



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

INSTITUTO DE INGENIERÍA

**DISEÑO Y ANÁLISIS ECONÓMICO DE UNA ESTRUCTURA
SOMETIDA A LOS EFECTOS DEL VIENTO**

T E S I S

QUE PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE:

INGENIERO CIVIL

P R E S E N T A:

MARICELA FUENTES VILLEDA

TUTOR:

**DR. ROBERTO GÓMEZ MARTÍNEZ
INSTITUTO DE INGENIERÍA**



MÉXICO, D.F.

2014



DIVISIÓN DE INGENIERÍAS CIVIL Y GEOMÁTICA
COMITÉ DE TITULACIÓN
FING/DICyG/SEAC/UTIT/118/2014

Señorita
MARICELA FUENTES VILLEDA
Presente

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor DR. ROBERTO GOMEZ MARTINEZ que aprobó este Comité, para que lo desarrolle usted conforme a la opción I. "Titulación mediante tesis o tesina y examen profesional", para obtener su título en INGENIERIA CIVIL

"DISEÑO Y ANÁLISIS ECONÓMICO DE UNA ESTRUCTURA SOMETIDA A LOS EFECTOS DEL VIENTO. "

INTRODUCCIÓN

- I. ANTECEDENTES
- II. CONSIDERACIONES GENERALES EN EL DISEÑO DE ESTRUCTURAS SENSIBLES AL VIENTO
- III. CÁLCULO DE LAS FUERZAS DE VIENTO EN ESTRUCTURAS PRISMÁTICAS
- IV. ANÁLISIS DE RESULTADOS
- V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES
- BIBLIOGRAFÍA

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el Título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional

Atentamente

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPÍRITU"

Cd. Universitaria a 5 de Agosto de 2014

EL PRESIDENTE DEL COMITÉ

M. EN I. JOSÉ LUIS TRIGOS SUÁREZ

TS/MTH

Agradecimientos

A mi mama, por todo el apoyo que me ha brindado en este proceso y en mi vida, por el aprendizaje que cada día me ha dado y por enseñarme a ser fuerte y luchar para ser una mejor persona, que con su gran amor me da la fortaleza para superar los momentos difíciles de la vida gracias ma.

A mi papá que con su esfuerzo hizo posible que pudiera llegar a este paso, que me ha enseñado que en la vida hay sacrificios y cada logro es una meta cumplida en la vida, a ese hombre que siempre estará ahí apoyando.

A Melvin por su apoyo en este proceso, porque siempre estuvo ahí en los momentos más difíciles y también en los mejores, gracias porque sin tu apoyo este logro hubiera sido un poco más difícil, simplemente gracias por simplemente estar ahí, te amo.

A mi hermano Güero por su apoyo y por estar ahí cuando lo necesito.

A mis tíos, tías, primos y primas por su gran apoyo y enseñanzas pero sobre todo a mi tío Paulino por sus grandes enseñanzas, cariño y apoyo en este corto camino que llevo.

A mis amigos de la facultad Albert, Nicasio, Barragán y Karen por su gran apoyo en este ciclo de mi vida.

A mi gran amigo Roger que siempre estuvo ahí apoyándome y escuchándome en los momentos difíciles y también en los agradables, por su grandes consejos que siempre llevo.

A mis amigos de la infancia y de CCH, Jaime, Eder, Ara, Lupis y Ulises por su compañía en todos estos años y apoyo.

A mis grandes profesores que con sus grandes enseñanzas y aprendizajes.

A M.I. Isaac y al Dr. Gómez que sin su gran apoyo este trabajo no hubiera sido posible.

A la UNAM quien me dio mucho a cambio de muy poco.

¡Gracias!

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1 ANTECEDENTES	3
1.1. CONCEPTOS BÁSICOS.....	3
1.1.1. Generación de huracanes.....	3
1.2. CARACTERÍSTICAS DE LOS HURACANES EN MÉXICO	7
1.3. TIPOS DE ESTRUCTURAS SENSIBLES AL VIENTO	10
1.4. TIPOS DE DAÑOS DEBIDO AL IMPACTO DEL VIENTO PRODUCIDO POR HURACANES	13
1.4.1. En elementos estructurales	13
1.4.2. En elementos no estructurales	14
1.5. COSTOS EN LA CONSTRUCCIÓN	16
1.5.1. Metodologías para obtener los costos de las estructuras	16
1.5.2. Índice de costos	17
CAPÍTULO 2 CONSIDERACIONES GENERALES EN EL DISEÑO DE ESTRUCTURAS SENSIBLES AL VIENTO.....	19
2.1. CAPA LÍMITE ATMOSFÉRICA	19
2.2. ACCIONES DEL VIENTO CONSIDERADAS EN EL DISEÑO.....	20
2.2.1. Empujes medios	20
2.2.2. Vibraciones generadas por ráfagas turbulentas en la dirección del viento.....	20
2.2.3. Vibraciones transversales al flujo y torsión	20
2.2.4. Inestabilidad aerodinámica.....	20
2.3. CARACTERÍSTICAS DE LA INCIDENCIA DEL VIENTO EN EDIFICIOS	20
2.3.1. Cargas producidas por el viento en edificios.....	21
2.4. CARGAS ESTÁTICAS EN EDIFICIOS.....	21
2.5. COMPORTAMIENTO DE EDIFICIOS DEBIDO A LOS EFECTOS DINÁMICOS	21
2.5.1. Efectos dinámicos	22
2.5.1.1. Desprendimiento de torbellinos.....	22
2.5.1.2. Galope inducido por una estela	23
2.5.1.3. Bataneo.....	23

2.6. REGLAMENTOS DE DISEÑO POR VIENTO.....	23
2.7. REGLAMENTO DE CONSTRUCCIÓN DEL DISTRITO FEDERAL (RCDF 2004) Y LAS NORMAS TÉCNICAS COMPLEMENTARIAS PARA DISEÑO POR VIENTO (NTCDV 2004).....	24
2.7.1. Análisis estático.....	24
2.7.2. Análisis dinámico.....	25
2.8. MANUAL DE DISEÑO DE OBRAS CIVILES DE LA COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD, DISEÑO POR VIENTO (MDOC-DV, 2008).....	26
2.8.1. Análisis estático.....	26
2.8.2. Análisis dinámico.....	26
2.8.3. Comentarios generales sobre el NTCDV (2004) y el MDOC-DV (2008).....	27
2.9. CÁLCULO DE COSTOS EN FORMA PARAMÉTRICA	28
2.9.1. Ejemplo de costos por metro cuadrado para hoteles	28
CAPÍTULO 3 CÁLCULO DE LAS FUERZAS DE VIENTO EN ESTRUCTURAS PRISMÁTICAS	30
3.1. CARACTERÍSTICAS DEL MODELO.....	30
3.1.1. Localización	30
3.1.2. Dimensiones generales.....	30
3.1.3. Características estructurales	30
3.1.4. Características de los elementos no estructurales.....	30
3.2. ANÁLISIS ESTÁTICO	32
3.2.1. Clasificación de la estructura según su importancia.....	32
3.2.2. Clasificación de la estructura según su respuesta ante la acción del viento	33
3.2.3. Cálculo de la velocidad básica de diseño (<i>VD</i>).....	33
3.2.4. Cálculo de la presión dinámica de base, <i>qz</i>	37
3.2.5. Cálculo de la presión actuante sobre la estructura, <i>pz</i>	38
3.2.6. Fuerzas sobre construcciones cerradas.....	38
3.2.7. Presiones exteriores.....	39
3.2.8. Presiones interiores	40
3.3. ANÁLISIS DINÁMICO	40
3.3.1. Cálculo de la velocidad media, <i>V'D</i>	40
3.3.2. Cálculo del factor de amplificación dinámica, <i>FAD</i>	41
3.4. CÁLCULO DEL COSTO DEL EDIFICIO	47

3.5. CÁLCULO DE LA VULNERABILIDAD DE LA ESTRUCTURA	47
CAPÍTULO 4 ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	48
4.1. CARACTERÍSTICAS DEL MODELO.....	48
4.2. ANÁLISIS ESTÁTICO	48
4.2.1. Clasificación de la estructura	48
4.2.2. Cálculo de la velocidad básica de diseño (<i>VD</i>).....	48
4.2.3. Cálculo de la presión dinámica de base, <i>qz</i>	49
4.3. CÁLCULO DE LA PRESIÓN ACTUANTE SOBRE LA ESTRUCTURA, <i>pz</i>	49
4.3.1. Presiones exteriores.....	49
4.3.2. Presiones interiores	49
4.4. ANÁLISIS DINÁMICO	50
4.4.1. Cálculo de la velocidad media, <i>V'D</i>	50
4.4.2. Cálculo del factor de amplificación dinámica, <i>FAD</i>	50
4.3.3. Revisión de la permeabilidad	55
4.3.4. Revisión de las condiciones de servicio	56
4.3.5. Cálculo del costo total	56
4.6. CÁLCULO DEL PORCENTAJE DE PÉRDIDAS	58
CAPÍTULO 5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	61
5.1. CONCLUSIONES	61
5.2. RECOMENDACIONES	62
REFERENCIAS.....	63

INTRODUCCIÓN

Uno de los principales fenómenos naturales que afecta la economía de nuestro país son los ciclones tropicales (Huracanes), los cuales afectan a las Costas del Pacífico y las del Golfo de México. Estos huracanes ocasionan a su paso una pérdida considerable de vidas humanas, daños materiales así como interrupción de servicios esenciales. Sin embargo, muchas de estas pérdidas son debidas a que los proyectos cada vez consideran edificios más altos, esbeltos, con formas irregulares, lo que ha provocado que se lleve al límite la resistencia de los materiales, lo que ha llevado a la ingeniería a realizar un estudio más detallado del diseño de las edificaciones ante efectos del viento.

En la actualidad contamos con varios reglamentos como el de la Comisión Federal de Electricidad, las Normas técnicas complementarias del Reglamento del D.F., etc., en los cuales se incluye el diseño que se debe llevar a cabo para obtener una mayor seguridad en nuestras edificaciones.

En este trabajo se presenta el diseño de una edificación utilizando diferentes velocidades regionales, además de calcular el costo total y el porcentaje de pérdidas económicas, para finalmente obtener una ecuación con la cual se puede estimar el costo de una estructura, respecto a una velocidad regional.

En el capítulo 1 se presentan los antecedentes necesarios para el desarrollo de este trabajo, como es la generación de los huracanes, la clasificación de las estructuras de acuerdo al Manual de Diseño de Obras Civiles, Diseño por Viento (MDOC-DV 2008) de la Comisión Federal de Electricidad.

En el capítulo 2, se presentan las consideraciones necesarias para el diseño de estructuras sensibles al viento, así como el método que se utilizará para el cálculo del costo total de la estructura.

El diseño y análisis se explica a detalle en el capítulo 3, en el cual también se incluyen datos de la edificación así como la descripción de la estructura.

Los resultados de nuestro análisis se presentan en el capítulo 4 en el cual se hace una comparación.

Finalmente en el capítulo 5 se presentan las conclusiones y recomendaciones que surgen a partir del análisis y estudio del presente trabajo.

CAPÍTULO 1 ANTECEDENTES

1.1. CONCEPTOS BÁSICOS

1.1.1. Generación de huracanes

El huracán es un fenómeno meteorológico conocido como ciclón tropical, es un sistema de baja presión con una temperatura más alta en el centro que a su alrededor, con actividad lluviosa y eléctrica, que produce fuertes vientos en forma de espiral los cuales rotan anti horariamente en el Hemisferio Norte y en sentido horario en el Hemisferio Sur.

Los ciclones tropicales son como motores que usan aire cálido y húmedo como combustible. El aire se eleva desde la superficie de los océanos, por lo que provoca un área de menor presión de aire: el aire con mayor presión de las áreas circundantes llena el área de baja presión. Luego este nuevo aire se torna cálido y húmedo y también se eleva. En la medida que el aire cálido continua subiendo, el aire circundante gira para ocupar su lugar, como se puede observar en la figura 1.1 [<http://spaceplace.nasa.gov>].

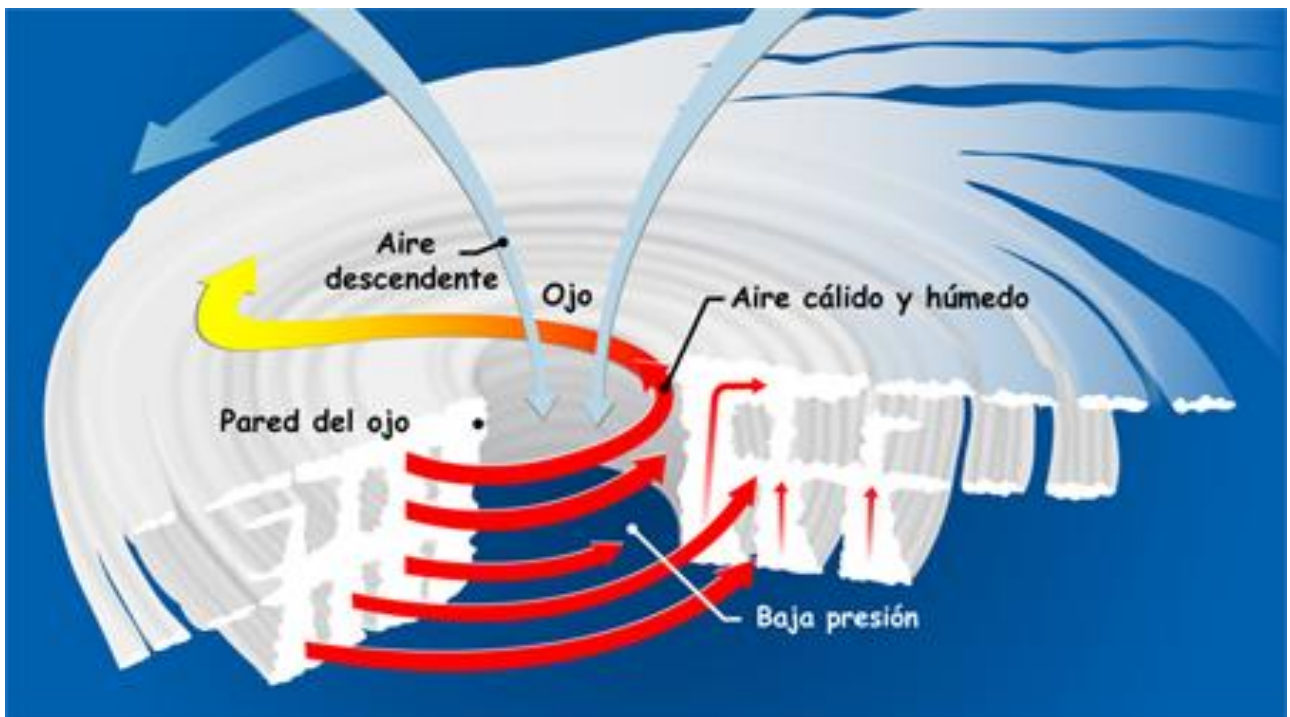


Figura 1.1. Formación de un ciclón tropical

En la figura 1.1 se observa gráficamente la formación de un ciclón tropical, las flechas rojas pequeñas muestran el aire cálido y húmedo que sube desde la superficie del océano y forma bandas de nubes alrededor del ojo. Las flechas azules muestran cómo el aire frío y seco baja hacia el ojo entre las bandas de nubes. Las flechas rojas grandes muestran la rotación de las bandas de nubes que se elevan

Los ciclones llamados depresiones tropicales tienen vientos menores o iguales a 62 km/h, cuando los vientos han alcanzado una velocidad de 63 a 117 km/h se llama tormenta tropical, y si éste ya excede los 118 km/h, la tormenta tropical se convierte en huracán.

Los ciclones tropicales se forman en aguas del trópico, las ondas tropicales se forman cada tres o cuatro días sobre las agua del océano atlántico cerca de la línea ecuatorial, también pueden formarse de frentes fríos y en algunas ocasiones a partir de un centro de baja presión en los niveles de la atmósfera.

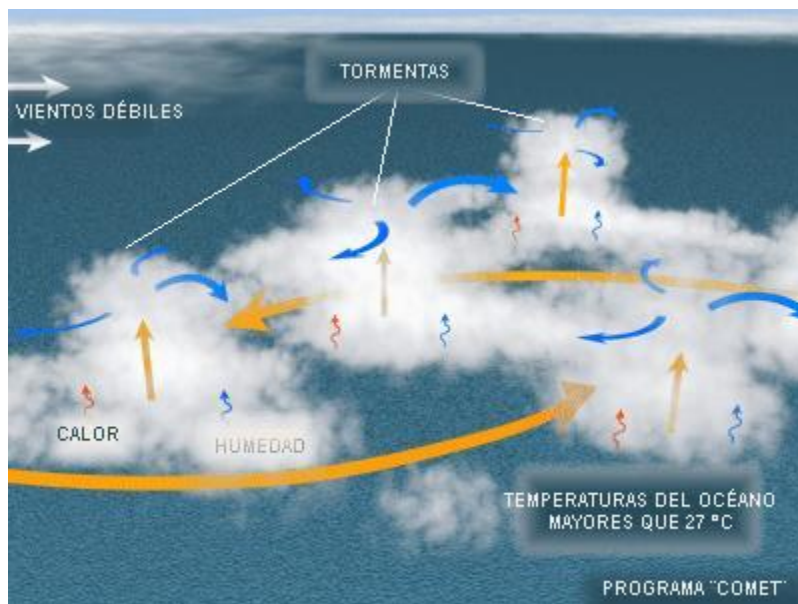


Figura 1.2. Condiciones para la formación de un huracán

Observamos en la figura 1.2 [<http://www.jmarcano.com>] que existen tres factores que predominan para la generación de un huracán, estos son: las tormentas, la temperatura del océano mayor a 27 °C y vientos que no cambien de dirección y velocidad.

Las principales partes de un huracán son las bandas nubosas en forma de espiral alrededor de su centro, el ojo que es una zona con bastante calma, poca nubosidad y aproximadamente con un diámetro de 30 a 65 km, y la pared del ojo que está compuesta de nubes densas, en esta región se localizan los vientos más intensos. En la figura 1.3 [http://www.jmarcano.com], se muestra la estructura de un huracán.

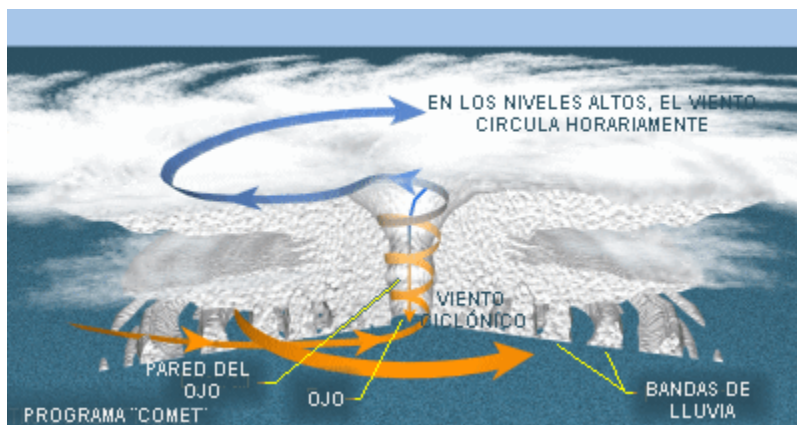


Figura 1.3. Estructura de un huracán

Existe una escala, la cual define y clasifica la categoría de un huracán, llamada Saffir – Simpson. La categoría se da en función de la velocidad del viento como se muestra en la tabla 1.1 [http://www.jmarcano.com]. La velocidad no se encuentra relacionada con los daños que ocasiona.

Tabla 1.1 Escala Saffir – (Simpson)

Categoría No.	Intervalo de velocidades de los vientos (km/h)
1	119-153
2	154-177
3	178-209
4	210-250
5	Mayor a 250

La formación de huracanes se da en 6 regiones o cuencas, como son la cuenca del Atlántico, el Noroeste de la cuenca del Pacífico, el Norte del Océano Índico, Suroeste del Océano Índico, el Suroeste de la cuenca indo/australiana y la cuenca australiana/suroeste del Pacífico.

El nombre del huracán varía de acuerdo al lugar donde se desarrolle. Se le llama ciclón si se forma en la Bahía de Bengala y en el Océano Índico norte, Tifón si se forma en el oeste del océano Índico (Japón, Corea, China, etc.), y Willy-Willy en Australia.

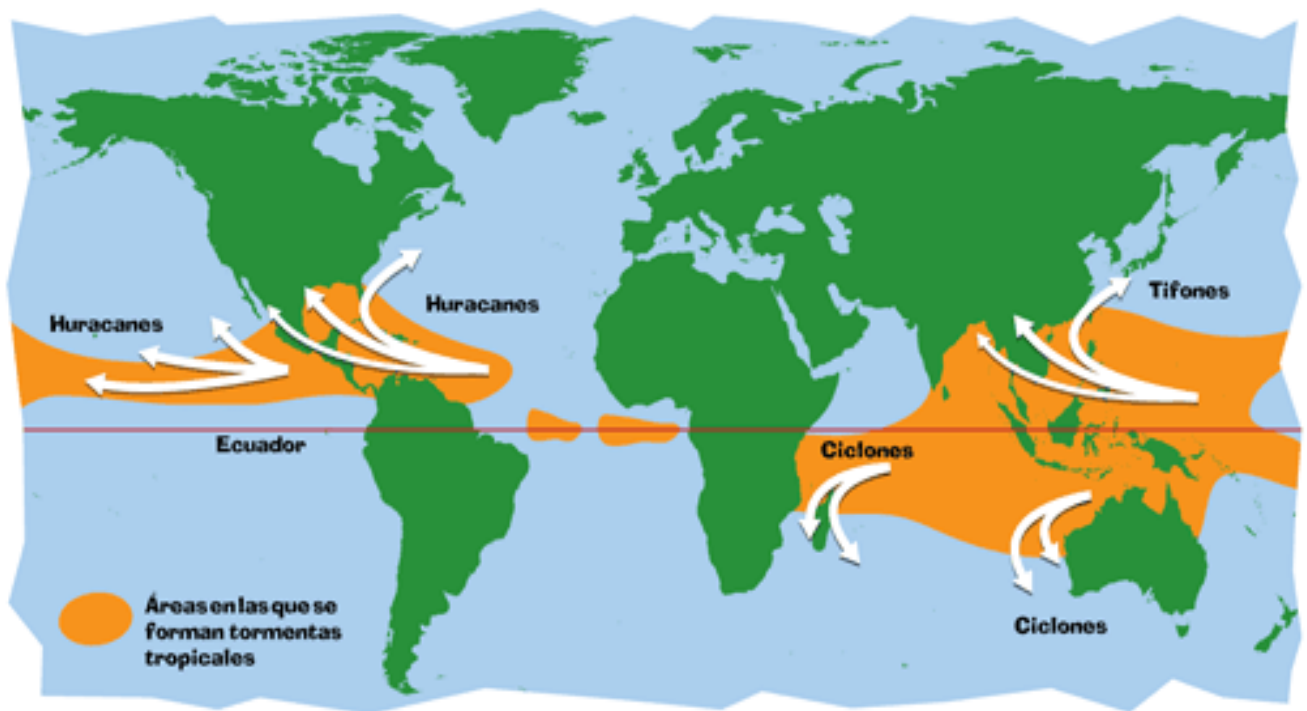


Figura 1.4. Las áreas en naranja indican las zonas en las que pueden formarse los huracanes alrededor del mundo

La temporada de huracanes es un patrón generalmente constante. En la cuenca del Atlántico comienza el 1 de junio y termina el 30 de noviembre, debido al calentamiento del agua durante el verano. La cuenca del Atlántico comprende el Mar Caribe, el Golfo de México y el Océano Atlántico; conforme avanza el verano los huracanes se producen al norte del caribe y se desplazan hacia al oeste, en la figura 1.4 se muestran las zonas donde generalmente se da la formación de huracanes.

1.2. CARACTERÍSTICAS DE LOS HURACANES EN MÉXICO

México se ha visto afectado a lo largo de su historia por diferentes categorías de huracanes. Dependiendo de la velocidad del viento existen 4 regiones de generación de huracanes:

La primera, se ubica en el Golfo de Tehuantepec, ésta se activa generalmente durante los últimos días de mayo, los huracanes que se generan en esta época tienden a viajar hacia el Oeste alejándose de México. Existe otra época de generación que ocurre del mes de julio en adelante, en este caso los huracanes describen una parábola paralela a la costa del pacífico y a veces llegan a penetrar en tierra.

La segunda, se localiza en el sur del Golfo de México, en la denominada “Sonda de Campeche”. La época de huracanes en esta zona ocurre a partir de junio teniendo una ruta norte, noroeste, afectando a los estados de Veracruz y Tamaulipas.

La tercera, se encuentra en la zona oriente del mar Caribe, sus huracanes aparecen desde el mes de julio, y con una mayor ocurrencia entre los meses de agosto y octubre. Estos huracanes son los que presentan más intensidad y un mayor recorrido, afectando frecuentemente a Yucatán, y a Florida en los Estados Unidos de América.

La cuarta de las regiones se encuentra en la región oriental del Atlántico y se activa principalmente en el mes de agosto. Los huracanes de esta zona son los de mayor recorrido y potencia, estos se dirigen generalmente al Oeste penetrando en el Mar Caribe, Yucatán, Tamaulipas y Veracruz como se muestra en la figura 1.5.

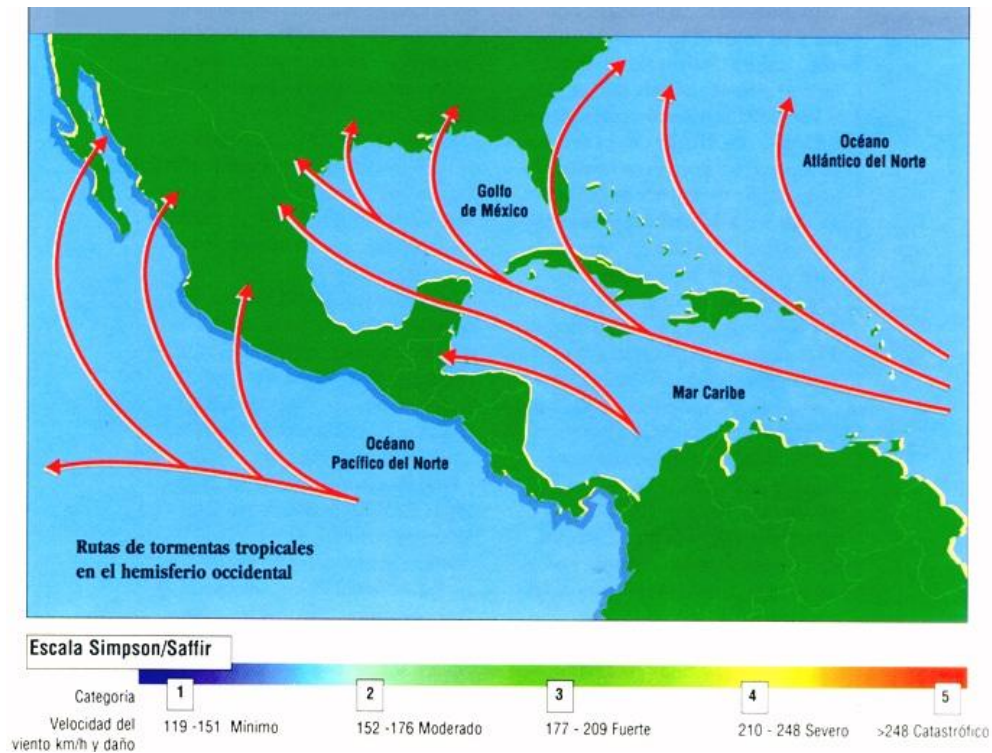


Figura 1.5. Rutas de tormentas tropicales en el hemisferio occidental que afectan a México



Figura 1.6. Trayectoria de un huracán en el mes de junio

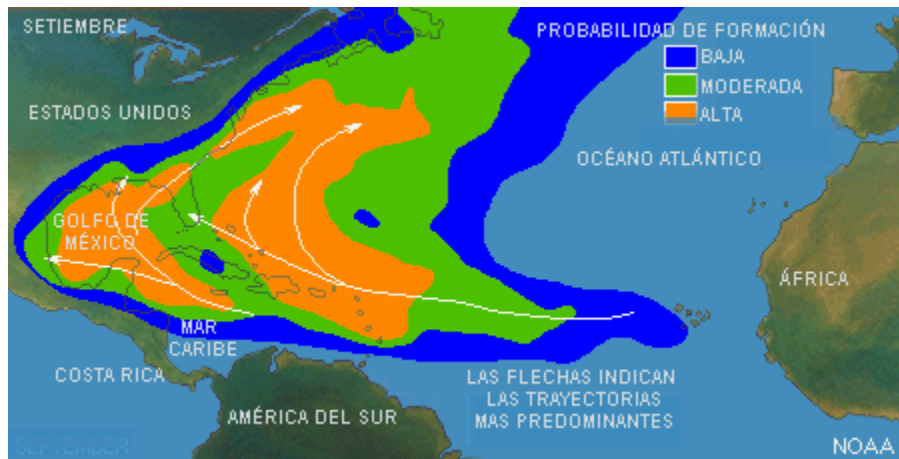


Figura 1.7. Trayectoria de un huracán en el mes de septiembre



Figura 1.8. Trayectoria de un huracán en el mes de noviembre

En la figuras 1.6, 1.7 y 1.8 [<http://www.jmarcano.com>] se muestra la atenuación de un huracán mientras el calor del verano va disminuyendo.

Las regiones mencionadas son las afectadas en nuestro país por lo que el estudio para hacer el análisis y el diseño se centrará en las zonas vulnerables. En particular, este estudio se realizará en la ciudad de Cancún, Quintana Roo, donde se han presentado un número considerable de estos fenómenos. Uno muy representativo y reciente fue el huracán Wilma que tocó las costas mexicanas en el mes de octubre del 2005. Este evento como muchos otros dejó devastadoras pérdidas económicas y humanas.

1.3. TIPOS DE ESTRUCTURAS SENSIBLES AL VIENTO

Se han establecido niveles de importancia en las estructuras para que la seguridad necesaria de estas cumpla con las funciones para las que se destine. Actualmente estos niveles se asignan a velocidades de diseño correspondientes a periodos de retorno constantes.

De acuerdo en el Manual de Diseño de Obras Civiles, Diseño por Viento (MDOC-DV 2008) de la Comisión Federal de Electricidad, en el capítulo de “Criterios para diseño por viento” el nivel de importancia de las estructuras se clasifica en los siguientes grupos:

Grupo A

Estas estructuras requieren un grado de seguridad elevado, se incluyen en este grupo aquéllas cuya falla cause pérdida de un número importante de vidas, o daños materiales, económicos o culturales excepcionalmente altos. También incluye aquellas construcciones o depósitos cuya falla implique un peligro significativo por almacenar o contener sustancias tóxicas o inflamables, así como aquéllas cuyo funcionamiento es imprescindible y debe continuar aún después de vientos fuertes y finalmente aquéllas estructuras que cuando fallan impidan la operación de plantas termoeléctricas, hidroeléctricas y nucleares. Algunos ejemplos de este tipo de estructuras son: áreas de reunión con capacidad mayor que doscientas personas como son salas de espectáculos, auditorios, museos, estadios, hospitales, estaciones de bombeo, de rescate, etc. En la figura 1.9 se muestra un hospital el cual es una estructura que si llegara a fallar causaría un número importante de pérdidas humanas.

Grupo B

Se clasifican en este grupo aquéllas estructuras que requieren un grado de seguridad moderado. Aquellas que, al fallar generan baja pérdida de vidas humanas y ocasionan daños materiales de una magnitud intermedia; aquellas cuya falla pueden poner en peligro a estructuras de este grupo o del anterior; así también las estructuras que forman parte de plantas generadoras de energía y que al fallar no paralizarían el funcionamiento de la planta. Ejemplos de este grupo son: plantas industriales, subestaciones eléctricas de menor importancia que las del grupo A, gasolineras, restaurantes, casas habitación, edificios de

departamentos, hoteles. En la figura 1.10 se muestra un hotel con dimensiones considerables. En el caso de que se presenten daños, no representaría un impacto socio económico de gran magnitud.

Grupo C

Son estructuras para las que se recomienda un grado de seguridad bajo, cuya falla no implica graves consecuencias, ni causa daños a construcciones de los grupos A y B. Este grupo abarca estructuras con vida útil menor que tres meses.

Otra clasificación importante de las estructuras es la que depende del comportamiento de estas a los efectos dinámicos del viento. Se clasifican en 4 tipos;

Tipo 1

Son estructuras poco sensibles a las ráfagas y a los efectos dinámicos del viento. En este tipo se encuentran aquellas en las que la relación de esbeltez, λ , (definida esta como la relación entre la altura y la menor dimensión en planta), es menor o igual que cinco y con un periodo natural de vibración del primer modo, menor o igual a un segundo.

Dentro de esta clasificación se consideran la mayoría de los edificios para habitación u oficinas, bodegas, naves industriales, teatros y auditorios, puentes cortos.

Tipo 2

Son estructuras muy sensibles a la turbulencia del viento y tienen periodos naturales que favorecen la ocurrencia de oscilaciones importantes, debido a su alta relación de esbeltez o las dimensiones reducidas de su sección transversal. Se incluyen los edificios con relación de esbeltez, λ , mayor que cinco o con un periodo fundamental mayor que un segundo. Ejemplo de este tipo son las torres de celosía atirantadas, chimeneas, tanques elevados, antenas, parapetos, anuncios.

Tipo 3

Éstas presentan todas las características del Tipo 2 y además, presentan oscilaciones importantes transversales al flujo del viento al aparecer vórtices o remolinos periódicos que interactúan con la estructura. Se incluyen las construcciones y elementos aproximadamente cilíndricos o prismáticos esbeltos, tales como chimeneas, tuberías exteriores o elevadas, arbotantes para iluminación y postes de distribución.

Tipo 4

Éstas presentan problemas aerodinámicos inestables por su forma y dimensiones o por su magnitud de sus periodos de vibración (periodos naturales mayores que un segundo). Entre ellas se hallan las formas aerodinámicas inestables, como son los cables de las líneas de transmisión, cuya sección transversal se ve modificada de manera desfavorable en zonas sometidas a heladas, las tuberías colgantes y las antenas parabólicas. En la figura 1.11 se muestra una antena parabólica la cual por su forma y sistema de soporte genera problemas aerodinámicos. Estos requisitos son aplicables al análisis y diseño de estructuras sometidas a la acción del viento y deberán considerarse como los mínimos recomendados.



Figura 1.9 Estructura del Grupo A



Figura 1.10 Estructura del Grupo B



Figura 1.11. Estructura del Tipo 4

1.4. TIPOS DE DAÑOS DEBIDO AL IMPACTO DEL VIENTO PRODUCIDO POR HURACANES

El paso de un huracán por alguna región deja considerables daños en las actividades económicas, agrícolas y turísticas, así como importantes pérdidas humanas. En particular, en las edificaciones los huracanes dejan daños estructurales y no estructurales, los cuales requieren de un análisis detallado con la intención de minimizar los costos de reparación.

1.4.1. En elementos estructurales

Los daños estructurales van desde la alteración del estado límite de servicio hasta llegar al estado límite de falla; suelen presentarse colapsos en estructuras con techumbres ligeras, como pueden ser casas de madera, e incluso en naves industriales fabricadas con estructura metálica, como se muestra en la figura 1.12 (Mosqueda y Porter, 2007).



Figura 1.12. Daños estructurales causados por el huracán Katrina

1.4.2. En elementos no estructurales

Los elementos no estructurales, son los que presentan una mayor cantidad de daños, ya que la zona turística de nuestro país, está conformada por edificaciones en su mayoría con fachadas con ventanas amplias. Estos daños se presentan en vidrios, puertas y cubiertas; en general en los elementos de fachada. Una vez que se presenta el daño, se genera una pérdida total de los contenidos, como se muestra en la figura 1.13 (Mosqueda y Porter, 2007), se muestran los daños debido al paso del huracán Katrina, en donde podemos observar el desprendimiento de muros de fachada, así como la pérdida de los recubrimientos en las columnas.



Figura 1.13 Daños causados por el huracán Katrina



Figura 1.14 Daños no estructurales provocados por el huracán Katrina

En la figura 1.14 se observa el daño en los contenidos, entre los que podemos encontrar, el desprendimiento de lámparas, pérdida total de mobiliario, en general en todos los elementos no estructurales.

1.5. COSTOS EN LA CONSTRUCCIÓN

1.5.1. Metodologías para obtener los costos de las estructuras

Otro aspecto muy importante generado por la intensidad y presencia de un huracán son las pérdidas económicas de la región, ya que un gran porcentaje de éstas las generan los daños a las edificaciones por lo que es necesario tener un conocimiento general de la metodología para obtener el costo e inversión de un proyecto y dimensionarlo de acuerdo con las normas.

El análisis del costo de una construcción es muy importante desde el inicio del proyecto hasta el final. Al principio de este sólo se tiene información conceptual por lo que sólo se elaboran ante-presupuestos o costos preliminares de obra. Conforme avanza el proyecto y se tiene más información el proceso de evaluación se va perfeccionando. Una vez que ya se cuenta con el proyecto ejecutivo se emplean métodos de estimación de costos más detallados como son:

- a) Los estimados de orden de magnitud, también conocidos como preliminares, son requeridos en términos generales como una “idea” para empezar un acercamiento con los financieros, ubicar a inversionistas, proveer información de arranque al cliente o propietario para tomar una decisión de proseguir o no con el proyecto. Este tipo de estimación es muy rápida a veces, ya que se lleva a cabo en minutos, por lo cual es muy baja su confiabilidad.
- b) Métodos de estimación paramétricos. Como su nombre lo indica el costo se parametriza en metros cuadrados de construcción. Para el caso de edificaciones, este se obtiene sin tener un proyecto detallado, basta tener una idea de la superficie por construir; tiene un nivel de confiabilidad moderado.
- c) Método de estimación por componentes. Este consiste en manejar fases constructivas completas como son la cimentación, la estructura, acabados interiores, instalaciones hidrosanitarias, etc. Éstos pueden ser medidos como lotes, metro cuadrado de desplante, metro cuadrado de construcción, etc. Sin embargo, este

método es muy poco usado, ya que es rígido en ciertos aspectos y no tomaría en cuenta cambios que surgieran con el avance del proyecto.

Aunque los métodos antes mencionados pueden ayudar a obtener una aproximación del costo, existen dos métodos que tienen una mayor precisión: el método de los ensambles (Varela, 2009), y el de precios unitarios, los cuales se describen a continuación:

El método de ensambles consiste en manejar piezas constructivas completas. Este procedimiento es bueno para hacer estimados rápidos, aproximados y confiables, no tan detallados como los precios unitarios. Un ejemplo de este método es el caso de losas-trabes, en donde se conjuntan cimbra, refuerzo y concreto y se cuantifican por metro cuadrado cubierto, a diferencia del procedimiento de costo unitarios en donde se maneja la cimbra en losas y cimbra en trabes, y el acero con sus diferentes dimensiones para losa y trabes.

En el párrafo anterior se empezó a hablar del método más utilizado que es de los precios unitarios. Para aplicar esta metodología es necesario contar con el proyecto ejecutivo completo o casi completo, además de planos, especificaciones y una cuantificación confiable. Cuando el proyecto tiene un mayor porcentaje de avance en la definición y detalle, se podrá precisar el catálogo de conceptos y sus cantidades de obra.

Después de revisar la metodología de costos podemos observar que el análisis de costos es un factor importante en el proceso de la construcción de cualquier infraestructura.

1.5.2. Índice de costos

En la mayoría de los presupuestos el analista tiene el compromiso de emplear el menor tiempo posible, por lo que llega a basar su estimación en presupuestos similares. Para estos casos se utilizan factores de transformación, sin embargo, también se puede utilizar los costos índice y costos paramétricos, entre otros.

Los costos índice son utilizados para actualizar costos de obra cuando los precios han perdido su valor debido a factores relacionados principalmente con la inflación. En nuestro país la actualización de costos se reconoce en la obra pública mediante una cláusula de

ajuste de costos que establece la Ley de Obras Públicas. Estos índices son publicados periódicamente por organismos oficiales o privados.

Las herramientas para obtener los costos son muy variadas y todas aceptables. En este trabajo sólo se utiliza la actualización del precio con costos índice y también, si se da el caso, se podrían utilizar los factores para transformar el costo de un inmueble cotizado en la ciudad de México, a cualquier otra ciudad. Estos factores de transformación se calculan promediando los resultados de dividir presupuestos iguales cotizados en cada una de las ciudades de referencia entre el obtenido en la ciudad de México. Algunos de estos ejemplos se muestran en la tabla 1.2. (BIMSA , 2007).

Tabla 1.2. Factores para transformación de costos FTC

Ciudad	Estado	Índice
Acapulco	Guerrero	1.036
Campeche	Campeche	0.987
Cancún	Quintana Roo	1.112
La Paz	Baja California Sur	1.177
Oaxaca	Oaxaca	0.92
Mazatlán	Sinaloa	1.056
Veracruz	Veracruz	0.939
Villahermosa	Tabasco	1.004

CAPÍTULO 2 CONSIDERACIONES GENERALES EN EL DISEÑO DE ESTRUCTURAS SENSIBLES AL VIENTO

2.1. CAPA LÍMITE ATMOSFÉRICA

La capa límite es aquella zona donde predomina la mezcla turbulenta de aire cercana a la superficie de la tierra. El espesor de esta capa varía constantemente, dependiendo de la rugosidad del suelo, de la topografía y de la intensidad del viento. Durante el día, el aporte de calor y la mezcla de aire incrementan el grosor de la capa límite, lo contrario pasa en la noche.

En la figura 2.1 (<http://www.meteorologiaenred.com>) se muestra la estructura vertical de la capa límite. Observamos que existen tres diferentes capas: la capa rugosa, la cual depende de los elementos rugosos y el intercambio de materia y energía entre la superficie y el aire; la capa superficial, la cual se ve afecta por la naturaleza de la superficie; y finalmente la capa Ekman en la que se manifiesta con mayor energía la fuerza de Coriolis sobre el viento.

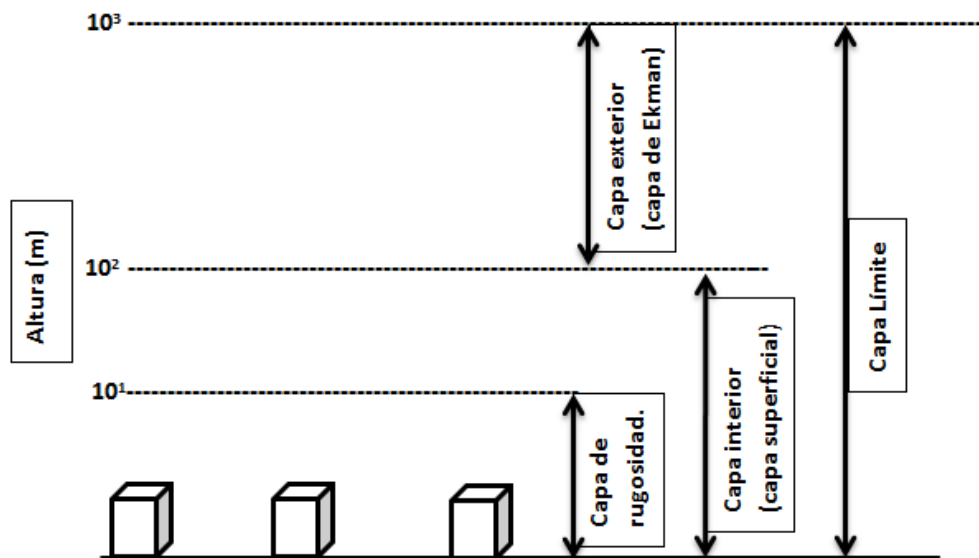


Figura 2.1 Estructura vertical de la Capa límite.

2.2. ACCIONES DEL VIENTO CONSIDERADAS EN EL DISEÑO

2.2.1. Empujes medios

Son causados por presiones y succiones del flujo medio del viento, pueden ser tanto interiores como exteriores, pueden generar presiones globales y locales, y se consideran como empujes que actúan de manera estática debido a que no varían con el tiempo.

2.2.2. Vibraciones generadas por ráfagas turbulentas en la dirección del viento

Estas acciones también son conocidas como empujes dinámicos en la dirección del viento, esto es porque son generadas por fuerzas paralelas al flujo medio, causadas por la turbulencia del viento, cuya fluctuación en el tiempo influye de manera importante en la respuesta estructural.

2.2.3. Vibraciones transversales al flujo y torsión

La presencia de cuerpos dentro del flujo del viento, particularmente si estos son cilíndricos o prismáticos, generan el desprendimiento de vórtices alternantes los que a su vez provocan fuerzas y vibraciones transversales a la dirección del flujo. Por otra parte, la posible distribución asimétrica de presiones puede causar fuerzas de torsión sobre las estructuras.

2.2.4. Inestabilidad aerodinámica

Esta acción se genera por la amplitud dinámica de la respuesta estructural causada por los efectos combinados de la geometría de la construcción, los distintos ángulos de incidencia del viento, las propiedades dinámicas y el cambio de amortiguamiento aerodinámico.

2.3. CARACTERÍSTICAS DE LA INCIDENCIA DEL VIENTO EN EDIFICIOS

La respuesta de las estructuras ante la acción del viento es cada vez más importante, ya que los diseñadores utilizan los materiales hasta el límite de su capacidad, con lo que obtienen estructuras más esbeltas, ligeras, altas y flexibles, lo que ocasiona que sean propensas a los efectos del viento.

2.3.1. Cargas producidas por el viento en edificios

Las cargas que produce el viento sobre las edificaciones, son en general cargas fluctuantes no estáticas, esto debido a la turbulencia de la corriente incidente.

El viento genera fuerzas y momentos sobre las edificaciones. Al interactuar con la edificación, el viento condiciona y distribuye el flujo de aire tanto en el interior como en el exterior de la edificación. Al incidir el viento sobre la edificación, genera sobre los elementos de ésta, áreas de succión o de sobrepresión, esto debido a la modificación del campo fluido.

2.4. CARGAS ESTÁTICAS EN EDIFICIOS

Como se mencionó en el inciso anterior del presente trabajo, las cargas generadas por el viento no son estáticas, aun cuando la corriente incidente es estacionaria y uniforme las reacciones que provoca en los obstáculos son fluctuantes.

Sin embargo, en la práctica se ha propuesto que el diseño de estructuras que cumplan con algunas características como son: que su relación de esbeltez, λ (definida como la relación entre la altura y la menor dimensión en planta), sea menor o igual que cinco y que su periodo natural de vibración del primer modo, sea menor o igual que un segundo, sean diseñadas solo estáticamente. Esto debido a que son estructuras poco sensibles a las ráfagas y a los efectos dinámicos del viento.

2.5. COMPORTAMIENTO DE EDIFICIOS DEBIDO A LOS EFECTOS DINÁMICOS

La turbulencia del flujo es una fuente de cargas dependientes del tiempo, las que pueden ser también causadas por las fluctuaciones del flujo inducidas por el propio cuerpo.

2.5.1. Efectos dinámicos

Uno de los efectos más relevantes relacionado con las cargas de viento, es su impacto en los fenómenos de fatiga de los materiales, sin embargo, no basta sólo con revisar la resistencia estructural, también hay que revisar la estructura ante los efectos que tengan consecuencias sobre la funcionalidad de la misma.

2.5.1.1. Desprendimiento de torbellinos

La incidencia de la corriente del viento sobre un objeto sensible a las fuerzas del viento, genera el desprendimiento alternado y periódico de torbellinos, la denominada calle de torbellinos de Von Karman. El desprendimiento de estos torbellinos genera fuerzas laterales periódicas, perpendiculares a la dirección del viento.

La figura 2.2 (<http://www.fogonazos.es/>) muestra 10 vórtices de Von Karman, estos fueron ocasionados cuando el viento encontró como obstáculo la isla Jan Mayen.



Figura 2.2 Vórtices en la isla de Jan Mayen (Noruega)

2.5.1.2. Galope inducido por una estela

Este efecto es generado por la estela que deja una estructura detrás de la otra. Cuando existe en la zona un grupo de estructuras a determinada distancia, la distancia entre ellas es un parámetro importante en el diseño.

2.5.1.3. Bataneo

Existen dos tipos de bataneo: el primero de ellos es el generado por la turbulencia de la corriente incidente, el cual provoca incomodidad en los usuarios, pero no necesariamente el colapso de la estructura. El segundo es provocado por la estela de otro obstáculo situado corriente arriba del obstáculo.

2.6. REGLAMENTOS DE DISEÑO POR VIENTO

Las disposiciones normativas en México acerca de los efectos del viento en obras civiles se han ido desarrollando con el tiempo y modificado, sin embargo, no se ha determinado una normativa a nivel nacional. En la actualidad existen dos importantes publicaciones que son la base del desarrollo del análisis de las estructuras.

Una de ellas es el Manual de Diseño de Obras Civiles, Diseño por Viento MDOC-DV (2008) de la Comisión Federal de Electricidad (CFE), el cual se puede utilizar en todos los estados del país; la otra es la normativa, para el Distrito Federal llamada: NTCDV (2004). Estas dos publicaciones son una referencia importante para el diseño por viento en nuestro país. En este trabajo se utiliza para el análisis el MDOC-DV (2008).

2.7. REGLAMENTO DE CONSTRUCCIÓN DEL DISTRITO FEDERAL (RCDF 2004) Y LAS NORMAS TÉCNICAS COMPLEMENTARIAS PARA DISEÑO POR VIENTO (NTCDV 2004)

2.7.1. Análisis estático

En las NTCDV (2004) se indica que se deberá revisar la seguridad de la estructura ante el efecto de las fuerzas de presión (succión o empujes) del viento. Así también, se tienen que considerar las acciones estática y dinámica.

Para el diseño, las normas consideran los siguientes efectos: empujes y succiones estáticas, fuerzas dinámicas paralelas y transversales, así como vibraciones transversales al flujo causadas por vórtices alternantes e inestabilidad aeroelástica. En este trabajo caso sólo nos interesan los dos primeros efectos.

Para el diseño estático las NTCDV (2004) emplean las siguientes ecuaciones;

Presión dinámica de base:

Presión que ejerce el flujo del viento sobre una construcción tomando en cuenta su forma. Se calcula con la siguiente expresión:

$$P_z = 0.048C_pV_D^2 \quad [2.1]$$

donde:

P_z es la presión dinámica de base.

C_p es el coeficiente local de presión que depende de la forma de la estructura.

V_D es la velocidad de diseño a la altura z , que se obtiene con la siguiente expresión.

$$V_D = F_{TR}F_\alpha V_R \quad [2.2]$$

donde:

F_{TR} es el factor correctivo que toma en cuenta las condiciones locales relativas a la topografía y a la rugosidad del terreno en los alrededores del sitio de desplante.

F_{α} es el factor que toma en cuenta la variación de la velocidad con la altura.

V_R es la velocidad regional según la zona que le corresponde al sitio en donde se construirá la estructura.

2.7.2. Análisis dinámico

En construcciones pertenecientes al tipo 2, las cuales cuentan con un periodo fundamental mayor que un segundo y con una relación de esbeltez, λ , mayor que cinco, los efectos debidos a la turbulencia se tomarán en cuenta multiplicando la presión de diseño por un factor de amplificación dinámica determinado con la siguiente expresión:

$$G = 0.43 + g \sqrt{\frac{R}{C_e} \left(B + \frac{SF}{\beta} \right)} \geq 1 \quad [2.3]$$

donde:

G es el factor de amplificación dinámica.

g es el factor de respuesta máxima.

R es el factor de rugosidad.

B es el factor de excitación de fondo.

S es el factor reductivo por tamaño.

β es la fracción del amortiguamiento crítico, igual a 0.01 en estructuras de acero y 0.02 en estructuras de concreto.

F es la relación de energía en ráfaga

C_e es el factor correctivo por exposición.

2.8. MANUAL DE DISEÑO DE OBRAS CIVILES DE LA COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD, DISEÑO POR VIENTO (MDOC-DV, 2008)

2.8.1. Análisis estático

Presión dinámica de base. De acuerdo con el MDOC-DV (2008) ésta es la presión que ejerce un flujo de viento sobre una superficie plana perpendicular a él.

La diferencia entre estos dos reglamentos al calcular la presión de diseño radica en que el MDOC-DV (2008), calcula con la temperatura ambiental y la presión barométrica, de acuerdo al lugar donde se encuentre la estructura; a diferencia de la NTCDV (2004), la que sólo utiliza un coeficiente de presión el cual depende de la forma de la estructura, la temperatura está implícita en el coeficiente de la expresión

2.8.2. Análisis dinámico

En el MDOC-DV (2008) el factor de amplificación dinámica (F_{AD}) proporciona la fuerza máxima producida por los efectos de la turbulencia del viento y las características dinámicas de la estructura.

Este análisis sólo podrá emplearse si se cumplen las siguientes condiciones: la respuesta máxima en la dirección del viento está dada únicamente por la contribución del modo fundamental de vibrar, el cual tendrá signo constante. Por lo tanto, la contribución de los modos de vibrar superiores se consideran despreciables.

En la tabla 2.1 se muestran los diferentes coeficientes de presión local que manejan las dos normativas.

Tabla 2.1 Coeficiente C_p para construcciones cerradas

Reglamento	NTC (2004)	MDOC-DV (2008)
Pared de barlovento	0.8	0.8
Pared de sotavento	-0.4	-0.2 -0.75 ⁽¹⁾
Paredes laterales	-0.8	-0.2 -0.65 ⁽²⁾
Techos planos	-0.8	(3)
Techos inclinados lado de sotavento	-0.7	(3)
Techos inclinados lado de barlovento	-0.8<0.04-1.6<1.8	(3)

1 Varía en función a la relación ancho largo de la base de la estructura y al ángulo de inclinación.

2 Varía en función de la distancia horizontal a lo largo del muro lateral, medida a partir de la arista común con el muro de barlovento

3 Varía en función a su ángulo de inclinación, de la relación de altura entre la dimensión menor de la base y de si los techos son de 1, 2 o 4 aguas.

Se observa en la tabla 2.1 que los coeficientes en la pared de barlovento son iguales en ambas normativas, mientras que en la zona de sotavento, el MDOC-DV (2008) indica una serie de coeficientes en función de las características geométricas de la estructura, así como del ángulo de inclinación de la cubierta. La misma situación se presenta en las paredes laterales, los coeficientes que indica el MDOC-DV (2008) varían de acuerdo en la distancia horizontal a lo largo del muro lateral, medida está a partir de la arista común con el muro de barlovento.

Por último se observa en la misma tabla que en los techos los coeficientes en las NTCDF (2004) no varían y se encuentran en un intervalo, al contrario de lo que sucede en el MDOC-DV (2008), en el que los coeficientes cambian de acuerdo al ángulo de inclinación de la cubierta, incluso se toma en cuenta si los techos son de 1, 2 o 4 aguas, etc.

2.8.3. Comentarios generales sobre el NTCDV (2004) y el MDOC-DV (2008)

En general los dos reglamentos tienen algunas consideraciones muy parecidas como lo son las condiciones de topografía y rugosidad del terreno, la variación de la velocidad con la altura y la velocidad regional de la zona en donde se pretende realizar el análisis. Es

evidente que uno solo se enfoca al Distrito Federal y las velocidades regionales son menores.

Para el análisis dinámico los dos reglamentos consideran un factor de amplificación en donde se consideran parámetros muy similares.

El MDOC-DV (2008), tiene considerados un mayor número de estructuras que el RCDF (2004), un ejemplo de ello es que en el RCDF (2004) no se considera el diseño de torres de comunicación, y en el MDOC-DV (2008), se tiene un apartado especial para dichas estructuras.

2.9. CÁLCULO DE COSTOS EN FORMA PARAMÉTRICA

La selección de la metodología a utilizar en este trabajo se hizo con base en los siguientes parámetros: cimentación, subestructura, cubierta exterior, etc.; en nuestro caso, para el estimador paramétrico se utiliza el costo por metro cuadrado o metro cúbico lo que depende del tipo de partida que se evalúe.

El nivel de precisión que se espera con este método es de hasta +/- 30%.

Como una introducción para la determinación de los costos se muestran algunos ejemplos de costos por metro cuadrado de algunos hoteles tomados del libro “Costos por metro cuadrado de construcción” Varela, A.L. (2008), en la tablas 2.2 y 2.3.

2.9.1. Ejemplo de costos por metro cuadrado para hoteles

Como una introducción para la determinación del costo de la estructura se muestran algunos ejemplos de hoteles tomados del libro “Costos por metro cuadrado de construcción” Varela, A.L. (2008)

Tabla 2.2 Hotel 5 estrellas "LUJ" 5187 m² 68 cuartos, 2 suites 7 pisos sin estacionamiento

Partida	\$/m ²
Cimentación	184.17
Subestructura	38.68
Superestructura	1892.53
Cubierta exterior	595.82
Techo	55.57
Construcción interior	2733.93
Transportación	435.92
Sistema mecánico	1742.5
Sistema eléctrico	933.95
Condiciones generales	1650.3
Especialidades	114.88

Tabla 2.3 Hotel "CAT.PLUS" gran turismo 210 cuartos 15561m²

Partida	\$/m ²
Cimentación	291.89
Subestructura	67.69
Superestructura	1843.73
Cubierta exterior	595.82
Techo	55.57
Construcción interior	3398.34
Transportación	242.18
Sistema mecánico	2407.54
Sistema eléctrico	1641.63
Condiciones generales	1650.3
Especialidades	623.45

CAPÍTULO 3 CÁLCULO DE LAS FUERZAS DE VIENTO EN ESTRUCTURAS PRISMÁTICAS

3.1. CARACTERÍSTICAS DEL MODELO

El modelo representa una estructura característica de la zona hotelera de la ciudad de Cancún, la cual cuenta con 25 pisos, cada uno tiene 18 habitaciones con dimensiones entre 48m^2 y 104m^2 , así como un balcón en cada habitación.

3.1.1. Localización

Se ubica en la zona turística de Cancún, en el Edo. de Quintana Roo, sobre el Boulevard Kukulcan. Esta zona fue elegida debido a su cercanía con el mar, en donde la exposición de la estructura es mayor ante los efectos que provocan los huracanes.

3.1.2. Dimensiones generales

En planta la geometría del modelo, tiene forma rectangular, 80 por 20m, con una altura de 100m. Para la propuesta de las dimensiones del edificio se hizo un análisis de los diferentes hoteles que se encuentran en la zona y se obtuvo un promedio. La altura seleccionada tiene como objetivo estudiar el comportamiento de la estructura ante velocidades de viento generadas por huracanes.

3.1.3. Características estructurales

El sistema estructural está formado por marcos de concreto, un sistema de piso a base de losas de concreto reforzado, columnas de sección rectangular de concreto reforzado. La selección del concreto fue con base a que este material es uno de los más utilizados en nuestro país para la construcción de edificios.

3.1.4. Características de los elementos no estructurales

La fachada cuenta con ventanas de grandes dimensiones las cuales están adheridas a la estructura principal con cancelería de aluminio. En las figuras 3.1, 3.2 y 3.3 se presenta la planta, elevación y el modelo en 3D.

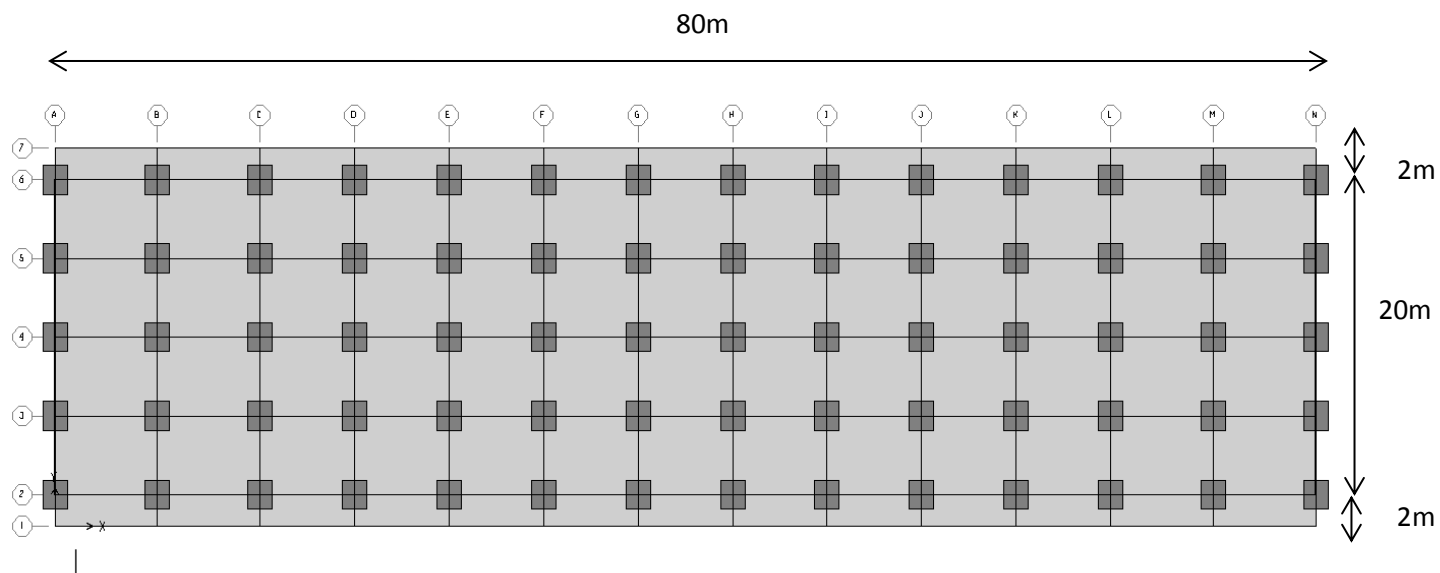


Figura 3.1 Planta tipo del modelo

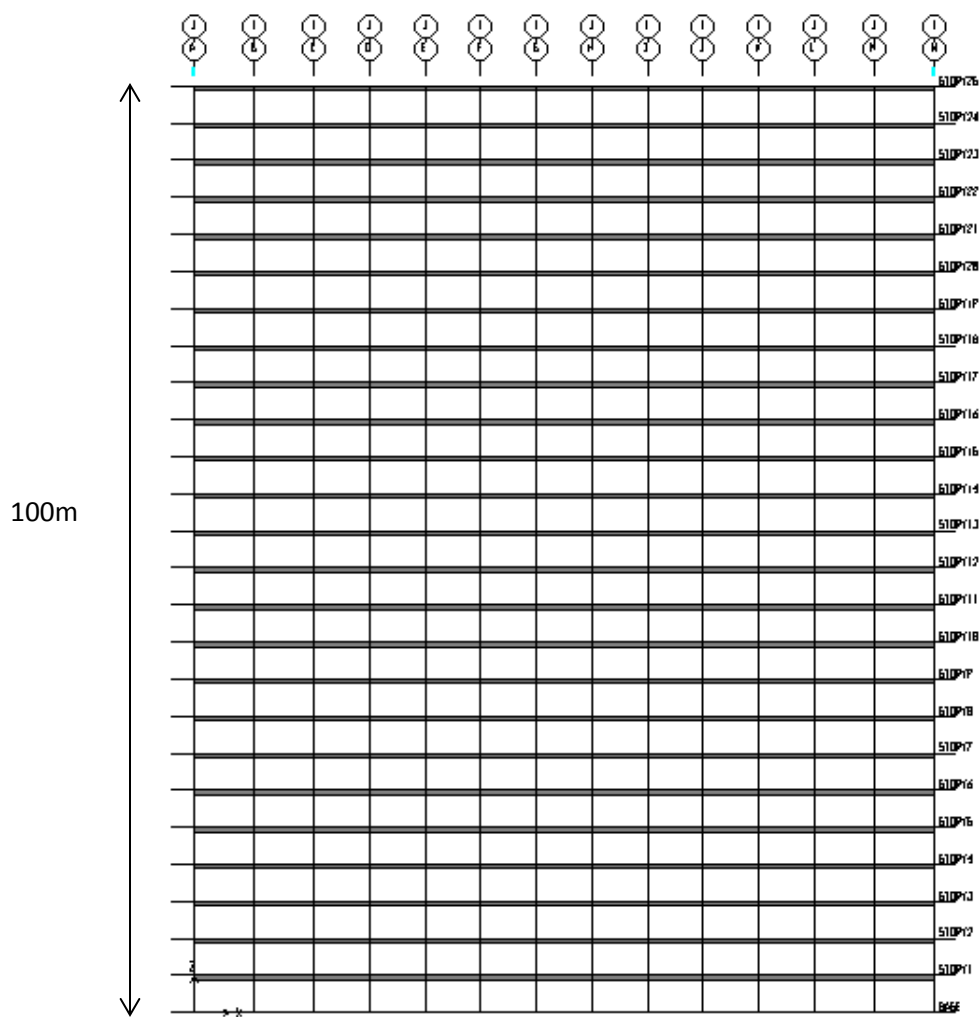


Figura 3.2. Elevación del modelo

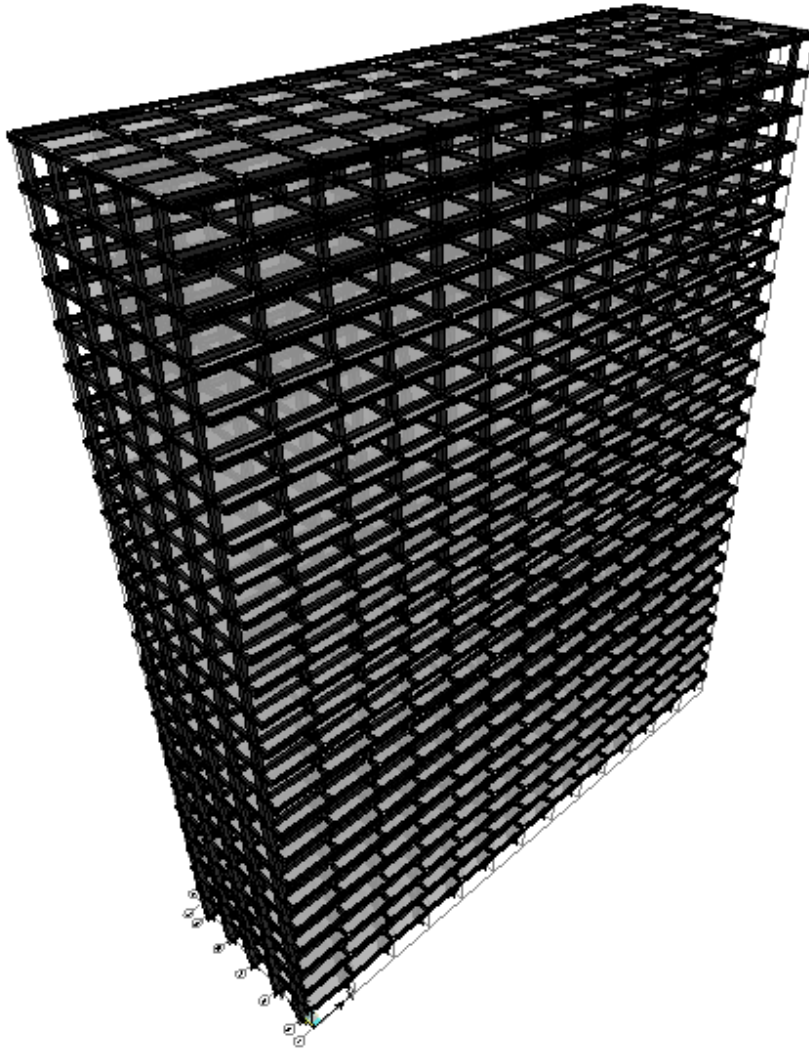


Figura 3.3 Modelo 3D

3.2. ANÁLISIS ESTÁTICO

Para realizar el análisis estático se utilizó el Manual de Diseño de Obras Civiles (MDOC-DV 2008) de la Comisión Federal de Electricidad (CFE)

3.2.1. Clasificación de la estructura según su importancia

Como se mencionó en el capítulo 1 del presente trabajo, las estructuras se clasifican en grupos A, B, C. El edificio en estudio se encuentra dentro del grupo B, en el que se requiere

un grado de seguridad moderado, asociado a un número de pérdidas económicas y humanas de nivel intermedio.

3.2.2. Clasificación de la estructura según su respuesta ante la acción del viento

Se clasifica a las estructuras en 4 tipos, como se mencionó en el capítulo 1 del presente trabajo. El edificio que se estudia en este trabajo, se ajusta al Tipo 2, ya que es una estructura prismática con periodo fundamental de vibración de más de un segundo.

3.2.3. Cálculo de la velocidad básica de diseño (V_D)

El cálculo de la (V_D) depende de la topografía de la zona (F_T), de las características de exposición local (F_{rz}), y de la velocidad regional (V_R), que se obtiene con la siguiente ecuación:

$$V_D = F_T F_{rz} V_R \quad [3.1]$$

donde

F_T es el factor que depende de la topografía local, adimensional.

F_{rz} es el factor de exposición local, adimensional.

V_R es la velocidad regional de ráfaga que le corresponde al sitio en donde se construirá la estructura, en km/h.

En la ecuación anterior el parámetro más importante es la velocidad regional, que es la velocidad máxima que puede ser excedida en un cierto periodo de retorno, en un año, en una zona o región determinada del país. Esta velocidad se determina tomando en cuenta la localización geográfica del sitio de desplante, y se obtiene de acuerdo a los mapas de isotacas regionales. En la figura 3.4 se muestra el mapa de isotaca para un periodo de retorno de 50 años que de acuerdo a nuestra estructura es el que se utiliza.

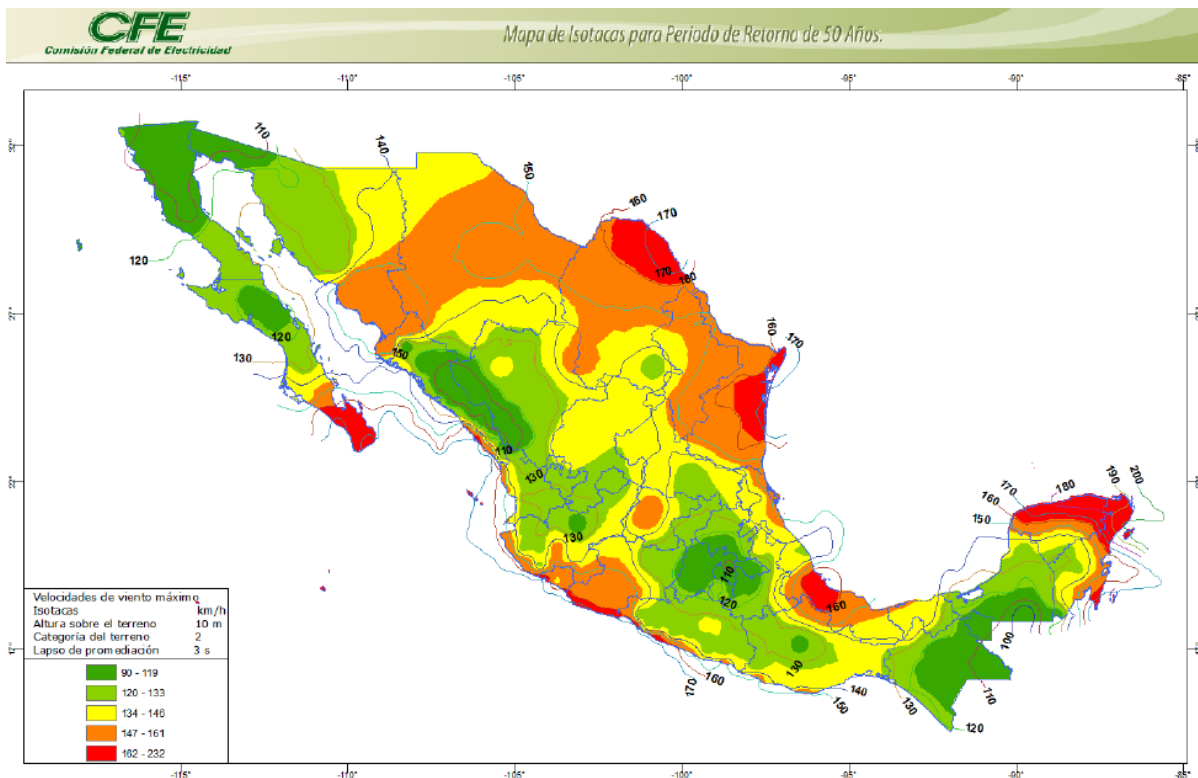


Figura 3.4 Mapa de isotacas para velocidades regionales con periodo de retorno de 50 años

El factor de topografía (F_T) depende del efecto topográfico local del sitio en donde se desplantará la estructura. En la tabla 3.1 se muestran algunos ejemplos de topografía local con su correspondiente F_T .

Tabla 3.1 Factor de topografía local, F_T

Sitios	Ejemplos de topografía local	F_T
Protegidos	Valles cerrados	0.9
Normales	Terreno prácticamente plano: campo abierto, ausencia de cambios topográficos importantes, con pendientes menores de 5%.	1
Expuestos	Promontorios: Montes, cerros, lomas, cimas, colinas, montañas. Terraplenes: Peñascos, acantilados, precipicios, diques, presas.	Vease MDOC-DV (2008)

El factor de exposición local (F_{rz}), establece la variación de la velocidad del viento con la altura, en función de la categoría del terreno la cual se muestra en la tabla 3.2, donde se hace una descripción del terreno, y se clasifica de acuerdo con su rugosidad. Se utilizan las siguientes expresiones:

$$F_{rz} = c \quad \text{Si} \quad z \leq 10 \text{ m} \quad [3.2]$$

$$F_{rz} = c \left(\frac{z}{10} \right)^\alpha \quad \text{Si} \quad 10 < z < 200 \text{ m} \quad [3.3]$$

$$F_{rz} = c \left(\frac{\delta}{10} \right)^\alpha \quad \text{Si} \quad z \geq 200 \text{ m} \quad [3.4]$$

donde:

z a la altura por encima del terreno natural, a la cual se desea conocer la velocidad de diseño, en m

α es un exponente que determina la forma de la variación de la velocidad del viento con la altura, adimensional, se obtiene de acuerdo a la tabla 3.3.

δ es la altura medida a partir del nivel del terreno de desplante, por encima de la cual la variación de la velocidad del viento no es importante y puede suponerse constante; a esta altura se le conoce como altura gradiente, en m y se obtiene de acuerdo con la tabla 3.3.

c es el coeficiente de escala de rugosidad, adimensional se obtiene de acuerdo a la tabla 3.3.

Tabla 3.2 Categoría del terreno según su rugosidad

Categoría	Descripción	Ejemplos	Limitaciones
1	Terreno abierto, prácticamente plano y sin obstrucciones	Franjas costeras planas, zonas pantanosas, campos aéreos, pastizales y tierras de cultivo sin setos o bardas alrededor de superficies nevadas planas	La longitud mínima de este tipo de terreno en la dirección del viento debe ser de 2000m.
2	Terreno plano u ondulado con pocas obstrucciones	Campos de cultivo o granjas con pocas obstrucciones tales como setos o bardas alrededor, árboles y construcciones dispersas.	Las obstrucciones tienen alturas de 1.5m a 10m en una longitud mínima de 1500m
3	Terreno cubierto por numerosas obstrucciones estrechamente espaciadas	Áreas urbanas, suburbanas o cualquier terreno con numerosas obstrucciones estrechamente espaciadas. El tamaño de las construcciones corresponden al de las casas y viviendas	Las obstrucciones presentan alturas de 3m a 5m, la longitud mínima de este tipo de terreno en la dirección del viento debe ser de 500m o 10 veces la altura de la construcción, la que sea mayor.
4	Terreno con numerosas obstrucciones largas, altas y estrechamente espaciadas	Bosques, centros de grandes ciudades y complejos industriales bien desarrollados.	Por lo menos 50% de los edificios tienen una altura mayor de 20m, las obstrucciones miden de 10m a 30m de altura. La longitud mínima de este tipo de terreno en la dirección del viento debe ser mayor de 400m y/o 10 veces la altura de la construcción.

Tabla 3.3 Valores de α , δ y c

Categoría del terreno	α	δ (m)	c
1	0.099	245	1.137
2	0.128	315	1
3	0.156	390	0.881
4	0.17	455	0.815

Una vez que se tienen los valores antes mencionados es posible realizar el cálculo de la velocidad básica de diseño.

3.2.4. Cálculo de la presión dinámica de base, q_z

La presión dinámica de base depende de la velocidad básica de diseño, así como del factor de corrección por temperatura y de la altura con respecto al nivel del mar, y se obtiene con la siguiente ecuación:

$$q_z = 0.0048GV_D^2 \quad [3.5]$$

donde:

q_z es la presión dinámica de base a una altura z sobre el nivel del terreno, en kg/m^2 .

G es el factor de corrección por temperatura

V_D es la velocidad básica de diseño, calculada con la ecuación [3.1], en km/h ,

La siguiente expresión determina el factor de corrección por temperatura en función de la altura

$$G = \frac{0.392\Omega}{273+\tau} \quad [3.6]$$

donde:

Ω es la presión barométrica, en mm de Hg

τ es la temperatura ambiental, en °C

3.2.5. Cálculo de la presión actuante sobre la estructura, p_z

Para conocer las fuerzas de diseño, es necesario obtener el empuje medio o estático que está en función del coeficiente de presión, el cual determina la variación de presión, según la geometría o forma de la construcción, y se obtiene con la siguiente expresión:

$$p_z = C_p q_z \quad [3.7]$$

donde:

p_z es la presión actuante sobre la construcción.

C_p es el coeficiente de presión.

q_z es la presión dinámica de base, ecuación [3.5], en kg/m^2

3.2.6. Fuerzas sobre construcciones cerradas

Se describe como estructura cerrada aquella que se compone de muros y techos, dispuestos de tal manera que forman una construcción prismática; no necesariamente son impermeables y pueden tener aberturas, por lo que las fuerzas serán la resultante de las presiones actuantes sobre sus superficies exteriores e interiores, la cual se calcula con la ecuación siguiente:

$$F_{es} = p_z A_z \quad [3.8]$$

con:

$$p_z = (p_e - p_i) \quad [3.9]$$

donde:

F_{es} es la fuerza estática del viento que actúa perpendicular sobre las superficies o elementos estructurales de la construcción, en N.

p_z es la presión de diseño a la altura z , en Pa.

p_e es la presión exterior, en Pa.

p_i es la presión interior, en Pa.

A_z es el área de la estructura, o parte de ella, en m^2 , a la altura z , sobre la que actúa la presión de diseño.

3.2.7. Presiones exteriores

Las presiones exteriores serán positivas cuando ejerzan un empuje y negativas cuando ejerzan una succión en la superficie sobre la que actúan. Estas presiones se calculan utilizando la siguiente expresión:

$$p_e = C_{pe} K_A K_L q_z \quad [3.10]$$

donde:

p_e es la presión exterior, en Pa

C_{pe} es el coeficiente de presión exterior, adimensional

K_A es el factor de reducción de presión por tamaño de área, adimensional

K_L es el factor de presión local, adimensional

q_z es la presión dinámica de base

3.2.8. Presiones interiores

La presión interior se considerará constante sobre todas las superficies interiores de la construcción, se debe tener mucho cuidado en la permeabilidad de la estructura. Se calcula con la siguiente ecuación:

$$p_i = C_{pi}q_z \quad [3.11]$$

donde:

p_i es la presión interior, en Pa

C_{pi} es el coeficiente de presión interior, adimensional

q_z es la presión dinámica de base, en Pa

3.3. ANÁLISIS DINÁMICO

Este procedimiento se aplica a estructuras sensibles a los efectos del viento, con relación altura entre dimensión menor, mayor a 5 y con un periodo fundamental mayor que un segundo y menor o igual que cinco segundos. Algunos ejemplos de estas estructuras son las torres de celosía atirantadas, chimeneas, tanques elevados, antenas, bardas, parapetos, anuncios, etc.

3.3.1. Cálculo de la velocidad media, V'_D

Esta velocidad corresponde a un tiempo de promediación de diez minutos, el cual se aplica para determinar el factor de respuesta dinámica, y se calcula con la siguiente expresión.

$$V'_D = \frac{F_T F'_{rz} V_R}{3.6} \quad [3.12]$$

donde:

V_R es la velocidad regional de ráfaga, en km/h.

F_T es el factor de topografía (sección 3.2.3).

F'_{rz} es el factor de exposición para la velocidad media el cual se determina como lo indica las ecuaciones [3.13] y [3.14].

El factor de exposición, considera el efecto combinado de las características de la rugosidad local, así como la variación de la velocidad con la altura y se determina como:

$$F'_{rz} = 0.702\bar{b} \quad \text{Si } z \leq 10 \quad [3.13]$$

$$F'_{rz} = 0.702\bar{b} \left(\frac{z}{10}\right)^{\alpha'} \quad \text{Si } 10 < z \leq 200 \quad [3.14]$$

donde:

z es la altura media a partir del nivel medio del terreno, \bar{b} coeficiente, adimensional.

α' es un exponente, de la variación de la velocidad con la altura,

3.3.2. Cálculo del factor de amplificación dinámica, F_{AD}

Este factor sólo podrá emplearse si se cumple que la respuesta máxima en dirección del viento está dada por la contribución del modo fundamental de vibrar. El F_{AD} se calcula con la siguiente expresión:

$$F_{AD} = \frac{1+2k_p I_v(Z_s) \sqrt{B^2+R^2}}{1+7I_v(Z_s)} \quad [3.15]$$

donde:

Z_s es la altura de referencia

$I_v(Z_s)$ el índice de turbulencia, evaluado a la altura de referencia, Z_s .

B^2 es el factor de respuesta de fondo.

R^2 es el factor de respuesta en resonancia.

k_p es el factor pico.

El índice de turbulencia $I_v(Z_s)$ representa el nivel o intensidad del flujo del viento y está definido como:

$$I_v(Z_s) = \bar{d} \left(\frac{Z_s}{10} \right)^{-\alpha'} \quad z_{\min} \leq z_s \leq z_{\max} \quad [3.16]$$

$$I_v(Z_s) = \frac{1}{\ln\left(\frac{z_{\min}}{z_0}\right)} \quad z_s \leq z_{\max} \quad [3.17]$$

en donde $z_{\max} = 200m$ y los valores de la constante α' se obtienen de la tabla 3.4.y los valores de \bar{d} , z_{\min} , y z_0 se obtienen con la tabla 3.5 los cuales se designan según corresponda la categoría del terreno.

Tabla 3.4 Valores de \bar{b} y α'

Categoría del terreno	\bar{b}	α'
1	1.17	0.12
2	1	0.16
3	0.77	0.21
4	0.55	0.29

Tabla 3.5 Valores de las constantes

Categoría del terreno	\bar{d}	$z_0(\text{m})$	$z_{\min}(\text{m})$	$\bar{\alpha}$
1	0.15	0.01	1	0.44
2	0.19	0.05	2	0.52
3	0.29	0.3	5	0.61
4	0.43	1	10	0.67

Los factores B^2 y R^2 permiten tomar en cuenta la falta de correlación de la presión en las superficies de la estructura y el efecto de la turbulencia local del viento en resonancia con el modo de vibración de la estructura, respectivamente.

El factor de respuesta de fondo, B^2 , se calcula con:

$$B^2 = \frac{1}{1 + 0.90 \left(\frac{b+h}{L(z_s)} \right)^{0.63}} \quad [3.18]$$

donde:

b es el ancho de la estructura, en m,

h es la altura de la estructura (que se puede obtener con la figura 4.4.2 del MDOC- DV 2008)

$L(z_s)$ es la longitud de la escala de turbulencia a la altura de referencia, z_s .

La longitud de escala de turbulencia representa al tamaño usual, en promedio, de las longitudes de las ráfagas del viento. Para alturas z_s menores que 200m puede calcularse con:

$$L(z_s) = 300 \left(\frac{z_s}{200} \right)^{\bar{\alpha}} \quad \text{para } z_s \geq z_{\min} \quad [3.19]$$

$$L(z_s) = L(z_{\min}) \quad \text{para } z_s < z_{\min} \quad [3.20]$$

Los valores de z_{\min} y $\bar{\alpha}$ se presentan en la tabla 3.5.

El factor de respuesta en resonancia, R^2 , se determina mediante la siguiente expresión:

$$R^2 = \frac{\pi}{4\zeta_{t,x}} S_L(z_s, n_{1,x}) R_h(\eta_h) R_b(\eta_b) \quad [3.21]$$

donde:

$S_L(z_s, n_{1,x})$ es la densidad de potencia del viento.

$n_{1,x}$ es la frecuencia natural de vibración de la estructura en la dirección del viento, en Hz

$R_h(\eta_h)$ y $R_b(\eta_b)$ son las funciones de admitancia aerodinámica,

$\zeta_{t,x}$ es la relación de amortiguamiento total,

La densidad de potencia describe la distribución de la turbulencia del viento en un sitio con respecto a intervalos de frecuencia. Esta densidad se determina con la siguiente expresión:

$$S_L(z_s, n_{1,x}) = \frac{6.8 \left(\frac{n_{1,x} L(z_s)}{V'_D(z_s)} \right)}{\left[1 + 10.2 \left(\frac{n_{1,x} L(z_s)}{V'_D(z_s)} \right) \right]^{5/3}} \quad [3.22]$$

donde:

$V'_D(z_s)$ es la velocidad media evaluada a la altura z_s , en m/s

$L(z_s)$ es la longitud de la escala de turbulencia, calculada con las expresiones [3.19] y [3.20].

Las funciones de R_h y R_b consideran que las fluctuaciones de la velocidad no ocurren simultáneamente sobre las superficies de barlovento y sotavento.

La función de admitancia aerodinámica, R_h , para la forma modal fundamental, se calcula mediante:

$$R_h = \frac{1}{\eta_h} - \frac{1}{2\eta_h^2} (1 - e^{-2\eta_h}) \quad R_h = 1.0 \text{ para } \eta_h = 0 \quad [3.23]$$

donde:

$$\eta_h = \frac{4.6hn_{1,x}}{V'_D(z_s)} \quad [3.23.1]$$

La función de admitancia aerodinámica, R_b , se obtiene mediante:

$$R_b = \frac{1}{\eta_b} - \frac{1}{2\eta_b^2} (1 - e^{-2\eta_b}) \quad R_b = 1.0 \text{ para } \eta_b = 0 \quad [3.24]$$

donde:

$$\eta_b = \frac{4.6bn_{1,x}}{V'_D(z_s)} \quad [3.24.1]$$

Los valores de h y b fueron definidos anteriormente. Los coeficientes η_b y η_h son frecuencias reducidas, adimensionales, función de la frecuencia natural de vibración $n_{1,x}$, en la dirección del viento.

La relación de amortiguamiento total, $\zeta_{t,x}$, está dada por tres componentes: el amortiguamiento estructural, el aerodinámico y el asociado con dispositivos especiales de amortiguamiento.

$$\zeta_{t,x} = \zeta_{est,x} + \zeta_{a,x} + \zeta_{d,x} \quad [3.25]$$

donde:

$\zeta_{est,x}$ es la relación de amortiguamiento estructural, adimensional

$\zeta_{a,x}$ es la relación de amortiguamiento aerodinámico, adimensional

$\zeta_{d,x}$ es la relación de amortiguamiento debido a mecanismos especiales de amortiguamiento, adimensional.

En nuestro caso sólo utilizaremos la relación de amortiguamiento estructural, la cual se obtiene de la tabla 3.6.

Tabla 3.6 Valores representativos de relación de amortiguamiento estructural

Tipo de estructura	
Edificios de concreto reforzado y presforzado	0.015
Edificios de acero	0.01
Estructuras mixtas de concreto y acero	0.013
Chimeneas y torres de concreto reforzado	0.01
Chimeneas de acero soldadas y sin recubrimientos	0.002
Chimeneas de acero soldadas con recubrimiento	0.005
Chimeneas de acero con recubrimiento de refractarios	0.01
Torres de celosía soldadas	0.003
Torres de celosía atornilladas	0.005

Cuando la respuesta en la dirección del viento se asocia con una distribución de probabilidades de tipo Gaussiana, el factor pico se expresa como:

$$k_p = \sqrt{2\ln(vT)} + \frac{0.6}{\sqrt{2\ln(vT)}} \geq 3.0 \quad [3.26]$$

donde:

T es el intervalo de tiempo con el que se calcula la respuesta máxima, igual a 600 s

v es la frecuencia de cruces por cero o tasa media de oscilaciones, en Hz, definida como:

$$v = n_{1,x} \sqrt{\frac{R^2}{B^2 + R^2}} \geq 0.08 \quad [3.26.1]$$

en donde los valores de $n_{1,x}$, B^2 y R^2 , fueron definidos con anterioridad.

3.4. CÁLCULO DEL COSTO DEL EDIFICIO

Como se mencionó en el capítulo anterior del presente trabajo, el costo se obtuvo de forma paramétrica tomando en cuenta algunos costos de hoteles y ajustándolos a nuestro modelo.

3.5. CÁLCULO DE LA VULNERABILIDAD DE LA ESTRUCTURA

La obtención de las pérdidas de la estructura, se calculó como un porcentaje del costo total de la estructura, en función de la velocidad. Para ello se utilizó la ecuación [3.27] de la referencia “Estimación de pérdidas por viento ocasionadas por el Huracán Wilma en el Caribe Mexicano” Ramírez, E.J.R. (2007).

$$Pérdida = 1 - 0.5^\theta \quad [3.27]$$

donde:

$$\theta = \left(\frac{V_R}{210} \right)^{11}$$

y V_R es la velocidad del viento.

CAPÍTULO 4 ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1. CARACTERÍSTICAS DEL MODELO

En la tabla 4.1 se muestran las dimensiones de la planta tipo para el modelo en estudio del presente trabajo.

Tabla 4.1 Dimensiones de la planta del edificio

Ancho (m)	Largo (m)	Altura (m)
20	80	100

A continuación se presenta el procedimiento de diseño de la estructura, para la velocidad de 196 km/h.

4.2. ANÁLISIS ESTÁTICO

4.2.1. Clasificación de la estructura

En la siguiente tabla se muestra la clasificación del edificio de acuerdo con su importancia y con la respuesta ante la acción del viento (MDOC-DV, 2008).

Tabla 4.2 Clasificación de la estructura de acuerdo al grupo y tipo

Clasificación de la estructura por la importancia (Grupo)	Debido a la respuesta ante la acción del viento (Tipo)
B	2

4.2.2. Cálculo de la velocidad básica de diseño (V_D)

De acuerdo con la ubicación de la estructura se determinó la velocidad regional (V_R), la categoría del terreno, el factor de topografía (F_T) y el factor de exposición local para una altura de 100m (F_{rz}). Estos parámetros se muestran en la tabla 4.3.

Tabla 4.3 Factores para determinar la velocidad básica de diseño

Categoría del Terreno	F_T	F_{rz}	V_R
1	1	1.4	196

4.2.3. Cálculo de la presión dinámica de base, q_z

En la tabla 4.4 se muestran los factores para determinar la presión dinámica de base, ($h=100m$).

Tabla 4.4 Presión dinámica de base

Presión barométrica Ω (mm de Hg)	Temperatura media de Cancún τ (°C)	Factor de corrección por temperatura y por altura G	Presión dinámica de base q_z (ton/m ²)
760	27.9	0.99	0.372

4.3. CÁLCULO DE LA PRESIÓN ACTUANTE SOBRE LA ESTRUCTURA, p_z

4.3.1. Presiones exteriores

En la tabla 4.5 se presentan los coeficientes de presión, los cuales se utilizan para calcular la presión dinámica de viento (ecuación 3.5).

Tabla 4.5 Coeficiente de presión

Barlovento C_{pe}	Sotavento C_{pe}	Muros laterales C_{pe}	Techos C_{pe}	K_A	K_L
0.8	-0.5	-0.65	-1.3	1	1

4.3.2. Presiones interiores

De acuerdo con el MDOC-DV (2008), para el cálculo de la presión interior se utilizó un coeficiente de presión igual a -0.2.

4.4. ANÁLISIS DINÁMICO

A continuación se presenta el cálculo del Factor de Amplificación Dinámica (FAD).

4.4.1. Cálculo de la velocidad media, V'_D

En la tabla 4.6 se muestra el resultado del factor de exposición para la velocidad media el cual se obtuvo con la ecuación 3.14, así como también se muestran los valores de los parámetros necesarios para el cálculo del FAD.

Tabla 4.6 Determinación del factor de exposición y de la velocidad media (m/s)

Altura media Z (m)	Factor de topografía F_T	Velocidad Regional (km/h)	Exponente de variación de velocidad α' b	Factor de exposición F'_{rz}	Velocidad media V'_D (m/s)
60	1	196	1.17	0.12	65.062

4.4.2. Cálculo del factor de amplificación dinámica, F_{AD}

En las tablas 4.7, 4.8, 4.9 y 4.10 se presentan los parámetros necesarios para determinar el factor de amplificación dinámica, utilizando la ecuación 3.15.

Tabla 4.7 Índice de turbulencia, longitud de escala de turbulencia, factor de respuesta de fondo

Coeficiente adimensional para una categoría del terreno de 1 b'	Exponente de variación de la velocidad α'	Índice de turbulencia $I_v(Z_z)$	Longitud de la escala de turbulencia $L(Z_s)$ (m)	Ancho b (m)	Altura h (m)	Factor de respuesta de fondo B^2
0.15	0.44	0.07	176.63	20	100	0.59

Tabla 4.8 Densidad de potencia, frecuencia natural de vibración, frecuencias reducidas, función de admitancia aerodinámica

Periodo T (s)	Frecuencia natural de vibración $n_{1,x}$ (Hz)	Densidad de potencia del viento $SL(Z_s, n_{1,x})$	Frecuencias reducidas η_h	Frecuencias reducidas η_b	Función de admitancia aerodinámica R_h	Función de admitancia aerodinámica R_b
3.20	0.31	0.13	2.21	0.44	0.35	0.76

Tabla 4.9 Amortiguamiento estructural, aerodinámico, y de dispositivos especiales

Amortiguamiento estructural	Amortiguamiento aerodinámico	Amortiguamiento dispositivos especiales	Amortiguamiento total
$\zeta_{est,x}$	$\zeta_{a,x}$	$\zeta_{d,x}$	$\zeta_{t,x}$
0.013	0	0	0.013

Tabla 4.10 Factor de respuesta en resonancia, frecuencia de cruces, factor pico y factor de amplificación dinámica

Factor de respuesta en resonancia	Frecuencia de cruces	Intervalo de tiempo respuesta máxima	Factor pico	Factor de amplificación dinámica
R^2	ν (Hz)	T (s)	K_p	FAD
2.13	0.28	600.00	3.3852	1.054

A continuación se presentan los resultados del cálculo del FAD para diferentes rugosidades del terreno. Es importante señalar que en este trabajo se seleccionó la categoría uno, esto es un terreno abierto, prácticamente plano.

Tabla 4.11 Factor de amplificación dinámica

Velocidad regional (V_R)	Coefficiente adimensional	Exponente de variación de velocidad	Coefficiente adimensional	Exponente de variación de velocidad	Factor de amplificación dinámica
(km/hr)	b	α'	d	$\bar{\alpha}$	FAD
196	1.17	0.12	0.15	0.44	1.054
196	1	0.16	0.19	0.52	1.035
196	0.77	0.21	0.29	0.61	0.983
196	0.55	0.29	0.43	0.67	0.918

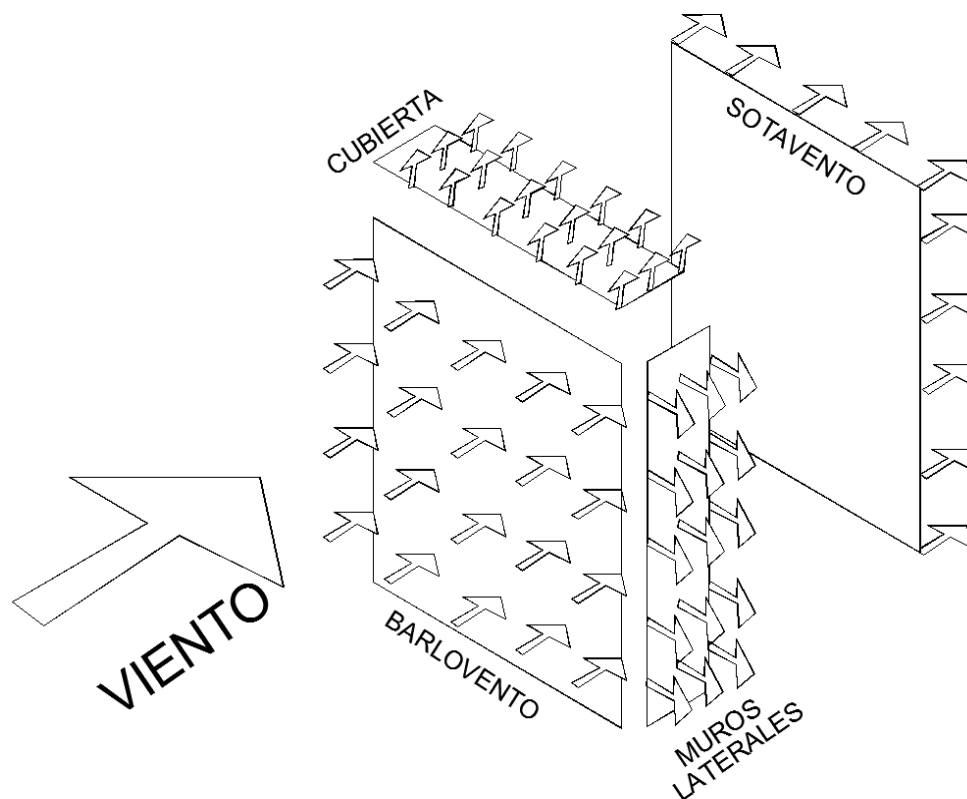


Figura 4.1. Distribución de fuerzas en el área de barlovento, sotavento, paredes, laterales y cubierta

En la tabla 4.12 se describe la metodología para obtener las fuerzas en cara de barlovento (figura 4.1.) que se utilizan en el análisis y diseño de la estructura. A continuación se describe el contenido de cada columna:

- Columna 1: se indica el número de niveles de la estructura.
- Columna 2: se indica la altura de entrepiso de la estructura
- Columna 3: se muestra la velocidad de diseño, obtenida con base en la ecuación 3.1 y los parámetros de la tabla 4.3.
- Columna 4: se presenta la presión dinámica de base, obtenida utilizando la ecuación 3.5 y los parámetros de la tabla 4.4.
- Columna 5: se muestra la presión exterior, de acuerdo con la ecuación 3.10 y a los parámetros de la tabla 4.5.

- Columna 6: se presenta la presión interior, la cual se obtuvo con la ecuación 3.11, considerando un coeficiente de presión interior de -0.2.
- Columna 7: se presenta la presión neta, la que es el resultado de la presión exterior menos la presión interior.
- Columna 8: se indica el área de la cara de barlovento.
- Columna 9: se presenta la fuerza estática, calculada con la aplicación de las ecuaciones 3.8 y 3.9.
- Columna 10: se presenta el factor de amplificación dinámica; se utilizó la ecuación 3.15 y a los parámetros de las tablas 4.6 a 4.10.
- Columna 11: se presenta la fuerza total que es el producto del FAD por la fuerza estática.

Tabla 4.12 Cálculo de las fuerzas en la cara de barlovento Velocidad Regional= 196 km/h

Nivel	Altura	Velocidad de diseño	Presión dinámica de base, q_z	Presión exterior	Presión interior	Presión neta	Área	Fuerza	FAD	Fuerza total
No.	Z(m)	V_D (Km/hr)	(t/m^2)	P_e (t/m^2)	P_i (t/m^2)	P_N (t/m^2)	(m^2)	(t)		(t)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
25	100.0	279.91	0.37	0.30	-0.07	0.37	320	118.83	1.054	125.28
24	96.0	278.78	0.37	0.29	-0.07	0.37	320	118.07	1.054	124.47
23	92.0	277.61	0.37	0.29	-0.07	0.37	320	117.28	1.054	123.64
22	88.0	276.39	0.36	0.29	-0.07	0.36	320	116.46	1.054	122.77
21	84.0	275.12	0.36	0.29	-0.07	0.36	320	115.61	1.054	121.88
20	80.0	273.79	0.36	0.28	-0.07	0.36	320	114.72	1.054	120.95
19	76.0	272.41	0.35	0.28	-0.07	0.36	320	113.81	1.054	119.98
18	72.0	270.95	0.35	0.28	-0.07	0.35	320	112.85	1.054	118.97
17	68.0	269.42	0.34	0.28	-0.07	0.35	320	111.84	1.054	117.91
16	64.0	267.81	0.34	0.27	-0.07	0.35	320	110.79	1.054	116.80
15	60.0	266.11	0.34	0.27	-0.07	0.34	320	109.69	1.054	115.64
14	56.0	264.29	0.33	0.26	-0.07	0.34	320	108.52	1.054	114.41
13	52.0	262.36	0.33	0.26	-0.07	0.34	320	107.29	1.054	113.11
12	48.0	260.29	0.32	0.26	-0.07	0.33	320	105.98	1.054	111.72
11	44.0	258.06	0.32	0.25	-0.07	0.33	320	104.57	1.054	110.24
10	40.0	255.64	0.31	0.25	-0.07	0.32	320	103.06	1.054	108.65
9	36.0	252.98	0.30	0.24	-0.07	0.32	320	101.43	1.054	106.93
8	32.0	250.05	0.30	0.24	-0.07	0.31	320	99.64	1.054	105.04
7	28.0	246.77	0.29	0.23	-0.07	0.31	320	97.66	1.054	102.95
6	24.0	243.03	0.28	0.22	-0.07	0.30	320	95.44	1.054	100.61
5	20.0	238.68	0.27	0.22	-0.07	0.29	320	92.90	1.054	97.93
4	16.0	233.47	0.26	0.21	-0.07	0.28	320	89.91	1.054	94.78
3	12.0	226.91	0.24	0.20	-0.07	0.27	320	86.25	1.054	90.92
2	8.0	222.85	0.24	0.19	-0.07	0.26	320	84.03	1.054	88.59
1	4.0	222.85	0.24	0.19	-0.07	0.26	320	84.03	1.054	88.59

En la tabla 4.13, para una velocidad de 196 km/h, se muestran los resultados de las presiones en las caras laterales y techo, así como en la cara de sotavento.

Tabla 4.13 Resumen de fuerzas en las caras de sotavento, muros laterales y techos

Sotavento (t)	Muros laterales (t)	Techo (t)
-35.08	-9.51	-499.50

4.3.3. Revisión de la permeabilidad

Para una mejor comprensión del efecto de la permeabilidad en la estructura se realizó un análisis adicional, en el que se dibujó la fuerza con respecto a la altura, únicamente en la cara de barlovento para diferentes coeficientes de permeabilidad. Esto se presenta en la siguiente grafica en la que se observa que al cambiar el coeficiente de permeabilidad la fuerza disminuye, conforme el coeficiente aumenta de -0.2 a 0.6. En el presente trabajo el coeficiente que se utilizó fue el de -0.2.

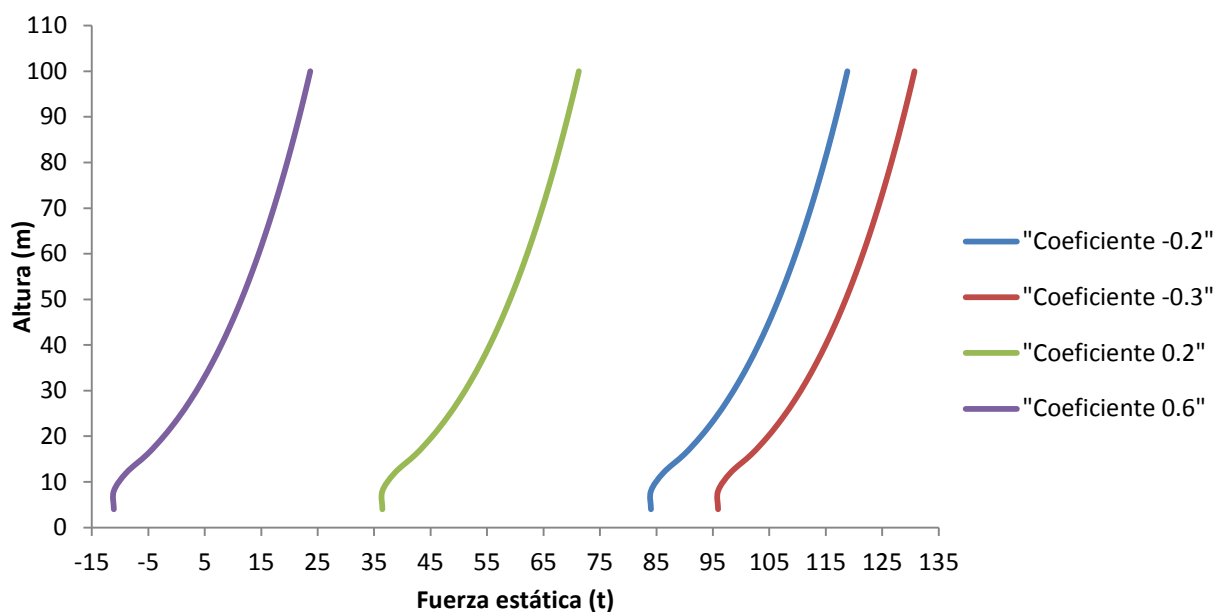


Figura 4.2. Comparación de la fuerza estática para diferentes coeficientes de permeabilidad

4.3.4. Revisión de las condiciones de servicio

Las condiciones de servicio se analizaron utilizando los desplazamientos de la estructura, los cuales no deben ser mayores que la altura de entrepiso entre 500, (MOC-DV 2008). En el caso de que los desplazamientos sobrepasen el límite antes mencionado, se podrán ocasionar daños no estructurales.

4.3.5. Cálculo del costo total

Enseguida se describe la metodología para obtener el costo total de la estructura, utilizando el libro de Varela, L. (2009). Se utilizaron los costos por unidad de volumen o metro cuadrado, según sea el caso, y se adaptaron a nuestra estructura. En la columna cuatro de la tabla 4.14, se observa el costo considerando que la inflación tiene un aumento promedio del 4%, y en la columna cinco se observa el costo para la ciudad de Cancún, el cual es el resultado del producto del costo con inflación por 1.18, que es el factor de transporte de costo FTC para el estado de Cancún Quintana Roo (Cost reports by BIMSA, 2007).

Este procedimiento se realizó para las diferentes velocidades en estudio, los resultados finales se muestran en la tabla 4.15 y en la figura 4.3, se muestra el costo de la estructura comparado con los costos por metro cuadrado, de acuerdo a los que indica la Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción.

Tabla 4.14 Costo de la estructura

Partida	%	Precio	Precio tomando en cuenta la inflación (\$)	Precio para el Edo. De Cancún Quintana Roo
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Cimentación	9.68	14455956	16911424	18805504
Subestructura	0.4	2804960	3281406	3648924
Superestructura	18.23	36314243	36314243	40381438
Cubierta exterior	5.74	2397816	2805106	3119277
Techo	0.3	585456	684901	761610
Construcción interior	25.46	267833223	313326989	348419611
Sistema mecánico	17.1	32279835	37762841	41992280
Eléctrico	8.99	17301523	20240335	22507252
Condiciones generales	13.2	8560145	10014159	11135745
Especialidades	0.9	247516	289558	321989
Total	100.0	382780673	441630962	491093629

Tabla 4.15 Costo de la estructura

Velocidad regional (km/hr)	Costo de la estructura (\$)
120	479,540,080
160	483,825,331
196	491,093,629

Para cada velocidad regional se obtuvo el costo de la estructura correspondiente a la ciudad de Cancún, Quintana Roo y se graficaron los resultados. Una vez que se graficó el costo contra las diferentes velocidades se procedió a obtener una curva de ajuste, la curva que mejor ajustó a nuestros resultados fue un polinomio de segundo grado, el cual nos permite calcular el valor de nuestra estructura para diferentes velocidades, los resultados se muestran en la figura 4.3.

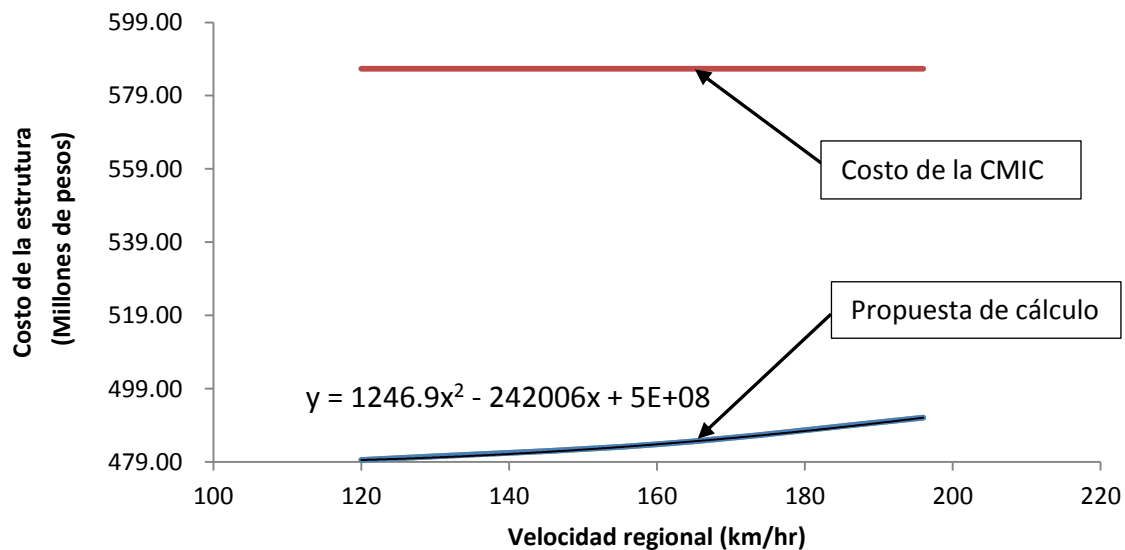


Figura 4.3. Relación entre el costo y la velocidad del viento

4.6. CÁLCULO DEL PORCENTAJE DE PÉRDIDAS

En la tabla 4.16 se presenta el porcentaje de pérdida económica de la estructura para diferentes velocidades, según la ecuación 3.27.

Tabla 4.16 Porcentaje de la pérdida económica de la estructura

Velocidad regional (km/h)	Perdida (%)
120	0.15
160	3.42
196	27.71

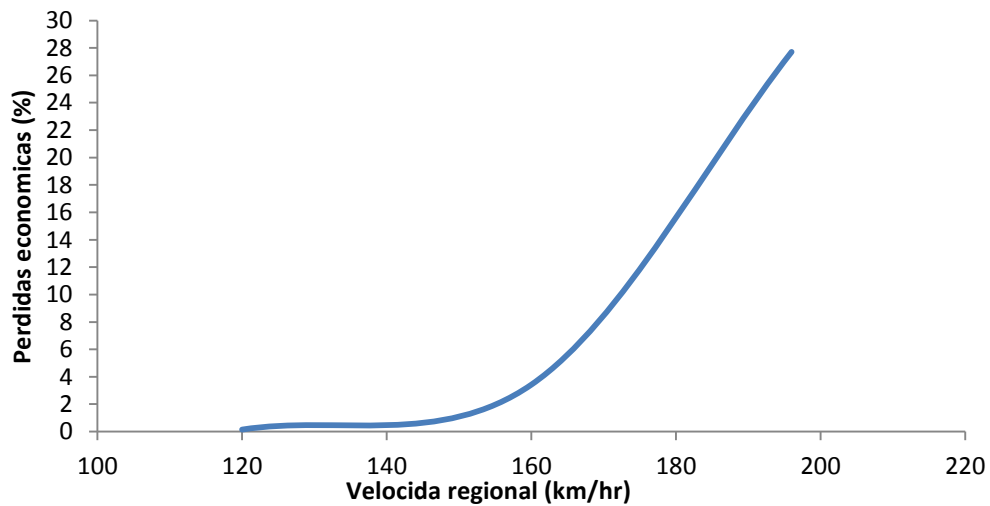


Figura 4.4. Porcentaje de pérdidas económicas

En la figura 4.4 se grafica el porcentaje de pérdidas (con respecto al costo inicial), contra la velocidad regional. Se observa que entre mayor es la velocidad que incide sobre nuestra estructura, mayor será la pérdida económica que esta nos ocasione.

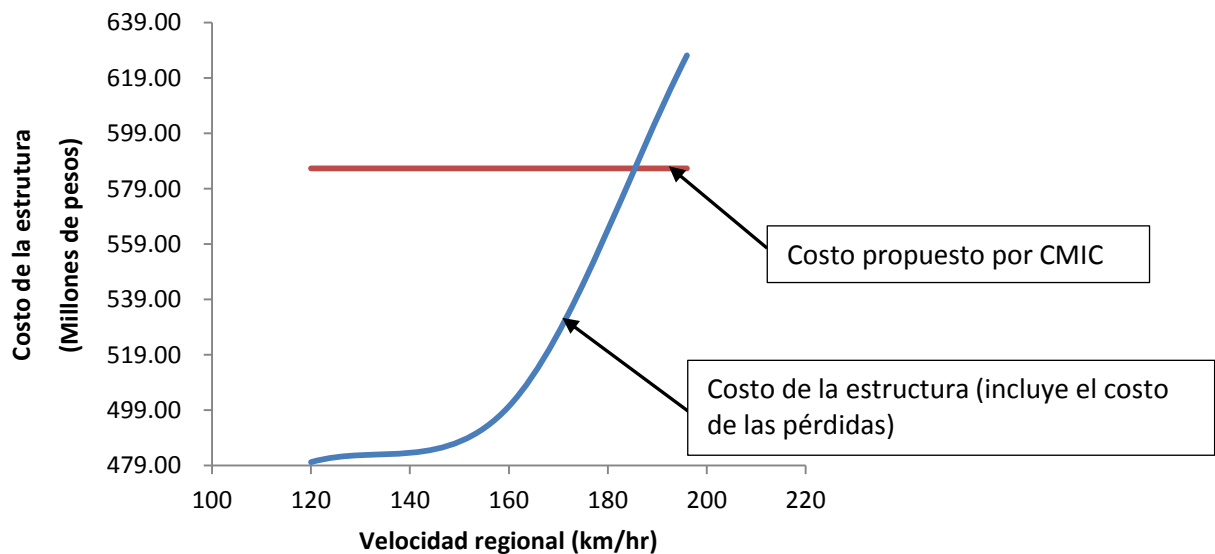


Figura 4.5. Comparación del costo de la estructura más el costo de las pérdidas

En la figura 4.5 se presentan las gráficas del costo de nuestra estructura más el de las pérdidas, y el costo que la Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción, propone para un hotel de 5 estrellas. Se observa que después de una velocidad aproximadamente mayor a 190 km/h, el costo de la Cámara queda por debajo del resultado obtenido en este trabajo, por lo que podemos ver que es importante el análisis de las pérdidas económicas debido a un fenómeno como es un huracán.

CAPÍTULO 5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

En este trabajo se propuso una estructura con dimensiones y características promedio de los diferentes hoteles que se encuentran en la zona turística de la ciudad de Cancún, Quintana Roo. La estructura se analizó de acuerdo con lo que indica el Manual de Diseño de Obras Civiles de Diseño por Viento (MDOC-DV 2008) de la Comisión Federal de Electricidad, con tres diferentes velocidades regionales 120 km/h, 160 km/h y 196 km/h.

El modelo fue diseñado de acuerdo con el Reglamento de Construcciones del Distrito Federal, así como también con las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto.

Una vez que se realizó el análisis y diseño de la estructura, se obtuvo el costo para cada una de las velocidades regionales.

Al utilizar diferentes coeficientes de permeabilidad y graficarlos de acuerdo con la altura, se observó que mientras el coeficiente de permeabilidad es positivo, la fuerza ocasionada por el viento que impacta en la cara de barlovento disminuye; lo opuesto pasa cuando el coeficiente es negativo. Esto debido a que la permeabilidad provoca una diferente distribución de fuerzas.

Del análisis del factor de ampliación dinámica (FAD), en donde se consideraron diferentes categorías del terreno, para la velocidad de 196 km/h, se puede concluir que al cambiar la categoría del terreno, de uno con numerosas obstrucciones (terreno tipo 4), a uno que es prácticamente abierto (terreno tipo 1), se incrementa el FAD, de 0.918 a 1.054.

Un análisis complementario desarrollado en este trabajo, fue el cálculo de las pérdidas económicas (figura 4.4.), que puede llegar a ocasionar un huracán. Los resultados indican que a mayor velocidad, se genera una mayor pérdida económica.

Al hacer una comparación de los costos obtenidos mediante el procedimiento descrito en este trabajo, contra los costos que publica la Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción (CMIC), se observa, que los de la CMIC son más elevados, la diferencia que

se encontró fue alrededor del 20% (figura 4.5.). Con estos resultados se puede observar el beneficio de realizar un análisis como el que se propone en este trabajo, para evitar sobre evaluar a la estructura, con la intención de convencer a un inversionista de realizar el proyecto.

5.2. RECOMENDACIONES

Proponer nuevas metodologías sobre la evaluación del daño debido a fenómenos hidrometeorológicos en las estructuras.

Evaluar y tomar en cuenta el costo de las pérdidas que se pueden ocasionar debido a diferentes eventos meteorológicos.

REFERENCIAS

Cost reports by BIMSA (2007) **“Costos de la construcción en edificación”**, BIMSA REPORTS, S.A. de C.V. Edición nacional.

Cuevas, N. R. (2007) **“Estimación de daño en edificaciones, causado por vientos intensos”** Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica.

MDOC-DV (2008) **“Manual de diseño de Obras Civiles de la Comisión Federal de Electricidad, Diseño por Viento”**, Instituto de Investigaciones Eléctricas, Comisión Federal de Electricidad, México.

M.I. Luis R. C. y Ing. Tarcisio G. P. (2006) **“Costos preliminares en proyectos de edificación”**

Mosqueda, G. y Porter, K. A. (2007) **“Hurricane Katrina”** Volume four Buildings, Engineering and Organizational Issues Before, During and After Hurricane Katrina. Damage to Engineered Buildings and Lifelines from Winds, Storm Surge and Debris in the Wake of Hurricane Katrina, MCEER-07-SP03, Red Jacket Quadrangle.

Varela, L. (2009) **“Ingeniería de costos, Teoría y Práctica en la Construcción”** Editorial Trillas, México D.F.

NTCDF (2004) **“Normas Técnicas Complementarias Para Diseño Por Viento”**, Gaceta Oficial del Distrito Federal.

Ramírez, E.J.R. (2007) **“Estimación de pérdidas por viento ocasionadas por el Huracán Wilma en el Caribe Mexicano”**.

<http://www.jmarcano.com/varios/desastre/huracan.html>

<http://spaceplace.nasa.gov/hurricanes/sp/>