

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 dalas de cerramiento) que para los muros de edificación. Dado que en este tipo de estructuras no existe la restricción que proporcionan los muros ortogonales, las demandas de momentos de volteo y rotación en la base resultan muy altas para ser soportadas adecuadamente por los castillos tradicionales y, sobre todo, para los castillos 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

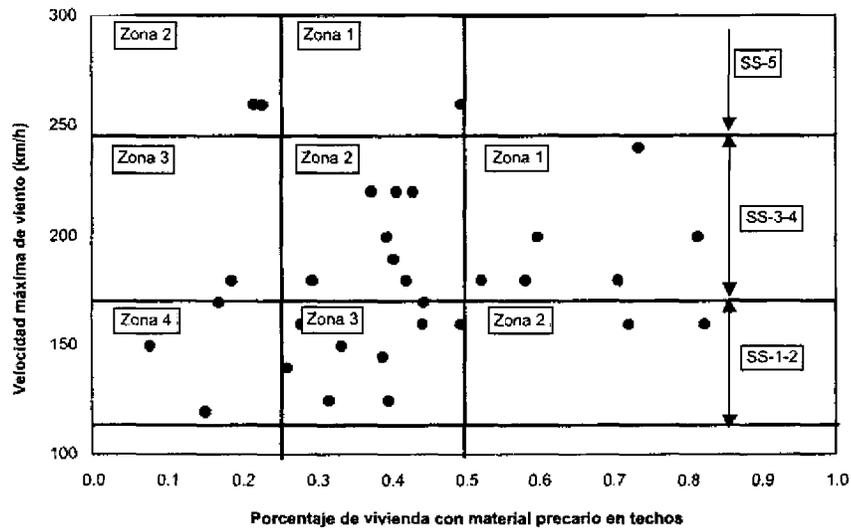


Figura 3.3 Relación entre velocidades máximas de viento (escala de Saffir-Simpson) y el porcentaje de vivienda con material precario en techos. El término SS-*i* usado en la parte derecha de la figura, significa escala Saffir-Simpson categoría *i*.

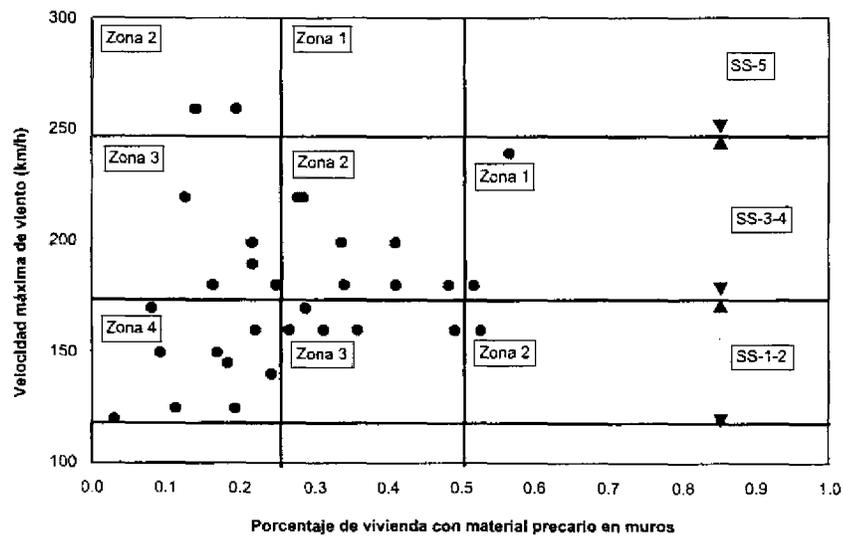


Figura 3.4 Relación entre velocidades máximas de viento (escala de Saffir-Simpson) y el porcentaje de vivienda con material precario en muros. El término SS-*i* usado en la parte derecha de la figura, significa escala Saffir-Simpson categoría *i*.

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 superficie 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 rugosidad 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

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

en esta expresión y 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.