

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 mecate normal) 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](http://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).

km, coincidente con las predicciones hechas por el personal del Area 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