



CONTENIDO

Capítulo 6. Seguridad Estructural y Civil

6.1. INTRODUCCIÓN

6.2. ANTECEDENTES

6.2.1. PROYECTO

6.2.2. REGLAMENTOS

6.2.2.1. AUTOREFUGIOS ANTICILÓNICOS

6.2.2.2. DISEÑO POR VIENTO

6.2.2.3. SISTEMA DE UNIDADES

6.3. FENÓMENOS NATURALES Y LA ESTRUCTURA

6.3.1. DISTURBIOS TROPICALES

6.3.2. VELOCIDAD DEL VIENTO Y SUS EFECTOS

6.3.3. INUNDACIÓN

6.3.4. OLEAJE, MAREAS

6.3.5. HURACANES EN EL CARIBE MEXICANO

6.4. EFECTO DEL EMPLAZAMIENTO DE EDIFICIOS

6.5. CRITERIOS PARA EL DISEÑO ESTRUCTURAL

6.5.1. ESTRUCTURAS RECOMENDADAS

6.5.1.1. FORMA

6.5.1.2. MATERIALES

6.5.1.3. ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES

6.6. CIMENTACIONES

6.6.1. SUBSUELO EN LA PENÍNSULA DE YUCATÁN

6.6.2. TIPO DE CIMIENTOS

6.7. ACABADOS

6.7.1. TECHOS PRINCIPALES DE TEJAS

6.7.2. TECHOS SECUNDARIOS DE TEJAS

6.7.3. TECHOS PLANOS

6.7.4. TRAGALUCES

6.7.5. TECHOS DE LÁMINA METÁLICA

6.7.6. TECHOS ARTESANALES

6.7.7. CUBIERTAS

6.7.8. MUROS DE CONCRETO O MAMPOSTERÍA

6.7.9. VIDRIO

6.7.10. OTROS MATERIALES

6.8. ELEMENTOS EXTERIORES

6.8.1. MUROS DE CONTENCIÓN

6.8.2. ALBERCAS Y TERRAZAS

6.8.3. BALCONES Y BARANDALES

6.8.4. PLAFONES EXTERIORES

6.8.5. EQUIPOS INSTALADOS EN TECHOS

6.8.6. OTROS EQUIPOS INSTALADOS EXTERIORMENTE

6.8.7. ESTACIONAMIENTOS AL AIRE LIBRE

6.8.8. ILUMINACIÓN EXTERIOR Y MÁSTILES

6.8.9. JARDINERÍA

6.9. INTERIORES DE EDIFICIOS

6.9.1. MUROS

6.9.2. PLAFONES

6.9.3. PISOS

6.9.4. INSTALACIONES MECÁNICAS Y OTRAS

6.10. RECOMENDACIONES Y BENEFICIOS

GLOSARIO DE SIGLAS



CAPÍTULO

SEGURIDAD ESTRUCTURAL Y CIVIL, prácticas y estándares de seguridad.

6.1. Introducción

En este capítulo se presentan recomendaciones de seguridad estructural y civil basados en la experiencia de construir en el Caribe Mexicano, puesto que la zona costera del Estado de Quintana Roo presenta dos condicionantes de gran relevancia para la definición del diseño y de las prácticas operativas, ambas dadas por su ubicación. El primer factor se refiere a las condiciones del suelo y subsuelo derivadas de ser un litoral, mientras que el segundo factor está representado por los fenómenos meteorológicos que permanentemente inciden sobre la zona.

Ambas condicionantes presentan características y comportamientos que tienen efectos relevantes sobre la estabilidad de la edificación así como en la seguridad civil, por lo que, su consideración en el diseño estructural tendrá repercusiones no solo en los criterios de cálculo sino también en la definición de elementos y sistemas constructivos, así como previsiones en la operación y mantenimiento.

En el caso de los fenómenos meteorológicos, la zona de Quintana Roo es especialmente susceptible a la acción de ciclones tropicales en sus litorales. El periodo de retorno de grandes huracanes es cada vez más corto y es motivo de preocupación permanente. Resulta evidente entonces que en regiones vulnerables como ésta, es de suma importancia que las estructuras sean resistentes y se comporten satisfactoriamente. Por ello, es necesario que el diseñador estructural cuente con todos

los elementos que permitan cumplir las premisas de seguridad y economía en congruencia con el diseño arquitectónico.

El enfoque de los proyectos estructurales, y sus memorias de cálculo, es el eficaz y eficiente desempeño de las estructuras para evitar riesgos y mitigar impactos. Esto implica que deberán, no solo determinarse los elementos estructurales sino también las estrategias y recomendaciones para la operación y funcionamiento del edificio así como también reducir los riesgos de afectaciones durante los eventos meteorológicos y los derivados de su emplazamiento, a fin de que garanticen la seguridad de los ocupantes del edificio y la inversión.

Lo anterior significa que parte de la labor del estructurista será participar activamente en el proceso de estructuración y sustentabilidad del diseño arquitectónico.

6.2. Antecedentes

6.2.1. Proyecto

El diseño estructural define las características que debe tener los elementos estructurales de la construcción para cumplir de manera adecuada las funciones que está destinado a desempeñar, sin sufrir fallas o mal comportamiento debido a la incapacidad de soportar las cargas que sobre ella se ejercen. La forma, dimensiones y características de una estructura se diseñan para absorber y resistir las acciones que se presenten.

Las estructuras son sistemas complejos cuya posibilidad de falla depende del comportamiento y de un gran número de elementos internos que trabajan ante diferentes combinaciones de esfuerzos. El término confiabilidad estructural indica el estudio con bases probabilísticas de riesgo de las estructuras, el cual determina los factores de seguridad que se deben considerar en el diseño.



*Figura 01: Ejemplo de Planos arquitectónicos:
Plano de fachadas y cortes de un Hotel en Puerto Morelos.
Fuente: A&D Asociados.*

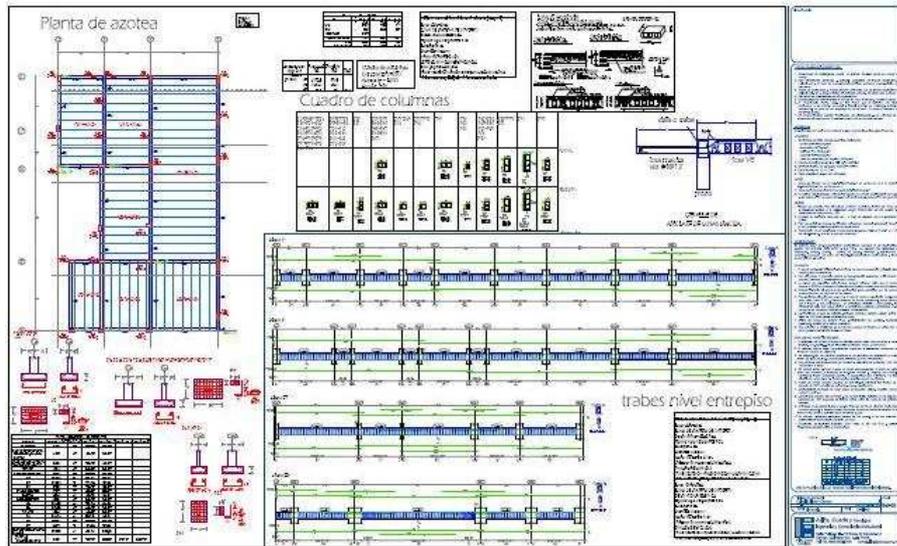


Figura 03: Ejemplo de plano estructural: detalles de losa, columnas y trabes tipo.
Fuente: A&D Asociados.



Figura 04: Estado límite de servicio. Falla por acción de empuje del viento
Por: A&D Asociados.



*Figura 05: Estado límite de falla. Falla por acción de empuje del viento
Por: A&D Asociados.*

6.2.2. Reglamentos

Existen diversas regulaciones cuya observancia es obligatoria para el dueño de un terreno o edificación y también para quien diseña, construye y ocupa una propiedad pública o privada. A nivel estatal existen Planes y Programas Parciales de Desarrollo Urbano, la *Ley de los Municipios* (LM) y la *Ley de Fraccionamientos* (LF). A nivel municipal, en la mayoría de los municipios del estado de Quintana Roo, se tienen *Reglamentos de Construcción* (RC). En el municipio Benito Juárez donde se asientan Puerto Juárez, Puerto Morelos y Cancún, se tienen también *Normas Técnicas Complementarias* (NTC).

Los reglamentos de Isla Mujeres³, Cozumel⁴ y de Othón P. Blanco⁵, son del grupo que se publicaron supletoriamente en todo el país con copias de la normatividad existente para el Distrito Federal. El municipio de Benito Juárez publicó en el diario oficial, el 25 de abril de 2007, un nuevo reglamento de construcción, actualizando muchos aspectos del anterior y adicionando 6 normas técnicas regionalizadas para los materiales y procedimientos constructivos más comunes que son: Cimentaciones, Estructuras de Madera, Estructuras de Mampostería, Estructuras de Concreto, la Norma Técnica Complementaria de Seguridad y la de Diseño por Viento.

Éste reglamento crea una Comisión Permanente de Revisión y el 11 de abril de 2008⁶ fueron publicadas modificaciones y adiciones al Reglamento y las normas de Concreto y Viento y se

³ Para mayor información consultar en: <http://www.islamujeres.gob.mx/>.

⁴ Para mayor información consultar en: <http://www.cozumel.gob.mx/>.

⁵ Para mayor información consultar en: <http://www.opb.gob.mx/>.

⁶ Para mayor información consultar en: <http://www.cancun.gob.mx/>.

adicionaron las *Normas Técnicas de Instalaciones Hidráulicas, Sanitarias y Electromecánicas* (NTIHSE). En el municipio de Solidaridad se publicó un nuevo reglamento el 8 junio 2007⁷.

En los casos que no existan reglamentación o normatividad específica, se debe acudir a la más cercana por lo que en el caso del Caribe Mexicano, las normas técnicas de Benito Juárez aplicarían en forma regional.

Existen otras reglamentaciones a nivel nacional que no son de carácter obligatorio, sin embargo, son un referente común para proyectos en México, específicamente el Manual de Diseño de Obras Civiles⁸ de la *Comisión Federal de Electricidad* (CFE) editado en 1993 y que puede ser consultado en algunos sitios de internet. Su modificación y actualización salió a la venta en diciembre de 2009 y es de consulta restringida.

6.2.2.1. Autorefugios anticiclónicos

A partir de la temporada de huracanes 2005, algunos hoteles en la zona hotelera de Cancún solicitaron a las autoridades municipales la autorización para utilizar parte de sus instalaciones como un auto-refugio temporal para el personal de seguridad y mantenimiento durante un huracán, y para el eventual refugio de turistas que no hayan podido ser desalojados por diversos motivos.

Por tal razón se ha generado un procedimiento de certificación por organismos colegiados como el Colegio de Ingenieros Civiles (CIC⁹) la SMIE¹⁰ y las direcciones de Desarrollo Urbano y Protección Civil Municipales.

En el cumplimiento de lo establecido en el Reglamento de Protección Civil se especifican los requisitos que debe cumplir un sitio para ser considerado como refugio; siendo lo más relevante¹¹:

1. De ubicación:

1.1 En una zona de fácil acceso para autobús y camiones

1.2 En un área sin riesgo de inundación

1.3 En un lugar fuera de la franja costera y debe ser acorde al fenómeno que se espere, resistiendo al menos, un fenómeno meteorológico categoría 3¹².

Debe contemplar con otro refugio secundario, fuera de las instalaciones del hotel como posible opción para trasladarse a él, en caso de tener la necesidad de evacuar a causa del pronóstico de un huracán de mayor categoría.

⁷ Para mayor información consultar en: <http://www.ordenjuridico.gob.mx>.

⁸ Se puede adquirir directamente en la Comisión Federal de Electricidad.

⁹ Para mayor información consultar en: <http://www.ingenierosciviles.org>.

¹⁰ Para mayor información consultar en: <http://www.smie-quintanaroo.org/>.

¹¹ Basado en un comunicado emitido por la Asociación de Hoteles de Cancún. Norma Técnica para Refugios Anticiclónicos de la dirección de Protección Civil. Cancún, Quintana Roo. 23 de Mayo 2006.

¹² Para mayor información sobre las categorías de un huracán, consultar el Anexo I de este capítulo.

2. De construcción y servicios:

- 2.1 Cumplir con los requerimientos marcados en el reglamento de construcción Municipal para soportar tanto en su estructura, muros y techumbre vientos superiores a los 250 km/h.
- 2.2 Contar con servicios básicos de agua, drenaje y planta de emergencia eléctrica.
- 2.3 Contemplar un área de preparación de alimentos.
- 2.4 Disponer de un área para servicio médico y primeros auxilios con un stock de medicamentos básicos.

3. De capacidad y almacenamiento:

- 3.1 Tener la capacidad de albergar a la totalidad de los huéspedes del hotel y el personal del staff quien será responsable de la evacuación y estará capacitado para la atención del refugio.
- 3.2 Disponer de un área de estacionamiento para vehículos de apoyo.
- 3.3 Contar con las siguientes áreas de almacenamiento.
 - 3.3.1 De víveres, cuando menos 7 días, con una ración de agua de al menos de 6lts por persona.
 - 3.3.2 Para insumos de consumo e higiene personal, cuando menos 7 días.
 - 3.3.3 De utensilios de limpieza en general.
 - 3.3.4 De contenedores con cubierta para basura de al menos 7 días.

4. De seguridad y protección:

- 4.1 Las ventanas y puertas de acceso o salida deberán contar con protección adecuada para evitar ser dañados por proyectiles, y ser capaces de soportar vientos por encima de 250km/h.
- 4.2 Las instalaciones y equipos que se encuentren ubicados en la techumbre del refugio, deberán estar adecuadamente asegurados y/o anclados para soportar vientos de más de 250km/h.

5. Tramitación y autorización del refugio:

Para la tramitación y la aprobación del inmueble se deberá presentar una solicitud por escrito, dirigida al Director de Protección Civil anexando:

- 5.1 Convenio celebrado con la institución y/o establecimiento que presta sus instalaciones como refugio durante la temporada de huracanes.
- 5.2 Convenio vigente con la línea de transporte que trasladará a sus huéspedes al refugio, el convenio debe incluir:
 - 5.2.1 Traslado hotel-refugio-hotel, y en su caso, al aeropuerto.

- 5.2.2 Compromiso para transportar a los huéspedes en el momento del aviso emitido por el Sistema Municipal de Protección Civil.
 - 5.3 Organigrama y funciones del personal del staff responsable de la coordinación del refugio y el traslado.
 - 5.4 La Dirección de Protección Civil realizará una visita de verificación.
 - 5.5 Después de la visita y con la aprobación, la Dirección de Protección Civil avalará el convenio y lo dará de alta en el padrón de refugios.
6. De la operación de refugios:
- 6.1 Integrar al programa interno de protección civil del hotel el procedimiento de preparación, evacuación y traslado de huéspedes al refugio, el reglamento interno del refugio y las acciones a seguir en caso de alguna contingencia.
 - 6.2 El staff deberá verificar con suficiente tiempo todo el abastecimiento y equipamiento del refugio en el momento en que las autoridades emitan la ALERTA AMARILLA.
 - 6.3 Para cuando las autoridades emitan la Orden de Evacuación (ALERTA NARANJA), el refugio deberá estar listo para la recepción de los huéspedes.
 - 6.4 El responsable del refugio deberá entregar a Protección Civil la lista de personas refugiadas con: nombre, nacionalidad, sexo, edad, domicilio, estado de salud y cualquier otro dato relevante.
 - 6.5 Reportar a Protección Civil si alguna de las personas hospedadas padece alguna enfermedad crónica para que Protección Civil tome las medidas pertinentes.
 - 6.6 El responsable del refugio deberá llevar una bitácora diaria de todo lo ocurrido en el refugio, indicando día y hora de apertura, número de refugiados, incidentes relevantes, día y hora de cierre. Esta bitácora, deberá estar disponible para el personal de Protección Civil.
 - 6.7 El responsable del refugio, deberá presentar un informe final de los acontecimientos durante la evacuación y la estancia en el refugio a la Dirección de Protección Civil.

6.2.2.2. Diseño por viento

En los reglamentos y normatividad, el método de diseño por cargas accidentales debidas al viento tiene básicamente el mismo tratamiento: a partir de un parámetro denominado velocidad regional del viento y de diversos factores de exposición como: altura, topografía y rugosidad, y de funciones probabilísticas de distribución, se establece una velocidad de diseño con la cual se calcula la presión de la masa de viento sobre una superficie expuesta. La velocidad regional establecida en los diversos reglamentos de construcción para las construcciones en la costa coincide en 200 Km/hr, a excepción del nuevo manual de obras civiles de la CFE que ha establecido velocidades de 243, 250 y 236Km/hr para Cancún, Cozumel y Playa del Carmen respectivamente.

6.2.2.3. Sistema de unidades

Un tema importante es el sistema de unidades y medidas dado que algunos proyectos son inversiones provenientes de países con un sistema de unidades diferente al usado en México. En 1960 la XI Conferencia General de Pesas y Medidas (CGPM), decidió adoptar el uso universal de un solo sistema de unidades denominado *Sistema Internacional* (SI), (Anexo I). El *Sistema General de Unidades de Medida* (SGUN), NOM-008-SCFI-1993, es el único legal y de uso obligatorio en México de acuerdo con lo dispuesto en el artículo 5 de la *Ley Federal sobre Metrología y Normalización* (LFMN¹³).

6.3. Fenómenos Naturales y La Estructura

La probabilidad de ocurrencia de un desastre determina la necesidad de consideraciones específicas en un proyecto, aunadas a los términos de Seguridad Civil y Protección Civil que son esencialmente competencia de las autoridades Municipales, Estatales, Federales o incluso Internacionales. Diversas Leyes especifican la puesta en operación de los programas de emergencia, la difusión de los avisos y alertas, el desalojo de zonas potencialmente peligrosas y las declaratorias de zonas de emergencia y de desastre¹⁴.

De acuerdo con su origen, los desastres se clasifican en *naturales* y *provocados*. Los primeros resultan de la ocurrencia de sucesos naturales como terremotos, erupciones volcánicas, tormentas tropicales, huracanes, tornados, etcétera. Los segundos provienen de amenazas provocadas por la actividad humana como accidentes, derrames, explosiones, incendios, o fallas tecnológicas en los sistemas de seguridad.

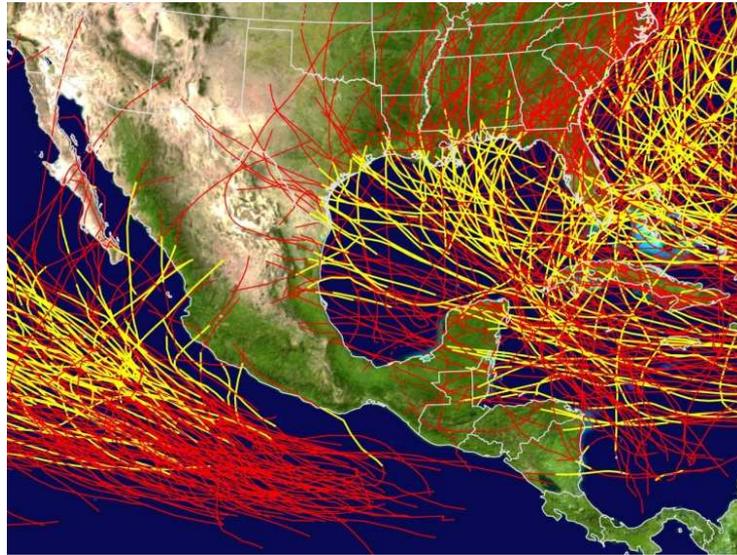
En muchas situaciones, existe una interacción entre los fenómenos naturales y la acción humana como en el caso de los deslizamientos debidos a erosión, fallas en la canalización de aguas o asentamientos en zonas inestables; inundaciones por deforestación de las riberas de los ríos, arrojado de sedimentos y materiales en las cuencas hidrográficas o construcción de diques; epidemias de origen hídrico por deficientes condiciones sanitarias y enfermedades infecto-contagiosas o transmitidas por vectores.

6.3.1. Disturbios tropicales

En la zona costera del Estado de Quintana Roo que limita al oriente con el mar Caribe, hay alta incidencia de huracanes. Éstos se originan de la mezcla del aire caliente y húmedo que viene del océano con el aire frío. Estas corrientes giran y avanzan entre 10 y 50 Km/hr, con un área de influencia de aproximadamente 100 kilómetros de diámetro. Su trayectoria es totalmente impredecible.

¹³ Para mayor información consultar en: <http://www.cenam.mx>.

¹⁴ Para mayor información consultar en: <http://www.proteccioncivil.gob.mx>.



*Figura 06: Trayectoria de principales huracanes.
Elaboró: NHC.*

Se presentan vientos y lluvias fuertes ocasionadas por las diferencias importantes de presión atmosférica, hay elevación del nivel del mar con formación de enormes olas, particularmente en las zonas donde disminuye la presión atmosférica. Cuando las tormentas tocan tierra, especialmente a nivel continental, pueden disminuir su velocidad generando intensas y súbitas precipitaciones de lluvias. Las estructuras son dañadas o incluso destruidas por la fuerza del viento, las inundaciones, las olas resultantes y los deslizamientos.

Los aspectos destructivos de los ciclones tropicales, que marcan su intensidad, son principalmente cuatro: marea de tormenta, oleaje, lluvia y viento. Estos fenómenos se presentan en la región de la costa del Estado de Quintana Roo y cada uno de ellos tiene características especiales relacionadas entre sí, las cuales se describen a continuación.

La marea de tormenta es la sobreelevación del nivel medio del mar cuando un ciclón tropical se acerca a la costa. La marea se agrega al oleaje que físicamente se está produciendo en el momento que se aproxima el huracán por lo que es difícil percatarse de la existencia de dicha sobreelevación. El principal efecto de la marea de tormenta es la inundación de las zonas costeras con agua de mar que puede llegar a cubrir franjas de varios kilómetros.

La gran intensidad de vientos y extensión del área de influencia de un huracán generan fuertes oleajes que a su paso pueden afectar en gran medida zonas alejadas del punto de incidencia del huracán sobre la tierra, por lo que debe considerarse en el diseño de las obras de protección costeras.

Los huracanes arrastran consigo enormes cantidades de agua que provocan fuertes precipitaciones y deslizamientos de tierra.



Figura 07: Ejemplo de huracán. Wilma, 21 de Octubre 2005 09:45hrs.
Elaboró: NHC.

6.3.2. Velocidad del viento y sus efectos

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 viento¹⁵.

En el hemisferio norte los vientos de perturbaciones tropicales giran en sentido contrario a las manecillas del reloj, con una dirección de traslado hacia el noroeste. La medición reconocida internacionalmente de la velocidad del viento es la escala Beaufort (Figura 08).

De acuerdo con la velocidad máxima de ráfaga de los vientos registrados, un disturbio tropical se clasifica en: **DEPRESIÓN TROPICAL** con vientos que llegan hasta los 63 Km/hr; **TORMENTA TROPICAL** cuando los vientos alcanzan entre 64 y 119 Km/hr, acompañados de aguaceros intensos, se forma sobre mar abierto, causando grandes olas costeras, desbordamiento de ríos, relámpagos y truenos; y **HURACÁN** cuando los vientos superan los 120 Km/hr, acompañados por fuertes lluvias e importantes diferencias de presión atmosférica.

¹⁵ López Bátiz, Oscar A. y Toledo Sánchez, Héctor M. **Estudio de la seguridad de las edificaciones de vivienda ante la incidencia de viento**. CENAPRED. UNAM. Agosto 2003. Descargado en: <http://www.cenapred.unam.mx>. Sep. 2010.

BEAUFFORT	Km/hr	Observaciones	Disturbio Tropical con circulación en superficie en sentido contrario de las manecillas del reloj
2	6-11	Se percibe el viento en la piel	
3	12-19	<i>Viento leve</i> movimiento de hojas y ramas de los árboles	
4	20-28	<i>Viento moderado</i> polvo en el aire	
5	29-38	<i>Viento regular</i> Movimiento de árboles pequeños	
6	39-49	<i>Viento fuerte</i> Movimiento de ramas de árboles grandes	
7	50-61	<i>Viento muy fuerte</i> movimiento de árboles por entero, molesto al caminar	
8	62-74	<i>Temporal</i> rompimiento de ramas pequeñas, dificultad para caminar	Tormenta tropical
9	75-88	<i>Temporal fuerte</i> daños leves en estructuras, desprendimiento de tejas.	
10	89-102	<i>Temporal muy fuerte</i> ocasiona considerables daños, árboles arrancados de raíz.	
11	103-117	<i>Tempestad</i> daños generados por doquier	
12	118 y mas	<i>Huracán</i> - destrucción importante	Huracán

Figura 08: ESCALA BEAUFFORT.
 Elaboró: OLB - HMTS.

La velocidad máxima se registra en las paredes del ojo del huracán en km/hr, m/s o nudos :

- 10 nudos = 18.52 Km/hr = 5.14 m/s
- 100 km/hr = 27.8 m/s = 54 nudos

Los huracanes se han clasificado en cinco categorías de acuerdo con la velocidad de vientos registrados. La clasificación internacional utilizada es la creada por **Saffir-Simpson**.

Categoría de huracán:		Velocidad del viento			Presión atmosférica mínima
Escala Saffir-Simpson		Millas por hora mph	Kilómetros por hora km/hr	Nudos knots	Milibares
Depresión Tropical	TD	<39	<63	<34	
Tormenta Tropical	TS	39-73	63 - 118	34-63	
Huracán	Cat 1	74-95	119 -153	64-82	980+
Huracán	Cat 2	96-110	154 - 177	83-95	979-965
Huracán intenso	Cat 3	111-130	178 - 210	96-113	964-945
Huracán muy intenso	Cat 4	131-155	211 - 250	114-135	944-920
Huracán muy intenso	Cat 5	>155	>250	<135	Bajo 920

*Figura 09: ESCALA SAFFIR-SIMPSON.
Elaboró: A&D Asociados.*



*Figura 10: Refugio de turistas durante el huracán Wilma 2005 Gimnasio Uxim-Baxal.
Por: PCBJ.*

6.3.3. Inundación

Las inundaciones se presentan por lluvias torrenciales y falta de absorción, escurrimiento o desagote, o incluso por inundaciones en la costas marítimas, causadas por la incursión del agua del mar a lo largo de los litorales expuestos. Las olas secundarias a las tormentas y huracanes, se originan por la disminución de la presión atmosférica, que eleva el nivel del agua y la intensidad de los vientos. Las inundaciones costeras, tienen un gran poder destructor al llegar al litoral con gran fuerza. Al salir succionan, arrastran y erosionan, con un daño muchas veces mayor que al entrar.

Las inundaciones súbitas resultan de lluvias torrenciales localizadas, posiblemente acompañadas de deslizamientos, donde el suelo rápidamente se satura.

Indudablemente la degradación del medio ambiente, la deforestación, ciertas técnicas para el uso de la tierra y en general la alteración del ecosistema de las cuencas hidrográficas favorecen las inundaciones.



*Figura 11: Ejemplo de inundación. Huracán Wilma, carretera Cancún-Puerto. Morelos.
Por: A&D Asociados.*

Para el caso de las inundaciones por olas durante huracanes, se recomienda buscar las zonas más elevadas y estables para desplantarlas o bien, elevar las edificaciones; plantar árboles para cortar el viento, conservar las dunas y plantar vegetación, conservar los manglares para atenuar el impacto de las olas y construir obras de protección. Estas últimas siguen en estudio, pues las obras como muros de contención no han mostrado un comportamiento favorable con las estructuras de las edificaciones, por el contrario, han contribuido al deterioro de la playa y por ende a la afectación de la cimentación en las edificaciones.

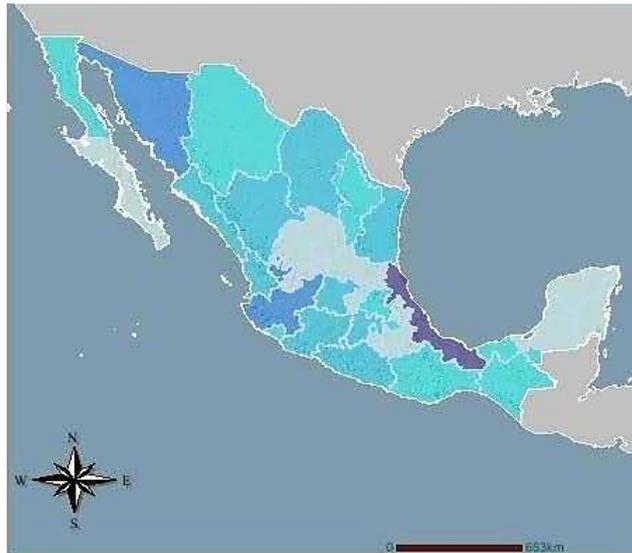
La reforestación y conservación de las cuencas constituyen las medidas a mediano y largo plazo con mayor impacto al aumentar la permeabilidad de los suelos, disminuir la erosión, limitar el transporte y depósito de sedimentos. Las construcciones palafíticas son una opción de diseño de estructuras para soportar el impacto de las inundaciones, permitir la permeabilidad del suelo y el transporte y depósito de los sedimentos.

También se han tomado decisiones en política de desarrollo urbano y rural, relativos a la tenencia de tierras y condiciones socioeconómicas, para determinar la ubicación y reubicación de asentamientos en zonas no inundables.

El Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) está elaborando mapas de zona de riesgo por inundación¹⁶ que podrán ser consultados a través del Sistema Meteorológico Nacional (SMN¹⁷).

¹⁶ CENAPRED .**Mapas de riesgo**. UNAM. S/D. S/D. Descargado en: <http://geografica.cenapred.unam.mx>. Sep. 2010.

¹⁷ Para mayor información consultar en: <http://smn.cna.gob.mx>.



*Figura 12: Atlas Nacional de Riesgos. Sistema Integral de Información sobre Riesgos de Desastres por Estados en México
Inundaciones por estados
Elaboró: CENAPRED*

6.3.4. Oleaje, mareas

Las olas son debidas a la acción del viento sobre la superficie marina. Al trasladarse las masas de aire sobre el mar, las pequeñas diferencias de presión que hay en el aire y la fricción entre éste y el agua producen fuerzas sobre la superficie, las cuales ponen en movimiento las partículas de agua. Al encrespase la superficie del mar, el viento ejerce fuerzas de empuje sobre la parte posterior de la ola y de succión sobre la parte frontal. Dichas fuerzas van aumentando al crecer la ola, ésta supone un área cada vez mayor a la acción del viento hasta que llega a un estado de equilibrio entre las fuerzas de arrastre debidas al viento y las de gravedad del agua.



*Figura 13: Daño a la Estructura por oleaje. Zona hotelera, Cancún, Q. Roo.
Por: A&D Asociados.*

Las estructuras marítimas deben soportar las acciones debidas a la operación y a las condiciones ambientales, los efectos del oleaje y corrientes marinas así como las fuerzas debidas al atraco y amarre de las embarcaciones.

Los efectos del viento: en los casos de formación de grandes olas pueden derivarse en pérdidas humanas o lesiones, heridas y contusiones ocasionadas por objetos desprendidos y transportados por su fuerza. El daño y destrucción por grandes olas también deriva en un aumento en la salinidad del agua de mar, lo cual puede elevar o inducir la salinidad en el agua subterránea empleada para consumo, lo que implicaría modificaciones en los sistemas de tratamiento de agua.

6.3.5. Huracanes en el Caribe Mexicano

El territorio en México es especialmente susceptible a la acción de ciclones tropicales en sus litorales, Pacífico, Golfo de México y Mar Caribe por un período que abarca más de la mitad del año (15 de mayo al 30 de noviembre: temporada de huracanes en el Océano Atlántico norte).

En promedio se presentan 4.3 eventos de este tipo al año. Sin embargo, en 2005 se registraron 7 grandes eventos solo en la costa del Atlántico, dos de ellos: Emily que se presentó el 18 de julio y Wilma el 22 de octubre; ambos golpearon la costa norte de Quintana Roo con una diferencia de apenas 3 meses.

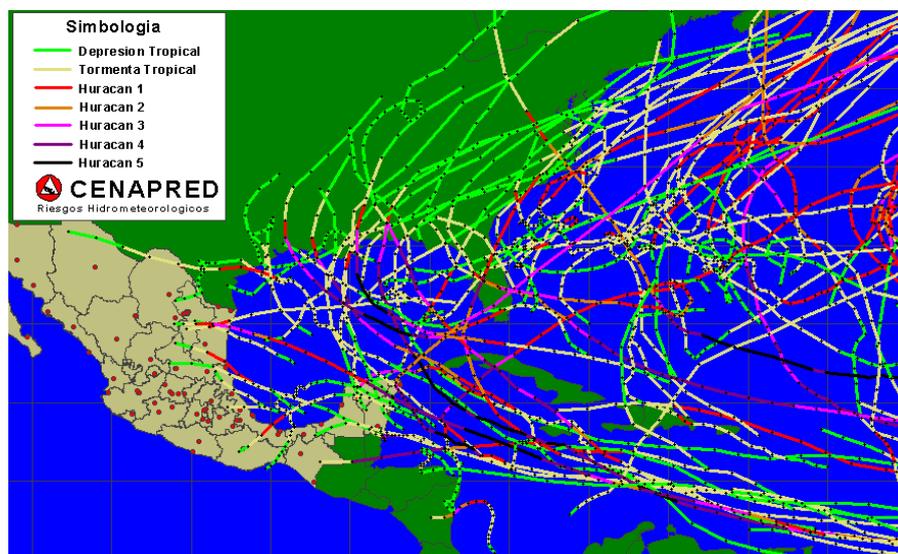


Figura 14: Trayectorias de huracanes en el Atlántico 2000-2005
Fuente: CENAPRED.

El Sistema de Alerta Temprana para Ciclones Tropicales (SIATCT¹⁸), generado por el gobierno federal, provee información para reducir la vulnerabilidad y mitigar los efectos de los ciclones y huracanes con mecanismos coordinados de acción social e interinstitucional, asimismo responde ante la inminencia de que ocurra un desastre natural actuando antes, durante y después de la presencia de una amenaza resolviendo necesidades urgentes de protección de la vida y la salud, alimentación, suministro de agua y albergue temporal¹⁹. Al inicio de la temporada anual de huracanes, se instalan y se activan los Comités Municipales y Estatales²⁰.

El semáforo de prevención con las alertas establecidas por colores azul, verde, amarillo, naranja y rojo indican el tipo de peligro, el tiempo aproximado en que puede afectar y las acciones que se deben implementar en cada etapa. Las alertas se emiten en cada localidad de acuerdo a la *Tabla de Alertamiento* de aproximación y alejamiento de un ciclón tropical en función de la intensidad del ciclón según la escala de Saffir-Simpson, la distancia del ojo y de la parte externa de las bandas nubosas del ciclón y el tiempo estimado de impacto.

Color de alerta	Alerta azul	Alerta Verde	Alerta Amarilla	Alerta Naranja	Alerta Roja
Tipo de peligro	Mínimo	Bajo	Moderado	Alto	Máximo peligro
Tiempo en que puede afectar	3 días	1 a 3 días	1 día	horas	

*Figura 15: Tabla de Alertamiento de aproximación y alejamiento de un ciclón tropical.
 Elaboró: SIATCT.*

6.4. Efecto del emplazamiento de edificios

La costa del Estado de Quintana Roo, es la frontera occidental del Mar Caribe, clasificado como zona de humedales costeros. Los factores generadores de cambio de los ecosistemas pueden ser de dos tipos. El primer tipo son los factores naturales tales como fenómenos meteorológicos o geológicos que modifican de forma irreversible en el corto y mediano plazo las condiciones de estos ambientes. Estos factores pueden afectar la configuración de la línea de costa, las coberturas de vegetación y, en ocasiones, incluso los parámetros fisicoquímicos de las zonas de humedales. Entre ellos pueden incluirse de forma directa aquellos relacionados con el cambio climático global.

El segundo tipo de factores generadores de cambio está representado por los relacionados con los efectos de las actividades humanas sobre el ambiente. Los humedales son utilizados como fuente de

¹⁸ Protección Civil. **SIATCT**. Quintana Roo. 2010. Descargado en: <http://www.proteccioncivil.gob.mx>. Sep. 2010.

¹⁹ Dirección Estatal de Protección Civil. **Sistema de Alerta Temprana**. Quintana Roo. 2010. Descargado en: <http://proteccioncivil.qroo.gob.mx>. Sep. 2010.

²⁰ Existe un programa de computo llamado *Busca ciclones*, que permite consultar las trayectorias históricas de los Ciclones Tropicales para el Golfo de México y el Océano Pacífico: <http://atl.cenapred.unam.mx/metadataexplorer/datos/BuscaCT.zip>

insumos de materia y energía para generar bienes, como depósitos finales de los desechos de las actividades humanas, como medios de comunicación (puertos) y para el desarrollo turístico.

Estos factores pueden afectar los ecosistemas ya sea de forma directa, por ejemplo por la extracción de recursos, o indirecta, por ejemplo en la modificación de los flujos de agua lo que genera variaciones en la sedimentación.



Figura 16: Ejemplos de factores de cambio. Frente de playa después del huracán Wilma.
Por: A&D Asociados.

Boris Graizbord en su documento *Diagnóstico actual de la zona costera del Golfo de México*²¹ distingue tres tipos de factores humanos generadores de cambio en los humedales, que son aplicables a la zona:

Extracción de recursos

- Tala y deforestación.
- Uso de métodos de pesca destructivos, pesca artesanal o industrial no sustentable.
- Minería (bancos de material).
- Extracción y tráfico ilegal de especies.

Depósito de desechos

- Invasión intencional o accidental de especies exóticas.
- Eutrofización por exceso de aportes ricos en nitrógeno y fósforo.
- Contaminación por tóxicos y patógenos, hidrocarburos o desechos sólidos.
- Aguas residuales domésticas e industriales.
- Contaminación por ruido.

²¹ Graizbord, Boris. *Diagnóstico Actual de la zona costera del Golfo de México*. S/D. S/D. S/D. Descargado en: <http://www2.ine.gob.mx>. Sep. 2010.

Cambios en el uso de suelo (fragmentación o pérdida de hábitat)

- Desarrollo urbano.
- Desarrollo de infraestructura para acuicultura.
- Desarrollo portuario industrial, mercantil o turístico.
- Actividades agropecuarias.

En el documento *El Impacto de Wilma en Cancún y sus Alrededores*²² indica que el desarrollo turístico en la costa de Quintana Roo debe incorporar medidas de mitigación para reparar los daños causados por huracanes en estructuras existentes. Los daños a la playa causados por Wilma en 2005 son iguales y quizás mayores que los causados por el huracán Gilberto en 1988. Esto puede ser el resultado de que la edificación y el acercamiento de los edificios a la costa se ha cuadruplicado desde 1988, es decir, que la vulnerabilidad es mucho mayor ahora que entonces.

Gran parte del daño a las playas es el resultado de la proximidad de los edificios al agua y del sistema de muros de contención utilizados para poder construir tan cerca del agua. Los muros de contención son reflectores de la energía de las mareas y del oleaje. Dicha energía reflejada debilita la playa y constituye un continuo drenaje de la arena, lo cual hace a la playa más vulnerable al impacto de la marejada causado por un huracán.

Algunos investigadores sugieren crear una nueva duna ayudando a la naturaleza en dicho proceso, construir alguna estructura que amortigüe la energía de la marejada a la vez que preserve la viabilidad de la flora y faunas marinas, y quizás complementar dichas defensas con el fortalecimiento de puntos estratégicos a lo largo de la costa.

El reconstruir la playa usando los métodos ya utilizados anteriormente, como el bombeo de arena o el dragado y movimiento de tierras solo restaurará la playa a su condición anterior conjuntamente con los factores que contribuyeron a su vulnerabilidad.

El emplazamiento de los edificios es generador de múltiples de estos factores y la seguridad estructural no puede diferir de estos lineamientos.

Con esto podemos mencionar que por cuestiones de seguridad y protección a las edificaciones en cuanto a emplazamiento éstas deberán:

1. Ubicarse posteriores a la duna costera, conservando y/o restituyendo vegetación en las dunas para estabilizar y evitar la erosión de las mismas.
2. Respetar las zonas de humedales.

²² Álvarez, Ricardo A. *El Impacto de Wilma en Cancún y sus Alrededores*. s/d. s/d. s/d. Descargado en: <http://www.fiu.edu>. Sep. 2010.

6.5. Criterios para el Diseño Estructural

Para el diseño de estructuras los reglamentos y normas enumeran una serie de situaciones riesgosas cuantificables mediante una magnitud, y se asegura con un margen razonable, la respuesta máxima favorable de la estructura en cada situación. Ello establece enfoques con el objeto de conocer el verdadero coeficiente de seguridad de la estructura conociendo la carga límite o carga de rotura que conlleva al colapso de la estructura y el estado de sollicitaciones en ese instante.

Si bien los elementos estructurales no cumplen, por diversas causas, con las ecuaciones lineales en que se basa la *Teoría de la Elasticidad*, también es cierto que la experiencia y los ensayos nos indican que ésta puede utilizarse con aproximación dentro de ciertos rangos de cargas. Fuera de dichos límites y para cargas cercanas al colapso de la estructura, los estados de sollicitación de los elementos que la componen obedecen a leyes distintas que entran dentro del campo de la plasticidad o de la elasto-plasticidad. Basados en el *Método de Análisis Plástico*, los reglamentos han ido admitiendo en ciertos casos y en otros dan ciertas libertades al calculista, como por ejemplo la de rebajar a un porcentaje dado los momentos flectores en los apoyos intermedios de una viga continua de concreto armado.

Ante la posible inestabilidad de sistemas estructurales se deben hallar parámetros críticos adicionales que determinen si es posible una configuración o patrón de deformación dado para un sistema particular. Por lo general los fenómenos de pandeo o arrugamiento que se observan en miembros cargados ocurren más bien repentinamente. Por esta razón, muchas de las fallas estructurales por pandeo son espectaculares y muy peligrosas.

El estudio a la falla por rotura, deformaciones excesivas o pandeo o la existencia de un estado inadecuado puede ocurrir por varios motivos: deformaciones demasiado grandes, falta de estabilidad de los materiales, fisuras, pérdida del equilibrio estático por pandeo, abollamiento o vuelco, etc.

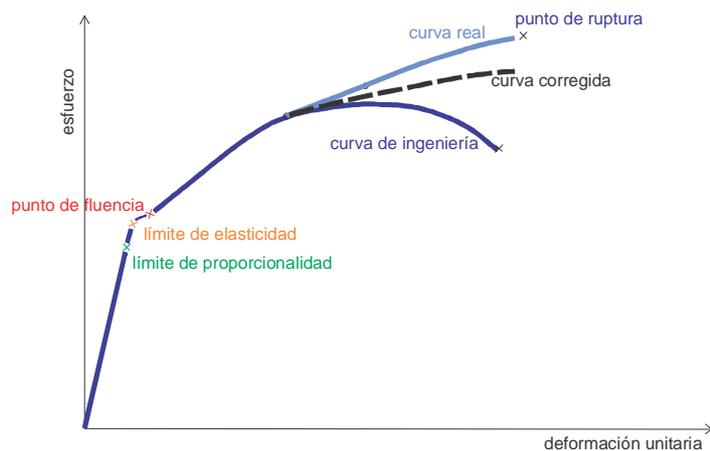


Figura 17: Diagrama esfuerzo-deformación.
Elaboró: A&D Asociados.

En el diseño de estructuras se deben tener en cuenta diversos factores para optimizar el diseño, cumpliendo con premisas de seguridad, funcionalidad, economía y diseño entre otras condiciones.

Factores a considerar para ello:

- Elección del tipo de estructura que satisfaga las condiciones requeridas en el proyecto arquitectónico.
- Evaluación de las cargas y acciones a que se la someterá.
- Cálculo de las solicitaciones de resistencia externas e internas.
- Dimensionamiento de los distintos elementos que componen la estructura.
- Verificación de las deformaciones.
- Evaluación del diseño elegido a fin de aceptarlo, corregirlo o cambiarlo.
- Análisis de costos para la ejecución y para el mantenimiento.
- Adecuada supervisión y calidad en los procesos constructivos y de materiales.

6.5.1. Estructuras recomendadas

En regiones vulnerables a la acción eventual o permanente de fuerzas debidas al viento, como lo es el caso del Caribe Mexicano, es de suma importancia que las estructuras sean resistentes y se comporten satisfactoriamente. No solo es un asunto de facilidad de cálculo y diseño, sino de certeza en el comportamiento adecuado de las estructuras. Algunas recomendaciones, que son compartidas con las que se hacen en regiones sísmicas, tienen que ver con el concepto inicial de un proyecto como son la forma, elementos no estructurales y materiales a utilizar.

6.5.1.1. Forma

Algunas reglas simples para la forma de una estructura que no requerirán un análisis dinámico detallado son:

- Estructura simple y simétrica en ambas direcciones evitando efectos de torsión,
- Estructura no demasiado alargada en planta o elevación,
- Tener resistencia distribuida uniformemente y continua con columnas y muros continuos y sin remetimientos, columnas y vigas coaxiales y anchos similares, sin cambios repentinos en los miembros principales y una estructura tan continua y monolítica como sea posible y evitando el llamado piso suave,

- Tener miembros horizontales en los cuales se formen articulaciones antes que en los miembros verticales que retrasen el colapso total de la estructura y
- Tener rigideces que tomen en consideración las propiedades del suelo.

La forma en planta de una estructura puede determinar la complejidad de su comportamiento ante fuerzas horizontales de viento en forma similar a los efectos que produce un sismo.

VISTA EN PLANTA		COMENTARIOS
HÁGASE	EVÍTESE	
		ideal por comportamiento y análisis
		buena simetría, análisis menos fácil
		téngase cuidado del comportamiento diferencial en los extremos opuestos de edificios largos
		mal por efectos asimétricos
		aunque simétricas, las alas largas implican problemas en la predicción del comportamiento
		torres de acceso que se proyectan problemas con análisis y detalle

*Figura 18: Reglas simples de distribuciones en planta de edificios.
 Elaboró: DJD²³.*

6.5.1.2. Materiales

Algunas veces la elección del material estructural será dictada por la disponibilidad, por consideraciones económicas o prácticas constructivas; sin embargo, los mejores materiales son los que tienen una alta ductilidad, alta relación resistencia/peso, homogeneidad, ortotropía y facilidades para hacer conexiones de resistencia plena. Listando los materiales de mejor a peor para un edificio de altura media tendríamos:

- Acero
- Concreto reforzado colado en sitio
- Concreto precolado de buena calidad
- Concreto presforzado, y
- Mampostería reforzada de buena calidad

²³ D.J. Dowrick. **Diseño de estructuras resistentes a sismos para ingenieros y arquitectos**. Limusa. México. 1984.

6.5.1.3. Elementos no estructurales

Al considerar la forma de una estructura es importante tener cuidado de algunos elementos que normalmente no son estructurales y que sin embargo llegan a ser muy importantes en la respuesta a fuerzas horizontales. Esto implica cualquier cosa que interfiera con las deformaciones libres de la estructura como los recubrimientos, muros o paredes de relleno perimetral y divisiones interiores. Cuando estos elementos están hechos de materiales no flexibles como concreto precolado, bloques o ladrillos pueden tener un efecto significativo en el comportamiento y seguridad de la estructura ya que pueden actuar como muros de cortante reduciendo el periodo natural de vibración de la estructura, redistribuyendo la rigidez lateral de la estructura, cambiando la distribución de esfuerzos o causando la falla prematura de la estructura por cortante o por golpeteo. Los fenómenos que generan cualquiera de los daños mencionados son muy comunes en el Caribe Mexicano, debido al tipo de suelo y a la vulnerabilidad frente a los efectos del viento, entre otras. Es muy importante notar que todos los elementos que pueden considerarse como no estructurales para un análisis por fuerzas normales como balcones, cancelería y fachadas, en el caso de diseño por viento, deben ser detallados en sus mecanismos de fijación.



*Figura 19: Elementos no estructurales. Cancelería exterior en buenas condiciones después del huracán Wilma
Por: A&D asociados.*



*Figura 20: Elementos no estructurales dañados por el huracán Wilma.
Por: A&D asociados.*

Dentro de este apartado podemos concluir que para cualquiera de estas recomendaciones es de suma importancia realizar una adecuada supervisión de ejecución y control de calidad de todos los materiales, pues la experiencia ha demostrado que aún teniendo materiales de buena calidad, si la ejecución/montaje es ineficiente, el comportamiento de los elementos será de igual forma ineficiente y viceversa.

6.6. Cimentaciones

6.6.1. Subsuelo en la Península de Yucatán

Existen tres grandes clasificaciones del subsuelo de la península de Yucatán dependiendo de su ubicación en el cordón litoral, la zona de manglares y la zona firme.

En el cordón litoral el subsuelo está formado por dunas cementadas sobre la que el viento ha acumulado una franja de arena compuesta por material de depósito areno limoso muy suelto con fragmentos de concha y materia orgánica con una profundidad de 0.5 y hasta 3.0 m desde la superficie; puede existir por debajo una capa de arcilla arenosa de mediana plasticidad, de consistencia blanda, con materia orgánica en un espesor medio de 2.0 m, alcanzando incluso los 4.0 m o un estrato de arena fina uniforme de bajo contenido de finos no plásticos, de espesor muy variable que va desde 1.0 a 6.5 m.



*Figura 21: Cordón Litoral.
Por: A&D asociados.*

En la zona de manglares el subsuelo está compuesto por depósitos sedimentarios que descansan sobre un horizonte de roca caliza, estos depósitos están constituidos por sedimentos arenosos y limosos encontrándose también suelo arcilloso y turba con casi nula capacidad de carga. La roca caliza se encuentra entre 3 y 10 m de profundidad.



*Figura 22: Manglar.
Por: A&D asociados.*

Hacia el continente está la zona firme donde el subsuelo está constituido por rocas calcáreas con una estructura secundaria muy desarrollada, representada en particular por cavidades y conductos de disolución. Existen depósitos de sedimentos blandos producto de la erosión vertical, confinados en cavidades y otras irregularidades como cavernas y coqueras. La dureza de las rocas es muy variable encontrándose desde muy blandas o sascabozas hasta duras. La capa de suelo vegetal es muy delgada y en muchas localidades prácticamente no existe. Las condiciones aparentemente uniformes desde el punto de vista geológico, no lo son para fines de cimentaciones, agravándose por la diversidad de espesores de la capa dura superficial y la distribución aleatoria de los distintos accidentes, aún en áreas pequeñas.



*Figura 23: Hundimiento repentino de techo de caverna no detectada por falta de estudio exploratorio.
Por: A&D asociados.*

La investigación del subsuelo del sitio mediante exploración de campo y pruebas de laboratorio deberá ser suficiente para definir de manera confiable los parámetros de diseño de la cimentación y la variación de los mismos en el predio. Además, deberá permitir obtener información suficiente sobre los aspectos siguientes:

- Si existen materiales sueltos superficiales, grietas, oquedades, cavernas o ríos subterráneos naturales y obtener la información para su apropiado tratamiento.
- La posibilidad de que el suelo natural esté constituido por depósitos de arena o por materiales finos con estructura inestable en presencia de agua o bajo carga.
- Evidencia de grietas limpias o rellenas con material de baja resistencia, que pudieran dar lugar a inestabilidad del suelo de cimentación, principalmente en laderas abruptas o la posibilidad de erosión diferencial en taludes o cortes debida a variaciones del grado de cementación de los materiales que los constituyen.
- La existencia de rellenos superficiales antiguos o recientes, variaciones fuertes de estratigrafía, y otros factores que podrían originar asentamientos diferenciales de importancia.
- Grietas en el terreno e irregularidades en el contacto entre las diversas formaciones así como variaciones importantes en el espesor de los suelos compresibles.

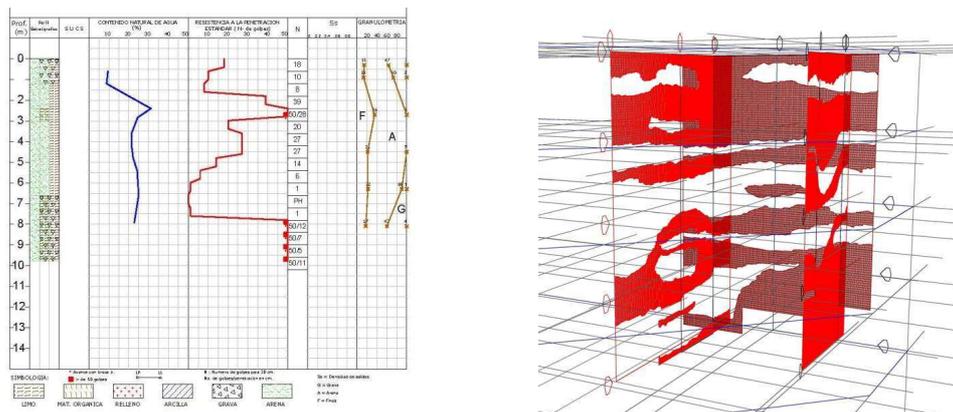


Figura 24: Reporte de Estudio de suelos.
 Elaboró: A&D asociados.

El número mínimo de exploraciones a realizar con pozos de cielo abierto o sondeos será de uno por cada 80 m o fracción del perímetro o envolvente de mínima extensión de la superficie cubierta por la construcción en litoral y de una por cada 120 m o fracción del perímetro en la zona firme.

La profundidad de las exploraciones dependerá del tipo de cimentación y de las condiciones del subsuelo pero no será inferior a dos metros bajo el nivel de desplante, salvo si se encuentra roca sana y libre de accidentes geológicos o irregularidades a profundidad menor. Los sondeos que se realicen con el propósito de explorar el espesor de los materiales compresibles deberán penetrar en el estrato incompresible.

Los sondeos a realizar pueden ser con recuperación continua de muestras alteradas mediante la prueba de penetración estándar o sondeos mixtos con recuperación de muestras. Ésta consiste en alguna de las siguientes alternativas: a) medir el número de golpes requeridos para lograr mediante impactos, cierta penetración de un muestreador estándar; b) medir la resistencia a la penetración de

un cono mecánico o eléctrico u otro dispositivo similar; c) medir la respuesta esfuerzo-deformación del suelo y la presión límite registradas al provocarse en el sondeo la expansión de una cavidad cilíndrica; o d) medir la resistencia al cortante del suelo o la velocidad de propagación de ondas en el suelo. Los sondeos se pueden realizar con equipo rotatorio y muestreador de barril, sondeos de percusión, sondeos de avance con equipo tricónico o sondeos con variables de perforación controladas.



*Figura 25: Estudio de suelos. Penetración estándar.
Por: A&D asociados.*

En el diseño de toda cimentación, se consideran los siguientes estados límite, además de los correspondientes a los miembros de la estructura:

a) *De falla*: como flotación, desplazamiento plástico local o general del suelo bajo la cimentación, y falla estructural de pilotes, pilas u otros elementos de la cimentación.

La revisión de la seguridad de una cimentación ante estados límite de falla consistirá en comparar para cada elemento de la cimentación y para ésta en su conjunto, la capacidad de carga del suelo con las acciones de diseño, afectando la capacidad de carga neta con un factor de resistencia y las acciones de diseño con sus respectivos factores de carga.

La capacidad de carga de los suelos de cimentación se calcula por métodos analíticos o empíricos suficientemente apoyados en evidencias experimentales o se determinarán con pruebas de carga. La capacidad de carga de la base de cualquier cimentación se calculará a partir de la resistencia media del suelo a lo largo de la superficie potencial de falla correspondiente al mecanismo más crítico.

En el cálculo se toma en cuenta la interacción entre las diferentes partes de la cimentación y las cimentaciones de edificaciones colindantes. Cuando en el subsuelo del sitio o de colindantes existan rellenos sueltos, galerías, grietas u otras oquedades, deberán tratarse apropiadamente o bien, considerarse en el análisis de estabilidad de la cimentación.

b) *De servicio*: los parámetros que se evalúan son el movimiento vertical medio, asentamiento o emersión de la cimentación con respecto al nivel del terreno circundante,

inclinación media de la construcción y deformación diferencial de la propia estructura y las estructuras colindantes.

En cada uno de los movimientos, se considera el componente inmediato bajo carga estática, el accidental y el diferido, por consolidación y la combinación de los tres. El valor esperado de cada uno de tales movimientos deberá garantizar que no se causarán daños intolerables a la propia cimentación, a la superestructura y sus instalaciones, a los elementos no estructurales y acabados, a las construcciones vecinas ni a los servicios públicos. Se presta gran atención a la compatibilidad a corto y largo plazo del tipo de cimentación seleccionado con el de las estructuras vecinas.

En las ciudades de Cancún y Playa del Carmen actualmente existen laboratorios acreditados para la realización de estudios de mecánica de suelos y evaluaciones necesarias en las estructuras, los cuales dictaminan el estado real de ellas y, de esta manera, tomar en cuenta las recomendaciones necesarias para el diseño, construcción y conservación de las mismas.

6.6.2. Tipo de Cimientos

La decisión de diseñar una cimentación superficial con zapatas aisladas o corridas de mampostería de piedra natural o de concreto armado, o una profunda con pilas coladas en sitio o pilotes prefabricados, está en función del subsuelo, su capacidad de carga y el proyecto que deberá estar soportado por ella.

Debido a la variabilidad de condiciones del mismo, para definir el diseño y construcción de la cimentación de un proyecto es recomendable investigar el tipo y las condiciones de cimentación de las construcciones colindantes: estabilidad, hundimientos, emersiones, agrietamientos del suelo y desplomes, así como la localización y las características de las obras subterráneas cercanas, existentes o proyectadas pertenecientes a la red de drenaje y a otros servicios públicos, con objeto de verificar que la construcción no cause daños a tales instalaciones ni sea afectada por ellas. Pueden existir casos de cimientos socavados por el oleaje y la marejada con posibles afectaciones a la estructura principal o a las losas de piso y muros.



*Figura 26: Inspección de predio y colindantes.
Por: A&D asociados.*

6.7. Acabados

6.7.1. Techos Principales de Tejas

Las cubiertas de teja de barro se colocarán sobre los techos de concreto reforzado. Las tejas se instalan utilizando una base de mortero de cemento para fijarlas químicamente a la losa de techo. Los daños por huracán que se presentan son debido a tejas desplazadas muy probablemente por la presión negativa (succión) del viento al superar la capacidad de adhesión del mortero a la teja. A consecuencia de dicha succión las tejas vuelan convirtiéndose en proyectiles propulsados por el viento, las cuales pueden dañar a las edificaciones contiguas dejando el mortero total o parcialmente adherido a la losa de techo. La cantidad de mortero a utilizar debe abarcar la superficie total de la teja.

La mayoría de los daños se inician en las esquinas del techo, probablemente con una teja siendo desplazada por el viento y esto a su vez permitiendo que el viento penetrase por abajo del borde de otras tejas provocando un *efecto de dominó* donde un daño lleva a otro. En algunos casos en techos de dos o más aguas se observa que una tiene daño total mientras la opuesta tiene pocos, como resultado típico del ángulo de ataque del viento.

Es probable que las afectaciones a los techos resulten también en daños indirectos o consecuenciales, tales como penetración de agua al interior de la vivienda o edificio (goteras) a través de fisuras o uniones en la losa de techo y quizás casos de moho en plafones, muros internos y acabados.



*Figura 27: Ejemplo de techos principales de tejas.
Después del huracán Wilma.
Por: A&D asociados.*

6.7.2. Techos Secundarios de Tejas

Sobre balcones o terrazas es común encontrar tejas ancladas a una estructura de madera acabada o artesanal, ancladas mecánicamente por medio de amarres de alambre de cobre o de acero galvanizado de calibre menor. Este tipo de instalación de tejas es incapaz de resistir la succión o empuje del viento y en consecuencia, sufren daños del 90% al 100%. Debe prestarse especial atención a los métodos de instalación de estos techos secundarios, pues aunque son en su casi

totalidad de carácter decorativo más que utilitario, el resultado es que las tejas desplazadas causan considerable daño a las edificaciones cercanas al convertirse en proyectiles propulsados por el viento.



*Figura 28: Ejemplo de techos secundarios de tejas.
Por: A&D asociados.*

6.7.3. Techos Planos

Salvo algunas raras excepciones la mayoría de los hoteles tienen techos planos consistentes de losas de concreto armado, impermeabilizadas por medio de pinturas u otros materiales aplicados a la superficie, o bien, con recubrimientos en capas hechos de materiales asfálticos o membranas elastoméricas.

En el caso de recubrimientos asfálticos o similares se observa que la fuerza de adhesión del recubrimiento de techo no es suficiente para contrarrestar la succión del viento huracanado. Como resultado, grandes superficies de material de recubrimiento son arrancados del techo dejando expuesta la losa de concreto.

6.7.4. Tragaluces

Las enormes pirámides translúcidas o transparentes (tragaluces) instaladas en techos, como cúspide de un ambiente interior abierto desde la planta baja hasta el techo con el propósito de permitir la iluminación natural son construidas utilizando láminas reticuladas de policarbonato o de material similar, ancladas a una estructura de acero. En algunos casos las láminas del tragaluz tienen un cable de acero pasando por el centro de cada una para aportar un método adicional de anclaje.

Estas estructuras tuvieron daños de un 90% a un 100% de su superficie, durante el huracán Wilma, que resultaron de la combinación de presiones negativas (succión) del viento muy fuertes, dada la altura sobre el suelo, con presiones positivas empujando sobre la superficie inferior del tragaluz debido a rompimientos en pisos inferiores, quizá el resultado de ventanas que fallaron por impacto de proyectiles o por presión del viento.

Las láminas translúcidas fueron arrancadas o fracturadas en pedazos con el resultado indirecto de la penetración de viento y agua al edificio causando daños a acabados, mobiliarios y decorados.

El uso de estos elementos arquitectónicos que da un toque dramático y espectacular a los ambientes interiores, constituyen un punto débil en la cubierta del edificio lo cual contribuye a incrementar su vulnerabilidad. Se recomienda darle prioridad a la investigación de métodos, materiales y criterios de diseño que permitan el uso de dichos elementos arquitectónicos al mismo tiempo que se mantiene la integridad de la cubierta del edificio para que pueda resistir las presiones resultantes de la velocidad del viento actuando sobre la misma.



*Figura 29: Ejemplos de tragaluz.
Por: A&D asociados.*

6.7.5. Techos de lámina Metálica

Muchas cubiertas de tipo industrial en bodegas o lugares de exhibición con estructura de acero y láminas metálicas fueron dañadas extensamente debido a que la capacidad de anclaje de la lámina metálica del techo fue superada por mucho, por la presión del viento durante huracanes. La normatividad en el municipio Benito Juárez y el Manual de Obras Civiles de la CFE, han sido modificadas para evitar este comportamiento²⁴. Cabe hacer resaltar que en la ausencia de estas disposiciones en algunos municipios no evita su observancia.

²⁴ Norma Técnica Complementaria de Diseño por Viento del Reglamento de Construcción para el municipio de Benito Juárez, Q. Roo. Para mayor información consultar en: <http://www.cancun.gob.mx/cancun/index.php>.



*Figura 30: Ejemplos de Techos de Lámina Metálica.
Por: A&D asociados.*

6.7.6. Techos Artesanales

Existen una gran cantidad de techos construidos de materiales como palmas, materiales pajizos, lona, material vinílico y otros que han sufrido considerables daños en eventos de huracán. Sin embargo, son muchos los casos de construcciones de este tipo que no sufren daño alguno.



*Figura 31: Ejemplos de Techos Artesanales.
Por: A&D asociados.*

6.7.7. Cubiertas

La actual tendencia arquitectónica de utilizar tenso-estructuras o lonarías debe entenderse solo para las de carácter provisional, que resistan empujes o succiones de viento normal y que en caso de contingencia por huracán sean rápidamente retiradas y resguardadas como parte de las acciones de prevención. Estas estructuras deben cumplir rigurosamente con los programas de mantenimiento y conservación anuales.

6.7.8. Muros de concreto o Mampostería

Los muros exteriores construidos de concreto o de mampostería reforzada solo sufren daños menores, principalmente cosméticos, tales como el deterioro de la pintura o del revoque debido a presión del viento o al impacto de proyectiles. En caso de muros muy largos o de gran altura el problema es la estabilidad en el sentido perpendicular a su plano. Son múltiples los casos de muros que caen sobre vehículos estacionados o propiedad ajena y que provocan daños económicos superiores al costo de reforzarlos y construirlos adecuadamente.

6.7.9. Vidrio

Se observan afectaciones considerables y severas en los elementos de vidrio utilizados en la cubierta de los edificios. Una causa común del nivel de daños es la ausencia total de medios de protección al vidrio de la cubierta contra el impacto de proyectiles. Otra causa generalizada resulta de la falta de refuerzo adecuado en la instalación de vidrio que fuese evaluable al aumento en cargas con la altura del edificio y la ubicación del vidrio con respecto a los cambios de dirección en la cubierta del edificio.

Cortina de vidrio recocido: un detalle bastante común consiste en láminas de vidrio recocido, instaladas directamente en canales cortados en la losa de concreto de piso y de techo, y lateralmente en las columnas cuando es el caso. Dichas cortinas de vidrio son arriostradas por láminas verticales del mismo vidrio, instaladas perpendicularmente al plano de la cortina exterior, y conectadas por angulares metálicos o por adhesivos. Dos principales causas de daño son: el impacto de proyectiles impulsados por los vientos en múltiples fragmentos, o por la instalación directa en el canal del piso y techo sin marco de refuerzo alguno, por lo que al recibir una vibración inducida por los ciclos de presión de viento que sobrepasan la capacidad del canal y el mortero de relleno, la lámina se fractura.

Cortina de vidrio templado: el método de instalación y las causas de daños son similares a las de vidrio recocido con la diferencia de que este tipo no se fractura en pequeños fragmentos sino en grandes trozos que se convierten en un gran riesgo para personas y la propiedad.

Puertas corredizas, ventanas y cortinas exteriores de vidrio y aluminio: este tipo de instalación es típico de las habitaciones y plantas bajas de edificios y hoteles, especialmente aquellas con balcón o terraza. Un defecto bastante común en este tipo de instalación, es la ausencia de anclajes adecuados para conectar el marco de aluminio a la estructura del edificio. La consecuencia de esto es que la presión del viento tanto positiva como negativa puede superar la capacidad del anclaje de los marcos de aluminio y esto lleva a su desplazamiento y a la rotura del vidrio o la total pérdida del vidrio por la succión del viento. En algunos casos los marcos de aluminio son anclados lateralmente a la estructura pero sin ningún otro anclaje en el marco superior o el inferior como consecuencia de una supervisión deficiente.

Una observación complementaria es que, ante el fenómeno de huracanes, la exposición de grandes claros de cancelerías de vidrio resultan frágiles y peligrosas, debido a que no ponen resistencia al viento representando un gran riesgo, por lo que se recomienda no excederse en la dimensión de ventanales, así como evitar su utilización como frontera ante viento directo.

En el mercado existen múltiples soluciones de anclaje y fijación que prometen ser anticiclónicas. La única garantía existe cuando el diseño, la fabricación, el montaje, la construcción, la instalación y el mantenimiento son realizados por profesionales.



*Figura 32: Ejemplo de Terrazas en hoteles.
Por: A&D asociados.*

6.7.10. Otros materiales

El uso de paneles de aluminio para formar parte de la cubierta del edificio anclados por medio de tornillos a una cuadrícula de angulares metálicos que a su vez está anclada a la estructura de concreto del edificio es incapaz de soportar las cargas aplicadas por la presión del viento. Como resultado la mayoría de los paneles de aluminio son arrancados del edificio.

La utilización de tabla-roca anclada a una estructura metálica con el objetivo de lograr formas arquitectónicas que resultan difíciles de construir y más costosas utilizando materiales más tradicionales no puede resistir las cargas ejercidas por la presión de los vientos y como resultado láminas completas de tabla-roca son arrancadas de la cubierta exterior de edificios.

Los materiales aislantes livianos o *sistema de acabado en base a material aislante de uso exterior* que es fácilmente manejable desde el punto de vista de cortes e instalación, y además puede recibir revoque o pintura, no tiene capacidad estructural o resistencia contra impactos. Los daños a la cubierta del edificio resultan catastróficos al interior y contenido del edificio. No es el tipo de material que pueda usarse en cubiertas en zona de huracanes.

6.8. Elementos Exteriores

6.8.1. Muros de Contención

Los muros de contención son duramente impactados por la presión hidrodinámica generada por una marejada que en algunos casos alcanza hasta seis metros de altura sin incluir el oleaje. Si se considera que un metro cúbico de agua salada pesa una tonelada métrica uno puede cuantificar las

enormes cargas dinámicas que son aplicadas a dichos muros. El resultado, en muchos casos, es la falla estructural del muro y su destrucción total o parcial lo que lleva a daños a la infraestructura construida detrás del muro tales como albercas, terrazas, etc. En muchos casos la marejada socava los cimientos de los muros y luego arrasa con la arena y otros materiales e instalaciones al retirarse. No existe una solución para estructuras asentadas sobre la duna frente a la fuerza de oleaje y marejada de tormenta.



*Figura 33: Ejemplo de desastre en construcciones sin muros de retención.
Por: A&D asociados.*

6.8.2. Albercas y Terrazas

Además de aquellas albercas y terrazas dañadas a consecuencia de fallas en el muro de contención, otras tantas son alcanzadas directamente por la marejada que deposita grandes cantidades de arena, rocas y otros desperdicios. Todo esto causa daños a las estructuras.



*Figura 34: Ejemplo de desastres en Albercas y Terrazas.
Por: A&D asociados.*

6.8.3. Balcones y Barandales

Muchos balcones y barandales, sobre todo en los pisos altos de los hoteles, sufren daños importantes como rotura del vidrio y herrajes de los barandales arrancados de sus anclajes bajo la presión del viento. El adecuado diseño evitará deflexiones y vibraciones indeseadas.



*Figura 35: Mirador en playa delfines sin daño por el paso del huracán Wilma.
Por: A&D asociados.*

6.8.4. Plafones exteriores

Las áreas externas protegidas por voladizos o techos externos en cuya parte inferior se instala un falso plafón utilizando materiales normalmente usados en áreas interiores de un edificio no soportan el embate del viento y la lluvia impulsada por el viento y han sido destruidos en su totalidad. Ejemplos de estos materiales son láminas de materiales muy livianos soportadas por una cuadrícula de elementos de aluminio colgadas de la estructura del edificio.



*Figura 36: Locales comerciales en Plaza las Avenidas habiendo utilizado plafón en su exterior.
Después del paso del huracán Wilma.
Por: A&D asociados.*

6.8.5. Equipos Instalados en techos

Se han observado extensos daños en equipos mecánicos, chimeneas, torres de comunicación, paneles de energía solar, tanques de agua, sistemas de enfriamiento, etcétera, instalados en techos. La causa primordial es la falla del anclaje principal, lo que permite que el equipo se desplace o sea totalmente arrancado de su sitio. En otros casos el anclaje principal soporta las cargas pero los anclajes secundarios fallan, como es el caso de paneles solares instalados sobre estructuras de acero ancladas al techo.

Las torres de comunicación para radio o telefonía celular consistentes en estructuras metálicas tubulares o angulares apoyadas sobre un punto, y mantenidas en sitio por medio de cables tensores, en ocasiones son incapaces de mantener la torre en su sitio bajo el empuje del viento y son derribadas.

6.8.6. Otros equipos instalados exteriormente

Equipos como evaporadores y condensadores de aire acondicionado, torres de enfriamiento y otros similares instalados exteriormente pero a nivel del suelo, pueden sufrir serios daños por el impacto del viento y de proyectiles. No solo pueden sufrir daños, sino se pueden convertir en un peligro para otros equipos o instalaciones. El resguardo y fijación de todo elemento es indispensable ante una contingencia.



*Figura 37: Ejemplo de equipo instalado en exterior después del paso del huracán Wilma.
Por: A&D asociados.*

6.8.7. Estacionamientos al aire libre

Los espacios destinados a estacionamiento al aire libre pueden sufrir daños como erosión del pavimento, socavación y desnivelación a consecuencia de la marejada y la inundación resultante de las lluvias extremas.

6.8.8. Iluminación exterior y mástiles

Gran cantidad de postes de iluminación, torres de transmisión de energía eléctrica, torres y cableado para señales de tránsito, mástiles de varios tipos, señalamientos de calles y otros similares sufren serios daños bajo el impacto del viento y de proyectiles. El adecuado diseño, instalación y mantenimiento evitará problemas.

6.8.9. Jardinería

Muchas palmeras y árboles son arrancados de raíz y muchos más sufren pérdida de ramas y follaje. Los programas de poda preventiva han dado muy buenos resultados ya que los daños indirectos pueden llevar a la destrucción de banquetas y pavimento o daños a los cables eléctricos y telefónicos, lo que a su vez resulta en daños consecuenciales como la interrupción de comunicaciones o de la distribución de energía eléctrica.

El inadecuado diseño de jardinería puede llegar a representar un problema de operación y mantenimiento de estructuras. Existen ciertos tipos de plantas no recomendadas en la zona por diversas razones: a) plantas exóticas que crecen rápidamente y compiten con las especies nativas; b) las plantas con follaje caducifolia que su caída puede generar problemas de encharcamiento o acumulación de agua en azoteas; c) las especies que tienen raíces superficiales masivas y muy extendidas que ocasionan desperfectos; d) las que tienen un sistema radical muy superficial que puede ocasionar que el árbol caiga con vientos muy fuertes.



*Figura 38: Ejemplo de plantas no recomendables para jardinería urbana.
Por: RG.*

6.9. Interiores de Edificios

Los interiores de los edificios pueden dañarse a consecuencia de aberturas en techo, cubiertas, ventanas o fachadas causadas por el impacto de proyectiles propulsados por el viento, por la marejada u objetos flotantes propulsados por la corriente. Los huecos generados por estos impactos

permiten que el viento, la lluvia y el agua penetren al interior causando gran cantidad de daño en instalaciones, mobiliario y decorado.

6.9.1. Muros

Los muros interiores no estructurales y divisorios de tabla-roca o material similar pueden dañarse por la presión del viento que los arranca o fractura, o por la penetración de lluvia o la marejada. La tabla-roca mojada pierde la poca integridad estructural que posee. Se recomienda construirlos de concreto o mampostería si no se garantiza su protección contra viento y lluvia.

6.9.2. Plafones

Los cielos o falsos plafones contruidos de láminas aislantes soportadas por una estructura metálica liviana colgada de la losa de techo sufren daños considerables bajo la presión del viento y el impacto de la lluvia después de que existe penetración de la cubierta del edificio.

6.9.3. Pisos

En general los pisos de cerámica de mármol u otros materiales de acabado similares no sufren daño por el impacto del viento o del agua. Los pisos alfombrados y de madera sufren daños severos principalmente a consecuencia del agua de lluvia o la marejada que penetra los edificios. Las alfombras dañadas por humedad que no pueden ser secadas inmediatamente resultan siempre en pérdida total.

6.9.4. Instalaciones Mecánicas y Otras

La infraestructura de aire acondicionado y ventilación de un edificio siempre resulta dañada debido a la presión del viento dentro de éste, a raíz de la penetración a la cubierta.

6.10. Recomendaciones y beneficios

Un tema importante y de actualidad es el cambio climático y sus repercusiones a corto plazo. De acuerdo a las conclusiones del *Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC²⁵)*:

Se tiene una alta probabilidad de que haya un aumento de sucesos meteorológicos extremos, tales como olas de calor, mayores precipitaciones que dan lugar a inundaciones, temperaturas extremas.

²⁵ IPCC. *Climate Change 2007: the AR4 Synthesis Report. Intergovernmental Panel on Climate Change. Descargado en: <http://www.ipcc.ch>. Sep.2010.*

También es probable que haya un aumento en algunas zonas en las intensidades de viento máximo y precipitación de los ciclones tropicales²⁶.

Tras la temporada de huracanes 2005, señalaron que las afectaciones a las actividades turísticas de Cancún debidas a fenómenos meteorológicos han ocasionado daños materiales en cientos de hoteles, miles de cuartos afectados, miles de millones de dólares dejados de percibir por la retirada de los vacacionistas y el descenso de la demanda de servicios turísticos, además de la erosión de playas y de daños en los ecosistemas que visita el turismo, como la selva y el arrecife (Prieto González, et al: 2006).

En función de ello, emitieron las siguientes recomendaciones con objeto de mantener de forma sostenible la actividad turística de Cancún:

- Implementar un reglamento de construcciones adecuado: los elementos no estructurales (recubrimientos) son muy frágiles ante vientos fuertes.
- Diseñar o rediseñar los hoteles y construcciones cercanas al Mar Caribe considerando la posibilidad de llegada de los efectos combinados entre la marea de tormenta y el oleaje por huracanes extremos (altura de ola del orden de 14 m).
- Superar las deficiencias en los procedimientos específicos para la operación de todos los sistemas en caso de huracanes.
- Coordinar mejor las acciones de emergencia entre las instituciones y los hoteles.
- Reducir la vulnerabilidad de las vías de acceso: carreteras, caminos y aeropuerto.
- Establecer un centro dedicado a la administración de emergencias, lo suficientemente equipado y resistente.
- Establecer un sistema que oriente la toma de decisiones y acciones, más que una simple información puntual o local.
- Asegurar el abasto apropiado de alimentos, útiles y herramientas posteriormente a cualquier contingencia.
- El flujo de información debe de ser realista y objetiva, antes, durante y después de cualquier contingencia meteorológica.
- Incrementar la seguridad integral de los turistas y la población.

Algunas de estas indicaciones ya han sido implementadas en los municipios de Benito Juárez y Solidaridad. Sin embargo, grupos de profesionales, constructores, operadores e inversionistas deberán vigilar su continuidad.

²⁶ Prieto González, Ricardo; Pérez López, José Luis; Sánchez Sesma, Jorge. **Análisis de posibles impactos del cambio climático. Estudio de caso preliminar.** SEMARNAT. Cancún.2006. Descargado en: <http://www.ine.gob.mx>. Sep.2010.

En relación al diseño estructural, es necesario considerar desde la fase conceptual inicial todos los aspectos ambientales y meteorológicos que impactan en el comportamiento de las estructuras para que su diseño, construcción, puesta en marcha y mantenimiento sean adecuados y no representen un costo excesivo o no previsto. La disponibilidad de materiales, mano de obra calificada, humedad ambiental y una alta probabilidad de impacto de huracán son consideraciones obligadas de un proyecto arquitectónico y su diseño estructural en la zona.

La actividad del diseñador estructural debe iniciarse desde las primeras fases del proyecto arquitectónico ya que deberá dar recomendaciones que incidan en las decisiones acerca del emplazamiento del edificio y espacios exteriores, así como de elementos no estructurales para minimizar los riesgos y la vulnerabilidad.

La importancia de las especificaciones de seguridad estructural es evidente, pero también lo es la supervisión de su cumplimiento al pie de la letra, ya que esto tiene dos implicaciones: la seguridad de edificios y personas y la validación de la cobertura por parte de las aseguradoras. Esto último significa que si al revisar el edificio después del evento meteorológico este no cumple con las especificaciones declaradas en proyecto, la póliza no tiene validez, afectando a los inversionistas.

Recomendaciones	Beneficios
1. Exigir que el proyecto estructural realice la determinación de cargas, el análisis de esfuerzos y el dimensionamiento de estructuras acorde a la normatividad local con estructuras simples, simétricas, y con una adecuada distribución de resistencias.	1. Contar con un proyecto ejecutivo confiable y adecuado para su construcción y operación.
2. Realizar un estudio de mecánica de suelos para conocer la capacidad de carga del terreno y los accidentes topográficos y del subsuelo como cavernas, coqueas o ríos subterráneos.	2. Ubicar adecuadamente las edificaciones (sembrado de edificios); diseñar y construir la estructura de cimentación adecuada.
3. Definir el emplazamiento de edificios respetando la franja costera y considerando una eventual inundación en las inmediaciones y el fuerte oleaje que se presentará en el frente de playa.	3. Cuidar esencialmente la inversión de recursos en un inmueble que cumplirá con otorgar un servicio durante el plazo previsto disminuyendo la vulnerabilidad
4. Nunca minimizar la probabilidad de enfrentar un disturbio tropical ya que se presentarán al menos uno o dos huracanes categorías 4 y 5 durante la vida útil del Proyecto.	4. Estar siempre preparados con programas de protección civil para obreros, empleados y huéspedes.

<p>5. Contar con instalaciones que provean seguridad durante y después de un huracán con un diseño por desempeño que considere las medidas para mitigar el riesgo de alterar las líneas vitales y que no se convierta en un problema para el entorno.</p> <p>6. Considerar dentro del proyecto una zona que se pueda certificar como autorefugio.</p> <p>7. Correcta fijación y supervisión de los anclajes en elementos no estructurales.</p>	<p>5. No se requerirán inversiones adicionales para adecuar el inmueble en caso de emergencia.</p> <p>6. No se requerirán grandes inversiones o instalaciones adicionales para ello.</p> <p>7. Garantiza seguridad evitando la creación de proyectiles y minimizando los gastos de reparación.</p>
--	--

Glosario de Siglas

ASK.- Amigos de Sian Ka'an (Créditos de elaboración)

CIC.- Colegio de Ingenieros Civiles.

CENAM.- Centro Nacional de Meteorología.

CENAPRED.- Centro Nacional de Desastre.

CGPM.- Conferencia General de Pesos y Medidas.

CFE.-Comisión Federal de Electricidad.

DJD.- D.J. Dowrick (Créditos de elaboración)

HMTS.- Héctor M. Toledo Sánchez (Créditos de elaboración)

IPCC.- Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático.

Km/hr.-Kilómetros por hora.

LF.- Ley de Fraccionamientos.

LFMN.- Ley Federal sobre Metrología y Normalización.

LM.- Ley de Municipios.

m/s.- Metros por Segundo.

NHC.- National Hurricane Center

NTIHSE.- Normas Técnicas de Instalaciones Hidráulicas, Sanitarias y Electromecánicas.

NTC.-Normas Técnicas Complementarias.

OLB.-Oscar López Bátiz (Créditos de elaboración).

PCBJ.- Protección Civil Benito Juárez.

RC.- Reglamento de Construcción.

RG.- Reyna Gil (Créditos de elaboración).

SGUM.- Sistema General de Unidades de Medida.

SMIE.- Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural.

SMIS.- Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica.

SI.-Sistema Internacional de Medidas.

SMN.-Sistema de Meteorología Nacional.

SIATCT.-Sistema de Alerta Temprana para Ciclones Tropicales