en una región con alto porcentaje de material precario en vivienda, mayor será el nivel y densidad de daño esperado; y viceversa. Con base en este criterio se determinaron cuatro diferentes zonas de susceptibilidad de daño, las cuales son:

1. Zona que comprende los estados con velocidad regional máxima entre 177 y 250 km/h (considerados como huracanes categoría I y II según la escala de Saffir-Simpson) y un porcentaje de vivienda con material precario en techos o muros superior al 50%. También en esta clasificación se encuentran los estados donde se observa velocidades regionales superiores a los 250 km/h y un porcentaje de vivienda construida con material precario entre 25 y 50%. En los estados con esta clasificación se espera densidad y nivel de daño severo ante la incidencia de un fenómeno meteorológico.
2. Zona que comprende los estados con velocidad regional máxima entre 119 y 177 km/h y un porcentaje de vivienda con material precario superior al 50%. Estados con velocidades regionales registradas entre 177 y 250 km/h y un porcentaje de vivienda con material precario de entre 25 y 50%. También incluye a los estados con velocidades regionales superiores a 250 km/h y un porcentaje de vivienda con material precario en muros o techos menor que 25%. En los estados con esta clasificación se espera una densidad y nivel de daño medio ante la incidencia de un evento.
3. Zona que comprende los estados con velocidad regional máxima entre 119 y 177 km/h y un porcentaje de vivienda con material precario entre 25 y 50%. Estados con velocidades regionales registradas entre 177 y 250 km/h y un porcentaje de vivienda con material precario menor que 25%. En los estados con esta clasificación se espera una densidad y nivel de daño ligero ante la incidencia de un evento.
4. Zona que comprende los estados con velocidad regional máxima entre 119 y 177 km/h y un porcentaje de vivienda con material precario inferior al 25%. En los estados con esta clasificación se espera una densidad y nivel de daño entre nulo y ligero ante los efectos por viento de un fenómeno meteorológico.

Empleando la escala Saffir-Simpson, por razones de sencillez, la más empleada en nuestro país, se establecieron dos gráficas que permitieron identificar cuántos y cuáles estados se ubican en alguna de las clasificaciones zonales de nivel y densidad de daño probable antes expuestas. La relación entre el porcentaje de vivienda con material precario (en techos o muros) y la velocidad regional de viento máxima se presenta en las figs 3.3 y 3.4.

En estas gráficas, los puntos negros representan cada uno de los estados de la República Mexicana; se omite la colocación de su nombre por falta de espacio y los resultados de la ubicación de cada estado en las zonas de peligro por vientos fuertes se presenta en las tablas 3.2 y 3.3.

Según lo observado en estas gráficas, (figs. 3.3 y 3.4) la clasificación es en función de dos parámetros: el porcentaje de vivienda con material precario en techos y el porcentaje de vivienda con material precario en muros. Esta clasificación se usa para elaborar un mapa de zonificación del nivel y densidad probable de daño ante la incidencia de un viento. En el anexo de este trabajo se presenta un mapa de susceptibilidad y densidad de daño debido a vientos fuertes, considerando únicamente la clasificación en función de material en techos.

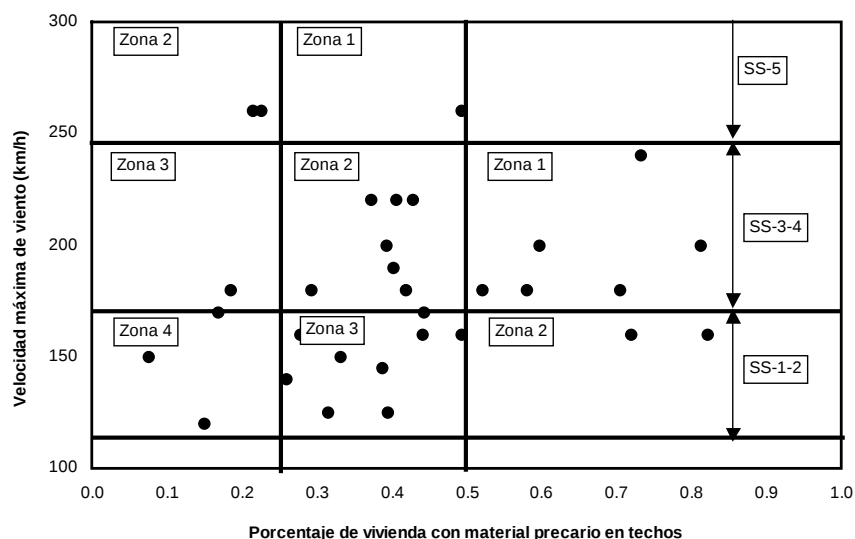


Figura 3.3 Relación entre velocidades máximas de viento (escala de Saffir-Simpson) y el porcentaje de vivienda con material precario en techos. El término SS-*i* usado en la parte derecha de la figura, significa escala Saffir-Simpson categoría *i*.

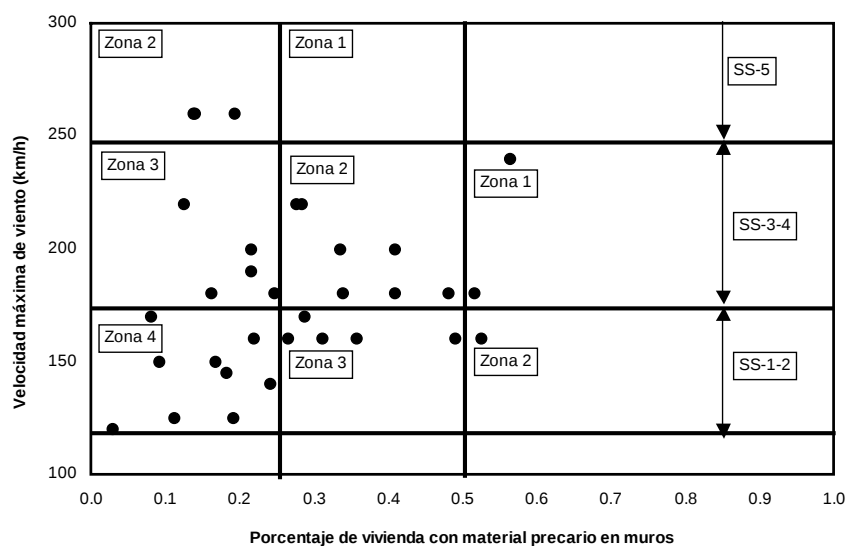


Figura 3.4 Relación entre velocidades máximas de viento (escala de Saffir-Simpson) y el porcentaje de vivienda con material precario en muros. El término SS-*i* usado en la parte derecha de la figura, significa escala Saffir-Simpson categoría *i*.

Tabla 3.2 Clasificación zonal de los estados en función del material en techos

Zona	Estados	Observaciones
1	Guerrero, Baja California, Oaxaca, Veracruz, Campeche, Chihuahua, Baja California Sur.	Se puede esperar densidad y nivel de daño severo
2	Chiapas, Tabasco, Colima, Tamaulipas, Quintana Roo, Sonora, Yucatán, Nayarit, Durango, Sinaloa, Jalisco.	Se puede esperar densidad y nivel de daño medio
3	Puebla, Michoacán, Hidalgo, San Luis Potosí, Zacatecas, Querétaro, Guanajuato, Tlaxcala, Morelos, México, Coahuila.	Se puede esperar densidad y nivel de daño ligero
4	Aguascalientes, Distrito Federal, Nuevo León.	Se puede esperar densidad y nivel de daño nulo-ligero

Tabla 3.3 Clasificación zonal de los estados en función del material en muros

Zona	Estados que incluye	Observaciones
1	Guerrero, Oaxaca.	Se puede esperar densidad y nivel de daño severo
2	Chiapas, Tamaulipas, Quintana Roo, Durango, Sinaloa, Jalisco, Baja California, Chihuahua, Veracruz, Campeche, Baja California Sur, Coahuila.	Se puede esperar densidad y nivel de daño medio
3	Puebla, Michoacán, San Luis Potosí, Zacatecas, Tlaxcala, Tabasco, Colima, Yucatán, Sonora, Nayarit.	Se puede esperar densidad y nivel de daño ligero
4	Aguascalientes, Distrito Federal, Nuevo León, Hidalgo, Querétaro, Guanajuato, Morelos, México.	Se puede esperar densidad y nivel de daño nulo-ligero

3.3 PROCEDIMIENTOS DE DISEÑO DE ESTRUCTURAS ANTE EL EFECTO DEL VIENTO

Como ya se ha mencionado en secciones anteriores de este mismo trabajo, la masa de aire en movimiento, que es lo que se conoce como viento, generará efectos de presión o succión sobre las diferentes caras de los cuerpos que se opongan a su libre flujo a través de la atmósfera. Para que el ingeniero pueda determinar las características de los elementos estructurales que estén ante el efecto de estas fuerzas, resulta necesario poder estimar numéricamente su magnitud. Para poder estimar la magnitud de las fuerzas debidas al viento se aplican conceptos de la mecánica de los fluidos, como el principio de Bernoulli, en la dirección del flujo, que equivale a considerar que la energía de presión más la energía cinética de la masa de aire permanecerán constantes en cualquier punto de la trayectoria del flujo. Aplicando este principio entre dos puntos en la trayectoria de una partícula de aire, uno en el espacio libre de obstáculos, y el otro en la vecindad del obstáculo al flujo del aire, se conoce que existe una diferencial de presiones (en este caso equivalente a una presión sobre la cara anterior del obstáculo) igual a

$$\Delta p = \frac{1}{2} \rho V^2$$

donde; ρ representa a la masa específica del aire; y V es la velocidad del viento en el punto libre de obstáculos (que para el ingeniero, será el valor de velocidad medida por medio de un anemómetro).

La distribución de presiones sobre la cara de un obstáculo resulta generalmente compleja, y para poder determinarla, en la mayoría de los casos se requiere de pruebas en túnel de viento aplicando un estado de flujo laminar, con base en lo que se han podido establecer coeficientes medios de presión y succión para diferentes geometrías de cuerpos obstaculizando el libre flujo del viento. Así, dado que para el diseño interesa la fuerza ejercida sobre una superficie, ésta se obtiene del producto de la presión media, el coeficiente de presión

correspondiente y la superficie de contacto, quedando la expresión para fuerza

$$F = \frac{1}{2} C_P \rho V^2 A_E$$

donde, en este caso C_P es el coeficiente de presión, obtenido de estudios en túnel de viento; A_E es el área expuesta que es la proyección del cuerpo sobre un plano ortogonal a la dirección del viento.

Para la estimación de las fuerzas debidas al impacto del viento sobre la supercicie de un obstáculo, aparece la masa específica del aire, la cual depende de la altura sobre el nivel medio del mar y de la temperatura de la atmósfera, para condiciones estandar se acepta $\rho=0.125 \text{ kg-s}^2/\text{m}$. Dado que las velocidades de viento generalmente se reportan en km/h, la expresión para determinar el valor de la presión ejercida sobre la superficie de un obstáculo queda como se indica (introduciendo además el cambio de la velocidad media, V , por el de la velocidad de diseño V_D)

$$p = 0.0048 C_P V_D^2$$

Esta expresión es la que se propone en la mayoría de los reglamentos para diseño por viento (para el caso de la República Mexicana, esta expresión es la única propuesta por los dos reglamentos más significativos, el de las Construcciones para el Distrito Federal, y el Manual de la Comisión Federal de Electricidad).

Como se mencionó, la densidad del aire varía con la altura sobre el nivel del mar, y se propone una expresión para determinar un factor de corrección

$$\frac{8+h}{8+2h}$$

siendo h , la altura sobre el nivel del mar medida en kilómetros. Resulta evidente que las fuerzas producto del viento a nivel del mar serán mayores a aquellas que se obtengan en la ciudad de México, por ejemplo, para iguales valores de velocidades de viento.

La velocidad de viento que interviene en las expresiones para determinar las presiones sobre las superficies de un obstáculo depende de factores como los que se indican:

- Ubicación geográfica de la estructura
- Características topográficas y de rugocidad del sitio
- Régimen estadístico de la velocidad del viento
- Valor de la velocidad regional asociada a un periodo de vida útil
- Geometría de la estructura
- Isobaras de presión o su equivalente reglamentario (los coeficientes de presión y succión)
- Clasificación y tipo de la estructura
- Sensibilidad de la estructura a los efectos de ráfaga
- Características de la variación de la velocidad del aire con la altura sobre el nivel de terreno

Dado que la competencia del presente estudio es en los estados costeros de la República Mexicana, se usó el Manual de Diseño de Obras Civiles (Diseño por Viento) de la Comisión Federal de Electricidad (CFE, 1993), en el que se establece el procedimiento para determinar las presiones o succiones en las edificaciones producto del efecto del viento.

En primer lugar se establece una clasificación de las estructuras según su importancia y según su respuesta ante la acción del viento. Para el caso de las estructuras que interesan a este estudio, edificación de vivienda predominantemente de un solo nivel, se consideró que los efectos dinámicos son poco significativos, por lo que se considera el efecto del viento por medio de un empuje medio equivalente (estático).

La velocidad de diseño V_D , en km/h, se determina con la expresión

$$V_D = F_T F_\alpha V_R$$

donde; V_R es la velocidad regional, obtenida de un mapa de isotacas. Los mapas de isotacas se presentan en lo manuales de diseño y están asociados a diferentes valores de los periodos de retorno, o bien a diferentes niveles de probabilidades de excedencia durante la vida útil de la edificación. $F_\alpha = F_C F_{rz}$, permite determinar la variación de la velocidad del viento con la altura; F_C es un factor que permite considerar el tamaño de la edificación, y F_{rz} es un factor que permite incluir el tipo de rugosidad y altura gradiente en la zona de interés; por ejemplo, para las estructuras correspondientes a este estudio, cuya altura es menor que 10 m, se tiene la expresión

$$F_{rz} = 1.56 \left[\frac{10}{\gamma} \right]^\alpha$$

en esta expresión γ es la altura gradiente, que según el Manual de la CFE para la zona de costa equivale a 245 m; y α se determina en función de la clasificación estructural y de la ubicación geográfica. F_T es el factor de topografía local, también en función de la ubicación geográfica de la estructura.

Para determinar las presiones y fuerzas debidas a la acción del viento, se tiene la expresión para el empuje medio estático

$$F_E = p_z A_z \quad \text{Fuerza de impacto igual al producto de la presión y el área expuesta}$$

$$p_z = C_p K_A K_L q_z$$

$$q_z = 0.0048 G V_D^2$$

donde; C_p es el coeficiente de presión o succión; K_A es un factor de reducción en función del área sobre la que se considera el efecto del viento; K_L es un factor de presión local, que es función de la ubicación del elemento a diseñar dentro de la estructura; q_z es la presión producto del impacto del viento (antes denominada como p dentro de este mismo estudio); G es el parámetro que permite considerar la variación del valor de la masa volumétrica del aire con la altura sobre el nivel medio del mar, para este estudio se consideró igual a la unidad por tratarse de edificaciones costeras; y, V_D es la velocidad de diseño.

Existen diferencias apreciables entre los procedimientos planteados por el manual de la CFE, y los planteados por el RCDF-NTC para el diseño por viento. Estas diferencias radican en la consideración de los diferentes factores que intervienen en la expresiones de diseño. Finalmente, una vez determinada la magnitud de la presión y/o succión que el viento ejerce sobre un cuerpo o una superficie de un cuerpo, bastará multiplicar este valor de presión por el área tributaria correspondiente para obtener el valor de la fuerza equivalente, que será la demanda ante la que se deberán los diferentes componentes de las estructuras.

IV ISIDORE: EJEMPLO DE HURACÁN CON GRAN CAPACIDAD DE DAÑO

4.1 INTRODUCCIÓN

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

El día 20 en la madrugada, cuando el centro del huracán se encontraba cerca de las costas occidentales de Cuba, “Isidore” alcanzó la categoría II en la misma escala, presentando vientos máximos sostenidos de 165 km/h y ráfagas de 205 km/h. El 21 por la mañana el meteoro se localizó en la parte media del Canal de Yucatán, donde alcanzó la categoría III en la escala Saffir-Simpson, estando a una distancia de 120 km al Este-Noreste de Cabo Catoche, Quintana Roo, con vientos máximos sostenidos de 185 km/h, y ráfagas de 220 km/h. En la tarde del día 22 de septiembre, se detectó, con las imágenes de radar de Cancún, que la muralla que rodea al ojo del huracán golpeaba la costa norte de Yucatán. Después, el ojo del huracán impactó sobre tierra firme, en Telchac Puerto, aproximadamente a 45 km al Este del puerto Progreso, Yucatán, estando en la categoría III de la escala de Saffir-Simpson con vientos máximos sostenidos de 205 km/h y ráfagas de 250 km/h. Durante el resto del día, el centro de “Isidore” se desplazó sobre tierra con rumbo Suroeste, afectando con fuerte intensidad a toda la península de Yucatán. (Servicio Meteorológico Nacional, SMN, 2002).

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

El huracán “Isidore” fue el primero de la temporada 2002 que entró a tierra directamente en México. Es el primer huracán intenso (categoría III o superior) que afecta directamente a México, en el periodo de 1980 a 2002, sólo es superado por “Gilbert” de septiembre de 1988, el cual registró vientos máximos de 270 km/h (Servicio Meteorológico Nacional, SMN, 2002).

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

En esta parte del trabajo se presentan comentarios generales sobre el comportamiento de las edificaciones en general, y de las de vivienda en particular, durante la incidencia del huracán Isidore en la península de Yucatán. La finalidad es llegar a una mejor comprensión del tipo de configuración que deberá tener este tipo de estructuras para lograr niveles de seguridad adecuados ante el embate de un evento de esta

naturaleza. Se expone un recuento de los daños típicos provocados por el meteoro en diferentes zonas del estado de Yucatán, tratando de ilustrarlos de manera gráfica y lo más extensa posible.

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

4.2 CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL VIENTO DURANTE ESTE METEORO

Como se mencionó en el Capítulo 2 del presente trabajo, a menudo, la población cercana a puntos sobre la trayectoria de un huracán se ve confundida por el hecho de que los vientos que experimenta tienen una dirección casi normal a la que se reporta como la dirección de avance o aproximación del huracán. Otro factor de confusión usual para la población es el reporte de dos velocidades asociadas con el evento; la de traslación del sistema completo (casi siempre muy baja, reportada generalmente entre 10 y 40 km/h) y la velocidad máxima de viento (en general muy alta, reportada superior a 119 km/h). En el caso del huracán Isidore, la confusión fue menor, dado que presentó una velocidad promedio de traslación considerablemente inferior a la menor reportada, de 6 km/h, y velocidades de viento considerablemente altas, del orden de 200 km/h. Este fenómeno característico de Isidore, altas velocidades de viento con una velocidad excepcionalmente baja de traslación del sistema, provocó que los efectos de la energía de movimiento de la masa de viento incidieran durante periodos considerablemente largos en las estructuras naturales y artificiales que se encontraban en la región. Este hecho junto con las ráfagas, que se presentan con velocidades del orden de 25 a 30% superiores a la velocidad sostenida, es lo que puede considerarse como el motivo principal de la ocurrencia de grandes daños en la región. En la fig. 4.1 se presentan las curvas de isócronas para tres niveles de velocidades sostenidas de viento, las gráficas muestran regiones donde se observó un cierto nivel de velocidad de viento durante el tiempo indicado en la línea.

En la fig. 4.1.a, se aprecia que prácticamente toda la península estuvo sujeta a velocidades de viento del orden de las empleadas para diseño de estructuras en el Distrito Federal durante al menos 24 horas, y algunas regiones en la parte Norte de la península por un periodo de 80 horas.

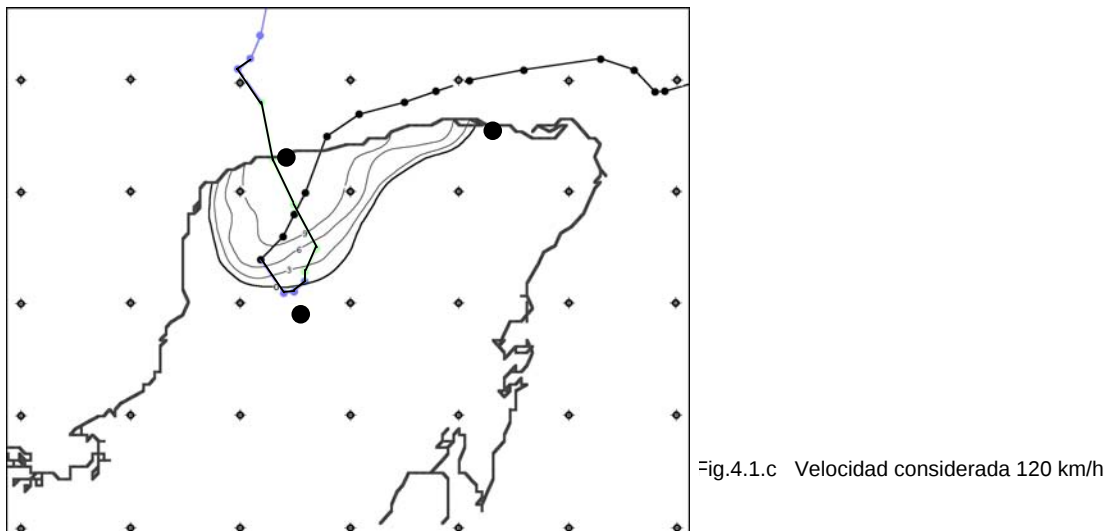
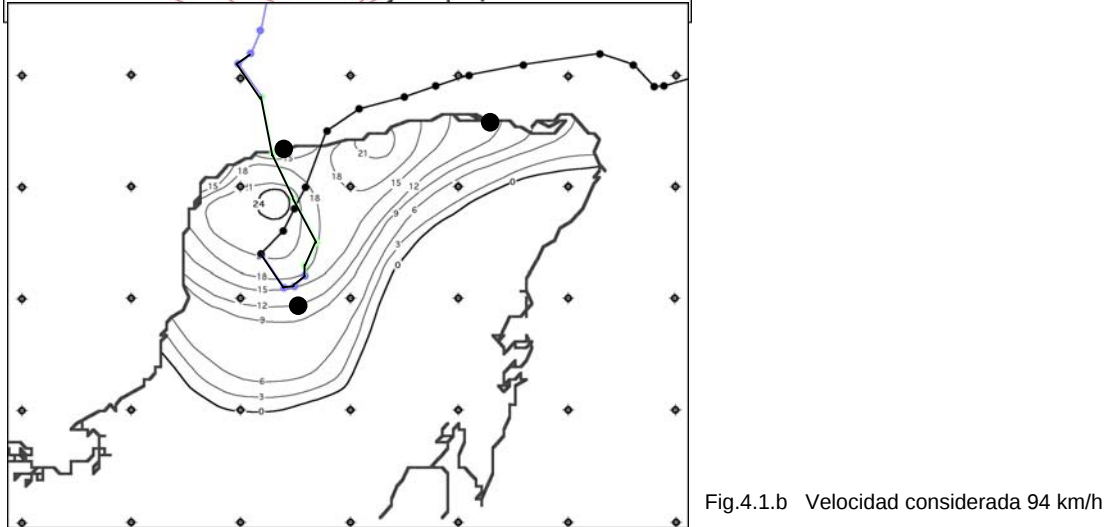
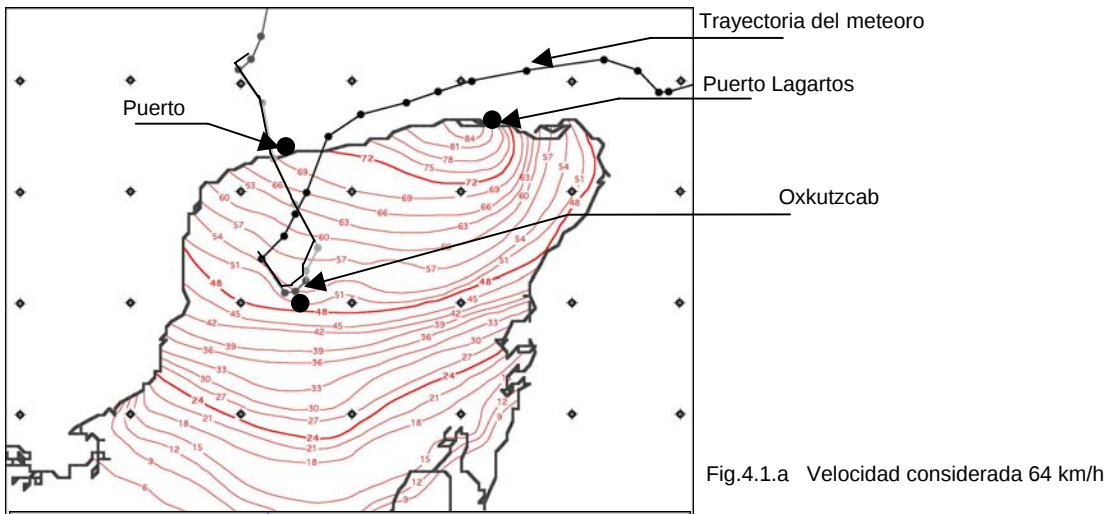


Figura 4.1 *Curvas de isócronas para diferentes velocidades de viento registradas durante el huracán "Isidore" en la península de Yucatán (SMN, 2002).*

En las dos gráficas restantes de la misma fig. 4.1 se observa que una superficie claramente delimitada por la trayectoria del meteoro, abarcando desde Puerto Lagartos, hasta Puerto Progreso en el Norte de la península, y marcando un triángulo hasta Oxkutzcab, aproximadamente a 60 km al sur de Mérida, se vio sujeta a vientos sostenidos del orden de 150 km/h por un lapso de tiempo de alrededor de tres horas, en la parte sur, y 10 horas, en la parte Norte de la península.

A diferencia del daño generado por otros meteoros, donde las velocidades sostenidas de viento registradas o calculadas durante el evento resultan superiores a las reportadas durante Isidore, los daños por Isidore se pueden asociar a la permanencia prolongada de vientos sostenidos.

4.3 DAÑOS GENERADOS POR EL EFECTO DEL VIENTO

Los vientos que el huracán “Isidore” presentó en las zonas cercanas a su trayectoria causaron daños importantes. No sólo resultaron afectadas las estructuras con grandes áreas expuestas, debido a los vientos intensos, sino que también la vegetación fue derribada en grandes extensiones.

Como en cualquier otro fenómeno de esta naturaleza, los daños se concentraron en anuncios comerciales (también conocidos como espectaculares), los postes de las líneas de transmisión eléctrica y de telecomunicaciones, en las láminas de las cubiertas de estructuras del tipo de nave industrial y en las viviendas, éstas últimas principalmente en la zona rural.

4.3.1 Daños en líneas vitales e instalaciones industriales

Una peculiaridad de los daños generados por el huracán Isidore fue la gran cantidad y consistencia de daño generado en los postes para transmisión de energía eléctrica. Como se observa en las fotografías presentadas en la fig. 4.2 los tipos de daños y fallas de los postes resultaron variados, desde fallas por una profundidad insuficiente en el “sembrado” o hincado del poste, lo cual se justifica por la poca profundidad a la que se encuentra la primera capa de caliza de gran dureza en prácticamente toda la superficie de la península, hasta fallas de tipo frágil en flexión a diferentes alturas del poste. También se observó que la mayoría de los postes dañados eran relativamente nuevos, y que presentaban una sección transversal del orden de 20% menor que la de los postes de la región centro de la República y de los postes antiguos del mismo estado de Yucatán.



Figura 4.2 Daños observados en los postes de transmisión de energía eléctrica en el estado de Yucatán

Otros tipos de estructuras que generalmente resultan vulnerables ante la incidencia de viento, como lo reportó en su trabajo Rosengaus (1988) sobre los daños generados por el huracán Gilbert, son las cubiertas de

las estaciones de abastecimiento de gasolina. Como se presenta en la fig. 4.3, este tipo de estructuras es vulnerable por la gran superficie que presenta y el poco peso que tiene; así mismo estas estructuras se constituyen en el obstáculo al flujo del viento, provocando gran turbulencia, como se generaría en una placa dentro de un fluido (Rodríguez, 1976; Rosengaus, 2000). Otro aspecto que provoca un alto grado de vulnerabilidad en este tipo de estructuras en regiones costeras como la de Yucatán, es la conjunción de la agresividad intempérica del medio ambiente y la ausencia de la cultura del mantenimiento en las edificaciones en general, ya que como se observa en el recuadro de la fig. 4.3 la estructura de cubierta de la gasolinera se desprendió de la base de las columnas de soporte, debido a la falla de los tornillos de anclaje en las placas base de las mismas, en los que se observa un alto grado de oxidación.



Vista del daño en la estación y detalle de la base de la columna



Vista del techo de la estación y detalle de la placa base de la columna



Figura 4.3 Daño en una estación de abastecimiento de gasolina en la salida Este de Mérida

En las figs. 4.4 a 4.6 se muestran algunos de los daños típicos causados por vientos intensos. Se observa una fuerte correlación entre el peso de las estructuras y su sensibilidad al viento. Los daños directos a las estructuras de concreto reforzado y mampostería confinada fueron mucho menos frecuentes que a las estructuras metálicas y de lámina. Las casas con tipología de la región Maya, a diferencia de lo reportado durante la incidencia del huracán “Gilbert”, sufrieron daños graves, en la mayoría de los casos con la estructura totalmente derrumbada, probablemente precedida por la falla de las techumbres ante el efecto de succión. Muchos de los daños en vivienda se debieron al efecto de la caída de los árboles, que inicialmente las protegían de los mismos vientos intensos; observándose una gran cantidad de árboles derribados en las zonas urbanas, generando esto también problemas en las líneas de transmisión eléctrica, teléfono y alumbrado.

Hubo algunos daños parciales en aquellas estructuras cuya localización con relación a la topografía regional, las características de la vegetación y la ubicación con respecto a otras construcciones, provocó aceleraciones y fluctuaciones locales en el flujo, lo que probablemente aceleró su falla. Este fue el caso de las techumbres de algunas bodegas y naves industriales (fig. 4.4), anuncios espectaculares (fig. 4.5) y silos para almacenamiento de grano (fig. 4.6), todos ellos localizados en la región Norte de la península, específicamente en la región delimitada por Telchac Puerto, Motul, Mérida y Puerto Progreso.



Figura 4.4.a Daños en la lámina de techo de la bodega de almacenamiento de las oficinas regionales de la SCT

Las instalaciones industriales, como naves o bodegas, se vieron severamente afectadas, principalmente por el desprendimiento de las láminas de las techumbres. Este problema se observó en toda la zona de influencia del meteoro, considerando un radio de aproximadamente 30 a 45 km a partir del ojo o centro del huracán, indistintamente tanto en bodegas de gran envergadura (como el almacén de las oficinas regionales de la Secretaría de Comunicaciones y Transporte, fig. 4.4.a), como en las bodegas de las granjas avícolas de la zona (fig. 4.4.b). No se puede determinar si los problemas observados en las techumbres de la mayor parte de la zona Norte del estado de Yucatán se debieron a degradación de los dispositivos de anclaje, o a insuficiencia de la resistencia de los mismos (es decir, una distribución y densidad inadecuada); aunque se debe mencionar que en la mayoría de los casos eran estructuras que son sujetas a un proceso de diseño y construcción acorde a la normatividad vigente.

Otras estructuras que se vieron seriamente afectadas fueron los espectaculares o anuncios publicitarios. La mayoría de ellos son de armaduras constituidas de pocos elementos de gran esbeltez, lo que generalmente provoca el pandeo en el intervalo elástico de los mismos y, por lo tanto, la falla de toda la estructura. Sin embargo, dentro del tipo de espectaculares apoyados en un poste de acero de gran altura y robustez, pocos fueron los que presentaron daño o incluso la falla; uno de los casos se observó en la salida Norte de la ciudad de Mérida, hacia Puerto Progreso (fig. 4.5). Esta estructura fue demandada a su resistencia máxima, ya que la falla se presentó en la sección crítica, localizada en la base del tubo soporte, y se observaron indicios de alargamiento de la placa que constituía al tubo en la zona de falla. Además, se pudo apreciar que los pernos para anclaje en la base, junto con la placa de base, fueron severamente demandados por el momento de volteo que generó el impacto del viento en la superficie del espectacular cuyo centroide estaba aproximadamente a 15 m de altura.



Figura 4.4.b Daños típicos observados en las bodegas de las granjas avícolas de la región



Figura 4.5 *Falla de estructura con un anuncio espectacular en la carretera entre Mérida y Puerto Progreso*

En la misma zona donde se ubicaba la estructura del anuncio espectacular de la fig. 4.5, se observó la falla de un conjunto de silos para almacenamiento de granos de la empresa Maseca. De la batería de silos solamente fallaron los dos que estaban vacíos al momento de incidencia del meteoro (fig. 4.6). Este tipo de falla en silos, puede constituirse en un referente importante para las propuestas de diseño, en cuanto al hecho de que debería considerarse una condición de carga producto de la presión externa del viento y la ausencia de la presión interna que le provoca el material interno. Esta presión interna le proporciona cierta estabilidad a la placa de pared del silo y puede retardar la aparición del fenómeno de pandeo en el intervalo elástico (Den Hartog, 1952).

En toda la zona afectada por la trayectoria del meteoro hubo daños considerables en estructuras metálicas, en su mayoría usadas para el almacenamiento de granos, o para dar albergue a las granjas avícolas. Este tipo de estructura moderna resulta altamente sensible a los daños producidos por el viento, ya que generalmente ofrece una gran área de resistencia a éste y presenta un peso propio muy bajo.



Figura 4.6 *Falla de la estructura de un silo para almacenamiento de grano, que se encontraba vacío al momento del impacto del meteoro. La batería de silos se localiza en la carretera entre Mérida y Puerto Progreso*

4.3.2 Daños en edificación de vivienda

La mayor parte de los daños observados en viviendas se relaciona con aquellas constituidas con los denominados materiales precarios, tanto en techos como en muros. El INEGI proporciona los valores correspondientes al porcentaje de vivienda para el estado de Yucatán en la que se tiene material precario en muros y en la que se tiene material precario en techos; de la inspección después del huracán Isidore se pudo constatar que en el estado se tienen básicamente tres tipos de edificación en vivienda: 1) la vivienda de mampostería confinada en muros y concreto reforzado en las losas, localizada principalmente en la zona urbana de las grandes ciudades como Mérida, Puerto Progreso y Motul; 2) vivienda de mampostería confinada en muros y material precario en techos (principalmente lámina acanalada, apoyada en una estructura de madera o en una retícula de elementos de acero), tipo que generalmente se localiza en la zona rural y poblaciones pequeñas, y que constituye aproximadamente el 50% de la edificación para vivienda en dichas zonas; y, 3) vivienda de material precario en muros (siendo este desde bajareque, hasta mampostería simple) y materiales precarios en techos (siendo estos a base de una estructura soporte de madera, sobre la cual se coloca desde palma, hasta láminas de cartón enchapopotado), tipo de vivienda que se localiza en la zona rural y en un pequeño porcentaje en pequeñas poblaciones, y que constituye el 40% de la edificación para vivienda.

Dentro de la vivienda de los tipos 2 y 3, que tienen material precario en techos, se reportaron los porcentajes más altos de daño en techos (desde desprendimiento total, hasta falla parcial del mismo). Este valor fue del orden del 60%, coincidiendo la localización de las regiones con mayor porcentaje de daño con la trayectoria del meteoro (Fuente: Protección Civil del Estado de Yucatán y Área de Riesgos Hidrometeorológicos del CENAPRED). Las regiones donde censó la mayor densidad de daño incluye la parte sur del estado (en la vecindad de Oxkutzkab), donde se registran velocidades de viento correspondientes a tormenta tropical, relativamente pequeñas, pero durante periodos de tiempo prolongados (aproximadamente 24 horas, según se mencionó anteriormente con las curvas isócronas). Ver fig. 4.1.

Para la vivienda del tipo 1, no se observaron daños estructurales de importancia, excepto en aquellos casos donde, por la caída de árboles, se vieron afectadas. Este tipo de daño en vivienda “formal” se identificó en un muy bajo porcentaje tanto en zonas urbanas (zona sur de Mérida por ejemplo), como en la región rural.

Para el tipo de vivienda 2, se identificó que, en la mayoría de los casos (aproximadamente el 80%), aunque existía una estructura reticular de madera o acero para soporte y fijación del material de la techumbre (predominantemente lámina), la tendencia es que éste únicamente esté sobrepuesto, sin elementos de fijación, salvo algunos tabicones a modo de contrapeso. Esta costumbre en la región, originada probablemente por la falta de recursos económicos, genera un alto grado de vulnerabilidad en la vivienda de este tipo; aunado a lo anterior, el hecho de que también muchas de las viviendas no cuenten con vidrios en las ventanas, incrementa considerablemente la vulnerabilidad de las mismas ante la incidencia de vientos intensos. Daños típicos en las techumbres de este tipo de vivienda se presentan en la fig. 4.7.



Figura 4.7 Daño en vivienda de mampostería confinada con material precario en techo

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

Para la vivienda del tipo 3, a base de material precario en muros y techos, el porcentaje de daño resulta del orden de 70 a 80% ((Fuente: Protección Civil del Estado de Yucatán y Área de Riesgos Hidrometeorológicos del CENAPRED). Para las viviendas de mampostería simple en muros y techumbre con una inadecuada fijación, la falla o desprendimiento de la estructura del techo acarrió la falla total de la estructura, como se indica en la fig. 4.8. Este tipo de fallas o daños se observó en un porcentaje muy bajo de vivienda (inferior al 20%).



Figura 4.8 *Daño en la techumbre de edificación de vivienda con material precario en techos y mampostería confinada en los muros*

Dentro de la edificación para vivienda con material precario en muros y techos, sobresale la propia de la región Maya, con adobe de gran espesor o bajareque en los muros, y madera y palma en los techos. Este tipo de edificación presentó una gran densidad de daño total en las viviendas, desde la falla de los muros de soporte, hasta únicamente la falla de la techumbre. En las figs 4.8 y 4.9 se ejemplifican dos casos, uno de una estructura con muros de adobe, y otra con muros de bajareque; en la de muros de adobe, la techumbre está constituida por madera y palma, y en la estructura con bajareque, el techo es a base de láminas de cartón, soportado por una estructura de madera. Las dos estructuras presentaron falla total y la pérdida de los bienes de los ocupantes.

De la observación del comportamiento de este tipo de vivienda en la zona de influencia del meteoro, se pudo identificar que dentro de las viviendas con techumbre a base de palma, de cartón enchapopotado o de la combinación de ambos, apoyados en estructuras reticulares de madera, algunas presentaban daño y otras no, estando todas localizadas en la misma zona. Esto se pudo asociar con el ángulo que forma el techo con el plano horizontal, o bien con el ángulo que forman las dos cubiertas del techo en la cumbre (fig. 4.10).

Se observó que a mayor valor del ángulo del techo respecto al plano horizontal (γ), el nivel de daño disminuía. Parte de esta aseveración coincide con los valores propuestos en el Manual de Obras Civiles de la CFE (MOCCFE, 1993) para los coeficientes de presión exterior en techos de construcciones con plantas rectangulares cerradas. Así, a mayor valor del ángulo γ , los valores de los coeficientes, originalmente de succión, se reducen en la cara de barlovento; hasta que para ángulos superiores a 35° o 45° , los valores de los coeficientes en la cara de barlovento son de presión, manteniéndose de succión en sotavento. Esto puede

repercutir en que sobre la estructura global del techo se ejerzan solamente fuerzas de “arrastre”, y no de succión que la “levanten”.



Figura 4.9 Falla de vivienda con tipología de la región, constituida a base de material precario en muros y techos

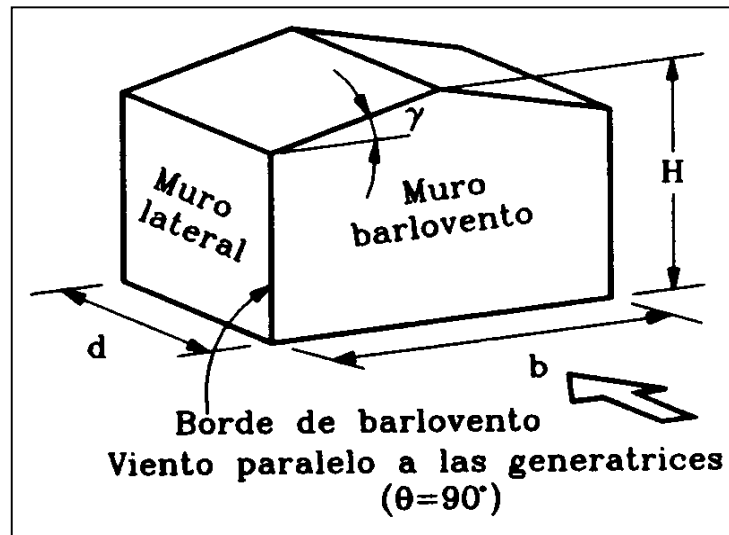


Figura 4.10 Definición de parámetros de los techos de vivienda de planta cerrada

Un tipo de edificación para vivienda que llamó la atención por su comportamiento ante uno de los campos de velocidades probablemente más altos, fue el observado en la ciudad de Telchac Puerto, donde, según la trayectoria reportada del meteoro, el huracán “entró” a la península. En esta ciudad la mayor parte de la edificación es de madera, resuelta con base en estructura tipo “tambor”, con elementos diagonales en muros, y estructura reticular en techos. Los elementos de fachada en muros son tablones de 5 a 20 mm de espesor; en los techos se observó lámina metálica acanalada de calibre pequeño. Por las características del sistema estructural y de los materiales componentes, se puede pensar en una estructura relativamente ligera y susceptible de presentar daño ante viento. Sin embargo, en esta población menos del 30% de la vivienda sufrió daño entre severo y falla total, aproximadamente el 50% de la vivienda de estas características presentó daño en techos, específicamente en la lámina de cubierta.

Las edificaciones que presentaron un comportamiento adecuado ante los vientos fuertes fueron viviendas en las que se distinguía un trabajo de mantenimiento adecuado, tanto en los materiales de las fachadas de los muros, como en los materiales de la cubierta de los techos. Un ejemplo claro de la diferencia en comportamiento se aprecia en la fig. 4.11, en la cual se muestra, en la parte anterior, a una casa que ha recibido un trabajo de mantenimiento esmerado y adecuado y no presenta signos de haber sido dañada, y en la parte posterior se observa una edificación con las mismas características topológicas, pero con un mantenimiento muy pobre, además de mayor cantidad de aberturas en los muros. La segunda edificación resultó con daño severo en el techo, lo que afectó prácticamente el total del menaje que en ella se encontraba.



Figura 4.11 Comportamiento de edificaciones de vivienda en la ciudad de Telchac Puerto

Otra forma de mejorar la estabilidad global de la vivienda, y particularmente la de la estructura del techo de la misma, que emplearon algunos habitantes de esta ciudad, fue por medio de “anclar” o “atracar” la estructura con tirantes (para lo que se empleó sogas o mecates normales) que pasan de un extremo a otro por encima de la edificación, y se fijan en anclas previamente instaladas en el suelo de la vecindad de la misma.

Finalmente, y no por eso deja de ser importante y significativo, las bardas de borde o colindancia de los terrenos de casas habitación en zonas urbanas y rurales indistintamente, presentaron problemas de comportamiento fuera de su plano (fig. 4.12). La mayoría de las recomendaciones para diseño de bardas y muros de mampostería confinada (en la que existen dadas y castillos) se basan en el comportamiento esperado de estos ante cargas laterales aplicadas en la dirección de su plano (por ejemplo las fuerzas de inercia que genera de un movimiento sísmico).

Para este tipo de bardas de colindancia, es el castillo el elemento que contribuye a resistir el momento de volteo provocado por las fuerzas laterales debidas a viento.



- a) Muro con falla fuera del plano. El muro tenía aproximadamente 3 m de altura, y los elementos confinantes eran de concreto reforzado con cuatro barras del no. 3. La separación de los castillos era del orden de 4 m. El muro se localizaba en el centro histórico de Mérida.



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

Figura 4.12 Daños en muros de mampostería confinada empleados como bardas de colindancia

Dentro de las recomendaciones de las diversas normas, la mayoría apoyadas en las Normas Técnicas Complementarias para el Diseño y construcción de Estructuras de Mampostería, del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal, se indica que los castillos dentro de los muros pueden estar distribuidos con una separación máxima de 1.5 veces la altura del muro o 3 m. (RCDF-NTC, 1993). En la mayor parte de las bardas que se pudieron observar en el estado de Yucatán (un porcentaje del orden de 80% de las observadas), la separación entre los castillos era superior a lo que propone la recomendación, encontrándose, en promedio, separaciones entre castillos del orden de 4 a 5 m.

Otro aspecto de importancia que repercute en un comportamiento inadecuado es el uso de elementos de refuerzo prefabricados para castillos y dadas (como se puede ver en la fig. 4.12). Estos refuerzos, generalmente a base de barras del no. 2.4 y 2.5 (con diámetros de 6.3 mm y 7.9 mm, respectivamente), resultan insuficientes para resistir la demanda de momento flexionante a la que se verían sometidos por la presión del viento, impactando perpendicularmente a su plano. Además, se pudo observar en la mayoría de las bardas con problemas de comportamiento, que la falla presentó un comportamiento frágil, conclusión a la que se llega de observar las barras de refuerzo en los castillos dañados, donde se aprecia el fracturamiento de la barra preferentemente en la sección crítica (en la base de la barda), pero sin indicios de alargamiento del acero.

Por las características de este tipo de refuerzo, que resulta en una cuantía de refuerzo en tensión muy baja, el comportamiento de los castillos debió ser dúctil; sin embargo, se puede pensar que las características de ductilidad del acero de refuerzo se reducen drásticamente en la región por la agresividad de los agentes intempéricos. Este aspecto se pudo comprobar en la mayoría de los elementos dañados, donde el proceso de corrosión en las varillas de refuerzo presentaba indicios de gran avance en el deterioro del acero de las varillas y en la reducción de la sección neta de las mismas.

Las fallas se explican por varias razones, entre las que pueden sobresalir dos, que no se excluyen; fuera de plano la primera, y la más importante, es que no existe a la fecha dentro de una norma en el estado de Yucatán, específica para el diseño de muros de mampostería ante la incidencia de vientos perpendiculares a su plano. La segunda es que algunas estructuras presentaban deficiencias en el diseño, como separación entre los castillos de las bardas superiores a los 4 m, deficiencias en los procedimientos de construcción o en la calidad de los materiales empleados.

4.4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.4.1 Conclusiones

El huracán Isidore mostró que no necesariamente el parámetro básico de caracterización de este tipo de meteoros, que es la velocidad de vientos sostenidos según las escalas de Saffir-Simpson y Fujita, es indicativo del nivel de daño esperado ante el impacto en edificaciones y otro tipo de estructuras. A diferencia del huracán Gilbert, Isidore generó campos de vientos con velocidades sostenidas menores, e incluso la parte sur del estado de Yucatán estuvo bajo el efecto de vientos característicos de tormenta tropical únicamente; sin embargo, los daños en estructuras “ingenieriles” y en vivienda de autoconstrucción, se pueden considerar iguales o superiores a los generados por “Gilbert”. Esta característica de Isidore se debió a la notablemente baja velocidad de traslación de la estructura del huracán (del orden de 6 km/h, SMN, 2002), que propició la estancia de vientos con velocidades sostenidas de moderadas a altas durante un periodo prolongado de tiempo. Para Isidore, el fenómeno y sus efectos tuvieron una incidencia del orden de 70 a 80 horas dentro de la península (Fuente: Protección Civil del Estado de Yucatán); mientras que para el huracán “Gilbert” la estancia del mismo dentro de la península fue del orden de 18 horas (Fuente: www.wunderground.com), resultando una diferencia de aproximadamente cuatro veces más tiempo de estancia de los efectos del fenómeno “Isidore” en comparación con los de “Gilbert”.

La distribución del nivel y densidad de daño en vivienda siguió un patrón claramente definido por la trayectoria del meteoro dentro de la superficie de la península, con un radio de afectación del orden de 20 a 30

km, coincidente con las predicciones hechas por el personal del Área de Riesgos Hidrometeorológicos del CENAPRED (Jiménez, 2002).

Gran parte del daño en vivienda se observó en los techos. Muchas de las viviendas determinadas como dañadas estaban constituidas por muros de mampostería confinada (material sólido en muros según la clasificación del INEGI, 1998) y sobre ellos se sobrepone una estructura ligera de acero. La lámina del techo, en un porcentaje del orden del 80% de este tipo de vivienda, se colocaba sobre la estructura de acero sin elementos de fijación. Esta costumbre motivó que prácticamente ese porcentaje de la vivienda experimentara daño en el techo. Este tipo de vivienda se observó predominantemente afuera de las ciudades grandes del estado, lo cual es indicativo de autoconstrucción, y, por lo tanto, sin cumplimiento de la normatividad vigente al momento de la construcción.

Además de los daños en las viviendas, se encuentra el daño en las estructuras que componen el sector industrial y agrícola, así como el daño en las instalaciones para transmisión de energía eléctrica. De la observación de los daños se apreció que la falta de mantenimiento en algunas de las instalaciones industriales (como las bodegas y naves industriales), generó que los elementos de fijación de las láminas de techo, al igual que los tornillos y pernos empleados para la unión entre los elementos estructurales, presentaran un nivel avanzado de corrosión y fallaran.

4.4.2 Recomendaciones

Del comportamiento observado en las edificaciones durante el paso del huracán Isidore por la península de Yucatán, se pueden extraer las siguientes recomendaciones:

Considerando la permanencia de la tipología regional de la vivienda Maya, donde se tiene una estructura base de adobe y/o bajareque, con una estructura de techo a base de madera, cartón y palma, se observó que si las inclinaciones de las “aguas” de los techos son superiores a 35° (ver fig 4.10), el comportamiento tiende a ser estable ante viento. Esta aseveración coincide, como ya se mencionó, con lo que se recomienda en el MDOCCFE para el diseño ante viento de techos en estructuras tipo nave industrial o bodega. Entonces, se recomienda que las viviendas donde se utilice este tipo de techo, cumplan con tener una inclinación respecto a la horizontal, superior a 35°.

En cuanto a la vivienda en la que se tiene una estructura de techo metálica o de madera, sobre la que se coloca el material de cubierta, siendo este de cartón, asbesto o lámina de acero; se deberá recomendar a los habitantes de dichas viviendas que, aunque tengan el carácter temporal, deberán tener las características de resistencia adecuadas contra el efecto del viento para evitar su desprendimiento y el daño total del menaje que se encuentre dentro de ellas. En la parte final de este trabajo se establecen las recomendaciones sobre el tipo de anclaje y la separación del mismo para diferentes tipos de materiales de cubierta y diferentes tipos de elementos de soporte en el techo. Estas recomendaciones se establecen para cada uno de los estados de las costas de la República Mexicana.

Durante la incidencia del huracán Isidore no se reportaron fallas de los muros de viviendas, salvo aquellas que estaban constituidas por mampostería simple. Sin embargo, para los muros empleados en las bardas de colindancia, los cuales reportaron daños en un porcentaje superior al 70%, resultó notable la insuficiencia de la resistencia de los castillos, que son los elementos que deberán soportar el momento de volteo que le provocará el viento incidiendo en la dirección perpendicular a su plano. En el capítulo correspondiente a las conclusiones del trabajo y las recomendaciones finales del mismo, se presentan el conjunto de recomendaciones referentes a las características geométricas y de refuerzo que deberán guardar los castillos en un muro de barda, para reducir su vulnerabilidad ante el efecto del viento.

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

la carretera que une a Mérida con Puerto Progreso; la única estructura tipo bodega que presentó problemas de comportamiento estructural (de los marcos resistentes a momento) fue una donde se identificó un proceso de corrosión severa en la tornillería de unión de los elementos viga (fig. 4.13), en la vecindad de ésta existen otras naves que no presentaron problemas de comportamiento o de desprendimiento de láminas de cubierta.



Figura 4.13 *Comportamiento inadecuado de una estructura tipo nave industrial por corrosión debido a intemperismo de los tornillos de unión en las vigas de los marcos*

V EDIFICACIÓN DE BAJO COSTO RESISTENTE A VIENTO

5.1 MECANISMOS COMUNES DE FALLA

Existen diferentes tipos de mecanismos generadores de daño y, eventualmente, de falla por la incidencia de vientos intensos en estructuras. En este capítulo se revisan algunos de ellos, con el propósito de entenderlos y obtener recomendaciones para lograr estructuras resistentes a vientos.

Como ya se mencionó en capítulos anteriores, para poder analizar los mecanismos de falla es necesario puntualizar que toda la energía de movimiento del viento, como una simplificación para poder considerar su efecto sobre las superficies que oponen resistencia a su libre flujo, se acepta que es posible convertirla en energía de presión sobre el objeto que se está constituyendo en el obstáculo. Si se acepta que las fuerzas de presión serán en función de la velocidad de viento considerada, deberá tomarse en cuenta que, como ya se mencionó en el capítulo 2, estas velocidades son valores promedio. Adicionalmente existe el efecto de ráfaga, que es un incremento notable e instantáneo de la velocidad de viento.

En el caso de viviendas, se puede afirmar que el mecanismo de falla más común es como se resume en el ejemplo indicado en la fig. 5.1. En la figura se presenta una estructura de un nivel sujeta a la incidencia del flujo de viento, generando presiones en la cara de barlovento, y succiones en prácticamente todas las demás superficies exteriores de la estructura. De resultados experimentales en túnel de viento, se ha podido determinar que, generalmente, la mayor demanda de fuerza, en este caso succiones, se presenta en la estructura del techo en la vecindad de la pared de barlovento; esto es consistente en la mayoría de los textos y reglamentos que mencionan los coeficientes de succión donde, salvo algunas diferencias en los valores propuestos, los valores mayores de éstos se reportan en la zona mencionada.

Generalmente la estructura soporte del techo, conformada por cuando menos cuatro muros ortogonales y ligados, en el mejor de los casos, por medio de dadas perimetrales de cerramiento, resulta de gran rigidez, resistencia y estabilidad ante la magnitud de las presiones y succiones externas que se generan en la condición indicada en la fig. 5.1.a. Esta condición se mantendría si la estructura soporte del techo, la misma estructura del techo y las láminas de cubierta fueran suficientemente resistentes ante los niveles de presiones y succiones demandadas. Sin embargo, en la vivienda, sobre todo aquella de autoconstrucción, generalmente no tiene niveles de resistencia suficiente para soportar las succiones demandadas, provocando el desprendimiento paulatino de la techumbre.

Una vez con la techumbre desprendida, las demandas sobre los muros varían significativamente, generándose, por ejemplo en la cara de barlovento, además de las presiones en la cara exterior del muro, succiones en la cara interior, de modo que el efecto de volteo sobre el muro se incrementa significativamente como se representa esquemáticamente en la fig. 5.1.b.

Ahora bien, si en la condición de la edificación representada en la fig. 5.1.a se presenta una falla de la ventanería, también se presentaría una modificación del estado absoluto de las presiones y succiones que se ejercerán sobre los muros y la estructura de la techumbre. Al ingresar el viento por el hueco de la ventana, además del estado de presiones y succiones indicado en la fig. 5.1.a, se generarán presiones internas que pueden acelerar la falla de la estructura de la techumbre, como se indica en la fig. 5.1.c, o bien de la estructura soporte, como se observa en al fig. 5.2.

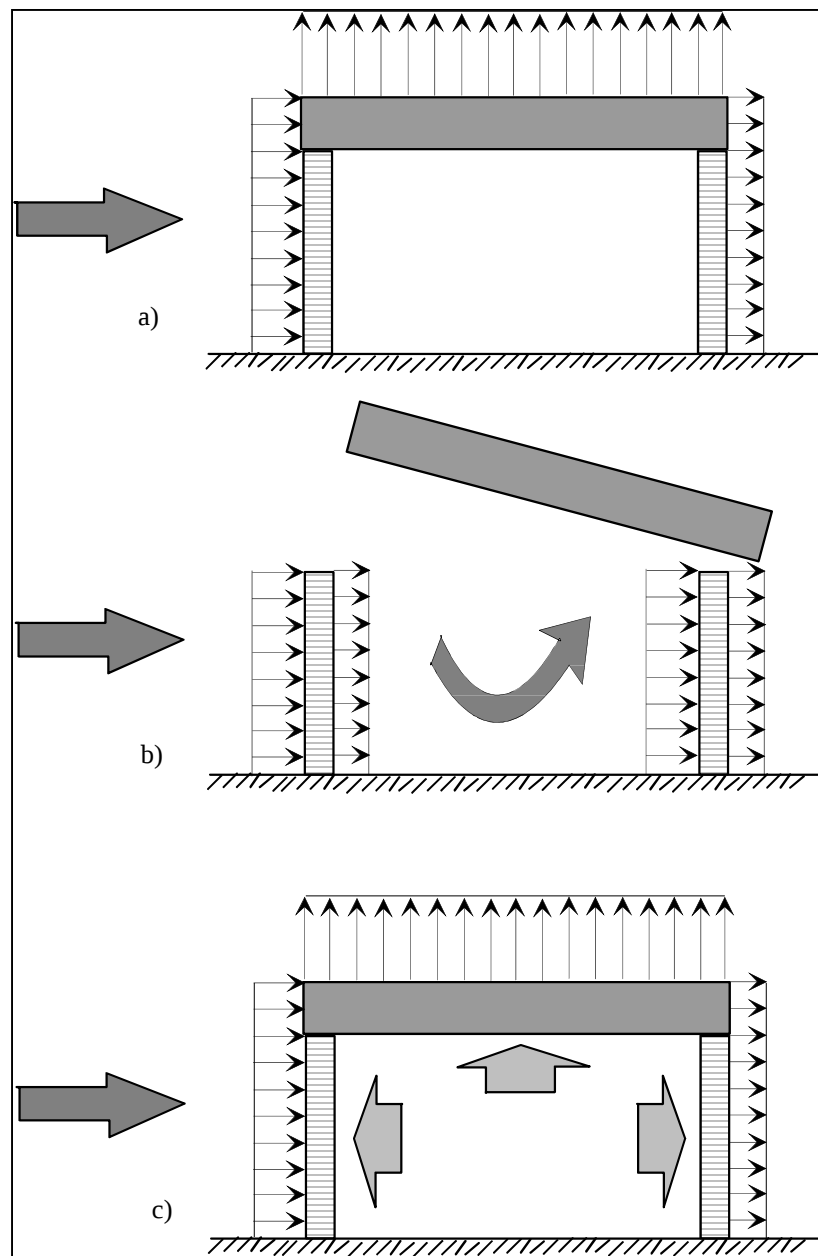


Figura 5.1 Ilustración de un mecanismo de falla común por efecto del viento

Del análisis del estado de fuerzas demandadas por viento en una edificación de vivienda, resulta interesante observar que el peso propio de la estructura de la techumbre actúa contra la formación del mecanismo de falla de desprendimiento del mismo techo. Entonces resulta claro que este tipo de daños y fallas es más probable que se presenten techumbres ligeras o inadecuadamente ligadas a la estructura soporte.



Figura 5.2 *Falla de una estructura de mampostería confinada por efecto de viento (H. Toledo Huracán Pauline, Oaxaca, México, 1999)*

En este capítulo se considerarán principalmente las estructuras de mampostería. Sin embargo, las recomendaciones que se vierten en el trabajo, en general, pueden adaptarse a cualquier tipo de edificación hecha con otros de los materiales denominados como precarios.

5.2 ELEMENTOS ESTRUCTURALES RESISTENTES A VIENTO

De manera similar al caso de sismo, las recomendaciones para lograr sistemas estructurales suficientemente seguros se centran predominantemente en la resistencia y rigidez de los elementos estructurales verticales, así como en la adecuada conexión entre ellos. En el caso de las estructuras que se abarcan en este trabajo, las de mampostería, son los muros los elementos verticales sobre los que se centran las recomendaciones; además, como se mencionó antes, también es importante el lograr que la estructura del techo resulte suficientemente resistente y estable, ya que un comportamiento inadecuado de la misma podría repercutir en demandas no contempladas en los muros, y la posibilidad de daño o falla en los mismos.

Como se muestra en la fig. 5.3, las estructuras de mampostería deberán estar compuestas por muros de cualquier material (tabique, adobe, bajareque, etc.), confinados por elementos de mayor resistencia y rigidez, como pueden ser los castillos y dadas de concreto reforzado; y contar con una estructura de techo también rígida y resistente que facilite el trabajo en conjunto de los muros. En este trabajo sólo se hace mención a los elementos confinantes de concreto reforzado y a las estructuras de techo; sin embargo, en el caso de otros materiales empleados para muros, es claro que dependiendo de las costumbres y procedimientos tradicionalmente empleados en cada región para la construcción de viviendas, se podrán proponer adecuaciones de elementos de mayor rigidez y resistencia para hacer las veces del elemento confinante del muro (aunque no debe descartarse el uso de elementos de concreto reforzado para cualquier tipo de mampostería). En el capítulo de conclusiones y recomendaciones, se establecen recomendaciones

cuantitativas al respecto, sustentadas en los procedimientos planteados por los reglamentos vigentes, en la información que sobre el comportamiento de las estructuras de mampostería se ha publicado en diversos foros y tomando como parámetro de la fuerza demandada el procedimiento de presiones medias estáticas equivalentes planteado por la CFE basado en la velocidad regional de viento.

Las características generales que deberán cumplir estos elementos estructurales son, resumiendo lo mostrado en la fig. 5.3, como se indica:

1. Existencia de una dala de cimentación o cadena, que permita una conexión adecuada entre el muro y la estructura de cimentación.
2. Existencia de castillos, al menos uno en cada esquina de cada cuarto, en la intersección de los muros o bien a no más de la distancia máxima de separación permisible según lo indicado en la sección 5.3 “Edificación de Autoconstrucción Resistente a Viento” (fig. 5.7), para soportar el momento de volteo que generaría la presión del viento en la cara del muro. Además, se deberá anclar adecuadamente el refuerzo de los castillos en la dala de cimentación, o en las zapatas de cimentación, con una longitud de anclaje para el refuerzo de los castillos de al menos el valor indicado en la misma sección 5.3 (fig. 5.8).
3. Deberá colocarse una dala en la parte superior de todos los muros que permita unir a todos los castillos en su parte superior y, por lo tanto, lograr continuidad entre todos los elementos resistentes verticales, muros y castillos. Con esto se logra un comportamiento adecuado ante demanda de fuerzas laterales del tipo de la del viento o sismo.
4. Se recomienda proporcionar una cimentación aislada en cada castillo o corrida a lo largo de las dalas de cimentación, con características tales que se evite el fenómeno de volteo de los muros en la dirección perpendicular a su plano. La cimentación podrá ser de concreto reforzado o mampostería. En el caso de zapatas aisladas se recomienda siempre el uso del concreto reforzado.
5. Se tendrá que verificar y garantizar que la estructura de techo está adecuadamente fija a la estructura de soporte. Se deberá fijar el material de recubrimiento (sean tejas o cualquier otro tipo de elemento) a la estructura de soporte del mismo (sea formado por elementos de madera o metal, por ejemplo) por medio de clavos, pijas, pernos o cualquier procedimiento tradicionalmente empleado en la región (procedimientos que deberán ser verificados en laboratorio). Estos elementos de soporte, a su vez, deberán estar adecuadamente anclados en los muros o, preferentemente, en las dalas localizadas en la parte superior de los muros.

El conjunto de recomendaciones indicadas en los párrafos anteriores son generales. En la sección 5.3 de este mismo capítulo se presentan algunas recomendaciones particulares relativas a estos mismos puntos.

En cuanto a los techos con tejas, se recomienda colocar los largueros, sean estos de madera o metálicos, a una separación máxima de 70 cm (Núñez, 1999). En el caso de estructuras de techo a base de madera, se reconoce que tradicionalmente se usan como largueros elementos tipo “polín”, con dimensiones de al menos 8x8 cm de sección. Sobre estos largueros, se colocan las “tiras” o viguetas, también de madera, que serán las que reciban directamente a las tejas de la cubierta del techo. Estas tiras se recomienda tengan dimensiones no menores a 2.5x8 cm de sección. Existen tejas en el mercado, por ejemplo Mexalit cónica con una perforación, que permiten proponer procedimientos de fijación a base de pijas o tornillos, o bien amarre por medio de alambón; para este tipo de soluciones la separación de las tiras estará determinada por la dimensión longitudinal de la teja, generalmente entre 30 y 35 cm. Por otro lado, el procedimiento tradicional y más común de fijación de tejas en cubiertas para techos en nuestro país, incluye el uso de tejas planas, sin perforaciones, y el uso de mortero para junteo de las mismas; en este caso también la separación entre tiras estará determinada por la dimensión longitudinal de la teja empleada. La junta entre los elementos de soporte del sistema de cubierta, largueros y tiras, en la intersección de los mismos, se recomienda se haga empleando conjuntamente clavo o tornillo y un alambón de amarre.

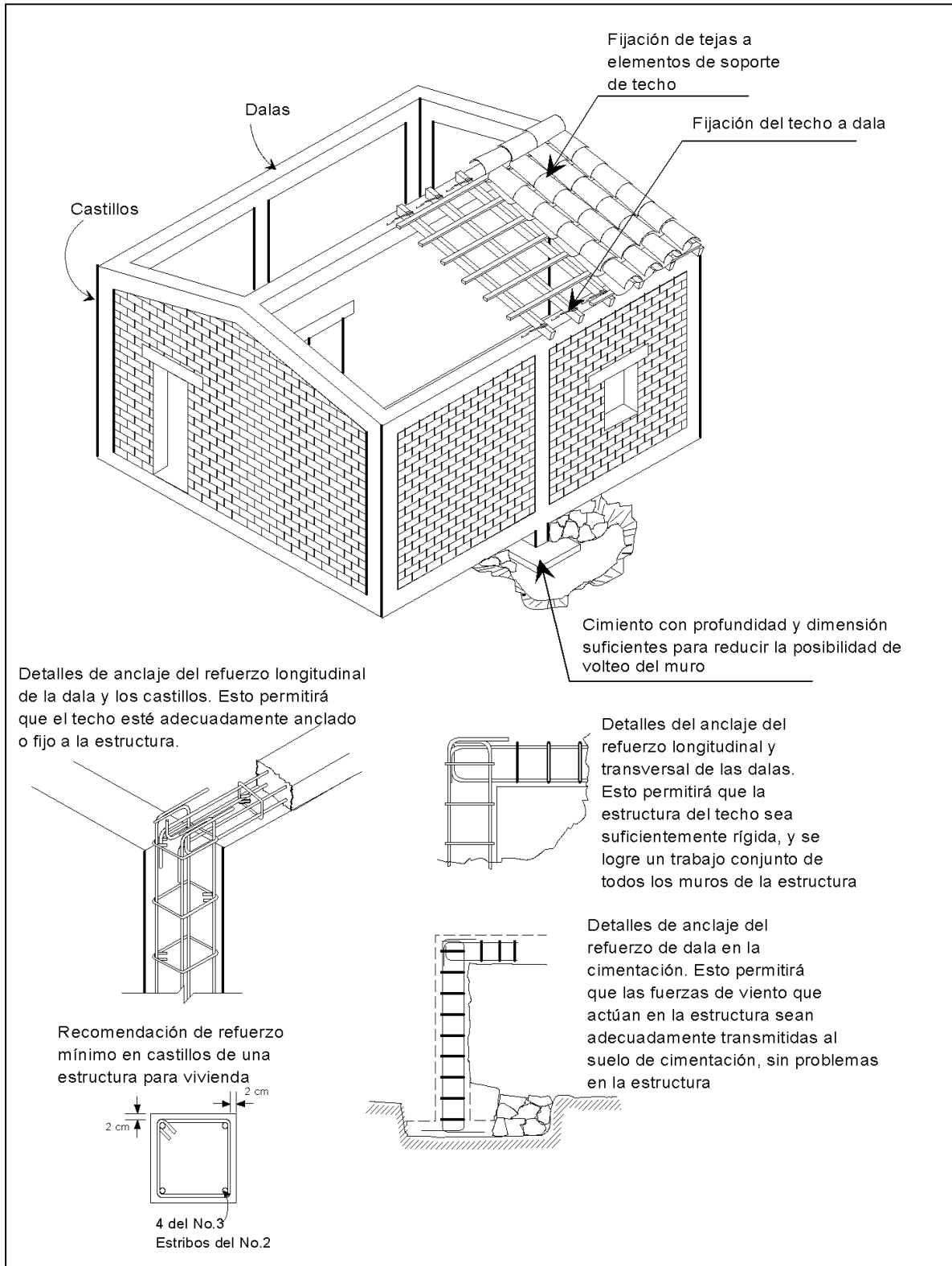


Figura 5.3 Características generales de una vivienda con elementos resistentes al efecto del viento

Otro procedimiento que puede emplearse en el caso de tejas con perforación de fábrica, es el indicado en la fig. 5.4, para el que, sobre los largueros, se deberán colocar varillas del No.3 perpendiculares a la dirección de los largueros y abarcando todo el ancho del techo; estas varillas estarán separadas una distancia igual a la dimensión de la teja y se fijarán con alambIÓN en cada punto de cruce con el larguero (si el larguero es metálico, se recomienda también el uso de puntos de soldadura, pero en vivienda rural, es poco probable su empleo). En estas varillas se fijará, también por medio de alambIÓN, uno de los extremos (el que tiene un agujero en la forma de la teja que se tienen en el mercado en México) de cada una de las tejas. Un arreglo detallado de este tipo de techo empleando teja con largueros metálicos se puede ver en la fig. 5.4.



Figura 5.4 Características recomendadas para un techo de teja en una vivienda sujeta a vientos fuertes

Los techos con cubierta a base de teja, cuyos sistemas de fijación son adecuados, resultan suficientemente pesados para no presentar problemas de desprendimiento ante la incidencia de vientos fuertes. Los problemas reportados por daño producto de huracán en este tipo de soluciones para techos, proviene de la inexistencia de un dispositivo que fije a la teja con los elementos de soporte, tiras y largueros. Los reportes fotográficos de los daños en este tipo de soluciones estructurales generalmente permiten observar que los elementos de soporte permanecen sin daño y únicamente las tejas fueron levantadas y desprendidas (un ejemplo de esto se puede observar en la fig. 5.5).



Figura 5.5 Edificación con cubierta de techo a base de teja, ante la incidencia de vientos fuertes la teja se desprende y es levantada, dejando únicamente a la estructura de soporte

En la fig. 5.6, se presentan algunas recomendaciones para rigidizar la estructura del techo, así como para fijarla a la estructura soporte (muros, dala y castillos) y lograr así un comportamiento de mayor rigidez y resistencia en conjunto de la estructura de la vivienda ante el efecto de fuerzas laterales, en este caso del viento. Estas recomendaciones se pueden resumir como se indica:

1. Fijación adecuada de los largueros de soporte del recubrimiento del techo (generalmente tablones de madera, o como ya se indicó en la explicación referente a la fig. 5.3 pilones con una separación promedio de 70 cm) a la dala de liga o cerramiento. En la fig. 5.6 se propone el uso de un alambrrón ahogado en la dala que abrace al tablón de soporte. Para lograr un apoyo adecuado del larguero en la parte superior del muro de apoyo, se deberá clavar, previo a la colocación del larguero, una cuña de modo que permita lograr una superficie de apoyo adecuada para la madera, y evitar de esa manera su deterioro, producto de una concentración de carga en un apoyo concentrado. Una vez clavada la cuña en el larguero, este podrá colocarse dentro de la estructura del techo.
2. Unión de la dala de liga o cerramiento a los elementos verticales de soporte (muros y castillos) por medio del uso de un dentellón. El uso del dentellón se recomienda sobre todo en el caso de edificación donde no se tiene castillos (edificación de adobe y bajareque, por ejemplo).
3. Finalmente, se recomienda proporcionar rigidez a todo el techo por medio de tensores colocado en cruz, anclando éstos en donde exista un dentellón o bien un castillo.

En la fig. 5.7 se muestran algunos detalles de unión entre muros de mampostería de cualquier tipo de material empleando tablones de madera. Estas uniones tienen la finalidad de lograr un comportamiento uniforme y monolítico de toda la estructura, incluyendo elementos verticales y techo. En la misma figura se presentan detalles para el anclaje de los elementos soporte del recubrimiento del techo en las dalas de liga.

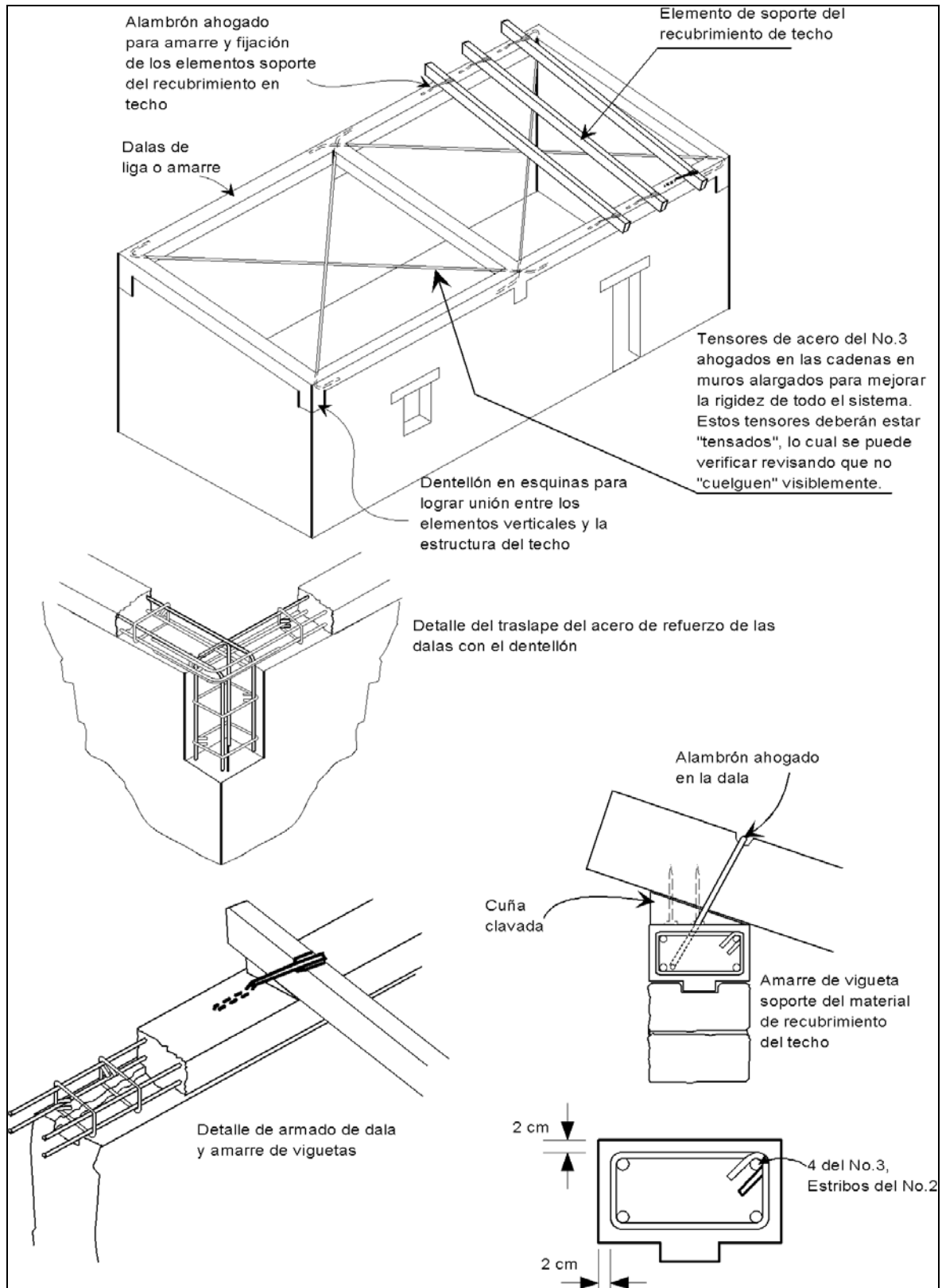


Figura 5.6 Detalle de la rigidización del sistema de techo y de la fijación de los elementos de soporte del recubrimiento en los elementos resistentes verticales

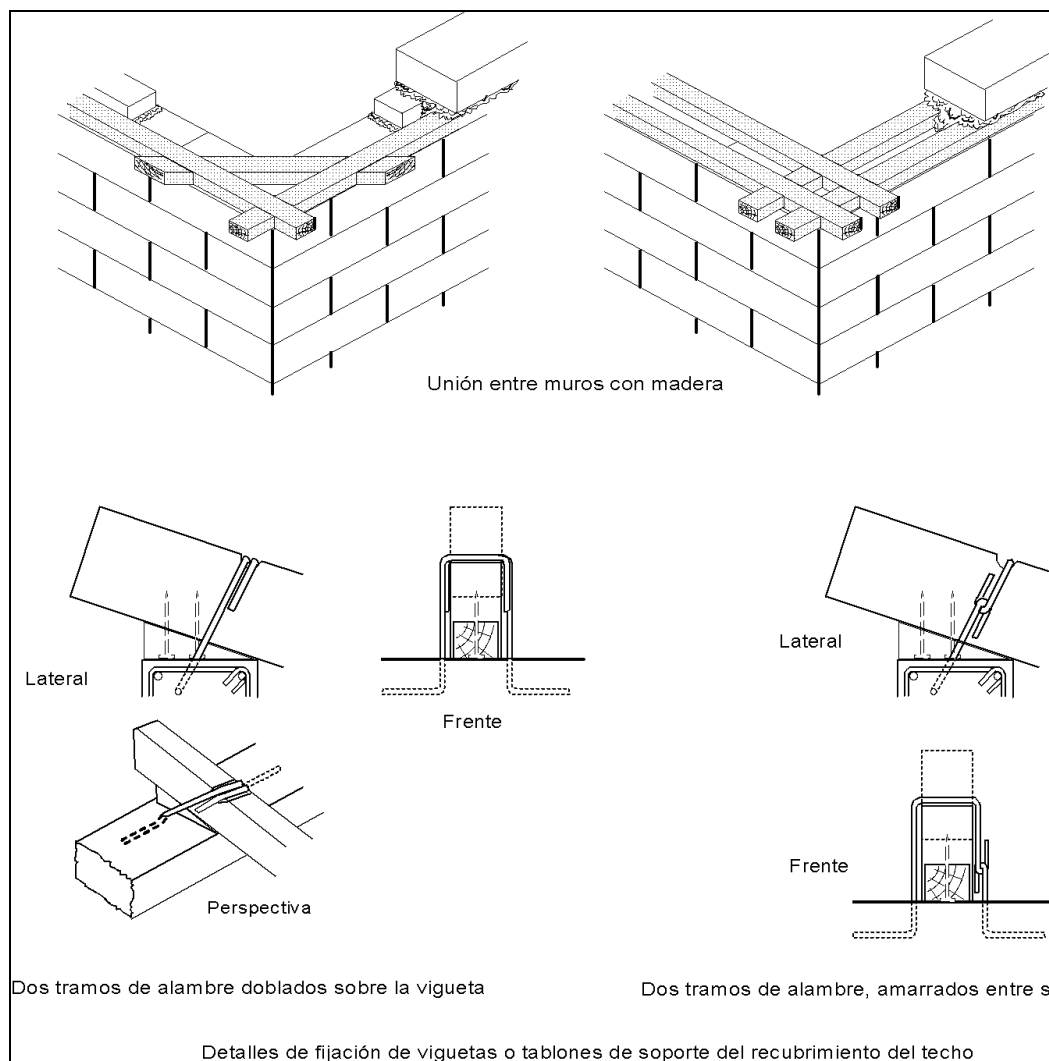


Figura 5.7 Detalles de liga entre muros y de anclaje de los elementos soporte de techo

En esta figura se presentan soluciones considerando que la dala de liga es de concreto reforzado; sin embargo, se pueden considerar los fundamentos básicos para aplicarlos a otros tipos de elementos soporte de recubrimiento de techo y otro tipo de elementos de liga en la parte superior de los muros.

5.3 EDIFICACIÓN DE AUTOCONSTRUCCIÓN RESISTENTE A VIENTO

La mayor parte de las viviendas en las zonas rurales, e incluso un porcentaje importante de la vivienda en zonas urbanas, está constituida por materiales varios no necesariamente contemplados en los lineamientos presentados en los reglamentos de construcción. Aunado a lo anterior, gran parte de la vivienda denominada “de bajo costo” se ejecuta con procedimientos tradicionales de autoconstrucción; estas viviendas generalmente no cuentan en sus procesos de diseño y construcción la supervisión de un especialista, por lo que se consideran ajenas a cualquier criterio “ingenieril” calificado. A este tipo de construcciones también se les llega a definir como edificación “no ingenieril”.

Eliminar la edificación “no ingenieril” es una labor difícil en el medio debido a las costumbres de algunas regiones del país. Por ejemplo difícilmente un ingeniero o arquitecto egresado de una institución de

educación superior realizará trabajo de diseño, supervisión y asesoría de la construcción sin una remuneración adecuada a su labor; y la mayor parte de los dueños de vivienda “no ingenieril” no cuentan con recursos suficientes para solventar los gastos que requiere la intervención de un profesional de la construcción.

Con objeto de que las viviendas de autoconstrucción adquieran características de resistencia ante eventos naturales, viento y sismo, adecuadas, se presentan una serie de indicaciones y recomendaciones para lograr dicho cometido. Algunas de ellas requieren de materiales de construcción no propios de las diferentes regiones de nuestro país, o bien requieren de una erogación económica que de momento no es posible hacerla. En el primer caso, las ideas básicas pueden considerarse y tratar de suplir los materiales que se mencionan por otros de características similares. Para lograr que una edificación adquiera características de resistencia adecuadas se plantean los siguientes aspectos:

- Deben tener muros de material con peso propio considerable y con elementos de confinamiento de concreto reforzado, generalmente definidos como castillos y dalas. Los castillos estarían colocados a intervalos frecuentes, por ejemplo a cada 3 m (valor que se recomienda en algunos reglamentos); las dalas estarían colocadas como elemento de cerramiento del muro en las partes superior (también definida como cadena de cerramiento) e inferior (también denominada como cadena de coronamiento) del mismo. Como se ha mencionado en el cuerpo del trabajo, las viviendas con paredes de lámina o madera, por lo ligero del material resultan menos seguras contra viento.
- Será recomendable tener un techo pesado, por ejemplo de losa de concreto reforzado anclada integralmente con el resto de la estructura (que puede ser a base de viga y bovedilla); o bien techos de lámina, teja o madera adecuadamente anclados y fijos a la estructura de soporte, constituida a base de largueros de madera y/o acero, elementos que a su vez deberán estar adecuadamente anclados en los elementos confinantes dalas-muros-castillos. Cabe hacer la aclaración de que el incremento con el peso de la estructura del techo, va en detrimento del nivel de seguridad de la estructura ante sismo, por lo que en regiones de sismicidad importante deberá proporcionarse una densidad adecuada de muros de mampostería confinada cuando se proporcionen techos de concreto reforzado.
- Debe tener una cimentación de ser posible continua, rígida y resistente, con el propósito de permitir el flujo de las fuerzas laterales demandadas por efecto del viento hacia la capa de apoyo en el suelo. La cimentación deberá tener dimensiones apropiadas para evitar el volteo del conjunto muro-cimentación.
- En la medida de lo posible, evitar huecos grandes en los muros. Como se ha mencionado dentro del cuerpo del trabajo, se recomienda que las ventanas y puertas tengan la preparación permanente para protección externa con una especie de cortinas de madera o lámina. Una solución es además de la ventana de vidrio, colocar puertas exteriores de madera en cada una de las ventanas.
- Debe procurarse evitar ubicar la vivienda en zonas que tengan una distribución de peligro más desfavorable con la altura, como se presenta en zonas libres de obstáculos; sin embargo, aunque los árboles se pueden constituir en barreras protectoras contra el impacto del viento, si estos no tienen salud, podrían ser, con su caída, generadores de daño en la vivienda ubicada en la vecindad.

Con objeto de poder establecer recomendaciones específicas para lograr edificaciones de vivienda resistentes a vientos fuertes, tomando en cuenta básicamente la velocidad de viento como la característica fundamental para el diseño ante este tipo de solicitación, y asumiendo que las viviendas estarán en las condiciones de exposición más desfavorables, se consideraron los criterios y procedimientos para diseño y revisión de estructuras y componentes estructurales que se plantean en el Manual de Diseño de Obras Civiles, para Diseño por Viento, de la Comisión Federal de Electricidad (CFE, 1993).

En los siguientes párrafos se resumen los criterios e hipótesis que se tomaron en cuenta para establecer recomendaciones cuantitativas acerca de la distribución geométrica y las características que deben tener los elementos de refuerzo ante viento, como castillos en los muros de casas habitación o en muros de bardas colindantes; así como en los referentes a la distribución de los elementos para el anclaje de diferentes tipos de materiales en los elementos de la estructura de techo y en los elementos de las cubiertas.

5.1.3 Características del refuerzo en muros de la estructura de la vivienda

Las características geométricas y distribución de castillos en los muros de la estructura cajón de las edificaciones para vivienda de un nivel (siendo este tipo de estructura a la que se restringe el estudio en este

trabajo), se sustentan en la solución de una placa rectangular, empotrada en un extremo y apoyada en dos extremos opuestos, sujeta a una presión uniformemente distribuida en la superficie de la misma (que en este caso es la presión de viento) (Timoshenko, 1978) . El modelo de análisis implica la suposición de que el sistema de techo es flexible o presentó falla parcial o total, condición que se constituye en el estado de comportamiento más desfavorable del conjunto de muros del cajón que conforma la vivienda (ver fig. 5.8).

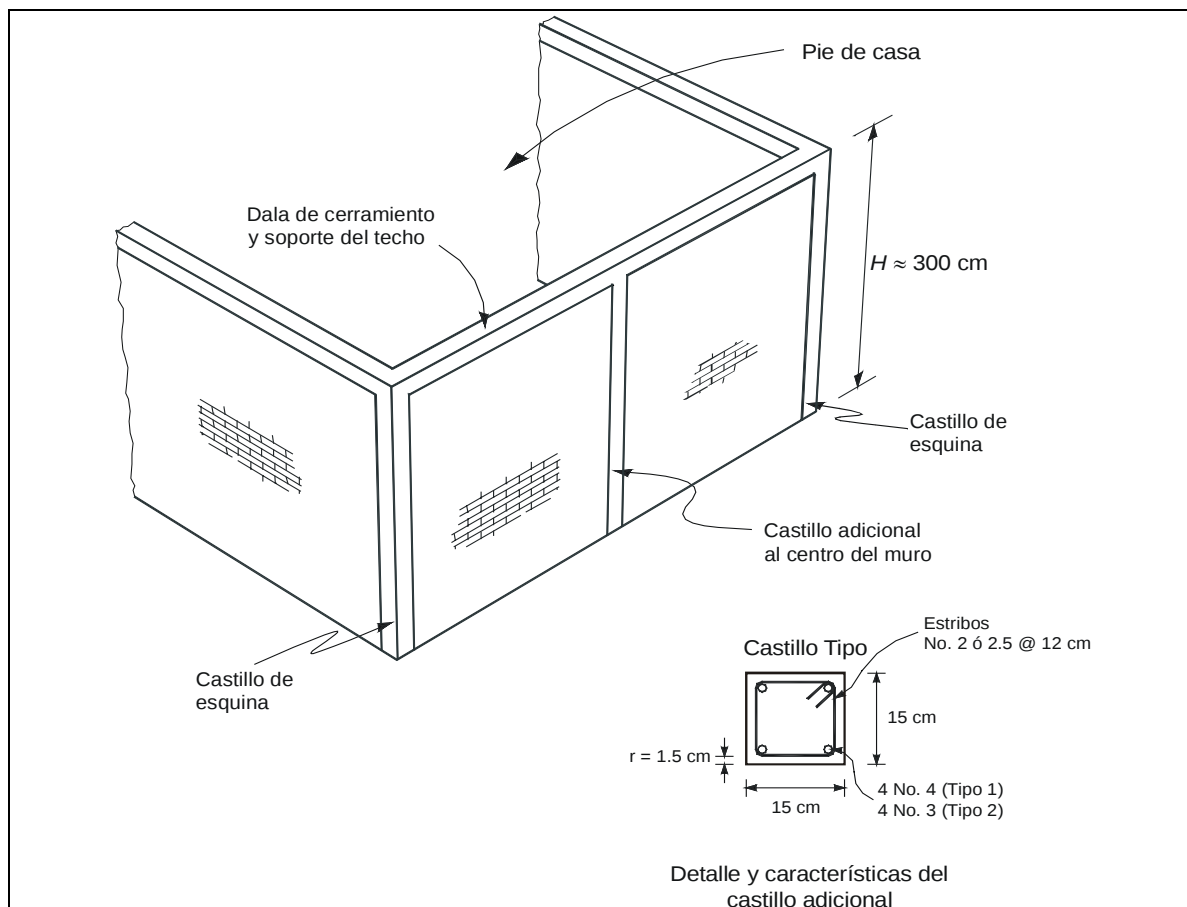


Figura 5.8 Características geométricas de la distribución de los castillos en los muros de las viviendas y propiedades geométricas y mecánicas de los mismos

Para reforzar a los muros componentes de la estructura de una edificación, se proponen sólo dos tipos de castillos, ambos con dimensiones de 15 x 15 cm, a saber: a) el tipo 1, con un refuerzo de cuatro barras de media pulgada de diámetro (del No. 4 en la denominación nacional para el acero de refuerzo), y b) el tipo 2 con un refuerzo de cuatro barras del no. 3 (ver fig. 5.8). Las condiciones geométricas supuestas para el análisis de estos elementos, son las más conservadoras que pueden presentarse en este tipo de muros.

Esta tipificación de castillos concuerda razonablemente con la planteada en el Manual para Construcción, Evaluación y Rehabilitación Sismo-resistente de Vivienda de Mampostería (ACIS, 2001). En la fig. 5.8 se presentan las características geométricas de la distribución de los castillos en los muros de las viviendas y las propiedades geométricas y mecánicas de los castillos. En el capítulo 6 se presentan, en forma de tablas, las recomendaciones emanadas del análisis y revisión del comportamiento de los muros ante la incidencia de viento perpendicular a su plano, las cuales versan respecto al tipo de castillos a usar en cada estado de las costas de la República Mexicana como parte del refuerzo para muros de las edificaciones para vivienda.

5.3.2 Características del refuerzo en muros para bardas de colindancia

Producto del comportamiento observado en los muros de las bardas de colindancia (aquellas que no forman parte integral de la estructura de las viviendas) en el estado de Yucatán ante la incidencia de los vientos provocados por el huracán Isidore, y dado que el daño en este tipo de estructuras pueden provocar daños en transeúntes y, definitivamente, generan pérdidas económicas de consideración para los municipios, se propone una distribución de castillos que reduzca la susceptibilidad de daño (ver fig. 5.9).

El análisis de este tipo de muros se hizo considerándolos de longitud infinita, y haciendo la revisión por flexión, asumiendo que la resistencia por flexión ante una carga fuera del plano sería proporcionada únicamente por el castillo. En la fig. 5.9 se indican las características geométricas de la distribución de castillos y de las propiedades de los mismos en un muro de barda de colindancia. En el capítulo 6 se indican las recomendaciones resultado del análisis, respecto al tipo de castillo y la separación recomendada para tres alturas de barda en los diferentes estados costeros de la República Mexicana. Para este tipo de muros de colindancia o bardas se recomiendan cinco tipos diferentes de castillos de concreto reforzado.

5.3.3 Características del anclaje para cubiertas de techos

En el caso de las estructuras soporte y elementos de cubierta de los techos, se hace una propuesta con base en un estudio de demanda de fuerzas producto de los efectos de succión en techos a partir de considerar que la edificación tipo tiene una altura promedio de 3.0 m; se supone también que la edificación tiene una dimensión en la dirección paralela al flujo de viento suficientemente pequeña que permita considerar que el coeficiente de succión es único en toda la superficie del techo.

Respecto a las resistencia probables de los elementos componentes del techo, se consideraron básicamente cinco combinaciones de materiales conformando el elemento de soporte, el elemento de cubierta y el elemento de fijación:

1. Lámina de cartón como elemento de cubierta, soportada con elementos de madera. El anclaje entre ellos se logra por medio de clavos o dispositivos sencillos. Los elementos de madera considerados son, según la clasificación de las Normas Técnicas Complementarias del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal, maderas de especie latifoliadas del Grupo III, o bien coníferas, siendo el tipo de madera de características estructurales más pobres que ofrecen la mayoría de las madererías (en las madererías generalmente se pide para este uso a los llamados “barrotes” de 10x5 cm de sección transversal, o medio polín de 8x4 cm de sección transversal). Respecto a los clavos, se consideraron los más empleados dentro de los procedimientos de autoconstrucción (Núñez, 2002), siendo clavos de alambre estilo delgado (comunes) de 51 mm de longitud y 2.7 mm de diámetro, aunque se recomienda emplear clavos de 76 mm de longitud (RDF-NTCM, 1993). Para este tipo de material de cubierta se consideró una resistencia aproximada por punto de fijación de 30 kg (Núñez, 1999) para la falla por penetración a cortante directo de la lámina; o bien la resistencia a extracción del clavo dentro de la madera con las características indicadas (RDF-NTCM, 1993). La fijación de los elementos de cubierta a los largueros se logrará por medio del clavo y una corcholata o una rondana circular delgada de acero de 25 mm de diámetro exterior y 1 mm de espesor (dimensiones que generalmente manejan como recomendación la mayoría de los fabricantes y distribuidores de láminas para cubiertas, independientemente del material componente), estos dispositivos son los más empleados en procedimientos de autoconstrucción (Núñez, 2002).

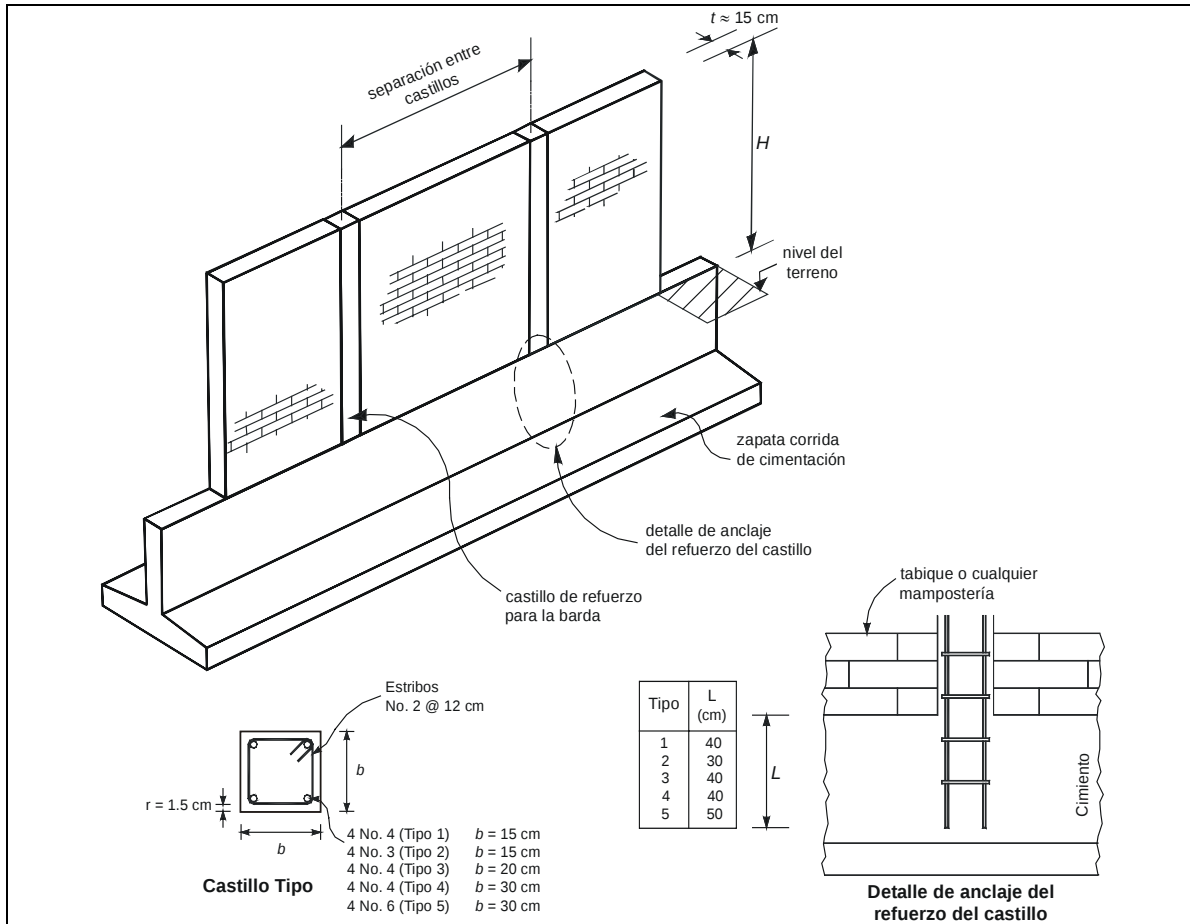


Figura 5.9 Características geométricas de la distribución de los castillos en los muros de las viviendas y propiedades geométricas y mecánicas de los mismos

2. Lámina de cartón como elemento de cubierta, soportada con elementos de madera. El anclaje entre ellos se logra por medio de pijas de 63 mm de longitud. Los elementos de madera considerados son, según la clasificación de las Normas Técnicas Complementarias del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal, maderas de especie latifoliadas del Grupo III, o bien coníferas. Para este tipo de material de cubierta se consideró también una resistencia aproximada por punto de fijación de 30 kg (Núñez, 1999) para la falla por penetración a cortante directo de la lámina; o bien la resistencia a extracción de la pija dentro la madera con las características indicadas (RDF-NTCM, 1993). La fijación de los elementos de cubierta a los largueros se logrará por medio de la pija y una corcholata o una rondana circular delgada de acero de 25 mm de diámetro exterior y 1 mm de espesor (se recomienda usar una arandela de goma, generalmente proporcionada al adquirir la pija, para evitar el ingreso del agua a través de la conexión).
3. Lámina metálica o de asbesto como elemento de cubierta, soportada con elementos de madera. El anclaje entre ellos se logra por medio de clavos o dispositivos sencillos. Para este tipo de material de cubierta, considerando el menor de los calibres (se recomienda no usar láminas con características inferiores a las indicadas para las láminas metálicas calibre 30 proporcionadas por IMSA; o bien no usar láminas de asbesto o Fibro-Cemento con características inferiores a la indicada como "Lámina Mexalita" proporcionada por Mexalit Industrial S.A. de C.V.), siendo estos los correspondientes a los materiales más económicos. Para este tipo de solución se consideró una resistencia aproximada por punto de fijación de 50 kg (obtenido a partir de la información del fabricante), asociado a la falla por penetración de la lámina; o bien la resistencia a extracción del

clavo dentro de la madera con las características indicadas (RDF-NTCM, 1993). La fijación se logrará por medio de clavos con longitud de 76 mm y rondanas de 25 mm de diámetro exterior, 1 mm de espesor, y una arandela de goma.

4. Lámina metálica o de asbesto como elemento de cubierta, soportada con elementos de madera y el anclaje entre ellos se logra por medio de pijas. Para este tipo de material de cubierta, al igual que para el caso anterior, se considera el menor de los calibres. Para este tipo de solución se consideró también una resistencia aproximada por punto de fijación de 50 kg, asociado a la falla por penetración de la lámina; o bien la resistencia a extracción de la pija dentro la madera con las características indicadas (RDF-NTCM, 1993). La fijación se logrará por medio de pijas clavos con longitud de 63 mm y rondanas de 25 mm de diámetro exterior, 1 mm de espesor, y una arandela de goma.
5. Lámina metálica o lámina de asbesto (o Fibro-cemento) como elemento de cubierta, soportada con elementos de acero y el anclaje entre ellos lo proporciona un dispositivo especial conforme con los requisitos establecidos por el fabricante de la lámina de cubierta. Para este tipo de material de cubierta, se recomienda usar lámina con calibre no mayor que 26 (su similar reportado para la lámina de acero acanalada de IMSA), y lámina de asbesto o Fibro-cemento con características iguales o superiores a las reportadas para la Lámina Standard de Mexalit Industrial S.A. de C.V. Para estos casos se consideró, con base en la información del fabricante, una resistencia aproximada por punto de fijación de 75 kg., asociada a la falla por penetración de la lámina. Para la fijación se recomienda usar rondanas de 25 mm de diámetro exterior, 1 mm de espesor, y una arandela de goma.

En este caso para el elemento de soporte, el larguero, se recomienda usar un elemento Canal Mon-Ten formado en frío cuya nominación es perfil 4 MT 10, o bien elementos de acero o Mon-Ten, con características iguales o superiores al indicado.

Cabe hacer mención que la cantidad de parámetros que se pueden considerar para determinar las características de techos en edificación de vivienda es tan amplia, como los diferentes tipos de materiales y elementos empleados para las cubiertas, los diferentes elementos (y los materiales constitutivos de los mismos) de soporte y la gran cantidad de dispositivos de fijación y anclaje que se tienen en el mercado. Sin embargo, los materiales, elementos y dispositivos seleccionados para la elaboración de esta propuesta son los que presentan más probabilidad de empleo dentro de la población que autoconstruye (Núñez, 1999 y 2002), y que sería el usuario directo de los resultados del presente trabajo. Se sabe que existen sistemas con gran capacidad de resistencia y adecuados para resolver la colocación de cubiertas en techos de vivienda, como puede ser el uso de remaches de tecnología avanzada, o bien el uso de sujetadores con rosca, rondana y tornillo incluido; sin embargo la adquisición y aplicación de los mismos resulta oneroso y, generalmente, fuera del alcance de los usuarios potenciales.

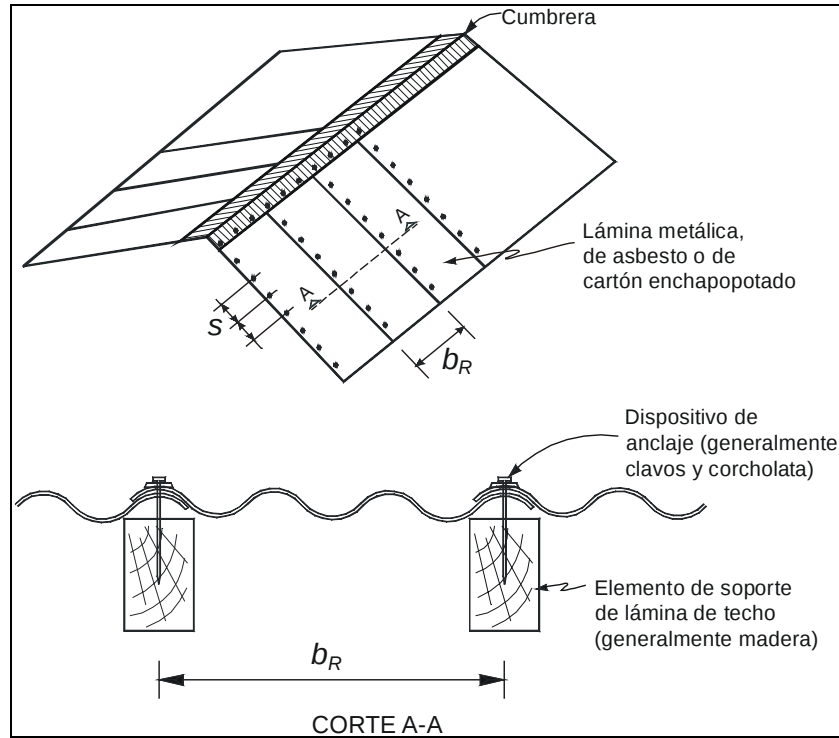


Figura 5.10 Características geométricas de la distribución de los dispositivos de fijación para la cubierta del techo

Las láminas que se emplean para cubiertas de fachadas o techos, independientemente del material que las constituye, se encuentran en el mercado con longitudes variadas (siendo la longitud siempre en la dirección paralela al eje del acanalado de las láminas) y con anchos entre 70 y 100 cm. Con base en las hipótesis mencionadas y las velocidades asociadas a cada estado de la costa, se calculó la fuerza de succión demandada en la estructura de la techumbre y, por lo tanto, en todos sus componentes (CFE, 1993). En el capítulo 6 se indica la separación que deberán tener los puntos de fijación de los elementos de cubierta, para evitar su desprendimiento durante la incidencia de vientos intensos, los valores de las separaciones de estos puntos de fijación son los menores que resultan de comparar el mecanismo de falla de penetración de la lámina por el dispositivo de fijación, y lo que resulta de la falla por extracción de los clavos o las pijas en las cubiertas donde se use madera. Los parámetros considerados para la determinación de las características de la estructura de techo están representados gráficamente en la fig. 5.10.

Como se muestra en la figura anterior, la separación de los dispositivos de fijación (por ejemplo, clavos y rondanas) tendrá que considerarse en las juntas entre las tiras de láminas en la dirección longitudinal del eje del acanalado (en la figura se identifica en el corte A-A).

5.3.4 Características de la estructura de techo para recibir a los elementos de cubierta

En el caso de la estructura soporte de los elementos de cubierta de los techos, se hace la propuesta con base en el estudio de demanda de fuerzas producto de los efectos de succión en techos a partir de considerar que la edificación tipo tiene una altura promedio de 3.0 m; se supone también que la edificación tiene una dimensión en la dirección paralela al flujo de viento suficientemente pequeña que permite considerar que el coeficiente de succión es único en toda la superficie del techo.

Los elementos componentes de la estructura soporte serán los largueros, elementos que se fijan directamente en los elementos estructurales como muros y trabes, y las tiras, que son los elementos en los que

se fija la cubierta del techo y que están apoyados o fijos a su vez en los largueros. Una representación gráfica de lo anterior se muestra en la fig. 5.11.

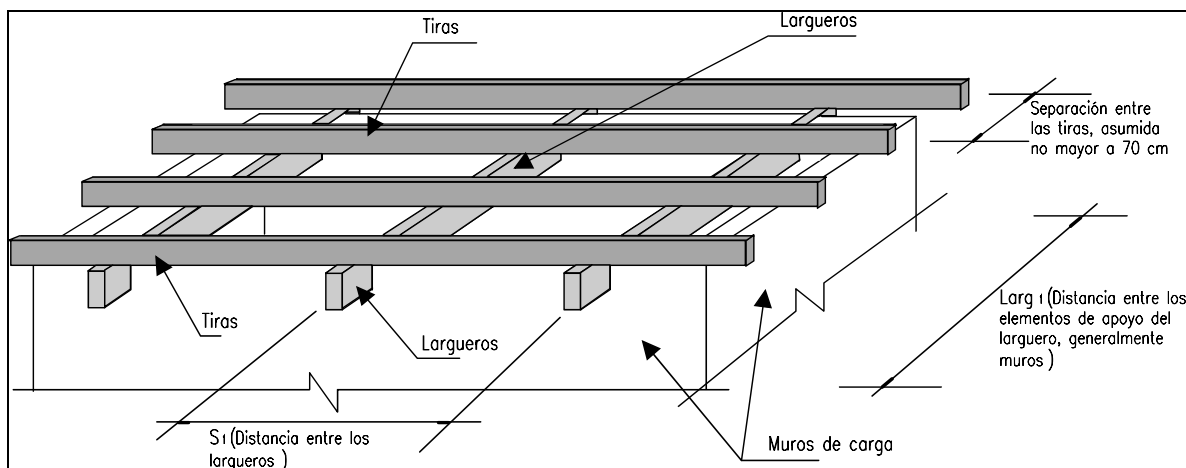


Figura 5.11 Características geométricas y denominación de los elementos que conforman la estructura de techo en edificación para vivienda

El cálculo de la separación de largueros y tiras como elementos de la estructura de techo que será capaz de soportar las fuerzas que le provocarán las succiones y presiones generadas por el efecto del viento sobre los elementos de la cubierta, se hizo con base en las siguientes hipótesis:

- Los largueros estarán simplemente apoyados en los elementos de apoyo del sistema de techo, sean estos dadas de cerramiento de los muros de carga, o trabes formales de cualquier material.
- Las tiras se consideraron como vigas continuas con apoyos simples en los puntos de intersección (formalmente puntos de unión) con los largueros.
- Los efectos de succión y presión sobre los elementos de cubierta se consideraron como cargas uniformemente distribuidas por unidad de superficie, para después determinar las cargas uniformes por unidad de longitud sobre las tiras. Las cargas sobre los largueros, cargas puntuales, se determinaron de la solución de los modelos de viga continua considerada para las tiras.
- Se consideraron tres tipos de valores fijos para los claros de largueros (Larg1) de 4, 5 y 6 metros. Con el propósito de uniformizar las características mecánicas de los elementos para largueros, se consideraron solamente dos tipos de separaciones entre ellos (S1), dos y tres metros, valores que tratan de representar los valores medios usados en la práctica de construcción de vivienda (Núñez, 1999; y de información de fabricantes de cubiertas para techos de vivienda).
- Se tomó en cuenta únicamente una separación estándar entre tiras de 70 cm, considerado un valor medio inferior de los valores de separación usados en la práctica de la autoconstrucción y los valores propuestos por los fabricantes de elementos de cubiertas para techos.

Con base en las hipótesis anteriores se determinaron las características de la estructura del sistema de techo, acorde a la nomenclatura indicada en la fig. 11.

Considerando que la solución a la estructura de techo se dará con el uso de elementos metálicos, se asume que las tiras sean elementos Mon-Ten 4MT 10, con separación a ejes no mayor que 70 cm; para esta solución se tiene que los largueros deberán cumplir, como límite inferior, las características mecánicas de las secciones indicadas en la tabla inferior para los tres tipos de claros de los largueros y las separaciones entre ellos que se indican para cada estado en las costas de la República Mexicana.

Estado	Larg _i (m)			S _i (m)
	4	5	6	
Chiapas	C8MT 12	CC8MT 14	CC8MT 10	3
Tabasco, Campeche, Oaxaca	C8MT 12	CC8MT 12	CC8MT 10	3
Nayarit, Colima	C8MT 12	CC8MT 12	1-7"/22.77	3
Veracruz, Tamaulipas, Yucatán, Quintana Roo, Baja California, Sonora, Michoacán, Guerrero	C8MT 12	CC8MT 12	CC8MT 10	2
Baja California Sur, Sinaloa	CC8MT 14	CC8MT 10	1-8"/27.38	2
Jalisco	CC8MT 12	1-7"/22.7	1-8"/27.38	2

Nota: La denominación C8MT 12, es concordante con los elementos canales de acero Mon-Ten formados en frío, con dos patines atiesados y cuyo esfuerzo de trabajo es 2100 kg/cm² (Manual para Constructores, Fundidora Monterrey, S.A., 1977). Por otro lado, la denominación CC8MT 12, resulta concordante con la colocación de dos canales de acero Mon-Ten formados en frío con dos patines atiesados, preferentemente colocados espalda con espalda.

Para el caso en que los elementos de la estructura de techo sea resuelto a base de largueros y tiras de madera, se consideró que las tiras tuvieran una sección transversal con las dimensiones propias de medio polín (generalmente identificado como 10 x 5 cm, pero en el caso del Valle de México estas dimensiones se han reducido a 8 x 4 cm), y respetando que la separación entre ellos, como se mencionó antes, se mantenga con un valor máximo de 70 cm. También se debe mencionar que las uniones entre largueros y tiras, a base de clavos, se representaron como apoyos simples, siendo esta la condición más desfavorable de comportamiento para el sistema de techo.

En las tablas mostradas se indican, para cada estado costero de la República Mexicana, las características mínimas a proporcionar en las secciones transversales (peralte x ancho en cm) de los largueros para los tres tipos de claros de largueros (Larg₁), así como para los dos tipos de separación máxima permitida entre ellos (S₁).

Para maderas del tipo de las coníferas

Estado	Larg _i (m)			S _i (m)
	4	5	6	
Chiapas	13 x 8	15 x 8	17 x 9	1.0
Tabasco, Campeche, Oaxaca	13 x 8	16 x 8	18 x 9	1.0
Nayarit, Colima	13 x 8	16 x 8	17 x 9	0.7
Veracruz, Tamaulipas, Yucatán, Quintana Roo, Baja California, Sonora, Michoacán, Guerrero	15 x 8	17 x 9	19 x 10	0.7
Baja California Sur, Sinaloa	15 x 8	18 x 9	20 x 10	0.7
Jalisco	17 x 9	19 x 10	20 x 15	0.7

Para maderas del tipo de las latifoliadas del Grupo III (según el RCDF-NTC para madera)

Estado	Larg _i (m)			S _i (m)
	4	5	6	
Chiapas	12 x 6	13 x 8	15 x 8	1.0
Tabasco, Campeche, Oaxaca	12 x 6	13 x 8	16 x 8	1.0
Nayarit, Colima	12 x 6	13 x 8	15 x 8	0.7
Veracruz, Tamaulipas, Yucatán, Quintana Roo, Baja California, Sonora, Michoacán, Guerrero	12 x 6	14 x 7	16 x 8	0.7
Baja California Sur, Sinaloa	13 x 8	15 x 8	17 x 9	0.7
Jalisco	13 x 8	16 x 8	19 x 10	0.7

VI CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

En este capítulo se presentan las conclusiones y recomendaciones para reducir la vulnerabilidad de viviendas ante vientos fuertes. Es menester aclarar que no se debe interpretar que el hecho de que una recomendación aparezca aquí, implica que es una práctica común que está reglamentada. Muchas de ellas son medidas de “buena práctica” que se deberían tomar pero que en nuestro caso no se han generalizado.

La mejor medida para prevenir un desastre asociado a vientos fuertes es, definitivamente, construir estructuras que resistan las presiones del viento. Al respecto, los mejores estudios disponibles son aquellos que la CFE plasma en su Manual de Diseño de Obras Civiles realizado por el Instituto de Investigaciones Eléctricas (CFE, 1993). En este manual se presentan mapas de isotacas, que son líneas de iguales velocidades de vientos máximos para diferentes periodos de retorno sobre toda la República Mexicana. Estas velocidades se deben interpretar como aquellas que en cada punto de México serán rebasadas, en promedio sólo una vez cada diez años, siendo diez el periodo de retorno. De la observación de estos mapas se distinguen fuertes contrastes en las velocidades de viento de diseño en diversas partes del país.

Es obvio que diferentes partes de la República Mexicana se encuentran sujetas a valores de vientos máximos significativamente diferentes. En contraste con esto, al observar las construcciones y métodos de construcción en diferentes sitios en México, se puede apreciar cierta uniformidad. Las construcciones de mampostería de la zona costera, con frecuente incidencia de vientos fuertes, son prácticamente iguales que en el altiplano central, donde los vientos remanentes, una vez que han atravesado las grandes cadenas montañosas, son moderados. Esto es más marcado en construcciones modernas. La sociedad moderna ha olvidado por completo los materiales y técnicas de construcción tradicionales en la región que fue, al igual que los seres vivos, evolucionando en consecuencia con las solicitaciones regionales de su medio ambiente. No debe interpretarse el comentario anterior como un llamado a regresar a las técnicas y construcciones ya imposibles de implantar en la sociedad moderna, pero sí es un llamado a considerar regionalmente las verdaderas solicitaciones a las que las construcciones se verán sujetas. Como un ejemplo claro están las características de las cubiertas o techos de las viviendas hechas con procedimientos tradicionales en el estado de Yucatán, las cuales tienen un ángulo de inclinación respecto a la superficie del terreno del orden de lo que recomienda el Manual de la CFE para lograr comportamientos adecuados ante la incidencia de vientos fuertes, y que no sufrieron daños de consideración ante el paso del huracán Isidore. Por otro lado, si se sugiere como programa de apoyo a la vivienda, el empleo de otro tipo de soluciones para cubiertas y techos, por ejemplo sistemas de largueros y láminas, resulta claro que los métodos de sujeción de las cubiertas de lámina en techos (calibre, número de sujetadores por unidad de área, etc.) deben ser considerablemente mejores y en mayor densidad en zonas donde se tenga información de velocidades de viento altas, con respecto a los utilizados en zonas donde las velocidades reportadas son bajas.

La generación de reglamentos de construcción completos, es decir que incluyan Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Viento a nivel local (estatal, y municipal), resulta actualmente difícil de establecer en nuestro medio, dadas las condiciones reales de muchos municipios en nuestro país. Sin embargo, sería conveniente, y posible, que los reglamentos municipales fueran muy sencillos y que hicieran referencia a manuales de diseño por viento con influencia nacional, por ejemplo, especificando únicamente las velocidades de viento de diseño requeridas para cada tipo de estructuras y dejando los procedimientos a las Normas Técnicas Complementarias modelo.

Consistentemente, año tras año, cuando un fenómeno meteorológico incide sobre el territorio nacional deja a su paso una huella de daños ocasionados por su campo de vientos fuertes. Comúnmente se realizan estudios, generalmente limitados y desorganizados (Rosengaus, 1998), de la evaluación de daños. El principal defecto de dichos estudios es que no permiten establecer una correlación entre los daños, las características de los vientos que los causaron y la variación espacial y temporal de los mismos. La información que generalmente queda es la referencia entre los daños y la velocidad máxima sostenida con la que se caracterizó al ciclón. Un ejemplo claro de este fenómeno es el del huracán Gilbert, donde los extensos daños que causó en México quedan en la memoria como efectos con periodos de retorno considerablemente grandes, propios de

un huracán escala V. Sin embargo, grandes extensiones dañadas fueron afectadas por vientos equivalentes apenas a un huracán escala I, los que se pueden repetir frecuentemente en la vida de una misma persona (Rosengaus, 1998). Resulta importante entonces que, como sociedad, se empiece a entender qué vientos producen que tipo de daños. Un gran problema para poder resolver esta interrogante es que la red de mediciones en superficie con la que actualmente cuenta México, sobre todo en cuanto a densidad de instrumentos, resulta insuficiente para poder realizar un buen trabajo de correlación entre características de los vientos y los daños que producen. Desgraciadamente, esto implica que aun resolviendo esta cuestión, la experiencia tendrá que empezar a acumularse en el futuro.

Se mencionó sobre los principales mecanismos de falla de las edificaciones de vivienda, cuando están sujetas al efecto de vientos fuertes, que la mayor parte de ellos están asociados a un comportamiento inadecuado de los techos, ya sea la cubierta, la estructura que la soporta o la unión entre esta y los muros de la vivienda misma. Al presentarse un comportamiento inadecuado de los techos, se modifican significativamente los efectos del viento sobre los demás elementos estructurales de la edificación, pudiendo llegar a provocar la falla total de la misma. En este trabajo se presentan un conjunto de recomendaciones encaminadas a lograr estructuras de techo suficientemente seguras, de igual manera que lograr estructuraciones de muros, para vivienda o bardas de colindancia, con capacidad para soportar los efectos del viento ante las condiciones más desfavorables que pudieran presentarse.

6.2 RECOMENDACIONES

6.2.1 Refuerzo para muros de vivienda

Respecto a la distribución y tipo de castillos a emplear para refuerzo de los muros de edificación para vivienda ante la incidencia de vientos fuertes, con base en los criterios de revisión y diseño planteados en el capítulo anterior, se obtiene los valores que se indican en la Tabla 6.1. En esta tabla se presentan las recomendaciones respecto al tipo de castillos a usar, como refuerzo adicional para muros en edificación de vivienda, en cada estado de las costas de la República Mexicana (ver fig. 5.8).

El uso de los castillos de refuerzo intermedio en muros de vivienda se propone para aquellas edificaciones donde los muros exteriores, expuestos a la acción del viento, presenten longitudes superiores a 4.0 m, y la separación entre los castillos será el menor valor del calculado entre un medio de la longitud del muro y 3.0 m.

Tabla 6.1 Distribución geográfica del tipo de castillos a emplear en las viviendas de los diferentes estados de la República Mexicana

Estado	Tipo de castillo requerido
Baja California, Campeche, Colima, Chiapas, Guerrero, Michoacán, Nayarit, Oaxaca, Quintana Roo, Sonora, Tabasco, Tamaulipas, Veracruz y Yucatán, para cualquier tipo de solución en la estructura de los techos. Baja California Sur, Sinaloa y Jalisco, para estructuras con techos a base de concreto reforzado adecuadamente ligado a la estructura de soporte (castillos y dadas de cerramiento)	Tipo 2
Baja California Sur, Sinaloa y Jalisco, para aquellas estructuras cuyo techo no cumpla con lo indicado anteriormente	Tipo 1

Otro aspecto de vital importancia es el mantenimiento con fines preventivos que se haga en los muros de las viviendas. Congruente con las recomendaciones propuestas en la mayoría de los textos y publicaciones referentes a las estructuras de mampostería en general, el colocar un repellado de mortero en ambas caras de los muros, principalmente en la exterior, incrementa considerablemente la vida útil en condiciones óptimas de comportamiento del muro; además, es necesaria la revisión periódica, cada seis meses para las zonas costeras de interés en este trabajo, de la condición y estado de este repellado. En caso de observar indicios de desprendimiento del mismo, se recomienda desprenderlo y reponerlo tratando de lograr las características originales.

6.2.2 Refuerzo para muros de bardas colindantes

Respecto a la distribución y tipo de castillos a emplear para el refuerzo de los muros de las bardas de colindancia ante la incidencia de vientos perpendiculares a su plano, con base en los criterios de revisión y diseño planteados en el capítulo anterior, se obtuvieron los valores que se muestran en la tabla 6.2.

En la tabla se indican las recomendaciones respecto al tipo de castillo y la separación recomendada para tres diferentes alturas de barda en todos los estados costeros de la República Mexicana (ver fig. 5.9).

En cuanto al mantenimiento para este tipo de muros, dado que es poco común el repellido de los mismos, generalmente se propone una revisión periódica de los mismos, de igual manera que para los muros de vivienda se recomienda llevar a cabo la revisión cada seis meses. En caso de observar indicios de desprendimiento o degradación de algunos de los componentes del muro, tabiques o bloques, se recomienda desprenderlos y reponerlos tratando de llevar al muro a su condición original.

Otro aspecto que deberá evitarse es el tratar de incrementar la altura del muro sin revisar los requerimientos de castillos que, para este tipo de elementos, se proponen en este trabajo. Si el castillo original del muro resulta insuficiente para la nueva altura requerida del mismo, deberá demolerse el castillo original y proceder a colocar los nuevos castillos con las características mínimas recomendadas en este trabajo.

Tabla 6.2 Distribución geográfica del tipo de castillos recomendados a emplear en las bardas de colindancia en los diferentes estados de la República Mexicana

Estados	Características del refuerzo de muros para bardas (castillos)		
	Separación (m) y tipo de castillo		
	H=150cm	H= 200cm	H=300cm
Chiapas	Tipo 2 @ 3 – 3.5	Tipo 1 @ 3 – 3.5	Tipo 4 @ 3
Tabasco, Campeche y Oaxaca	Tipo 2 @ 3	Tipo 1 @ 3	Tipo 4 @ 3
Nayarit y Colima	Tipo 1 @ 4	Tipo 3 @ 3 – 3.5	Tipo 4 @ 2.5
Veracruz, Tamaulipas, Yucatán, Quintana Roo, Baja California, Sonora, Michoacán y Guerrero	Tipo 1 @ 3 – 3.5	Tipo 4 @ 4	Tipo 5 @ 4
Baja California Sur y Sinaloa	Tipo 3 @ 3 – 3.5	Tipo 4 @ 3	Tipo 5 @ 3
Jalisco	Tipo 3 @ 3	Tipo 4 @ 2.5, o Tipo 5 @ 4	Tipo 5 @ 2.5

6.2.3 Anclaje para cubiertas de techos

Para las estructuras soporte y elementos de cubierta de los techos, se recordará que se consideraron básicamente cinco combinaciones de materiales conformando el elemento de soporte, a saber:

- Tipo 1. Lámina de cartón como elemento de cubierta, soportada con elementos de madera y el anclaje entre ellos se logra por medio de clavos o dispositivos sencillos.
- Tipo 2. Lámina de cartón como elemento de cubierta, soportada con elementos de madera y el anclaje entre ellos se logra por medio de pijas de 63 mm de longitud.
- Tipo 3. Lámina metálica o de asbesto como elemento de cubierta, soportada con elementos de madera y el anclaje entre ellos se logra por medio de clavos o dispositivos sencillos.
- Tipo 4. Lámina metálica o de asbesto como elemento de cubierta, soportada con elementos de madera y el anclaje entre ellos se logra por medio de pijas.
- Tipo 5. Lámina metálica o lámina de asbesto (o Fibro-cemento) como elemento de cubierta, soportada con elementos de acero y el anclaje entre ellos lo proporciona un dispositivo especial conforme los requisitos establecidos por el fabricante de la lámina de cubierta.

La recomendación referente a la disposición de los puntos de fijación para el material de cubierta, como se menciona dentro del cuerpo del trabajo, resulta de vital importancia debido a que en la mayoría de los casos reportados con comportamiento inadecuado de estructuras ante el efecto del viento, se identifica también que el inicio del problema es el desprendimiento de los elementos de cubierta del techo. Además, aunque no se alcance la falla total de la estructura de soporte del techo después de la falla de la cubierta, en prácticamente todos los casos la pérdida del menaje es total.

Los valores que se proponen para las características de los puntos de fijación en las estructuras de techo en edificación para vivienda se resumen en la Tabla 6.3. En la tabla se indica el tipo de materiales empleados, materiales que concuerdan con los cinco tipos indicados en párrafos anteriores. Se indica la separación de los puntos de fijación para los diferentes tipos de materiales y para los dos anchos de láminas más comunes en el mercado (Imsacero, 2002, y otros fabricantes).

Tabla 6.3 Distribución Geográfica de la separación máxima recomendada para los dispositivos de anclaje en techos para los diferentes estados de la República Mexicana

Estados	Tipo de material	Separación de puntos de fijación S (cm)	
		$b_R=70$ cm	$b_R=100$ cm
Chiapas	1	12	9
	2	22	16
	3	12	9
	4	38	25
	5	50	35
Campeche, Oaxaca y Tabasco	1	10	7
	2	18	12
	3	10	7
	4	32	22
	5	45	30
Colima y Nayarit	1	9	6
	2	16	11
	3	9	6
	4	28	18
	5	40	25
Baja California, Guerrero, Michoacán, Quintana Roo, Sonora, Tamaulipas, Veracruz y Yucatán	1	7	5
	2	12	9
	3	7	5
	4	20	15
	5	30	20
Baja California Sur y Sinaloa	1	Prohibido su uso	
	2	10	7
	3	Prohibido su uso	
	4	17	11
	5	25	18
Jalisco	1	Prohibido su uso	
	2	8	6
	3	Prohibido su uso	
	4	14	10
	5	20	14

En lo referente a los elementos que conforman la estructura de techo, las características geométricas y mecánicas que se proponen para los largueros y tiras (ver Fig. 5.11) para edificación en vivienda se muestran en las Tabla 6.4 y 6.5. En la tabla se indica el tipo de materiales empleados, también se indica la separación de los largueros para tres tipos de claros.

Considerando que la estructura de techo se hará con elementos metálicos, asumiendo que las tiras sean elementos Mon-Ten 4MT 10, con separación a ejes no mayor que 70 cm; se tiene que los largueros deberán cumplir, como límite inferior, con las características mecánicas de las secciones indicadas en la Tabla 6.4 para los tres tipos de claros de los largueros y las separaciones entre ellos que se indican para cada estado en las costas de la República Mexicana.

Tabla 6.4 Distribución geométrica y características mecánicas de los elementos estructurales en techos para los diferentes estados de la República Mexicana (elementos metálicos)

Estado	Larg. (m)			S _i (m)
	4	5	6	
Chiapas	C8MT 12	CC8MT 14	CC8MT 10	3
Tabasco, Campeche, Oaxaca	C8MT 12	CC8MT 12	CC8MT 10	3
Nayarit, Colima	C8MT 12	CC8MT 12	I-7"/22.77	3
Veracruz, Tamaulipas, Yucatán, Quintana Roo, Baja California, Sonora, Michoacán, Guerrero	C8MT 12	CC8MT 12	CC8MT 10	2
Baja California Sur, Sinaloa	CC8MT 14	CC8MT 10	I-8"/27.38	2
Jalisco	CC8MT 12	I-7"/22.7	I-8"/27.38	2

Nota: La denominación C8MT 12, es concordante con los elementos canales de acero Mon-Ten formados en frío, con dos patines atiesados y cuyo esfuerzo de trabajo es 2100 kg/cm² (Manual para Constructores, Fundidora Monterrey, S.A., 1977). Por otro lado, la denominación CC8MT 12, resulta concordante con la colocación de dos canales de acero Mon-Ten formados en frío con dos patines atiesados, preferentemente colocados espalda con espalda.

Para el caso en que los elementos de la estructura de techo sean de madera, considerando que las tiras tuvieran una sección transversal con las dimensiones propias de medio polín, y respetando que la separación entre ellos se mantenga con un valor máximo de 70 cm., se obtuvieron las características geométricas y mecánicas que se indican en la Tabla 6.5.

Tabla 6.5 Distribución geométrica (sección transversal en cm) y características mecánicas de los elementos estructurales en techos para los diferentes estados de la República Mexicana (elementos de madera)**Para maderas del tipo de las coníferas**

Estado	Larg. (m)			S _i (m)
	4	5	6	
Chiapas	13 x 8	15 x 8	17 x 9	1.0
Tabasco, Campeche, Oaxaca	13 x 8	16 x 8	18 x 9	1.0
Nayarit, Colima	13 x 8	16 x 8	17 x 9	0.7
Veracruz, Tamaulipas, Yucatán, Quintana Roo, Baja California, Sonora, Michoacán, Guerrero	15 x 8	17 x 9	19 x 10	0.7
Baja California Sur, Sinaloa	15 x 8	18 x 9	20 x 10	0.7
Jalisco	17 x 9	19 x 10	20 x 15	0.7

Para maderas del tipo de las latifoliadas del Grupo III (según el RCDF-NTC para madera)

Estado	Larg. (m)			S _i (m)
	4	5	6	
Chiapas	12 x 6	13 x 8	15 x 8	1.0
Tabasco, Campeche, Oaxaca	12 x 6	13 x 8	16 x 8	1.0
Nayarit, Colima	12 x 6	13 x 8	15 x 8	0.7
Veracruz, Tamaulipas, Yucatán, Quintana Roo, Baja California, Sonora, Michoacán, Guerrero	12 x 6	14 x 7	16 x 8	0.7
Baja California Sur, Sinaloa	13 x 8	15 x 8	17 x 9	0.7
Jalisco	13 x 8	16 x 8	19 x 10	0.7

Para las estructuras de techo, la recomendación sobre el mantenimiento preventivo requerido se resume en los siguientes puntos (Núñez, 2002):

- Revisión periódica del estado de los elementos de fijación del material de la cubierta, para esto se recomienda tratar de “levantar” cada punto de fijación aplicando ligeramente una fuerza con algún bastón desde la parte interior de la vivienda; si se observa un desplazamiento o indicios de desprendimiento, el clavo, pija o tornillo deberá ser removido y se deberá colocar uno nuevo. Para la reposición del punto de fijación se deberá rellenar el agujero hecho por el clavo o la pija usada originalmente usando aserrín con pegamento blanco, se esperará a que seque y después se procederá a colocar el nuevo dispositivo tratando de esté desfasado al menos 10 mm del punto de fijación original. Este proceso de revisión se deberá hacer al menos cada seis meses.
- Si al tratar de “levantar” el punto de fijación se observa indicios de fisuramiento o fractura del material de la cubierta, se deberá desprender la lámina y sustituirla por otra nueva con las mismas características. Al llevar a cabo este proceso se deberá tratar de cumplir con las recomendaciones relativas a la restauración de los puntos de fijación plasmadas en el párrafo anterior. Este proceso de revisión se deberá hacer al menos cada seis meses.
- Revisión del estado de deterioro de los elementos estructurales del techo, largueros y tiras. Para el caso de los elementos de madera, se deberá revisar el estado de fisuramiento en la dirección de las fibras. Si se observan fisuras que repercutan en el comportamiento de los puntos de fijación, el elemento deberá ser removido y sustituido por otro con las mismas características que el original. La revisión se recomienda llevarla a cabo al menos cada año.
Para el caso de los elementos metálicos, se deberá revisar el estado de corrosión que guarden. De igual manera que para los techos con elementos de madera, si el estado de oxidación o corrosión es tal que afecta el comportamiento de los puntos de fijación, el elemento Mon-Ten deberá ser removido y sustituido por otro con las mismas características geométricas y mecánicas. En este caso la revisión se recomienda al menos cada dos años.

La sociedad generalmente presenta interrogantes sobre qué hacer en caso de la incidencia de un huracán; con objeto de que existan respuestas a algunas de las preguntas formuladas, se presentan una serie de recomendaciones específicas para la población en general, sobre que hacer antes, durante y después de la ocurrencia del fenómeno (Domínguez *et al.*, 1993):

Antes

1. *Acudir a la unidad de Protección civil o a las autoridades locales para saber e informarse sobre:*
Si la zona en la que vive está sujeta al peligro de la incidencia de vientos fuertes
Qué lugares servirán de albergues
Por qué medios recibirá mensajes de emergencia
Cómo puede, si lo desea, integrarse a brigadas de auxilio
Cuántas personas habitan en su vivienda
Si hay enfermos que no puedan ver, moverse o caminar
2. *Platique con familiares y amigos para organizar un plan de protección civil , tomando en cuenta lo siguientes:*
Si su vivienda es vulnerable, tenga previsto un albergue
Prepare techos, ventanas y paredes para evitar daños mayores
Guarde fertilizantes e insecticidas en lugares a prueba de agua, pues en contacto con ella la contaminan
Procure un lugar para proteger a sus animales y equipo de trabajo
En caso de tener familiares enfermos o de edad avanzada prevea el transporte
3. *Para casos de emergencia tenga a la mano los artículos siguientes*
Botiquín e instructivo de primeros auxilios
Radio y linterna de baterías con repuesto
Agua hervida en envases con tapa
Alimentos enlatados y otros que no requieran refrigeración

Flotadores: cámaras de llantas o salvavidas

Documentos importantes: actas de nacimiento, de matrimonio, cartillas, credencial para votar, etc., guardados en bolsa de plástico, dentro de una mochila o morral que le deje libres brazos y manos

4. *Si decide quedarse en su casa:*
Tenga a la mano los artículos de emergencia
Mantenga su radio de pilas encendido para recibir información e instrucciones de fuentes oficiales
Cierre puertas y ventanas; internamente proteja vidrios y cristales con cinta adhesiva colocada en forma de X
Fije y amarre bien lo que el viento puede lanzar
Limpie la azotea, desagües, canales y coladeras
Llene el tanque de gasolina de su vehículo y asegúrese del buen estado de su acumulador

Durante la incidencia de los vientos fuertes

1. *Conserve la calma; tranquilice a sus familiares. Una persona alterada puede cometer muchos errores*
2. *Continúe escuchando su radio de pilas para obtener información o instrucciones acerca del huracán*
3. *Desconecte todos sus aparatos y el interruptor de energía eléctrica*
4. *Cierre las llaves de gas y agua*
5. *Manténgase alejado de puertas y ventanas*
6. *No prenda velas ni veladoras; use lámparas de pilas*
7. *Atienda a los niños, ancianos y enfermos que estén con usted*
8. *Si el viento abre una puerta o ventana, no avance hacia ella de frente*
9. *Vigile constantemente el nivel del agua cercana a su casa*
10. *No salga hasta que las autoridades informen que terminó el peligro. El ojo del huracán crea una calma que puede durar hasta una hora y después vuelve la fuerza destructora con vientos en sentido contrario*

Además existen una serie de publicaciones donde se establecen otro tipo de recomendaciones adecuadas, dentro de las que se reproducen en este trabajo las indicadas por Rosengaus (Rosengaus, 1998):

1. *Recoger absolutamente todo objeto en el exterior que pudiera salir volando arrastrado por el viento (incluyendo muebles de jardín, bicicletas, mangueras, etc.) y colocarlo en el interior.*
2. *Contar con un paquete de emergencias previamente preparado.*
3. *Resguardarse en el cuarto más pequeño y sin ventanas que tenga el inmueble durante las condiciones crítica, del evento natural.*
4. *Proteger ventanas desde el interior con colchones, ropa o cortinas pesadas.*
5. *Preestablecer con su familia lugares de reunión posterior al fenómeno en caso de que resulten separados.*
6. *Al regresar de un refugio temporal a un hogar dañado, asegúrese de no conectar la electricidad o el gas hasta verificar minuciosamente la integridad de la instalación.*
7. *Si por alguna razón de emergencia es necesario salir del inmueble durante las condiciones críticas, no abra la puerta sin prepararse para un fuerte empuje de la misma.*
8. *Si por alguna razón falla alguna ventana o puerta viento arriba de la edificación, abra la ventana o puerta en el extremo opuesto, sin descuidar guarecer a la familia en un sitio fuera de la corriente de aire que se formará y de muebles que pudieran ser desplazados por ésta.*
9. *Si las condiciones de viento en el interior de la edificación incluyen vidrios, muebles o aparatos volando, guarecerse debajo de colchones, ropa o cortinas, previamente preparados cerca de la zona central de la ubicación de las personas.*
10. *No importando la gravedad de la situación, un jefe de familia tranquilo, objetivo y con conocimiento del fenómeno al que se enfrenta es una extraordinaria ayuda para la supervivencia y bienestar del grupo.*

Todas las recomendaciones adicionales que establezcan los programas de protección civil regional.

6.3 NECESIDADES A FUTURO

En cuanto a las necesidades a futuro, se recomienda hacer trabajo experimental sobre el comportamiento de los diferentes tipos de estructuras empleadas para la vivienda de bajo costo o autoconstrucción. Trabajos que permitan conocer la resistencia ante vientos intensos que presentan en su condición actual, así como el comportamiento que tendrán considerando diferentes elementos para confinar los muros de la vivienda de tipología tradicional. Los autores del presente trabajo consideran que será necesario hacer pruebas de los sistemas estructurales completos tomando en cuenta las dos modalidades, la estructura tradicional sin confinamiento y reforzada con elementos confinantes, para revisar el comportamiento de los muros con carga perpendicular a su plano.

También se requiere de trabajo experimental encaminado a determinar las características y densidades (separaciones máximas admisibles) de los diferentes elementos de fijación y anclaje para los componentes de la estructura de techo. Este trabajo está contemplado dentro del proyecto a largo plazo que dio origen al presente informe. Las recomendaciones que se proponen dentro del presente trabajo se basan en las condiciones más desfavorables probables de los diferentes componentes de las estructuras de edificación para vivienda, por lo que debe tenerse presente que los valores pueden resultar conservadores.

REFERENCIAS

Ahrens C.D. (2000), "Meteorology Today, An Introduction to Weather, Climate, and Environment", Books/Cole, Sexta Edición, 528 pp.

Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (2001), "Manual de construcción, evaluación y rehabilitación sísmo-resistente de vivienda de mampostería", Bogotá, Colombia. 173 pp.

Bitrán B.D., Acosta C.L., Eslava M.H., Gutiérrez M.C., Salas S.M.A., Vázquez C.M.A. (2002), "Impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en la República Mexicana en el Año 2001", CENAPRED, México, D.F., México. 102 pp.

Borroughs W.J., Crowder B., Robertson T., Vallier-Talbot E. y Whitaker R. (1998), "Observar el Tiempo", Editorial Planeta, Barcelona, España. 288 pp.

Centro Nacional de Prevención de Desastres (2001), "Diagnóstico de Peligros e Identificación de Riesgos de Desastres en México, Ciclones Tropicales", CENAPRED, Secretaría de Gobernación, México, 125-132 pp.

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

Domínguez R., Fuentes M.O. y García J.F. (1998), "*Huracanes*", Fascículo 5, CENAPRED, Secretaría de Gobernación, México, 28 pp.

Núñez R.D. (1999), "*Materiales y sistemas alternativos de construcción, la experiencia de FUNDASAL*", Documento Técnico No.1, Centro de Investigación, Capacitación y Producción de Materiales, Fundación Salvadoreña de Desarrollo y Vivienda Mínima (FUNDASAL), San Salvador, El Salvador. 71 pp.

Núñez R.D. (2002), Comunicación personal, San Salvador, El Salvador.

Imsacero (2002), http://www.imsacero.com/p_030.htm

Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (1990), "*Características de las Viviendas*" -XI Censo General de Población y Vivienda, INEGI, México. 326 pp.

Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (1998), "*Características de las Viviendas*" -XI Censo General de Población y Vivienda, INEGI, México. 326 pp.

Eagleman J.R. (1985), "*Meteorology, The Atmosphere in Action*", Wadsworth Publishing Company, Belmont California. 394 pp.

Federal Emergency Management Agency, Library, "*Tornado Safety Tips Brochure*", página de internet con dirección <http://www.fema.gov/library/tornadof.html>.

Federal Emergency Management Agency, Library, "*Backgrounder: Tornadoes*", página de internet con dirección <http://www.fema.gov/library/tornado.html>.

Federal Emergency Management Agency (1997), "*Multi Hazard, Identification and Risk Assessment*", Prepared in Support of the International Decade for Natural Disaster Reduction. 365 pp.

Flores C. L., Pacheco M. A. y Reyes S. C. (2001), "*Algunos estudios sobre el comportamiento y rehabilitación de la vivienda rural de adobe*". Informe interno, CENAPRED, México. 254 pp.

Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, *Compendio Estadístico-Gráfico de Vivienda, 1998-1999*.

Jiménez M. (2002), "*Comunicación personal*", CENAPRED, México, D.F.

Meli R. (2000), "*Diseño Estructural*", Editorial Limusa, México. 595 pp.

Reglamento de Construcciones para el Departamento del Distrito Federal (1993), "*Normas Técnicas Complementarias para el Diseño por Viento*", Diario Oficial del Gobierno del Distrito Federal, México. pp. 13.

Reglamento de Construcciones para el Departamento del Distrito Federal (1993), "*Normas Técnicas Complementarias para el Diseño de Estructuras de Madera*", Diario Oficial del Gobierno del Distrito Federal, México. pp. 28.

Rodríguez N. (1972), "*Vientos generados por un ciclón y sus efectos en estructuras construidas en la región de Acapulco*", Ingeniería, Enero-Marzo, pp. 45-72

Rosengaus M.M. y Sánchez-Sesma J. (1990), "*Gilbert: ejemplo de huracanes de gran intensidad*", Ingeniería Hidráulica en México, enero/abril, México. pp 13-36.

Rosengaus M.M., Levi E., Sánchez-Sesma J., Reza G., Sckertchly L., Valdéz A.M. y Espinoza J. (1994), "*Estudio de Huracanes y sus Efectos en México*", Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Informe, México. 16 pp.

Rosengaus M.M. (1998), "*Efectos Destructivos de Ciclones Tropicales*", Editorial MAPFRE, Madrid. pp. 251.

Sotelo A. G. (1979), "*Hidráulica General, Volumen 1, Fundamentos*", Editorial Limusa, México. pp.561.

Strahler A.N. (1963), "*The Earth Science, Chapter 13 Atmosphere Circulation*", Harper & Row Publishers, Nueva York-Evanston y Londres, pp.227-245.

Tanck Hans-Joachim (1971), "*Meteorología*", Sección: Ciencia y Técnica, El Libro de Bolsillo, Alianza Editorial, S.A., Madrid. pp.177.

Timoshenko S. (1978), "*Resistencia de Materiales, Tomo II*", Espasa-Calpe S.A. Madrid, España. pp.159-163.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a Leonardo Flores Corona por facilitar gran parte de las figuras empleadas en el Capítulo 5.

Un agradecimiento a todos los colegas de la Coordinación de Investigación por el interés mostrado hacia la consecución de información para el trabajo aquí presentado y para la continuación del mismo. El poder intercambiar ideas me permitió confirmar la gran capacidad de trabajo y la búsqueda incesante por la calidad de todos aun en situaciones de adversidad.

Como siempre, un profundo agradecimiento a Pablo Olmos, ahora convaleciente de una lesión, por seguir siendo un ejemplo de amigo y servidor público cuyo fin es ese, “ser útil a la sociedad en general y a la comunidad en particular”.

Se agradece a los doctores Sergio Alcocer y Carlos Reyes la revisión crítica del manuscrito.

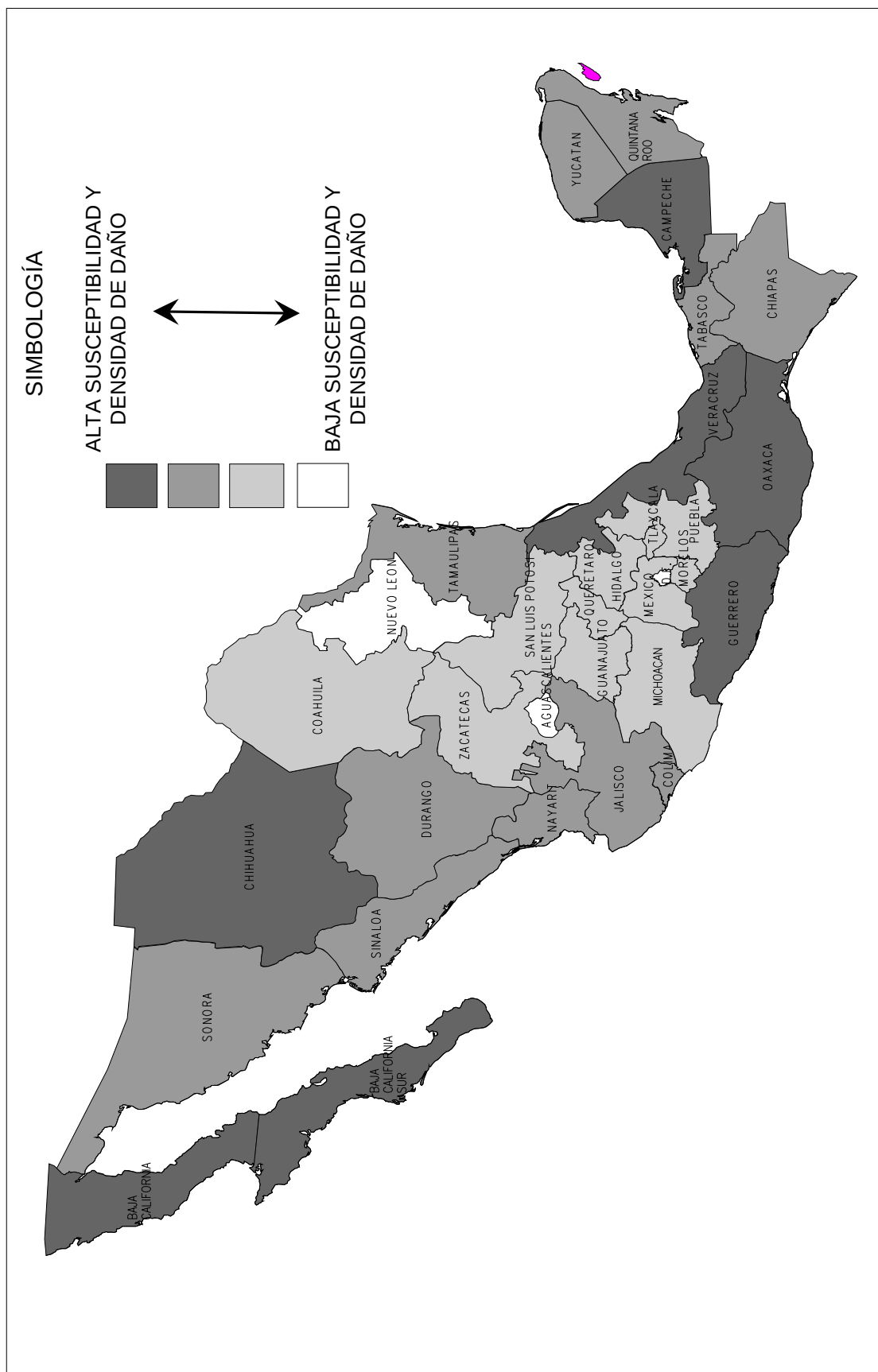
ANEXO

MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD DE DAÑO EN EDIFICACIÓN PARA VIVIENDA EN LA REPÚBLICA MEXICANA

Con base en la información presentada dentro del cuerpo del informe, se definieron niveles de peligro para cada entidad de la República como una función directamente proporcional a la velocidad de viento máxima sostenida; además, con base en la información proporcionada por el INEGI sobre las características de la vivienda para cada entidad, conjuntamente con las relaciones que establecen las escalas de caracterización de los eventos meteorológicos (Saffir-Simpson y Fujita), se establecieron condiciones de vulnerabilidad para la edificación de vivienda. Con el producto de los dos conceptos, peligro y vulnerabilidad, se definió el índice de susceptibilidad de daño. Con la información relativa al índice se elaboró el mapa de susceptibilidad de daño en edificación para vivienda de bajo costo para la República Mexicana. La información con la que se elaboró el mapa de susceptibilidad de daño se muestra en la tabla inferior. Dentro de la tabla, las entidades que se presentan en formato de letra itálica en la tercer columna, significa que en dicha entidad se puede esperar el mismo nivel y densidad de daño considerando las características de vulnerabilidad de techos y muros. Finalmente, para el mapa se definieron cuatro niveles de susceptibilidad de daño, para las que se consideró la clasificación basada en las características de vulnerabilidad de los techos; sin embargo, cabe la mención de que, por ejemplo para la Zona 1 que comprende a siete estados, los estados de Guerrero y Oaxaca presentarían las condiciones más desfavorables debido a que también son susceptibles de presentar alta densidad y nivel de daño producto de la vulnerabilidad de los muros.

Zona	Estados que incluye		Observaciones
	Considerando los techos	Considerando los muros	
1	Baja California Baja California Sur Campeche Chihuahua Guerrero Oaxaca Veracruz	<i>Guerrero</i> <i>Oaxaca</i>	Se puede esperar densidad y nivel de daño severo
2	Chiapas Colima Durango Jalisco Nayarit Quintana Roo Sinaloa Sonora Tabasco Tamaulipas Yucatán	Baja California Baja California Sur Campeche Coahuila <i>Chiapas</i> Chihuahua <i>Durango</i> <i>Jalisco</i> <i>Quintana Roo</i> <i>Sinaloa</i> <i>Tamaulipas</i> Veracruz	Se puede esperar densidad y nivel de daño medio
3	Coahuila Guanajuato Hidalgo México Michoacán Morelos Puebla Querétaro San Luis Potosí Tlaxcala Zacatecas	Colima <i>Michoacán</i> Nayarit <i>Puebla</i> <i>San Luis Potosí</i> Sonora Tabasco <i>Tlaxcala</i> Yucatán <i>Zacatecas</i>	Se puede esperar densidad y nivel de daño ligero
4	Aguascalientes Distrito federal Nuevo León	<i>Aguascalientes</i> <i>Distrito federal</i> Guanajuato Hidalgo México Morelos <i>Nuevo León</i> <i>Querétaro</i>	Se puede esperar densidad y nivel de daño nulo-ligero

MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD Y DENSIDAD DE DAÑO DEBIDO A VIENTOS FUERTES POR ESTADO





SECRETARÍA DE GOBERNACIÓN
COORDINACIÓN NACIONAL DE PROTECCIÓN CIVIL
CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN DE DESASTRES
Av. Delfín Madrigal No.665,
Col. Pedregal de Sto. Domingo,
Del. Coyoacán,
México D.F., C.P. 04360
www.cenapred.gob.mx
www.proteccioncivil.gob.mx