



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

TESIS DE LICENCIATURA

INGENIERÍA CIVIL

ANÁLISIS DE LOS EFECTOS OCASIONADOS POR EL HURACÁN WILMA
SOBRE LA INFRAESTRUCTURA PORTUARIA DE COZUMEL Y PROPUESTA
DE PARÁMETROS DE DISEÑO PARA MUELLES EN LA ZONA

AUTOR

JOSÉ ANTONIO GONZÁLEZ VÁZQUEZ

ASESOR

ING. JAVIER GUTIERREZ REYNOSO

JUNIO 2008

**ANÁLISIS DE LOS EFECTOS OCASIONADOS POR EL HURACÁN WILMA
SOBRE LA INFRAESTRUCTURA PORTUARIA DE COZUMEL Y PROPUESTA
DE PARÁMETROS DE DISEÑO PARA MUELLES EN LA ZONA**

XXVI

No nos estimamos los bastante cuando hablamos con los demás. Lo que verdaderamente nos acontece, no es elocuente. Aunque los acontecimientos quisieran, no podrían comunicarse por sí mismos. Carecen de palabras. Estamos por encima de las que podemos comunicar por medio de palabras. En todos los discursos hay algo de desprecio. Al parecer, el lenguaje, no ha sido inventado más que para cosas mediocres, vulgares, comunicables. Con el lenguaje, el que habla empieza a vulgarizarse. Extracto de una moral para sordomudos y demás filósofos.

El Crepúsculo de los Idolos
Federico Nietzsche

Esta tesis es el resultado de un camino de mas de 10 años de estudio y de todas las personas que estuvieron involucradas en el proceso; por que un camino tan largo no lo puede realizar una sola persona sin apoyo alguno.

En agradecimiento a todas las personas involucradas, incluyendo: aquellas que me facilitaron alguna tarea, un apunte, mis amigos, cada uno de los profesores que se tomo la molestia de explicarme algún concepto una y otra vez, mi tutor de tesis que se tomo el tiempo de resolver mis dudas, las personas que corrigieron mis errores de redacción, mis hermanos y en especial a mi madre por enseñar a levantarme una y otra vez.

Gracias

CONTENIDO

GENERALIDADES

G.1	Infraestructura portuaria	1
G.2	Huracán Wilma	3
G.3	Muelles en Cozumel	7
G.3.1	Muelle Punta Langosta S.A. de C.V.	8
G.3.2	Muelle SSA México S.A de C.V. Cozumel	8
G.3.3	Muelle Puerta Maya de Consorcio H	9

CAPÍTULO 1 ANTECEDENTES:

1.1	Historial del desarrollo de las obras costeras y portuarias en la zona de Cozumel y la Riviera Maya.	Cancún, 12
1.1.1	Cancún	12
1.1.2	Cozumel	14
1.1.3	Riviera Maya	17
1.2	Comportamiento Histórico de los Eventos Extremos en la Zona y Tendencias a Futuro.	20
1.2.1	Características generales de los huracanes	20
1.2.2	Comportamiento histórico de eventos extremos en la zona	22
1.2.2.1	Onda tropical	23
1.2.2.2	Disturbio tropical	23
1.2.2.3	Punto bajo tropical	25
1.2.2.4	TD Depresión Tropical	25
1.2.2.5	TS Tormenta Tropical	25
1.2.2.6	H1 Huracán de categoría 1	27
1.2.2.7	H2 Huracán de categoría 2	28
1.2.2.8	H3 Huracán de categoría 3	29
1.2.2.9	H4 Huracán de categoría 4	30
1.2.2.10	H5 Huracán de categoría 5	30
1.2.2.11	E Extratropical	31
1.2.2.12	SD Depresión Subtropical	32
1.2.2.13	SS Tormenta Subtropical	32
1.2.3	Tendencia a futuro	33
1.3	Características generales de la Temporada de Huracanes 2005 y particularmente del Huracán Wilma.	34

1.4	Descripción general del estado actual de la infraestructura turística, costera y portuaria en la zona de Cancún, Cozumel y la Riviera Maya.	39
1.5	Descripción de la problemática de las obras costeras y portuarias en la zona de Cozumel y la necesidad de contar con parámetros de diseño apropiados.	40

CAPÍTULO 2 CARACTERÍSTICAS DEL MEDIO FÍSICO

2.1	Localización General.	42
2.2	Ubicación geográfica de los muelles	43
2.3	Geomorfología Regional.	46
2.4	Geología	47
2.5	Climatología	48
2.5.1	Aspectos Generales.	48
2.5.2	Temperaturas.	48
2.5.3	Lluvias.	49
2.5.4	Procesos Costeros	49
2.5.4.1	Oleaje	51
2.5.4.2	Marea astronómica	60
2.5.4.3	Eventos extremos y Recurrencia	62
2.6	Otros	63

CAPÍTULO 3 INFRAESTRUCTURA PORTUARIA EN COZUMEL.

3.1	Censo de Infraestructura Portuaria.	64
3.2	Descripción de los Muelles de Cruceros	74
3.2.1	Localización	74
3.2.2	Capacidades.	75
3.2.3	Estructuración.	77
3.2.4	Comportamiento ante el Huracán Wilma	79
3.2.5	Estado Actual.	80

CAPÍTULO 4 COMPORTAMIENTO PARTICULAR DE LA INFRAESTRUCTURA PORTUARIA DURANTE EL HURACÁN WILMA.

4.1	Análisis del Huracán Wilma	85
4.2	Fecha de Ocurrencia.	85

4.3	Trayectoria	85
4.4	Características particulares	86
4.5	Análisis de Extremos Históricos y de Extremos Asociados al Huracán Wilma.	89
4.5.1	Análisis de Vientos vs Tr..	91
4.5.2	Análisis de Oleaje vs Tr.	94
4.5.3	Análisis de Marea de Tormenta vs Tr.	97
4.5.4	Análisis de Corrientes Inducidas.	100
4.6	Modelación del Oleaje asociado al Huracán Wilma.	101
4.6.1	Oleaje extremo.	101
4.6.2	Aplicación de un modelo de propagación de oleaje.	101
4.6.2.1	Oleaje extremo individual.	105
4.6.2.2	Oleaje extremo combinado con marea de tormenta y marea astronómica.	107
4.6.2.3	Análisis de Resultados y Conclusiones.	111
4.7	Análisis de Fuerzas ejercidas por el Huracán Wilma sobre la Infraestructura Portuaria.	112
4.8	Análisis de Otros Efectos	118
4.8.1	Socavación.	118
4.8.2	Empujes de Vientos y Corrientes.	121
4.9	Modo de Comportamiento y Falla de la Infraestructura Portuaria.	124
4.9.1	Comportamiento de acuerdo al análisis	126
4.9.2	Conclusiones y Comentarios.	130

CAPÍTULO 5 PROPUESTA DE PARÁMETROS DE DISEÑO.

5.1	Parámetros de diseño	133
5.1.1	Carga muerta	140
5.1.2	Carga viva	140
5.1.3	Flotación (subpresión)	140
5.1.4	Atraque de buque	141
5.1.5	Oleaje	142
5.1.6	Corrientes	142
5.1.6.1	Marina	143
5.1.6.2	Propelas	143
5.1.6.3	Viento	144
5.1.7	Viento	145
5.1.8	Socavación	146
5.1.8.1	Oleaje	146
5.1.8.2	Propelas	147
5.1.9	Marea	149

5.1.10	Temperatura	149
5.1.11	Sismo	149
5.1.12	Modos de comportamiento, criterios de análisis	150
5.1.12.1	Criterios de estabilidad para elementos prefabricados	150
5.1.12.1.1	Revisión por volteo	150
5.1.12.1.2	Revisión por deslizamiento	150
5.1.12.1.3	Revisión por esfuerzos permisibles	151
5.1.12.2	Criterios de estabilidad para pilas ancladas en un estrato poco cohesivo y columnas a base de tabla-estaca	151
5.2	Parámetros de Operatividad.	152
5.3	Parámetros de Permanencia.	153

**CAPÍTULO 6
PROPUESTA DE MEJORA ESTRUCTURAL.**

6.1	Estructuración propuesta.	155
6.2	Comportamiento Esperado.	157
6.3	Aspectos Constructivos.	163
6.4	Costos.	163

**CAPÍTULO 7
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.**

7.1	Conclusiones.	164
7.2	Recomendaciones	165
	REFERENCIAS.	166

GENERALIDADES

El objetivo de esta tesis es, realizar un análisis de los efectos causados por el huracán Wilma en la infraestructura portuaria de Cozumel, principalmente en los muelles para cruceros de esta zona por el efecto del oleaje. En virtud que en la isla de Cozumel como en la mayor parte del país no se tienen registros de mediciones oceanográficas directas, en este trabajo se realiza un re-análisis numérico en función de información meteorológica disponible que integra información de los últimos 60 años. En particular se caracteriza con mayor énfasis al huracán Wilma dado que este fenómeno causó daños muy importante en la infraestructura durante su paso entre los días 21 y de octubre de 2005.

En este apartado se presenta de manera general los cambios antropogénicos que ha sufrido la península de Yucatán durante los últimos 40 años asociados al desarrollo turístico de la región. También se describen, por un lado, el comportamiento del huracán Wilma y, por otro, las características generales de los tres muelles para cruceros que sufrieron daños importantes.

G.1 INFRAESTRUCTURA PORTUARIA

La infraestructura portuaria ha provocado cambios en la morfología de las zonas costeras generado principalmente por, dragados y rellenos para ampliar el espacio de las áreas que tienen un mayor valor comercial.

Al inicio de la década de los años setenta, el Programa de Desarrollo de Centros Turísticos Integrales llevado a cabo por el Fondo Nacional de Fomento al Turismo, FONATUR, planeó la diversificación de la oferta del sector económico del Pacífico y el Caribe. En esta última región creó en 1975 el polo de desarrollo turístico de Cancún. "*Ello permitiría a México una participación activa en el mercado turístico internacional además de diferenciar la demanda hacia los productos de playa y mar, cultura y recreación*" (Ref. 1) mediante su apertura a los mercados de los principales sitios emisores de Estados Unidos.

El gran atractivo que ejerce Cancún en los ámbitos nacional e internacional ha motivado que reciba una importante afluencia de turistas. Al inicio de sus operaciones en 1975 arribaron al centro turístico cerca de 100,000 paseantes, cifra que a partir de esta fecha se ha incrementado de manera continua; con pequeñas oscilaciones hacia la baja, como la registrada de 1983 a 1984, momento en el que reinicia una tendencia positiva que se interrumpe en 1988 debido, en gran parte, a las consecuencias del huracán Gilberto que se presentó en el mes de septiembre. No obstante, Cancún capta nuevamente un turismo que alcanza en 1992 la cantidad de 2,000,000 de turistas. A partir de este año se registra un sensible descenso que logra su recuperación hasta 1994 y desde 1994 hasta 1998 se registra un arribo constante que rebasa la cifra de 2,600,000 visitantes. Durante 1999, la cantidad de turistas es de 2,266,000, de los cuales 88.5% fue turismo proveniente del extranjero.

De 1989 a 2007, Cancún se convirtió en la ciudad con mayor dinamismo turístico del país y contribuye con uno de los más altos porcentajes de divisas que ingresan a México y participa en forma sustancial en el producto interno bruto de Quintana Roo. Para 2007, su población permanente ascendió a más de 500,000 habitantes. Se ha convertido en el centro turístico más importante del país y es la ciudad más próspera de la península. Es así el primer destino turístico del Caribe, superando a Bahamas y Puerto Rico.

En 1990 Cancún recibía 18,445 vuelos anuales, con una tendencia ascendente y ya para el 2005 registradba 46,285 operaciones; es decir, más del doble de vuelos. Actualmente, las expectativas de proyectos contemplan desarrollos al norte de la zona hotelera, en Puerto Cancún, la construcción de una marina de lujo con hoteles de bajo impacto y al suroeste, rumbo al aeropuerto, se proyecta la creación de más hoteles, campos de golf y un moderno hospital. Además, en los 131 Km. del corredor turístico Cancún-Tulum están en proyecto importantes desarrollos turísticos.

No obstante los efectos que han generado varios fenómenos meteorológicos extremos en la región, el sector turístico ha seguido en expansión, tal y como se puede observar en las tablas G.1, G.2 y G.3.

Indicadores Turísticos de Quintana Roo, México		
Afluencia de Turistas al estado de Quintana Roo, México		
Destino	Turistas	
	2004	2005
	Enero-Diciembre	Enero-Diciembre
Cancún	3,376,253	3,074,432
Cozumel	418,598	396,734
Chetumal	312,924	305,53
Isla Mujeres	200,524	141,166
Riviera Maya	2,418,623	2,194,765
Total del estado	6,726,940	6,112,670

Tabla G.1 Arribo de turistas a el estado de Quintana Roo, México (Ref. 2)

Movimiento de Cruceros en Quintana Roo		
Administración Portuaria Integral, 2007		
Destino	2004	2005
	Ene-Dic	Ene-Dic
Cozumel	1,302	1,124
Riviera Maya	112	74
Cancún	S.R.	37
Costa Maya	241	294
Total del estado	1,655	1,529

Tabla G.2 Registro de arribo de cruceros a Quintana Roo (Ref.3)

Infraestructura Hotelera en Quintana Roo, México				
Destino	2004 # de hoteles	2004 # de cuartos	2005 # de hoteles	2005 # de cuartos
Cancún	146	27,522	146	27,488
Riviera Maya	354	23,512	373	26,980
Cozumel	53	3,738	52	4,205
Isla Mujeres	52	1,044	52	1,058
Holbox	25	262	27	283
Chetumal	42	1,319	44	1,287
Puerto Morelos	14	1,455	14	1,455
Kohunlich	1	40	1	40
Costa Maya	49	267	49	267
José Maria Morelos	5	54	5	54
Kantunilkin	4	32	4	67
Chiquila	1	8	1	8
Bacalar	10	110	10	110
Felipe C. Puerto	7	134	7	134
Total del estado	763	59,497	785	63,436

Tabla G.3 Aumento en la infraestructura hotelera en Quintana Roo 2004-2005 (Ref.2)

Ocupación Hotelera en Quintana Roo		
Destino	2004	2005
	Ene-Dic	Ene-Dic
Cancún	77.30%	73.39%
Cozumel	56.21%	70.27%
Chetumal	72.94%	65.58%
Isla Mujeres	56.92%	61.51%
Riviera Maya	84.01%	71.86%
Promedio	78.90%	75.86%
En el 2004 Quintana Roo captó el 30.26% del total de divisas que ingresaron al país por concepto de turismo		
México	Quintana Roo	
\$ 10,839.00 mill USD	\$ 3,280.25 mill USD	

Tabla G.2 Ocupación Hotelera en Quintana Roo 2004, 2005 (Ref. 2)

G.2 HURACÁN WILMA

El día 15 de octubre de 2005 por la tarde se generó en el centro del Mar Caribe, la depresión tropical Número 24 (dt -24) del Océano Atlántico; se inició a una distancia aproximada de 930 km al Este-Sureste de Cancún, Q.R., con vientos máximos sostenidos de 35 km/hr, rachas de 65 km/hr, presión mínima de 1004 mbar y desplazamiento hacia el Oeste a 5 km/hr. Durante las horas siguientes la Dt-24 se desplazó hacia el Suroeste, aumentando gradualmente la fuerza de

sus vientos, por lo que al final de este día se localizó a 940 km al Este-Sureste de Cancún, Q.R., con vientos máximos sostenidos de 45 km/hr. En la madrugada del día 16, cuando se encontraba a 915 km al Este-Sureste de Cancún, Q.R., ya presentaba vientos máximos sostenidos de 55 km/hr.

En las primeras horas del día 17, cuando se encontraba a 860 km al Este-Sureste de Puerto Morelos Q. R., la Dt-24, evolucionó a la tormenta tropical "Wilma" con vientos máximos sostenidos de 65 km/hr, rachas de 85 km/hr y una presión mínima de 1000 mbar. Durante el resto del día "Wilma" presentó un desplazamiento lento y errático hacia el Suroeste, Sur y Oeste, mientras aumentaba gradualmente su fuerza, por lo que al final del 17 de octubre se localizó a 885 km al Este-Sureste de las costas de Quintana Roo y a 355 km al Este-Noreste de Cabo "Gracias a Dios" en la frontera de Nicaragua y Honduras.

Al inicio del día 18, cuando se encontraba a 810 km de Este-Sureste de Punta Allen, Q. R., "Wilma" alcanzó la categoría de huracán con vientos máximos sostenidos de 120 km/hr y rachas de 150 km/hr, adquiriendo en las últimas horas del día la categoría II en la escala Saffir-Simpson¹, con vientos máximo sostenidos de 175 km/hr. "Wilma" se convirtió así en el huracán número 12 de la temporada alcanzando el récord de número huracanes registrados en 1969.

El día 19 de octubre a las 4 horas, el centro del Huracán "Wilma" se encontraba a 595 km al Este-Sureste de Punta Allen, Q.R., con una rápida intensificación de sus vientos máximos sostenidos de 280 km/hr, rachas de 345 km/hr y presión mínima de 884 mbar, alcanzando la categoría V dentro de la escala de intensidad Saffir-Simpson y catalogándose como un Huracán extremadamente peligroso. La disminución de la presión fue de 98 mbar en 24 horas, bajando de 980 mbar el día 18 a las 12 GMT² a un valor de 882 mbar el día 19 a las 12 GMT. La mayor categoría de un huracán en el Atlántico según los registros que existen de estos fenómenos, superando a Gilberto de septiembre de 1988; "Wilma" paso de tormenta tropical con vientos de 110 km/hr a huracán con vientos máximos sostenidos de 280 km/hr en tan sólo 24 horas.

Cuando se encontraba su centro a 520 km al Este-Sureste de Punta Allen, manteniendo vientos máximo sostenidos de 280 km/hr registró la presión más baja en toda la historia de los ciclones en el Atlántico con 882 mbar.

El día 20 de octubre, el huracán "Wilma" registró una fluctuación en su intensidad, ahora con vientos máximos sostenidos de 240 km/hr y rachas de 295 km/hr, en categoría IV, a una distancia de 305 km al Este-Sureste de Punta Allen. Por la mañana llegó a tener una fuerza de vientos máximos sostenidos de 230 km/hr, sin embrago, en el transcurso de este día se recuperó y nuevamente por la tarde alcanzó una fuerza de vientos de 240 km/hr, misma fuerza con la que se mantuvo hasta la mañana siguiente.

El día 21 por la mañana, al acercarse a la costa de Quintana Roo, "Wilma" registraba vientos máximos sostenidos de 230 km/hr, misma fuerza con la que avanzó sobre la isla de Cozumel, a la cual el ojo del huracán empezó a cubrir a partir de las 12:00 hrs tiempo local y tres horas después ya se encontraba rodeada por el ojo del huracán, con un diámetro de entre 74 km y 110 km. Si bien la península de Yucatán no presenta elevaciones montañosas importantes, la fricción con las costas del estado de Quintana Roo, inició un periodo de ligera disminución de "Wilma", y

¹ Los huracanes se clasifican de acuerdo a la fuerza de sus vientos, mediante la escala Saffir-Simpson. Basándose en esta escala, los huracanes Categoría 1 serían los más débiles y los Categoría 5 los más fuertes.

² El Tiempo Medio de Greenwich o GMT es el [tiempo solar medio](#) en el [Observatorio Real de Greenwich](#), en [Greenwich](#), cerca de [Londres, Inglaterra](#), que por convención está a 0 [grados](#) de [longitud](#).

así, aproximadamente a las 20:30 horas tocó tierra sobre la población de Puerto Morelos Q. R., con vientos máximos sostenidos de 220 km/hr y rachas de 270 km/hr, como huracán de categoría IV.

Durante el comienzo del día 22, el huracán "Wilma" continuó su avance errático sobre tierra, lo que originó un nuevo y paulatino descenso en su fuerza, aproximadamente a las 2:00 horas, el centro del huracán se localizó a 40 km al Oeste-Noreste de Puerto Morelos, Q. R., con vientos máximos sostenidos de 205 km/hr y rachas de 250 km/hr como huracán de categoría III.

Pasando las 12:00 y después de alternar movimientos erráticos con momentos en que se mantenía casi estacionario, "Wilma" se debilitó a categoría II, con vientos máximos sostenidos de 175 km/hr y rachas de 210 km/hr, a una distancia de 20km al Oeste de Cancún, Q. R. Durante el resto del día 22, el huracán siguió su desplazamiento con rumbo predominante hacia el norte y aproximadamente a las 19:00 tiempo local, salió al mar del Golfo de México, sobre Cabo Catoche, Q. R. con vientos máximos sostenidos de 160 km/hr, que en las últimas horas del día disminuyeron hasta los 155 km/hr, misma fuerza con la que se mantuvo hasta después de las 12:00 horas del día 23.

Considerando la extensión del radio de vientos de tormenta y huracán, la duración total de los efectos de vientos de tormenta tropical superiores a 63 km/hr sobre la Península de Yucatán fue de 78 horas, a partir de las 12 GMT del día 20 hasta su terminación a las 18 GMT del día 23. Los vientos de Huracán superiores a 120 km/hr se registraron desde las 06 GMT del día 21 hasta las 09 GMT del día 23, con una duración total de 51 horas.

Aproximadamente a las 18:00 del día 23, cuando ya se encontraba sobre el Oriente del Golfo de México, aproximadamente a 320 km al Noreste de Cancún, Q. R., y a 340 km al Oeste-Sureste de Key West, Florida, "Wilma" empezó a cobrar fuerza, ahora con vientos máximos sostenidos de 165km/hr, que al anochecer ya eran de 175 km/hr. En las últimas horas del día, cuando se encontraba a 195 km al Oeste de Key West, Florida, "Wilma" alcanzó vientos máximos sostenidos de 185 km/hr con rachas de 220 km/hr, alcanzando nuevamente la categoría III en la escala Saffir-Simpson.

A primeras horas del día 24, cuando se encontraba frente a la costa Sur de la Península de La Florida, a 90 km al Suroeste de Nápoles, Florida, el huracán "Wilma" alcanzó vientos máximos sostenidos de 205 km/hr con rachas de 250 km/hr, misma fuerza con la que aproximadamente a las 3:30 GMT tocó tierra en la costa Sureste de La Florida. Al desplazarse rápidamente sobre tierra, "Wilma" perdió fuerza, por lo que a las 10.00 horas ya se encontraba a 25 km al Nor-Noreste de Palm Beach, Florida, con vientos máximos sostenidos de 165 km/hr. Finalmente durante el día 25 de octubre de 2005, "Wilma" aceleró su avance hacia el Noreste, convirtiéndose en Ciclón Tropical a una distancia de 330 km al Sur-Sureste de Halífaz, Nueva Escocia, Canadá, fue absorbido por otra nueva Tormenta Extratropical al este de Escocia el 27 de octubre del 2005 (Ref. 4)

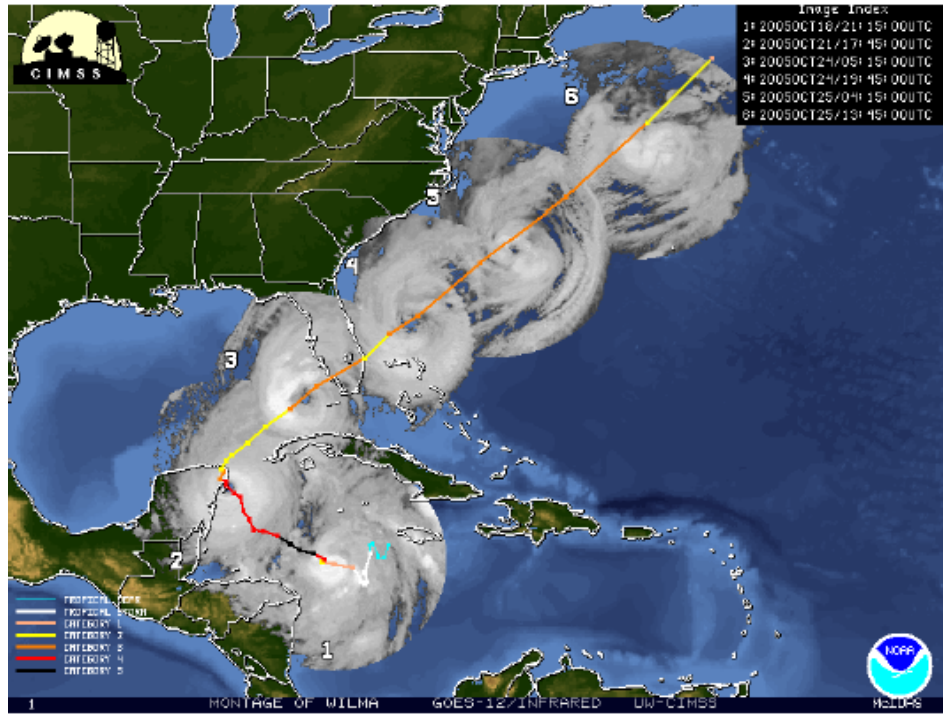


Figura G.1 Trayectoria del huracán Wilma (Ref. 5)

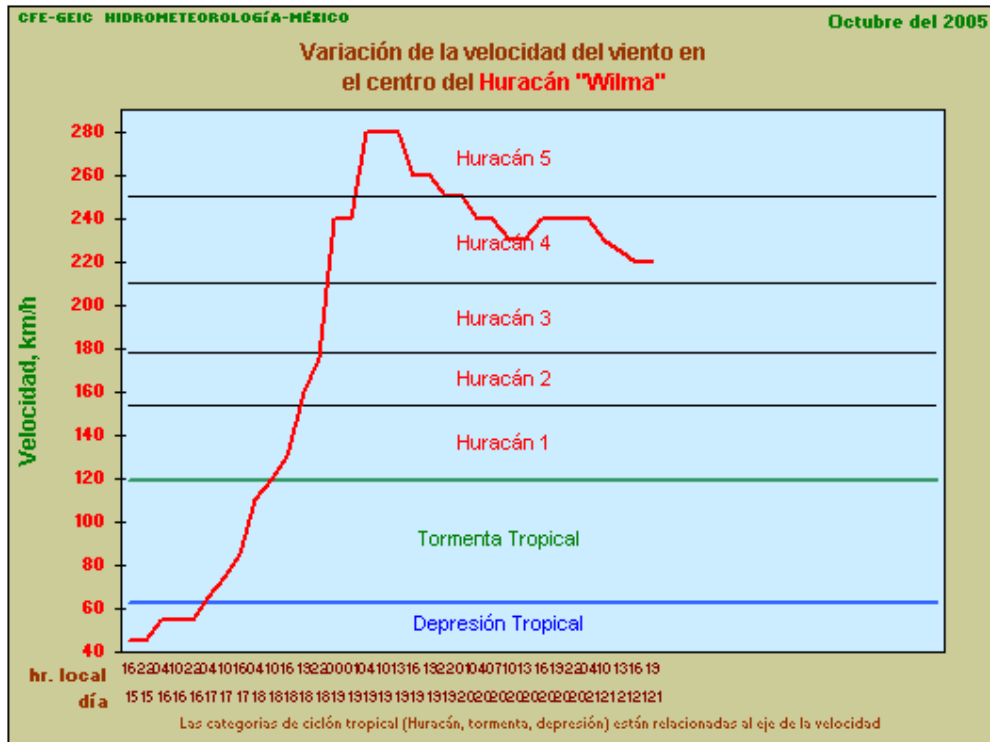


Figura G.2 Velocidades de viento en el centro del Huracán Wilma del 15 al 21 de Octubre 2005(Ref. 6)

G.3 MUELLES EN COZUMEL

El puerto de Cozumel se encuentra posicionado como el más importante destino de cruceros de México y como uno de los destinos más importantes del mundo.

Su infraestructura portuaria la integran tres terminales internacionales de cruceros, La marina turística Banco Playa, la Terminal de transbordadores y la Terminal marítima de San Miguel que brinda servicio a tenders, embarcaciones turísticas y embarcaciones de pasajeros.

La operación de las tres terminales de cruceros se encuentra concesionada a las siguientes empresas:

- I. Terminal de Cruceros Punta Langosta, Cozumel, S.A. de C. v.
- II. Stevedoring Services of Amecica de México; SSA México S.A. de C. v.
- III. Consorcio de Desarrollo, Promoción e inmobiliaria H, S. A. de C. V.



Figura G.3 Mapa de la isla de Cozumel Quintana Roo. (Ref. 7)

Después del paso del Huracán Wilma por Cozumel, la Administración Portuaria Integral de Quintana Roo, S. A. de C. V. (API Qrro), presentó el día 14 de noviembre del 2005 el informe preliminar sobre el estado que guarda la infraestructura portuaria de Cozumel y el resto del estado de Quintana Roo. La terminal de cruceros propiedad del Grupo Consorcio H, conocida como Puerta Maya se encuentra en su edificio principal dañado y la infraestructura del muelle completamente destruida; la terminal de cruceros de SSA México, muestra la plataforma de acceso dañada y fuera de operación, así también, la terminal de cruceros Punta Langosta presentó su edificio comercial dañado por lo que el muelle se encontraba fuera de operación.

G.3.1 MUELLE PUNTA LANGOSTA S.A. DE C.V.

Este muelle de cruceros se encuentra en el pueblo de San Miguel, justo enfrente de la oficina de correos y a solo 600 metros de la plaza principal. El muelle se conecta a una plaza comercial de primera clase a través de un puente. La plaza ofrece restaurantes, bares, tiendas libres de impuesto, artesanías y renta de vehículos, entre otros.

La Terminal Marítima Internacional de Punta Langosta como consecuencia del huracán Wilma sufrió daños de consideración en sus instalaciones tanto terrestres como marítimas quedando, fuera de servicio para el atraque de los cruceros turísticos.

El consejo de administración de Punta Langosta, tomó la decisión de iniciar el proyecto de reconstrucción con el fin de que a la brevedad la isla de Cozumel contara nuevamente con este sitio tan importante para el arribo de cruceros internacionales. Como primer paso, con el objeto de seguir prestando servicio a las compañías navieras y, por consiguiente, continuar con sus arribos a Cozumel se reacondicionó una primera parte de la terminal marítima a costo perdido, con esto, a partir del mes de enero del 2006 se comenzó a prestar el servicio de recepción de pasajeros de cruceros, mediante el servicio de lanchas.

Fue necesaria una inversión de más de 50 millones de pesos para reconstruir oficinas, cisternas, pasarelas, muelles de atraque, sistema de seguridad, entre otros.



Figura G.4 Muelle Punta Langosta en operación después de ser reparado debido a los daños causados por el huracán Wilma (Ref. 8)

G.3.2 MUELLE SSA MEXICO S.A DE C.V. COZUMEL

Este fue el primer muelle para cruceros construido en la isla a finales de los años 70' por TMM S.A. de C. V. y actualmente es propiedad de SSA, S. A. de C. V. (Stevedoring Services of America de México).

Se localiza en el kilómetro 4 Sur y ofrece facilidades portuarias para los transbordadores y cruceros internacionales. Entre sus instalaciones se encuentran, restaurantes, bares, tiendas, artesanías y vehículos de alquiler.

Después del paso del huracán Wilma por la isla de Cozumel los días 21 y 22 de octubre de 2005 y el daño causado a los muelles de la zona; el 23 de febrero del 2007 regresó a la actividad la pasarela interior del muelle propiedad de SSA México, de esta manera, la isla de Cozumel recuperó apenas el 66% de su capacidad portuaria. Este muelle tiene la capacidad para recibir cruceros de la clase "Genesis", la siguiente generación de barcos que comenzará a navegar en 2008. El muelle comenzó a operar de nuevo recibiendo en su pasarela interior al crucero "Carnival Conquest".

De acuerdo con datos de la empresa SSA México, en la rehabilitación de la estructura dañada por el Huracán Wilma, se invirtieron aproximadamente doce millones de dólares y catorce meses de trabajo, aunque para febrero de 2007 la obra todavía no se había concluido por completo.

La Terminal de cruceros SSA México tiene un área de 15,306 m², cuenta con 804 metros de muelle que permiten dos posiciones de atraque, capaces de recibir un buque "Freedom Class" y un buque "Ultra-Voyager Class" simultáneamente.



Figura G.3 Muelle SSA México, después del paso del huracán Wilma por Cozumel (22/10/2005) (Ref.9)

G.3.3 MUELLE DE PUERTA MAYA CONSORCIO H

El muelle Puerta Maya fue construido por "Consortio de Desarrollo, Promoción e inmobiliaria H, S. A. de C. V. " y actualmente es propiedad de Carnival Cruise Line Corporation, se localiza en el kilómetro 4.5 Sur y este complejo turístico ofrece una gran lista de servicios públicos.

Este muelle fue totalmente destruido por el Huracán Wilma, los días 21 y 22 de octubre de 2005, sin recuperación alguna, parte de la pasarela de acceso y de atraque se encontraban bajo en nivel del mar, por lo que este muelle fue considerado como perdida total. La empresa Carnival Corp. inició los trabajos de reconstrucción del muelle Puerta Maya en junio de 2006, con una

inversión del orden de 40 millones de dólares, los trabajos de reconstrucción quedarán concluidos en el verano del 2008.



Figura G.4 Muelle Puerta Maya- Consorcio H, después del paso del huracán Wilma por Cozumel (24/10/2005)(Ref.9)



Figura G.5 Ubicación de los muelles en la isla de Cozumel, Quintana Roo (Ref. 8)



Figura G.8 Ubicación geográfica de los muelles para cruceros (Ref. 8)

CAPÍTULO 1 ANTECEDENTES

1.1 HISTORIAL DEL DESARROLLO DE LAS OBRAS COSTERAS Y PORTUARIAS EN LA ZONA DE CANCÚN, COZUMEL Y LA RIVIERA MAYA.

El desarrollo de las zonas turísticas de Quintana Roo tiene su inicio en la década de los 60's, específicamente en las zonas de: Cancún, Cozumel y la Riviera Maya. En cuanto a las comunicaciones, el desarrollo de infraestructura para recibir cruceros se realizó de manera paralela al aeroportuario. Este desarrollo continuó por cerca de 40 años y ha experimentado un cambio importante después de los efectos ocasionados por la presencia del huracán Wilma sobre la zona. Este fenómeno natural originó que a partir de noviembre del 2005 y durante todo el 2006 las zonas turísticas no presentaran aumentos en el número de visitantes con respecto a los años anteriores, y fue hasta 2007 que se experimentó una recuperación de la actividad turística.

1.1.1 CANCÚN

Al inicio de la década de los años setenta, el Programa de Desarrollo de Centros Turísticos Integrales llevado a cabo por el Fondo Nacional de Fomento al Turismo, FONATUR, planeó la diversificación de la oferta del sector económico, en el Pacífico y el Caribe. En esta última región creó en 1975 el polo de desarrollo turístico de Cancún, mediante su apertura a los mercados de los principales sitios emisores de Estados Unidos, Canadá y Europa (FONATUR, 1974). El proyecto de desarrollo turístico-urbano llevado a cabo por FONATUR en Cancún consideró la planificación de dos grandes secciones: la primera, localizada en Isla Cancún, de gran atractivo escénico y excelentes playas. Ahí se encuentran hoteles, fraccionamientos residenciales y áreas extensas destinadas a deportes suntuarios, así como al desarrollo náutico-residencial. La segunda sección, diseñada para el centro de población de Cancún, corresponde a la zona urbana denominada Ciudad Cancún, planificada hace más de veinte años para una población de 20,000 habitantes. Hoy día, sus límites han sido rebasados, debido al éxodo provocado por la atracción que ejerce el centro turístico. Desde 1975 año en que se fundó el desarrollo turístico como fideicomiso del Banco de México, este se llamo INFRATUR en sus primeros años. En la actualidad se llama FONATUR.

El desarrollo turístico se llevó a cabo en tres grandes etapas. La primera se habilitó entre Playa las Perlas y Punta Cancún. Su periodo de construcción abarcó de 1975 a 1978. La segunda etapa se realizó entre 1978 a 1980 en la sección que va entre las puntas Cancún y Nizuc, aumentando de forma sustancial la oferta hotelera.

A partir de 1990 se llevó a cabo la creación de los megaproyectos náutico-residenciales de San Buenaventura y Puerto Cancún, mediante la construcción de hoteles, marinas, campos de golf y de polo; áreas residenciales con muelle privado, condominios y centros comerciales. La habilitación de San Buenaventura, abarca 362 cuartos de hotel y 4,138 departamentos en 1,332 residencias. Este complejo turístico incluye la construcción de un lago artificial y un puente, entre las obras de infraestructura habilitadas para el turismo nacional e internacional de elevada capacidad económica. El desarrollo turístico-náutico de Puerto Cancún, localizado sobre una superficie de 3,528,000 m² previó el establecimiento de 5,547 habitaciones hoteleras y 2,038 departamentos en 1,355 unidades residenciales, así como la construcción de dos campos de golf

de 18 hoyos cada uno. La continuidad espacio-temporal que marca el ritmo de la actividad turística ha alcanzado un área de influencia cada vez mayor. Por ejemplo, el megaproyecto El Cid en Puerto Morelos abarca 5,980,000 m². La oferta de hospedaje para satisfacer la demanda del turismo nacional e internacional se refleja, sobre todo, en el número de habitaciones. La infraestructura hotelera de Cancún registró un crecimiento constante desde su etapa inicial hasta 1981. En este período pasó de 1,322 a 5,225 cuartos de hotel. Posteriormente, entre el último año citado y 1982 presenta un ligero descenso. No obstante, a partir de este año la realización del proyecto se consolida, lo cual sorprende, sobre todo porque la desmesurada oferta de hospedaje pareciera diluir los daños causados a la infraestructura hotelera de manera particular por el huracán Gilberto. En esta forma, el desarrollo integralmente planificado continúa su crecimiento de manera notable a partir de 1992 hasta alcanzar la cantidad de 21,802 habitaciones en 1998, debido fundamentalmente a la ejecución de los megaproyectos San Buenaventura y Puerto Cancún, así como a la construcción de las áreas turístico-residenciales del Table y el Malecón Cancún. Con respecto a la disponibilidad de hospedaje, el porcentaje de ocupación de Cancún superó el 50% desde 1975 hasta julio de 1997. En el lapso comprendido entre el primer año de operación del centro turístico y 1979, la ocupación registra un aumento constante cuyo porcentaje oscila entre el 50 y el 78%. Posteriormente, la aleatoriedad del turismo se manifiesta de manera tangible, de 1980 a 1992 se registro un descenso interrumpido por un porcentaje alto de ocupación que alcanza un 80%. A partir de 1993 se reinicia una tendencia que eleva la cifra de 72% en este año, hasta un 81% en 1997, si bien, la ocupación hotelera en Cancún desciende en una forma apenas perceptible al 76% en 1998.

De 1990 a 2005 Cancún registro un incremento en el número de cuartos, de 17,470 con una ocupación en este año de 68%, en 2007 un total de 27,518 habitaciones que tuvo un registro del 74.8% de ocupación. De esta manera también se experimentan incrementos en el número de visitantes, en 1990 se recibió un total de 1,575,700 turistas mientras que para 2005 fue un total de 3,072,100 visitantes. Con base en estos valores se puede observar que Cancún ha duplicado el número de visitantes que llegan a esta zona, 15 años después de un proceso de desarrollo turístico casi constante, solo sufre un retraso por fenómenos naturales como huracanes.

En los últimos treinta años la ciudad creció muy rápido. Gran parte de los residentes venían de la península de Yucatán. Pero en la actualidad Cancún crece con residentes del resto de México, América y Europa.

De lo anteriormente expuesto se infiere la acelerada ocupación del espacio geográfico por la actividad turística, cuya dimensión prevista en el plan de desarrollo integralmente planeado de Cancún y de sus megaproyectos sobrepasa la capacidad de sostenibilidad de ese entorno y de sus ecosistemas. En forma paralela, se ha agudizado la bipolaridad entre la parte de Quintana Roo eminentemente rural, donde predomina la población maya que ha caracterizado a ese estado durante siglos y el ámbito turístico-urbano de la franja costera, cuya habilitación se ha llevado a cabo en apenas tres decenios.



Figura 1.1 Mapa de la zona turística de Cancún Quintana Roo (Ref. 2)

1.1.2 COZUMEL

En la década de los 60's se inicia el desarrollo turístico de Cozumel, con la construcción de los primeros hoteles y la incipiente promoción nacional e internacional que se gesta en un principio con las publicaciones que hacían algunos turistas que visitaban la isla y regresaban a sus hogares maravillados por las bellezas naturales que encontraban tanto en las playas, la pesca y el buceo, esto hizo que Cozumel fuera el primer polo turístico del estado, con lo que se alcanzó un gran reconocimiento dentro y fuera del país, de ahí que la industria hotelera fuera el detonante de la actividad turística en los años 60's, 70's y 80's, convirtiéndose así en la mayor y principal fuente de empleos y de generadora de visitantes, contando la isla para 1990 con 2,635 cuartos de hotel y 40,000 habitantes.

A partir de 1980 se inicia el arribo de cruceros turísticos con la llegada de una o dos de estas embarcaciones por semana, sin embargo a partir de 1985 se empezó a gestar el boom de la industria turística de cruceros a nivel internacional, con lo que Cozumel se benefició con la creciente llegada de esos barcos semanalmente, surgiendo de esta manera la necesidad de la construcción del primer muelle para cruceros turísticos. El crecimiento en la llegada de cruceros siguió y para 1990 la urgencia de la construcción de un segundo muelle se hizo cada vez más latente, puesto que no solamente crecía el número de estos navíos, sino que cada vez se construían más grandes y con mayor capacidad de pasajeros. Cabe mencionar que los primeros que llegaron a inicio de los 80's eran de un máximo de 30,000 toneladas (como el Southward o el Seabreeze), luego aumentaron a 45,000 toneladas (como el Jubilee y el Seaward) y para el inicio de los 90's aparecieron los llamados cruceros de la segunda generación con 70,000 toneladas y capacidad para 2,200 pasajeros y 1,000 tripulantes (como el Ecstasy y el Fantasy).

Ante el incremento tan grande de la llegada de nuevos cruceros con mayor número de visitantes, el comercio de la isla se incrementó, al grado que la industria hotelera pasó a ocupar el segundo lugar en la generación de empleos dado que cada vez eran más las tiendas que se abrían con todo tipo de giros y con un enfoque directo a los turistas que arribaban por vía marítima, esto dio como resultado que la actividad económica de la isla dependiera ya en un 70% de la llegada de los cruceros y tan solo en un 30% de la hotelería.

Con ese crecimiento fue imperativo la creación de un segundo muelle, el cual después de sortear aspectos legales y ecológicos se construyó en las inmediaciones del arrecife de paraíso por un grupo denominado CONSORCIO H

Para 1995 el crecimiento de la industria de cruceros seguía en aumento y con ella el arribo de estos a las costas de Cozumel, barcos mas grandes llegaban y ya se vislumbraba la construcción de los megacruceros con más de 100,000 toneladas de peso y capacidad para más de 3,500 turistas y 1,500 tripulantes como el Carnival Destiny y el Carnival Triumph.

En la segunda mitad de la década de los 90's se inició la construcción del tercer muelle de cruceros en Cozumel, con lo que la oferta de posiciones de atraque llegó a 6 diarias en Cozumel. Para entonces la isla ya recibía casi 1,000,000 de visitantes por este medio, con lo que se situaba como el segundo puerto en el caribe con mayor número de visitantes. Con la maduración del sistema, para 1998 Cozumel se posicionó como el puerto de visita número uno en lo que a recepción de turistas vía cruceros se refiere.

Finalmente, para el año 2000 la isla de Cozumel recibió más de 1,500,000 turistas vía cruceros en contraposición de los 380,000 que llegaron vía aérea para hospedarse en los 4,125 cuartos de hotel en operación. Es decir que, mientras el inventario de cuartos hoteleros disponibles creció un 56% en 10 años, el número de turistas que llegaron vía crucero se incrementó en 500,000 visitantes, aumentando de 1,000,000 a 1,500,000 de turistas anuales en tan solo cinco años, beneficiando, además de Cozumel, a otras zonas de atractivo turístico como Tulúm, Xcaret, Xel-ha, Chichén Itza, Playa del Carmen, etc., toda vez que los pasajeros de los cruceros compran tours para visitar todos esos lugares.

La infraestructura portuaria de la isla está subutilizada puesto que uno de los muelles recibe el 56%. Así mismo, el incremento en la capacidad de pasajeros por crucero hizo que con menos arribos llegue más gente a cada puerto, lo que está generando en este momento una subutilización de la infraestructura portuaria establecida en Cozumel, es decir si se tienen 6

arrecifes de coral mas grande del mundo, un sistema de ríos subterráneos y cenotes con un ecosistema único, una gran selva tropical que conserva una abundante flora y fauna y los vestigios de una prestigiosa cultura ancestral.

La Riviera Maya se localiza en el extremo oriental de la península de Yucatán y la misma se extiende desde la localidad de Puerto Morelos, a unos 30 kilómetros al sur del aeropuerto internacional de Cancún, hasta un pequeño pueblo de pescadores llamado Punta Allen, ubicado dentro de la Reserva de la Biosfera de Sian Ka'an.

Puerto Aventuras, Akumal, Tulum y Playa del Carmen, el centro neurálgico de la Riviera Maya; son las localidades que cuentan con la mayor cantidad de población. La misma esta conformada por una mezcla inigualable de idiomas y dialectos, lo que la convierte en una zona muy cosmopolita.

En el 2004, la Secretaría de Turismo (SECTUR) anunció la construcción de 11,500 nuevos cuartos de hotel, con lo que se sumarían a un total de más de 50,000 empleos entre directos e indirectos y con esto se cumplieron las metas para que en el 2004 se captaran más de 9,300 millones de dólares de divisas y se alcanzaran los 10,000,000 de visitantes extranjeros que se internan al país.

En 2007 se encuentran operando 10 megaproyectos y en construcción unos seis, además de un fraccionamiento del tipo de Playacar, llamado Selvamar, de 200 hectáreas, con un concepto ecológico, áreas de vegetación natural conservadas como tales.

Hay 31,000 habitaciones de hotel operando, mientras en 1996 comenzaron con 270. No hay comparación de desarrollo en América que permita establecer algún punto de referencia ante semejante expansión, y siguen avanzando los proyectos, con mucho apoyo del gobierno estatal. Se está creando un Instituto de Patrimonio Inmobiliario, piloto a nivel nacional, en la Riviera Maya, se han hecho inversiones importantes en el 2006, a pesar de los dos huracanes, y los empresarios se muestran confiados en las potencialidades de la zona, la cadena Melia tiene prevista la construcción de 1,400 habitaciones en el norte de Playa del Carmen.

El nivel de crecimiento de la Riviera Maya es más acelerado que el de cualquier lugar del país y tal vez del continente. De éste modo, cinco años pueden significar 50% de crecimiento de lo existente hasta la fecha, lo cual implica que debería tener de 45,000 a 50,000 habitaciones hoteleras, pero se estima llegar a 80,000, que son las autorizadas hasta 2007. Y como en la zona colindante con Tulum, incluyendo Akumal, Chemuyil, Puerto Aventuras, Ciudad Aventuras, etc., está prevista una población de 1,100,000 para el año 2,015 y para Playa del Carmen, en especifico, un total de 500,000 de habitantes en cinco años, esta será una zona urbana de consideración en breve. Ya se están realizando proyectos para hacer una central de abastos, que cumplirá dos funciones, para los locales y los hoteles. Es decir, se trabaja en diversas líneas de acción, todas en favor de generar mayor inversión, fuentes de empleo y prosperidad a la Riviera Maya

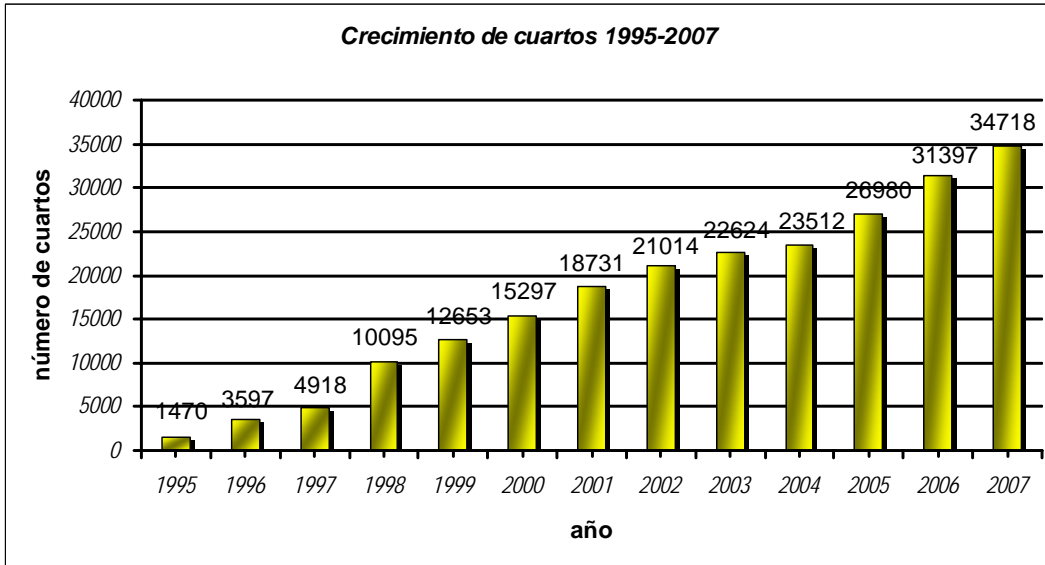


Figura 1.3 Crecimiento de cuartos de 1995 a 2007 (Ref. 1)

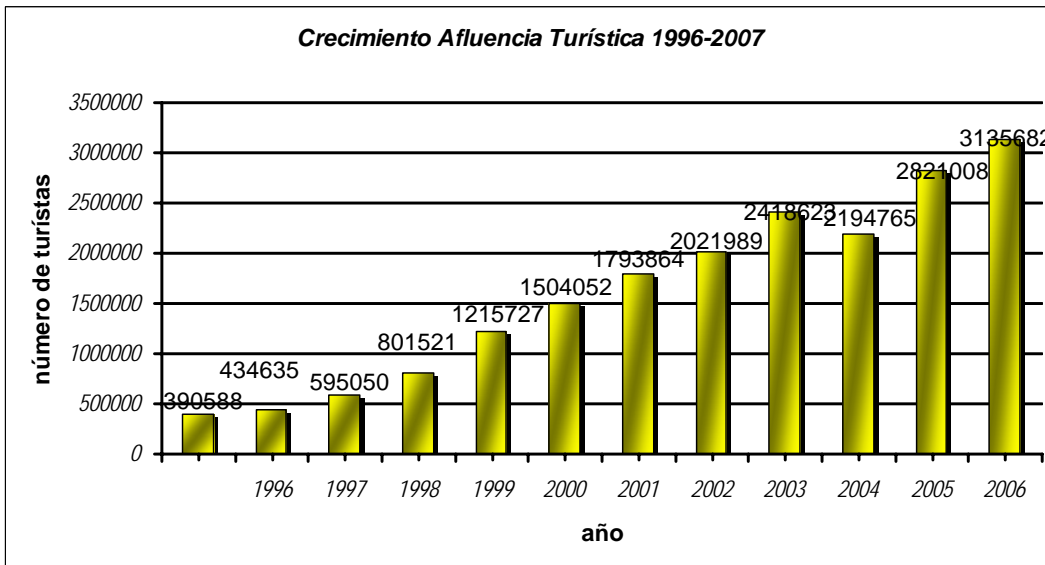


Figura 1.4 Aumento en la afluencia de turistas de 1996 a 2007 (Ref.1)



Figura 1.5 Ubicación de la Riviera Maya en la Península de Quintana Roo(Ref.2)

1.2 COMPORTAMIENTO HISTÓRICO DE LOS EVENTOS EXTREMOS EN LA ZONA Y TENDENCIAS A FUTURO.

1.2.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS HURACANES

El huracán es una categoría que se le da a un tipo de ciclón tropical. Los ciclones tropicales son sistemas de vientos en forma de espiral que se desplazan sobre la superficie terrestre. Tiene circulación cerrada alrededor de un punto central. En el hemisferio norte los vientos giran contrario a las manecillas del reloj. Los ciclones tropicales se clasifican de acuerdo con la intensidad de sus vientos sostenidos, de la siguiente forma:

La Depresión Tropical: es un sistema organizado de nubes con una circulación definida y cuyos vientos máximos sostenidos son menores de 63 km/hr.

La Tormenta Tropical: es un sistema organizado de nubes con una circulación definida y cuyos vientos máximos sostenidos fluctúan entre los 63 y 118 km/hr. En esta etapa es cuando se le asigna un nombre por orden de aparición y de forma alfabética. El nombre que recibe de huracán solo se da en el Caribe, Océano Atlántico y en Este del Pacífico,

El Huracán: es un ciclón tropical de intensidad máxima en el cual los vientos máximos sostenidos alcanzan o superan los 137 km/hr. Tiene un centro muy definido con una presión barométrica muy baja. Las condiciones más apropiadas para la formación de un huracán son las siguientes:

- Que la temperatura del agua del mar sea superior a 27/28 °C generando una rápida evaporación y condensación en las capas superiores.
- Que la cuantía de la evaporación dé lugar a un centro de baja presión, de anchura intermedia y de gran proyección vertical.
- Que exista una continua entrada de aire más frío en las capas altas como consecuencia, generalmente, de vientos alisios¹



Figura 1.6- Estructura de un Huracán (Ref. 1)

¹ Los vientos alisios soplan de manera relativamente constante en verano y menos en invierno. Circulan entre los trópicos, desde los 30-35° de latitud hacia el ecuador. Se dirigen desde las altas presiones subtropicales, hacia las bajas presiones ecuatoriales. El movimiento de rotación de la Tierra desvía a los Alisios hacia el oeste, y por ello soplan del nordeste al suroeste en el hemisferio norte y del sudeste hacia el noroeste en el hemisferio sur. (Ref. 3)

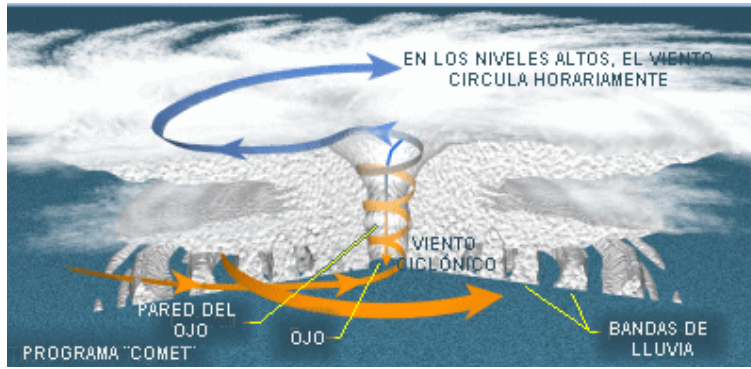


Figura 1.7 estructura de un Huracán (Ref. 7)

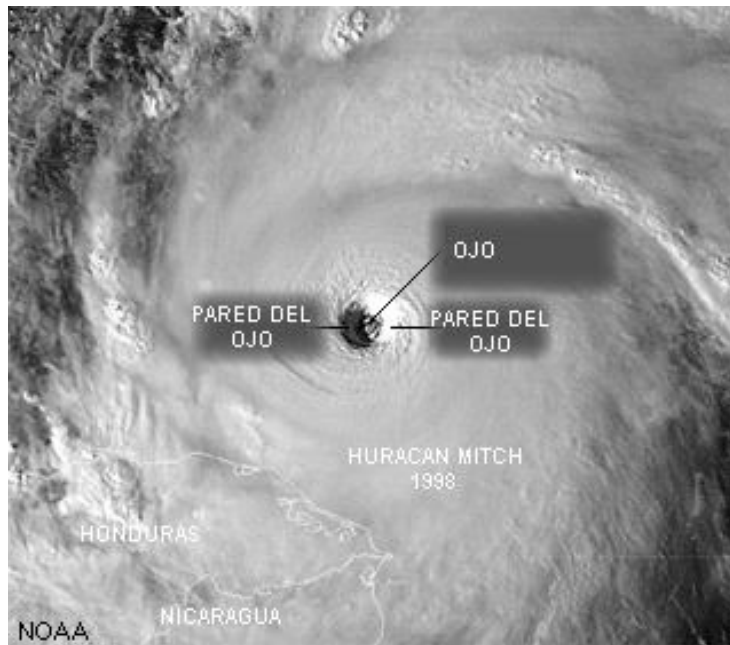


Figura 1.8 Estructura de un Huracán (Ref. 7)

Los huracanes se clasifican de acuerdo a la fuerza de sus vientos y su potencial destructivo, mediante la escala Saffir-Simpson. Basándose en esta escala, los huracanes categoría 1 serían los más débiles y los categoría 5 los más fuertes. En el Atlántico norte, una temporada de huracanes comienza normalmente el día 1 de junio y termina el 30 de noviembre, siendo el mes más activo septiembre. El noreste del Pacífico suele tener un período más largo de actividad, aunque por lo general en los mismos meses del año.

Categoría	Vientos [km/hr]	Presión [mbar]	Altura de ola generada [m]	Daños
1	119-153	>979	1.22-1.52	Mínimo
2	154-177	965-979	1.83-2.44	Moderado
3	178-209	945-964	2.74-3.65	Extenso
4	210-249	920-944	3.96-5.49	Extremo
5	>249	<920	>5.49	Catastrófico

Tabla 1.1 Escala de Huracán Saffir-Simpson, modificada por Simpson (1974)(Ref 2).

1.2.2 COMPORTAMIENTO HISTORICO DE EVENTOS EXTREMOS EN LA ZONA

En la zona de estudio de esta tesis la temporada de Huracanes comienza el 1 de junio y termina el 30 de noviembre de cada año. Aunque los fenómenos tropicales se pueden formar en cualquier momento del año en el Atlántico tropical. El valor medio de tormentas tropicales por año es de 10, de las cuales 6 se convierten en huracanes y 2 a 3 de estos se convierten en huracanes importantes, esto es, categoría 3 o mayor en la escala de Saffir-Simpson. A partir de 1995 se genera un periodo más activo de 13 tormentas tropicales por año, de 7.6 huracanes y 3.6 de estos se vuelven importantes.

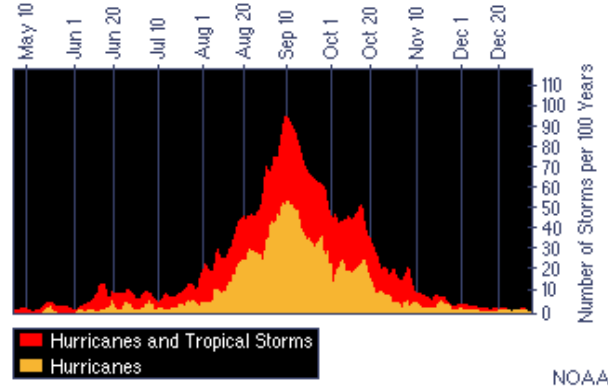


Figura 1.9 Actividad en los meses de la temporada de Huracanes (Ref 4)

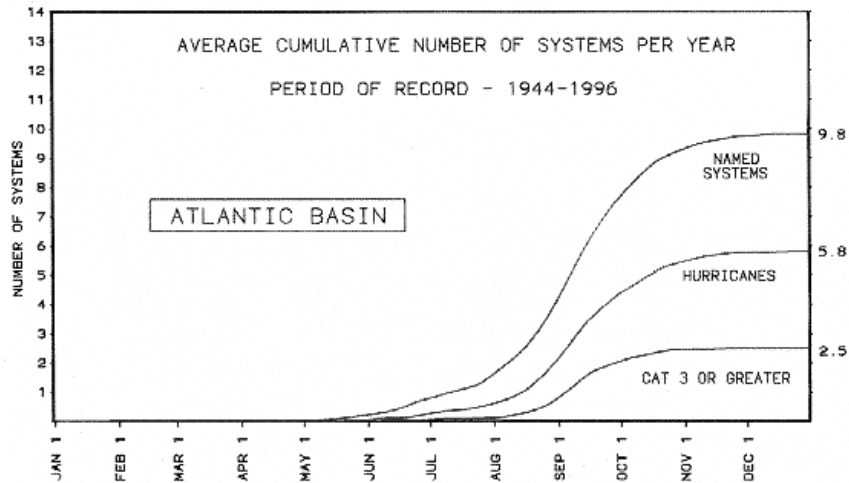


Figura 1.10 Incremento de fenómenos meteorológicos de 1944-1996 (Ref 4)

La zona de este estudio abarca Cancún, Riviera Maya y Cozumel y se cuenta con registros de eventos o fenómenos tropicales desde 1851(Ref 2), de acuerdo con NOAA (national Oceanic Atmospheric Administration)(Ref 7) y NHC (Nacional Hurricane Center)(Ref 6). El análisis que se desarrolla sobre las zonas antes mencionadas comprende un radio de estudio de 75 km tomando como centro Cozumel. Este radio abarca las tres zonas de interés y permite establecer las características de los fenómenos meteorológicos a su paso por la zona.

Cada una de las tormentas tropicales, en sus distintas etapas que se analizan se marca con su categoría a su paso por la zona de acuerdo con la escala Saffir-Simpson, es decir, la categoría que presenta dentro de los 75 km, de radio. De esta manera se muestra a continuación en el periodo de 1851-2006 cada uno de los eventos que han pasado por la zona y su etapa en ese

momento, es importante mencionar, que si se muestra un mismo evento en dos categorías diferentes esto puede deberse a que sufrió un cambio dentro de la zona en estudio.

1.2.2.1 ONDA TROPICAL

Las ondas tropicales ocurren en los vientos del este y se mueven hacia el oeste con un movimiento ondulado. Demuestran un cambio perceptible en la dirección del viento, que puede no ser perceptible en la superficie, pero pueden ser vista en la troposfera media. Una onda tropical puede convertirse en un ciclón tropical (ref. 8)

No existen datos de algún registro de este evento en el intervalo de análisis de 1855-2006



Figura 1.11 Tormentas tropicales tipo W en un radio de 75 km sobre Cozumel de 1855-2006(Ref. 5)

1.2.2.2 DISTURBIO TROPICAL

Un disturbio tropical es un sistema tropical discreto, es decir, su actividad es de tormenta eléctrica, y tiene un diámetro de alrededor de 186 a 558 km. Se origina en las zonas tropicales o subtropicales, mantiene sus características por 24 horas o más y puede convertirse en un ciclón tropical.(Ref. 8)

No existen datos de algún registro de este evento en el intervalo de análisis de 1855-2006

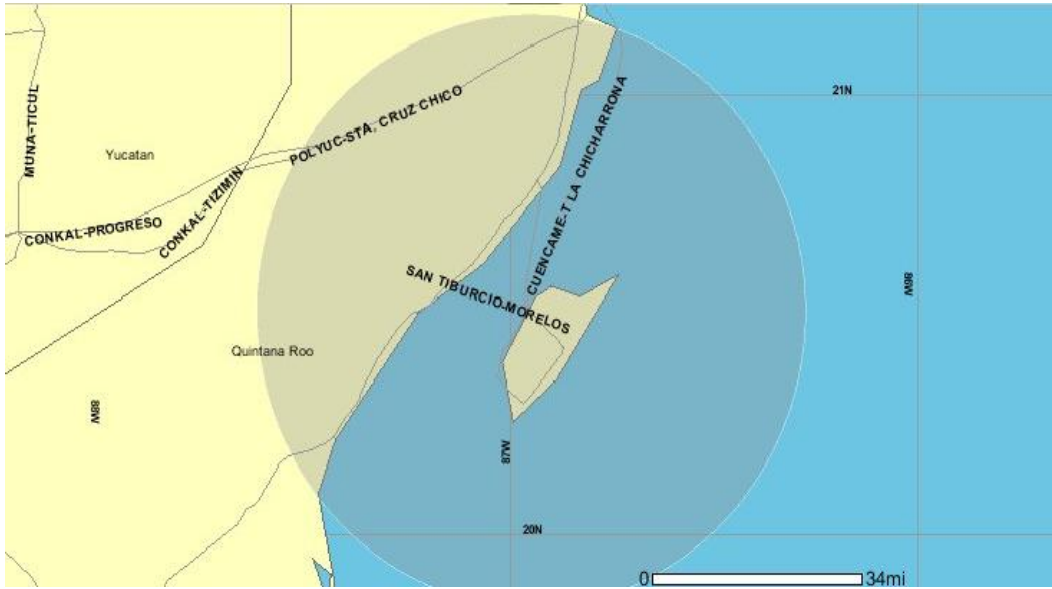


Figura 1.12 Tormentas tropicales tipo D en un radio de 75 km sobre Cozumel de 1855-2006(Ref. 5)

1.2.2.3 PUNTO BAJO TROPICAL

Un punto bajo tropical, indica una presión baja en la superficie, pero no hay otras características de un ciclón tropical presentes. (ref. 8)

No existen datos de algún registro de este evento en el intervalo de análisis de 1855-2006

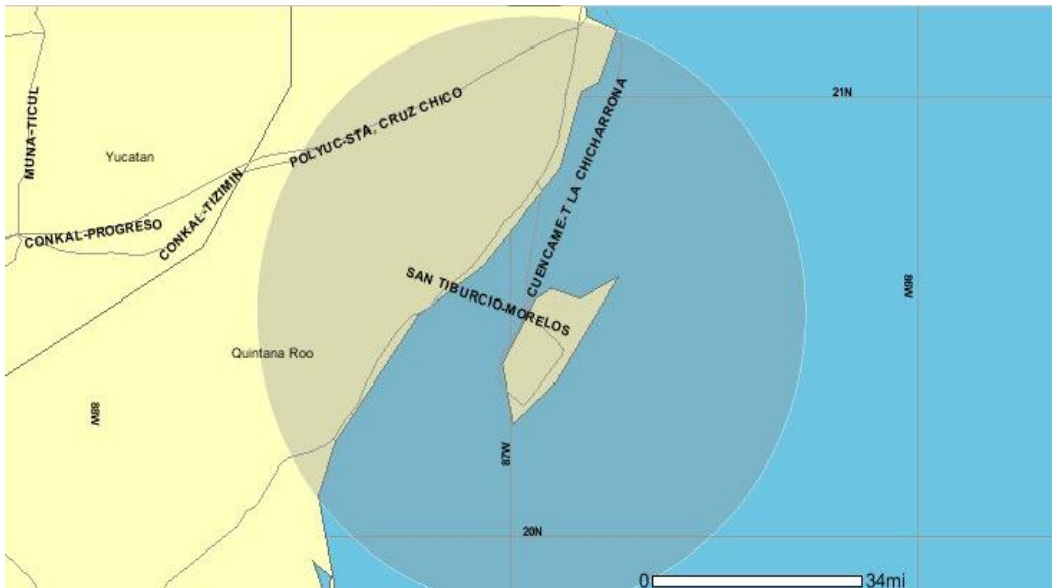


Figura 1.13 Tormentas tropicales tipo L en un radio de 75 km sobre Cozumel de 1855-2006(Ref. 5)

1.2.2.4 TD - DEPRESIÓN TROPICAL

La depresión tropical se caracteriza por tener vientos sostenidos superficiales no mayores de 63 km/hr (Ref. 8)

Reg	Año	Mes	Día	Nombre de tormenta	Velocidad viento(km/hr)	Presión(mbar)	Categoría
1	1952	2	2	NOTNAMED	55.560	0	TD
2	1965	9	25	DEBBIE	46.300	1005	TD
3	1965	9	25	DEBBIE	46.300	0	TD
4	1965	9	26	DEBBIE	46.300	0	TD
5	1965	9	26	DEBBIE	46.300	0	TD
6	1970	9	10	ELLA	55.560	0	TD
7	1970	9	10	ELLA	55.560	0	TD
8	1972	6	15	AGNES	55.560	0	TD
9	1972	6	16	AGNES	55.560	1001	TD
10	1972	6	16	AGNES	55.560	0	TD
11	1973	9	1	DELIA	55.560	1008	TD
12	1979	9	15	HENRI	46.300	1003	TD
13	2000	9	14	GORDON	46.300	1008	TD
14	2000	9	14	GORDON	46.300	1007	TD

Tabla 1.2 Eventos TD 1855-2006 (Ref. 5)



Figura 1.14 Tormentas tropicales tipo TD en un radio de 75 km sobre Cozumel de 1855-2006(Ref. 5)

1.2.2.5 TS - TORMENTA TROPICAL

Una tormenta tropical es un ciclón tropical con los vientos superficiales sostenidos máximos de 63 km/hr a 120 km/hr. (Ref. 8)

Reg	Año	Mes	Día	Nombre de tormenta	Velocidad viento(km/hr)	Presión(mbar)	Categoría
<u>1</u>	1870	11	2	NOTNAMED	74.080	0	<u>IS</u>
<u>2</u>	1870	11	2	NOTNAMED	74.080	0	<u>IS</u>
<u>3</u>	1870	11	2	NOTNAMED	92.600	0	<u>IS</u>
<u>4</u>	1880	10	5	NOTNAMED	74.080	0	<u>IS</u>
<u>5</u>	1880	10	6	NOTNAMED	92.600	0	<u>IS</u>
<u>6</u>	1881	8	16	NOTNAMED	74.080	0	<u>IS</u>
<u>7</u>	1881	8	16	NOTNAMED	74.080	0	<u>IS</u>
<u>8</u>	1887	10	6	NOTNAMED	83.340	0	<u>IS</u>
<u>9</u>	1887	10	7	NOTNAMED	92.600	0	<u>IS</u>
<u>10</u>	1893	9	4	NOTNAMED	83.340	0	<u>IS</u>
<u>11</u>	1895	9	28	NOTNAMED	64.820	0	<u>IS</u>
<u>12</u>	1895	9	28	NOTNAMED	64.820	0	<u>IS</u>
<u>13</u>	1898	9	23	NOTNAMED	92.600	0	<u>IS</u>
<u>14</u>	1898	9	23	NOTNAMED	92.600	0	<u>IS</u>
<u>15</u>	1898	9	23	NOTNAMED	74.080	0	<u>IS</u>
<u>16</u>	1905	9	25	NOTNAMED	74.080	0	<u>IS</u>
<u>17</u>	1905	9	25	NOTNAMED	74.080	0	<u>IS</u>
<u>18</u>	1909	8	7	NOTNAMED	74.080	0	<u>IS</u>
<u>19</u>	1909	8	8	NOTNAMED	74.080	0	<u>IS</u>
<u>20</u>	1909	8	8	NOTNAMED	64.820	0	<u>IS</u>
<u>21</u>	1911	10	28	NOTNAMED	83.340	0	<u>IS</u>
<u>22</u>	1911	10	28	NOTNAMED	83.340	0	<u>IS</u>
<u>23</u>	1911	10	29	NOTNAMED	83.340	0	<u>IS</u>
<u>24</u>	1911	10	29	NOTNAMED	74.080	0	<u>IS</u>
<u>25</u>	1911	10	29	NOTNAMED	64.820	0	<u>IS</u>
<u>26</u>	1912	10	13	NOTNAMED	111.120	0	<u>IS</u>
<u>27</u>	1912	10	13	NOTNAMED	92.600	0	<u>IS</u>
<u>28</u>	1913	6	25	NOTNAMED	92.600	0	<u>IS</u>
<u>29</u>	1913	6	25	NOTNAMED	92.600	0	<u>IS</u>
<u>30</u>	1920	9	20	NOTNAMED	83.340	0	<u>IS</u>
<u>31</u>	1920	9	20	NOTNAMED	83.340	0	<u>IS</u>
<u>32</u>	1924	9	28	NOTNAMED	64.820	0	<u>IS</u>
<u>33</u>	1933	7	18	NOTNAMED	74.080	0	<u>IS</u>
<u>34</u>	1933	7	18	NOTNAMED	74.080	0	<u>IS</u>
<u>35</u>	1936	6	12	NOTNAMED	64.820	0	<u>IS</u>
<u>36</u>	1936	6	13	NOTNAMED	74.080	0	<u>IS</u>
<u>37</u>	1936	8	15	NOTNAMED	111.120	0	<u>IS</u>
<u>38</u>	1936	8	15	NOTNAMED	92.600	0	<u>IS</u>
<u>39</u>	1939	6	12	NOTNAMED	64.820	0	<u>IS</u>
<u>40</u>	1939	6	13	NOTNAMED	64.820	1003	<u>IS</u>
<u>41</u>	1945	6	21	NOTNAMED	64.820	0	<u>IS</u>
<u>42</u>	1945	6	21	NOTNAMED	64.820	0	<u>IS</u>
<u>43</u>	1947	8	12	NOTNAMED	92.600	0	<u>IS</u>
<u>44</u>	1947	8	12	NOTNAMED	92.600	0	<u>IS</u>

Reg	Año	Mes	Día	Nombre de tormenta	Velocidad viento(km/hr)	Presión(mbar)	Categoría
<u>45</u>	1952	2	2	NOTNAMED	64.820	0	<u>TS</u>
<u>46</u>	1953	10	7	HAZEL	64.820	0	<u>TS</u>
<u>47</u>	1953	10	7	HAZEL	64.820	0	<u>TS</u>
<u>48</u>	1973	8	18	BRENDA	64.820	0	<u>TS</u>
<u>49</u>	1973	8	19	BRENDA	92.600	992	<u>TS</u>
<u>50</u>	1975	9	20	ELOISE	64.820	1006	<u>TS</u>
<u>51</u>	1975	9	21	ELOISE	74.080	1001	<u>TS</u>
<u>52</u>	1975	9	21	ELOISE	83.340	1001	<u>TS</u>
<u>53</u>	1988	11	21	KEITH	111.120	985	<u>TS</u>
<u>54</u>	1988	11	21	KEITH	111.120	993	<u>TS</u>
<u>55</u>	2003	7	11	CLAUDETTE	92.600	1010	<u>TS</u>
<u>56</u>	2003	7	11	CLAUDETTE	92.600	1009	<u>TS</u>
<u>57</u>	2003	7	11	CLAUDETTE	92.600	1009	<u>TS</u>

Tabla 1.1 Eventos TS 1855-2006 (Ref. 5)



Figura 1.15 Tormentas tropicales tipo TS en un radio de 75 km sobre Cozumel de 1855-2006(Ref. 5)

1.2.2.6 H1 - HURACÁN DE CATEROGÍA 1

Un Huracán de la categoría 1 es un ciclón tropical con los vientos superficiales sostenidos máximos de 119 a 153 Km.(Ref. 8)

Reg	Año	Mes	Día	Nombre de tormenta	Velocidad viento(km/hr)	Presión(mbar)	Categoría
<u>1</u>	1873	10	4	NOTNAMED	148.160	0	<u>H1</u>
<u>2</u>	1873	10	5	NOTNAMED	148.160	0	<u>H1</u>
<u>3</u>	1880	8	9	NOTNAMED	129.640	0	<u>H1</u>
<u>4</u>	1893	9	29	NOTNAMED	148.160	0	<u>H1</u>
<u>5</u>	1922	10	18	NOTNAMED	148.160	0	<u>H1</u>
<u>6</u>	1922	10	18	NOTNAMED	129.640	0	<u>H1</u>
<u>7</u>	1922	10	18	NOTNAMED	129.640	0	<u>H1</u>
<u>8</u>	1944	8	22	NOTNAMED	148.160	0	<u>H1</u>
<u>9</u>	1944	8	22	NOTNAMED	148.160	0	<u>H1</u>
<u>10</u>	1944	9	20	NOTNAMED	129.640	0	<u>H1</u>
<u>11</u>	1944	9	20	NOTNAMED	129.640	0	<u>H1</u>

Tabla 1.4 Eventos H1 1855-2006 (Ref. 5)



Figura 1.16 Tormentas tropicales tipo H1 en un radio de 75 km sobre Cozumel de 1855-2006(Ref. 5)

1.2.2.7 H2 - HURACÁN DE CATEGORÍA 2

Un Huracán de la categoría 2 es un ciclón tropical con los vientos superficiales máximos de 154 a 177 km/hr(Ref. 8)

Reg	Año	Mes	Día	Nombre de tormenta	Velocidad viento(km/hr)	Presión(mbar)	Categoría
<u>1</u>	1857	9	28	NOTNAMED	166.680	0	<u>H2</u>
<u>2</u>	1857	9	28	NOTNAMED	166.680	0	<u>H2</u>
<u>3</u>	1880	8	9	NOTNAMED	166.680	0	<u>H2</u>
<u>4</u>	1880	8	9	NOTNAMED	166.680	0	<u>H2</u>
<u>5</u>	1887	7	25	NOTNAMED	157.420	0	<u>H2</u>
<u>6</u>	1887	7	25	NOTNAMED	157.420	0	<u>H2</u>
<u>7</u>	1887	9	17	NOTNAMED	157.420	0	<u>H2</u>
<u>8</u>	1887	9	17	NOTNAMED	157.420	0	<u>H2</u>
<u>9</u>	1893	9	28	NOTNAMED	157.420	0	<u>H2</u>
<u>10</u>	1893	9	29	NOTNAMED	157.420	0	<u>H2</u>
<u>11</u>	1903	8	13	NOTNAMED	157.420	0	<u>H2</u>
<u>12</u>	1909	8	25	NOTNAMED	166.680	0	<u>H2</u>
<u>13</u>	1933	9	22	NOTNAMED	166.680	0	<u>H2</u>
<u>14</u>	1933	9	22	NOTNAMED	166.680	0	<u>H2</u>
<u>15</u>	1933	9	22	NOTNAMED	166.680	0	<u>H2</u>
<u>16</u>	1938	8	25	NOTNAMED	157.420	0	<u>H2</u>
<u>17</u>	1942	8	27	NOTNAMED	166.680	0	<u>H2</u>
<u>18</u>	1942	8	28	NOTNAMED	166.680	0	<u>H2</u>
<u>19</u>	1967	9	17	BEULAH	175.940	0	<u>H2</u>
<u>20</u>	1967	9	17	BEULAH	166.680	0	<u>H2</u>
<u>21</u>	1995	10	10	ROXANNE	175.940	966	<u>H2</u>

Tabla 1.5 Eventos H2 1855-2006 (Ref. 5)

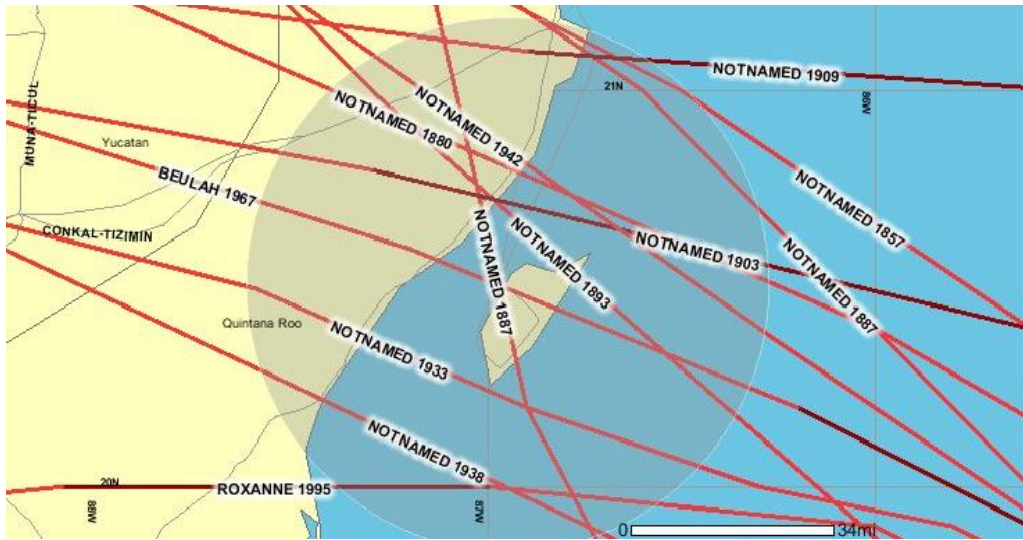


Figura 1.17 Tormentas tropicales tipo H2 en un radio de 75 km sobre Cozumel de 1855-2006(Ref. 5)

1.2.2.8 H3 - HURACÁN DE CATEROGÍA 3

Un Huracán de la categoría 3 es un ciclón tropical con los vientos superficiales máximos de 178 a 209 km/hr(Ref. 8)

Reg	Año	Mes	Día	Nombre de tormenta	Velocidad viento(km/hr)	Presión(mbar)	Categoría
<u>1</u>	1903	8	13	NOTNAMED	194.460	0	<u>H3</u>
<u>2</u>	1909	8	25	NOTNAMED	185.200	0	<u>H3</u>
<u>3</u>	1951	8	19	CHARLIE	203.720	0	<u>H3</u>
<u>4</u>	1995	10	11	ROXANNE	185.200	958	<u>H3</u>
<u>5</u>	2005	10	22	WILMA	203.720	935	<u>H3</u>
<u>6</u>	2005	10	22	WILMA	185.200	947	<u>H3</u>

Tabla 1.6 Eventos H3 1855-2006 (Ref. 5)

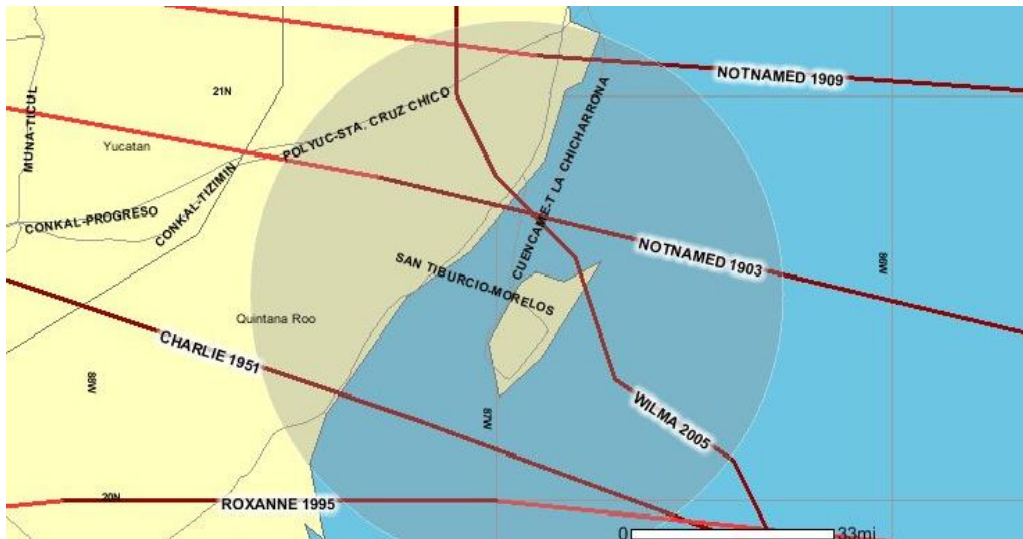


Figura 1.18 Tormentas tropicales tipo H3 en un radio de 75 km sobre Cozumel de 1855-2006(Ref. 5)

1.2.2.9 H4 - HURACÁN DE CATEROGÍA 4

Un Huracán de la categoría 4 es un ciclón tropical con los vientos superficiales máximos de 210 a 249 Km/hr(Ref. 8)

Reg	Año	Mes	Día	Nombre de tormenta	Velocidad viento(km/hr)	Presión(mbar)	Categoría
<u>1</u>	1951	8	20	CHARLIE	212.980	0	<u>H4</u>
<u>2</u>	2005	7	18	EMILY	222.240	951	<u>H4</u>
<u>3</u>	2005	7	18	EMILY	212.980	955	<u>H4</u>
<u>4</u>	2005	10	21	WILMA	231.500	929	<u>H4</u>
<u>5</u>	2005	10	21	WILMA	222.240	926	<u>H4</u>
<u>6</u>	2005	10	22	WILMA	222.240	930	<u>H4</u>

Tabla 1.7 Eventos H4 1855-2006 (Ref. 5)



Figura 1.19 Tormentas tropicales tipo H4 en un radio de 75 km sobre Cozumel de 1855-2006(Ref. 5)

1.2.2.10 H5 HURACÁN DE CATEROGÍA 5

Un Huracán de la categoría 5 es un ciclón tropical con los vientos superficiales máximos mayores a 249 Km/hr(Ref. 8)

Reg	Año	Mes	Día	Nombre de tormenta	Velocidad viento(km/hr)	Presión(mbar)	Categoría
<u>1</u>	1988	9	14	GILBERT	287.060	889	<u>H5</u>
<u>2</u>	1988	9	14	GILBERT	268.540	892	<u>H5</u>

Tabla 1.8 Eventos H5 1855-2006 (Ref. 5)

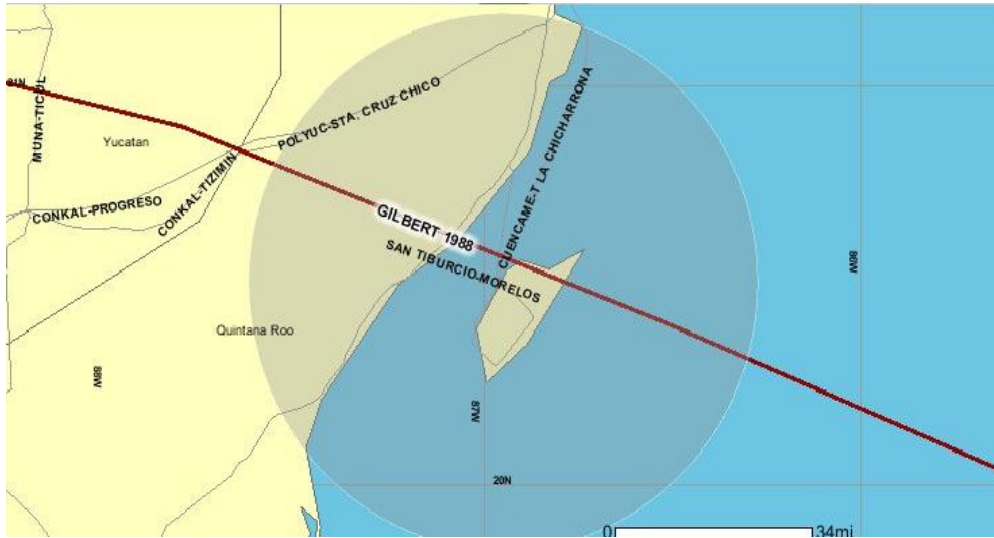


Figura 1.20 Tormentas tropicales tipo H5 en un radio de 75 km sobre Cozumel de 1855-2006(Ref. 5)

1.2.2.11 E - EXTRATROPICAL

Este término indica que la tormenta ha perdido sus características tropicales y que se ha movido de las zonas tropicales y que la fuente de energía que conducía la tormenta ha cambiado. Mientras que los ciclones tropicales derivan su energía de la convección del aire caliente, húmedo, las tormentas Extratropical derivan su energía del contraste de la temperatura entre las masas del aire caliente y frío. Es importante observar que los ciclones pueden llegar a ser Extratropical y todavía conservar los vientos del huracán o de la fuerza tropical de la tormenta (Ref. 8).

No existen datos de algún registro de este evento en el intervalo de análisis de 1855-2006

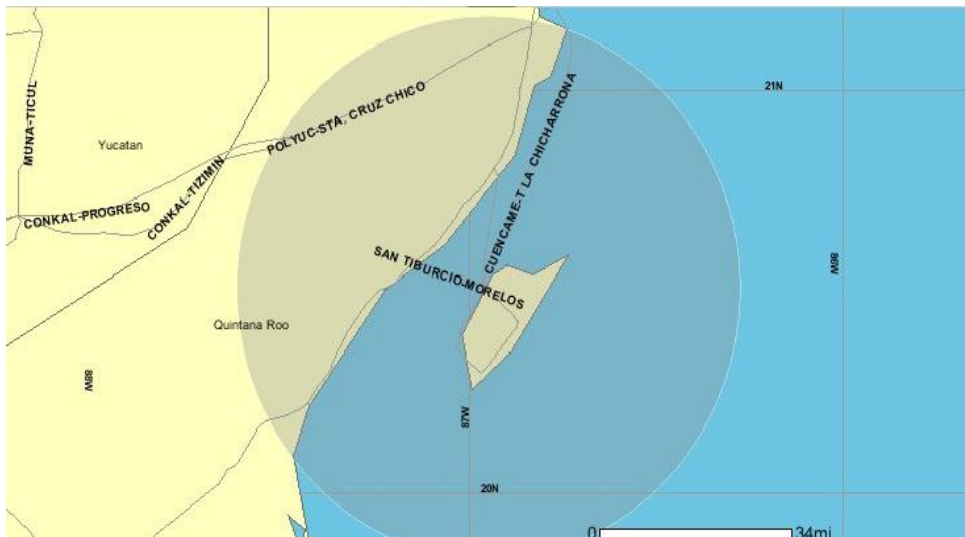


Figura 1.21 Tormentas tropicales tipo E en un radio de 75 km sobre Cozumel de 1855-2006(Ref. 5)

1.2.2.12 SD DEPRESIÓN SUBTROPICAL

La depresión subtropical es un ciclón tropical con los vientos superficiales sostenidos máximos menores de 63 km/hr (Ref. 8)

No existen datos de algún registro de este evento en el intervalo de análisis de 1855-2006

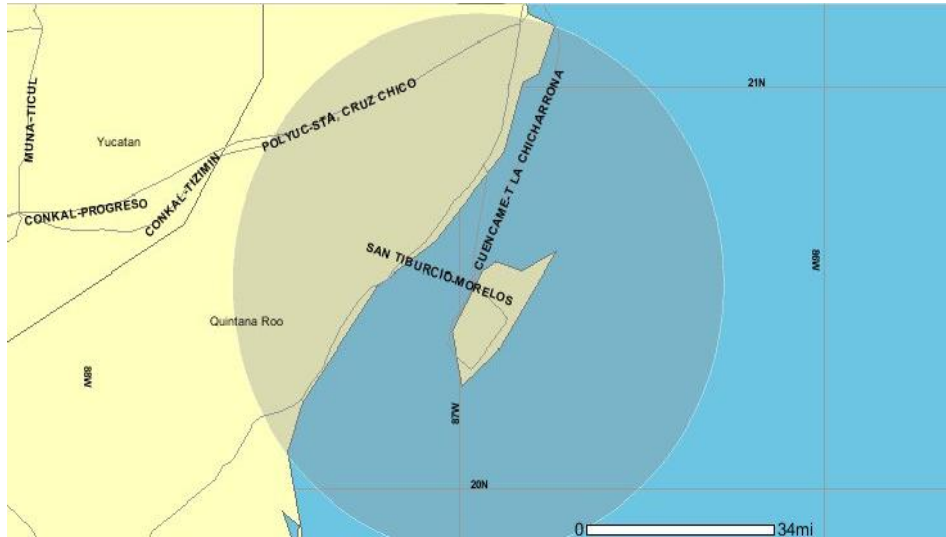


Figura 1.22 Tormentas tropicales tipo SD en un radio de 75 km sobre Cozumel de 1855-2006(Ref. 5)

1.2.2.13 SS TORMENTA SUBTROPICAL

Una tormenta subtropical es un ciclón subtropical con los vientos superficiales sostenidos máximos de 64 a 72 Km/hr.(Ref. 8)

No existen datos de algún registro de este evento en el intervalo de análisis de 1855-2006

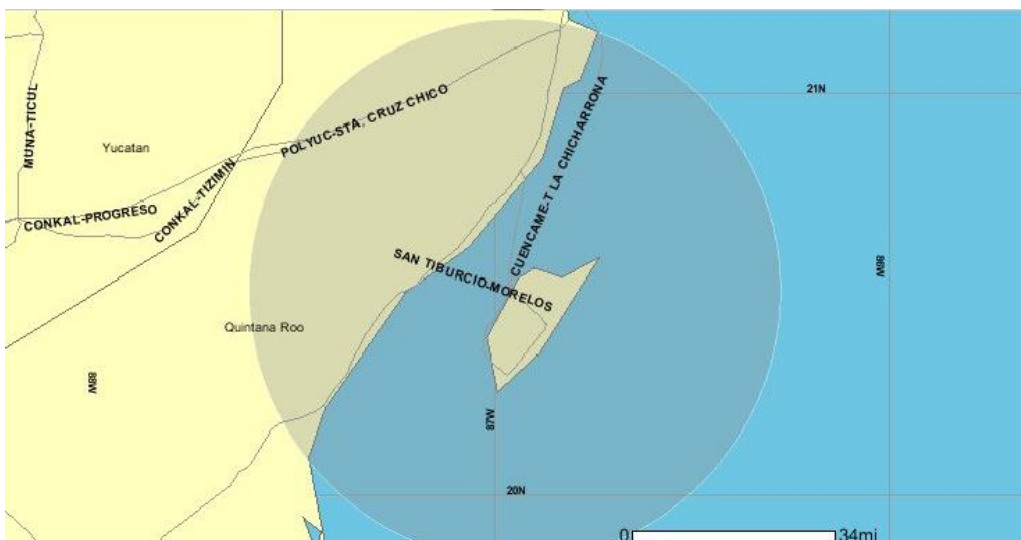


Figura 1.23 Tormentas tropicales tipo SS en un radio de 75 km sobre Cozumel de 1855-2006(Ref. 5)

Es importante reafirmar que la serie de eventos que se consideran con sus respectivas categorías están analizados en un radio de 75 Km con respecto a la zona de Cozumel, de acuerdo con estos, algunas tormentas tropicales sufren un cambio en esta zona y puede provocar que se encuentren consideradas en diferentes categorías, de esta manera podemos establecer un número total de eventos que son 177 y sus respectivas categorías en la zona de estudio.

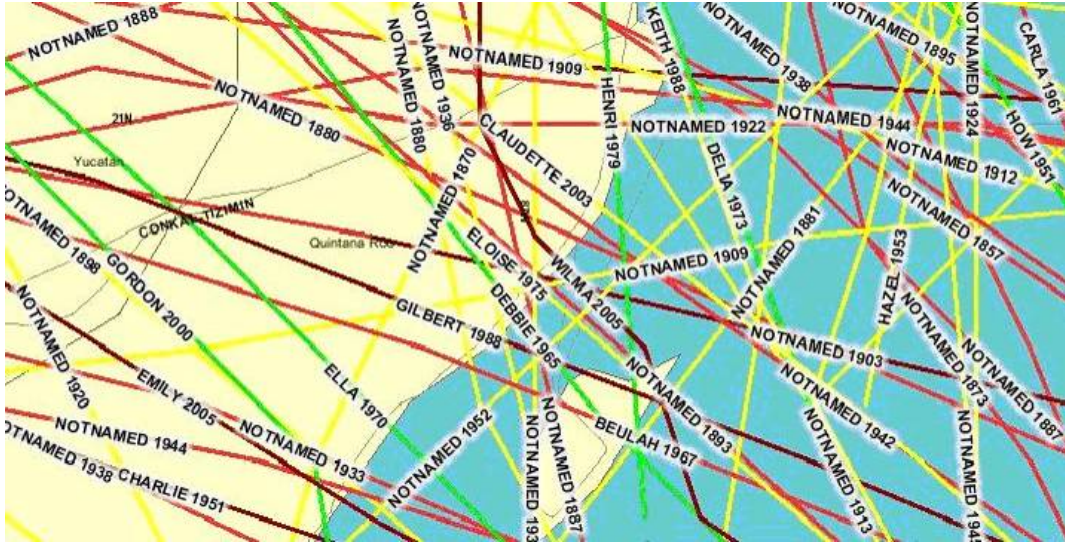


Figura 1.24 Resumen de eventos en la zona de 1855-2006(Ref. 5)

Tipo de tormenta	Número de Ocurrencias 1855-2006
W ONDA TROPICAL	0
D DISTURBIO TROPICAL	0
L PUNTO BAJO TROPICAL	0
TD DEPRESIÓN TROPICAL	14
TS TORMENTA TROPICAL	57
H1 HURACÁN DE CATEROGÍA 1	11
H2 HURACÁN DE CATEROGÍA 2	21
H3 HURACÁN DE CATEROGÍA 3	6
H4 HURACÁN DE CATEROGÍA 4	6
H5 HURACÁN DE CATEROGÍA 5	2
E EXTRATROPICAL	0
SD DEPRESIÓN SUBTROPICAL	0
SS TORMENTA SUBTROPICAL	0

Tabla 1.9 Resumen de eventos 1855-2006 (Ref. 5)

1.2.3 TENDENCIA A FUTURO

Para la temporada del 2008 se espera de acuerdo con la Administración Atmosférica y Oceánica de los Estados Unidos (NOAA), una temporada similar a la del año 2005; con la formación de entre 12 y 16 tormentas con nombre, de estas de 6 a 9 podrán convertirse en huracanes y de 2 a 5 de estos fenómenos podrán convertirse en huracanes de categoría mayor a dos de acuerdo con la escala Saffir-Simpson

En la actualidad el océano Atlántico pasa por un período multi-década de alta actividad de los huracanes, en parte ocasionado por la persistencia de temperaturas marinas por encima de lo normal y que contribuyen para la formación y vida larga de los huracanes. En este año, adicionalmente, además del factor mencionado es muy probable que en los siguientes meses se desarrolle el fenómeno la Niña² en el Pacífico, fenómeno global que crea corrientes de aire en el mar Caribe favorables a los huracanes y que además ayuda a una mayor ocurrencia de huracanes en el sur del mar Caribe.

En la actualidad solo con algunos días de anticipación (de uno a tres días) los servicios meteorológicos pueden tener una idea aproximada de su ruta e intensidad probable. No es posible saber que países o islas están en la ruta de los huracanes Para tener un daño menor se requiere desde organizar la población, revisar los planes de contingencia, y educar a la población sobre estos fenómenos.

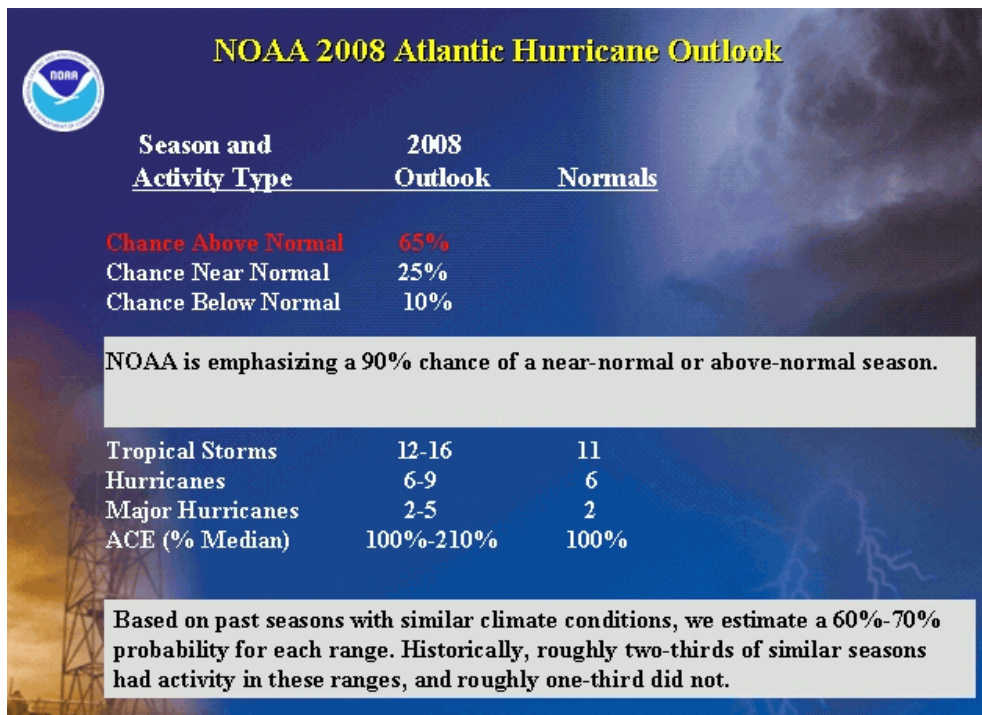


Figura 1.25 Temporada de huracanes para el 2008 (Ref. 9)

1.3 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA TEMPORADA DE HURACANES 2005 Y PARTICULARMENTE DEL HURACÁN WILMA.

Como se ha mencionado antes, la temporada de huracanes en el Océano Atlántico comienza el 1 de junio y termina el 30 de noviembre de cada año, particularmente a partir de 1995 ha habido un período generalmente más amplio con un promedio estacional (basado en datos entre 1995 y 2003) de 13 tormentas tropicales, de 7.6 huracanes y de 3.6 huracanes importantes. Septiembre es generalmente la época más activa del año para el Atlántico, pero éste no imposibilita las tormentas intensas o destructivas que ocurren en cualquier momento durante la estación. El caso en que las tormentas más importantes no se presentan en el mes de septiembre como fue

² La Niña, produce cambios a gran escala en los vientos Atmosféricos sobre el océano Pacífico Tropical incluyendo un incremento en la intensidad de los vientos Alisios del Este (Este-Oeste) en la atmósfera baja sobre el océano pacífico oriental, y de los oeste en la atmósfera superior.(Ref. 10)

el caso de la temporada del 2005 en donde uno de los huracanes más destructivos se presentó en el mes de octubre de ese año; éste huracán llevó por nombre "Huracán Wilma".

La temporada de huracanes 2005 comenzó el 9 de junio con la tormenta tropical Arlene que se formó de una depresión tropical al suroeste del mar del Caribe. La tormenta tropical Bret se formó también en junio, ésta era la decimotercera vez desde 1851 en que dos tormentas tropicales se formaban en junio.

En el mes de julio 5 tormentas alcanzaron categorías para ser nombradas: Cindy, Dennis, Eily, Franklin y Pert. Los registros anteriores muestran que el mayor número de tormentas formadas en julio era de 4. De las 5 tormentas 2 se convirtieron en huracanes importantes.

En el mes de agosto 5 más fueron nombradas de las cuales 2 serían huracanes, esto traía un total de 12 tormentas nombradas para los primeros tres meses y 4 huracanes. En este mes también se consideró al huracán Katrina, el cual causó grandes daños en E.E.U.U.

En el mes de septiembre se formaron 5 Huracanes que representaban casi la mitad de la temporada de junio-septiembre. Solamente en el año de 1933 se habían formado un número igual de 17 tormentas nombradas. En este mes se formó el tercer huracán de categoría 5, Rita, así también se formó el huracán Ophelia durante el mes de septiembre.

El mes de octubre presentó una cierta actividad tropical inusual así como el huracán más intenso en la historia. El huracán Wilma registró valores de presión central de 882 mbar, esta presión es la más baja registrada para cualquier Huracán en el Atlántico superando al huracán Gilberto en 1988 con 888 mbar. El huracán Wilma produjo alrededor de 152 cm de precipitación en 24 horas a su paso por la península de Yucatán. En este mismo mes se desarrollaron el huracán Vince y la tormenta tropical Tammy. Por primera vez desde que se había implementado el nombramiento de las tormentas tropicales fue necesario utilizar el alfabeto griego y así, fueron bautizadas las tormentas tropicales Alfa y Beta, esta última se convertiría en un huracán de categoría 3 haciendo un embate por las costas de Nicaragua.

El 3 de noviembre se formaron otras tormentas tropicales: Gamma y Delta, además se formó el huracán Épsilon. La tormenta tropical Gamma se generó de los remanentes de la depresión tropical número 27 cercana a las costas de Honduras, mientras que la tormenta tropical Delta se formó al este del Atlántico para avanzar hacia las costas del norte de África. El Huracán Épsilon se formó en el centro del norte del Atlántico a 30° N, y se consolidó como un huracán el 2 de diciembre. La última tormenta que se presentó se formó el 30 de diciembre y fue la tormenta tropical Zeta y permaneció en las aguas abiertas del Atlántico norte por toda su existencia.

El huracán Wilma ha sido el evento meteorológico que más daños ha generado sobre la zona de Cancún, Riviera Maya y Cozumel. Este huracán presentó características sin antecedentes en la historia del Atlántico. En las imágenes se muestran su trayectoria y en la tabla 1.10 se presentan las características climáticas (velocidad de viento y presión). El huracán Wilma afectó la zona de estudio los días 21, 22 y 23 de octubre de 2005 con vientos de categoría cuatro.



Figura 1.26 Ubicación y tipo de tormenta de Wilma durante su periodo de vida(Ref. 5)

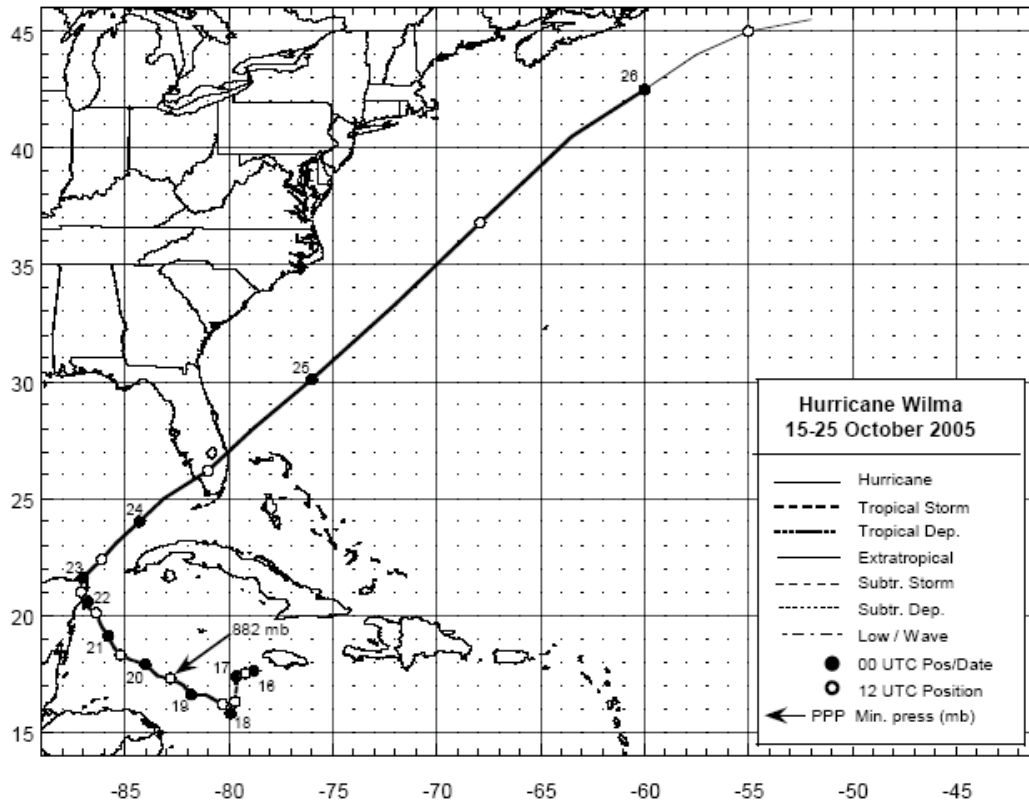


Figura 1.27 Trayectoria del Huracán Wilma (Ref. 12)

Reg	Año	Mes	Día	Nombre de tormenta	Velocidad viento(km/hr)	Presión(mbar)	Categoría
<u>1</u>	2005	10	15	WILMA	46.300	1004	<u>TD</u>
<u>2</u>	2005	10	16	WILMA	46.300	1004	<u>TD</u>
<u>3</u>	2005	10	22	WILMA	203.720	935	<u>H3</u>
<u>4</u>	2005	10	22	WILMA	185.200	947	<u>H3</u>
<u>5</u>	2005	10	22	WILMA	157.420	958	<u>H2</u>
<u>6</u>	2005	10	23	WILMA	157.420	960	<u>H2</u>
<u>7</u>	2005	10	23	WILMA	157.420	962	<u>H2</u>
<u>8</u>	2005	10	23	WILMA	157.420	961	<u>H2</u>
<u>9</u>	2005	10	23	WILMA	166.680	963	<u>H2</u>
<u>10</u>	2005	10	24	WILMA	175.940	958	<u>H2</u>
<u>11</u>	2005	10	24	WILMA	203.720	953	<u>H3</u>
<u>12</u>	2005	10	24	WILMA	175.940	950	<u>H2</u>
<u>13</u>	2005	10	24	WILMA	194.460	955	<u>H3</u>
<u>14</u>	2005	10	25	WILMA	203.720	955	<u>H3</u>
<u>15</u>	2005	10	25	WILMA	185.200	963	<u>H3</u>
<u>16</u>	2005	10	25	WILMA	166.680	970	<u>H2</u>
<u>17</u>	2005	10	25	WILMA	138.900	976	<u>H1</u>
<u>18</u>	2005	10	26	WILMA	111.120	978	<u>E</u>
<u>19</u>	2005	10	26	WILMA	101.860	982	<u>E</u>
<u>20</u>	2005	10	26	WILMA	92.600	986	<u>E</u>
<u>21</u>	2005	10	16	WILMA	55.560	1003	<u>TD</u>
<u>22</u>	2005	10	16	WILMA	55.560	1003	<u>TD</u>
<u>23</u>	2005	10	16	WILMA	55.560	1002	<u>TD</u>
<u>24</u>	2005	10	17	WILMA	55.560	1001	<u>TD</u>
<u>25</u>	2005	10	17	WILMA	64.820	1000	<u>TS</u>
<u>26</u>	2005	10	17	WILMA	74.080	999	<u>TS</u>
<u>27</u>	2005	10	17	WILMA	83.340	997	<u>TS</u>
<u>28</u>	2005	10	18	WILMA	101.860	988	<u>TS</u>
<u>29</u>	2005	10	18	WILMA	111.120	982	<u>TS</u>
<u>30</u>	2005	10	18	WILMA	120.380	979	<u>H1</u>
<u>31</u>	2005	10	18	WILMA	138.900	975	<u>H1</u>
<u>32</u>	2005	10	19	WILMA	240.760	946	<u>H4</u>
<u>33</u>	2005	10	19	WILMA	277.800	892	<u>H5</u>
<u>34</u>	2005	10	19	WILMA	296.320	882	<u>H5</u>
<u>35</u>	2005	10	19	WILMA	259.280	892	<u>H5</u>
<u>36</u>	2005	10	20	WILMA	250.020	892	<u>H4</u>
<u>37</u>	2005	10	20	WILMA	240.760	901	<u>H4</u>
<u>38</u>	2005	10	20	WILMA	240.760	910	<u>H4</u>
<u>39</u>	2005	10	20	WILMA	240.760	917	<u>H4</u>
<u>40</u>	2005	10	21	WILMA	240.760	924	<u>H4</u>
<u>41</u>	2005	10	21	WILMA	240.760	930	<u>H4</u>
<u>42</u>	2005	10	21	WILMA	231.500	929	<u>H4</u>
<u>43</u>	2005	10	21	WILMA	222.240	926	<u>H4</u>
<u>44</u>	2005	10	22	WILMA	222.240	930	<u>H4</u>

Tabla 1.10 Características del Huracán Wilma en el transcurso de su vida(Ref. 5)

Dato/tiempo (UTC)	Latitud (°N)	Longitud (°W)	Presión (mbar)	Velocidad del viento (km/hr)	Categoría
15 / 1800	17.6	78.5	1004	46.3000	Depresión Tropical
16 / 0000	17.6	78.8	1004	46.3000	Depresión Tropical
16 / 0600	17.5	79.0	1003	55.5600	Depresión Tropical
16 / 1200	17.5	79.2	1003	55.5600	Depresión Tropical
16 / 1800	17.5	79.4	1002	55.5600	Depresión Tropical
17 / 0000	17.4	79.6	1001	55.5600	Depresión Tropical
17 / 0600	16.9	79.6	1000	64.8200	Tormenta Tropical
17 / 1200	16.3	79.7	999	74.0800	Tormenta Tropical
17 / 1800	16.0	79.8	997	83.3400	Tormenta Tropical
18 / 0000	15.8	79.9	988	101.8600	Tormenta Tropical
18 / 0600	15.7	79.9	982	111.1200	Tormenta Tropical
18 / 1200	16.2	80.3	979	120.3800	Huracán categoría1
18 / 1800	16.6	81.1	975	138.8999	Huracán categoría1
19 / 0000	16.6	81.8	946	240.7599	Huracán categoría1
19 / 0600	17.0	82.2	892	277.7999	Huracán categoría 2
19 / 1200	17.3	82.8	882	296.3199	Huracán categoría 2
19 / 1800	17.4	83.4	892	259.2799	Huracán categoría 4
20 / 0000	17.9	84.0	892	250.0199	Huracán categoría 4
20 / 0600	18.1	84.7	901	240.7599	Huracán categoría 4
20 / 1200	18.3	85.2	910	240.7599	Huracán categoría 4
20 / 1800	18.6	85.5	917	240.7599	Huracán categoría 4
21 / 0000	19.1	85.8	924	240.7599	Huracán categoría 4
21 / 0600	19.5	86.1	930	240.7599	Huracán categoría 4
21 / 1200	20.1	86.4	929	231.4999	Huracán categoría 4
21 / 1800	20.3	86.7	926	222.2399	Huracán categoría 4
22 / 0000	20.6	86.8	930	222.2399	Huracán categoría 4
22 / 0600	20.8	87.0	935	203.7199	Huracán categoría 3
22 / 1200	21.0	87.1	947	185.1999	Huracán categoría 3
22 / 1800	21.3	87.1	958	157.4199	Huracán categoría 2
23 / 0000	21.6	87.0	960	157.4199	Huracán categoría 2
23 / 0600	21.8	86.8	962	157.4199	Huracán categoría 2
23 / 1200	22.4	86.1	961	157.4199	Huracán categoría 2
23 / 1800	23.1	85.4	963	166.6799	Huracán categoría 2
24 / 0000	24.0	84.3	958	175.9399	Huracán categoría 2
24 / 0600	25.0	83.1	953	203.7199	Huracán categoría 2
24 / 1200	26.2	81.0	950	175.9399	Huracán categoría 2
24 / 1800	28.0	78.8	955	194.4599	Huracán categoría 2
25 / 0000	30.1	76.0	955	203.7199	Huracán categoría 3
25 / 0600	33.3	72.0	963	185.1999	Huracán categoría 3
25 / 1200	36.8	67.9	970	166.6799	Huracán categoría 2
25 / 1800	40.5	63.5	976	138.8999	Huracán categoría 2
26 / 0000	42.5	60.0	978	111.1200	Extratropical
26 / 0600	44.0	57.5	982	101.8600	Extratropical
26 / 1200	45.0	55.0	986	92.6000	Extratropical
26 / 1800	45.5	52.0	990	74.0800	Extratropical
27 / 0000					Tiende a ser Punto Bajo
21 / 2145	20.6	86.8	927	212.9799	Recalada en Cozumel México

Dato/tiempo (UTC)	Latitud (°N)	Longitud (°W)	Presión (mbar)	Velocidad del viento (km/hr)	Categoría
22 / 0330	20.8	86.9	933	194.4599	Recalada cerca de Puerto Morelos México
24 / 1030	25.9	81.7	950	296.3199	Recalada cerca de los Cabos Florida
19 / 1200	17.3	82.8	882	46.3000	Presión mínima

Tabla 1.11 características del Huracán Wilma(Ref. 12)

1.4 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL ESTADO ACTUAL DE LA INFRAESTRUCTURA TURÍSTICA, COSTERA Y PORTUARIA EN LA ZONA DE CANCÚN, COZUMEL Y LA RIVIERA MAYA.

Después del paso del huracán Wilma, las zonas de Cozumel, Cancún y la Riviera Maya comenzó un proceso de reconstrucción que continuó como un proceso de mejora y aumento de infraestructura en el sector turístico, de esta manera las zonas que fueron dañadas por esta tormenta para el 2006 presentan ya una franca recuperación.

Es importante mencionar que gran parte del capital con que operan estas regiones es extranjero y en su mayoría español, es decir, las inversiones españolas operan cerca de 35 000 habitaciones en más de 100 hoteles, de estos el 74% son de categoría de cinco estrellas y 24% de cuatro estrellas, debido a este incremento en la zona hotelera se realizan actualmente proyectos para generar 27 nuevos hoteles que sumarían 12500 habitaciones más.

En México están presentes 21 cadenas hoteleras españolas, que cuentan con 101 hoteles y que suman 35,690 habitaciones. En la Riviera Maya los hoteles españoles suponen el 53,27% del total de las habitaciones disponibles y en Cancún el 28,1%. En estas fechas se construyen 12 nuevos hoteles que abrirán sus puertas dentro de dos años.(Ref.14)

El aumento de la infraestructura hotelera permite que la zona turística de Quintana Roo tenga la mayor capacidad de alojamiento dentro de los destinos turísticos de México. La oferta hotelera de Quintana Roo equivale al 12% del total del país con 763 hoteles y 59497 cuartos, generándose un crecimiento del 58.60% y 51.20% respectivamente, durante los últimos seis años. La ocupación hotelera fue de 78% durante el año 2004, lo que significa un incremento de siete puntos porcentuales con relación a hace seis años. En el 2004, llegaron a Quintana Roo 10.8 millones de turistas y visitantes, de los cuales 3.5 millones fueron visitantes en cruceros, lo que representa el 46% del total de los turistas que por esta vía llegan a México. De acuerdo a lo establecido en los Programas de Ordenamiento Ecológicos Territoriales, en el estado de Quintana Roo se pueden construir 141 mil cuartos de hotel, lo que significa que a la fecha se ha cubierto el 42% de la capacidad permitida. (Ref. 13)

Los 3.5 millones de turistas que ingresan a Cancún, Cozumel y la Riviera Maya por medio de cruceros, generan un movimiento anual importante, como ejemplo para el 2006, el movimiento que se presentó en los puertos de la zona es el que se muestra en la tabla 1.12

Puerto	Pasajeros cruceros	Cruceros	Movimiento De Carga	
CANCUN, Q. ROO	385	1		cruceros
PLAYA DEL CARMEN, Q. ROO	1937	9		cruceros
COZUMEL, Q. ROO	2377	989	1120960	cabotaje
PUNTA VENADO, Q. ROO	2134	104	7559718	altura-cabotaje
PUERTO MORELOS, Q. ROO			82913	altura-cabotaje
TOTAL	6833	1103	8763591	cruceros

Tabla 1.12 Resumen para los puertos del año 2006 (Ref. 15)

De acuerdo con lo antes mencionado se puede establecer que Cancún, Cozumel y la Riviera Maya están en un constante proceso de cambio y si este proceso no está planeado en su conjunto puede generar problemas ecológicos en un futuro y quizá la presencia de una tormenta como el Huracán Wilma origine un mayor número de daños humanos y materiales debido a una mala organización en el desarrollo de la zona y un cambio tan grande en su geomorfología.

1.5 DESCRIPCIÓN DE LA PROBLEMÁTICA DE LAS OBRAS COSTERAS Y PORTUARIAS EN LA ZONA DE COZUMEL Y LA NECESIDAD DE CONTAR CON PARÁMETROS DE DISEÑO APROPIADOS.

En los últimos 20 años la zona de Cozumel comenzó a sufrir un cambio antropogénico muy importante en su morfología, debido principalmente al efecto de las grandes inversiones destinadas a transformar la isla en un importante destino turístico, lo que ha provocado una mayor vulnerabilidad. Por otro lado, aparentemente, la ocurrencia de huracanes en el Atlántico se incrementó a partir de 1993 y por ende los eventos son más peligrosos. Combinando ambos efectos (aumento de la peligro y de la vulnerabilidad) el riesgo en la zona resultante es cada día mayor, lo cual quedó patente con el paso del huracán Wilma.

Entre los daños más importantes que generó el huracán Wilma fue la destrucción total del muelle para cruceros "Puerta Maya". Es conveniente señalar que existen otros muelles para cruceros en la isla de Cozumel como el de "Punta Langosta" y "SSA", los cuales no sufrieron daños tan severos como el primero. En función de la dirección en la que arribó la tormenta, el muelle Puerta Maya se encontraba más lejos que los otros dos, lo cual hace suponer que hubo deficiencias de diseño.

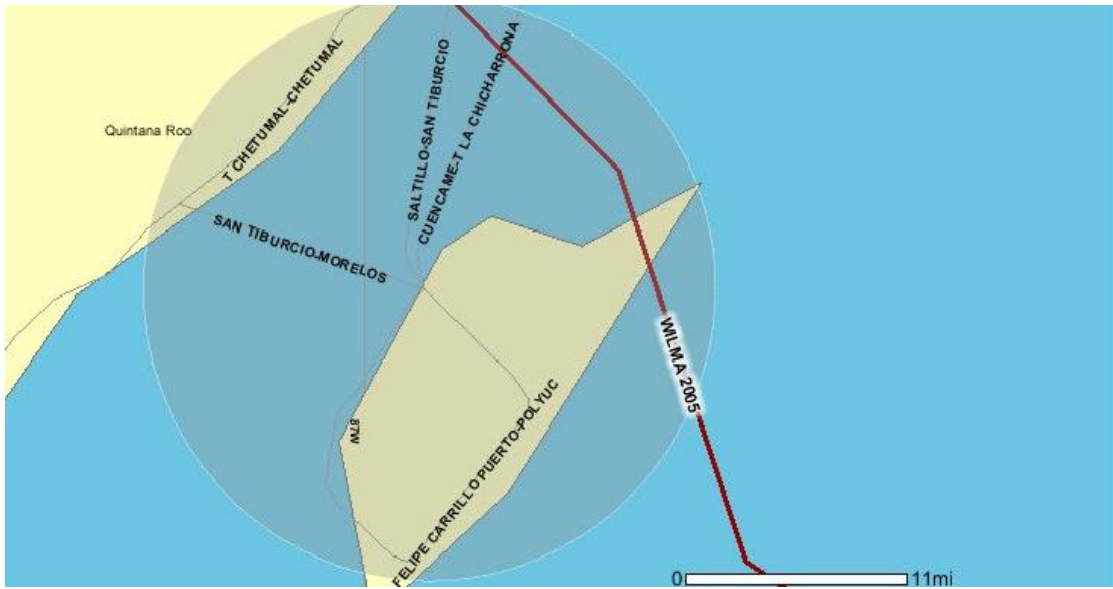


Figura 1.28 Huracán Wilma en su paso por Cozumel en un radio de 25 Km (Ref. 5)

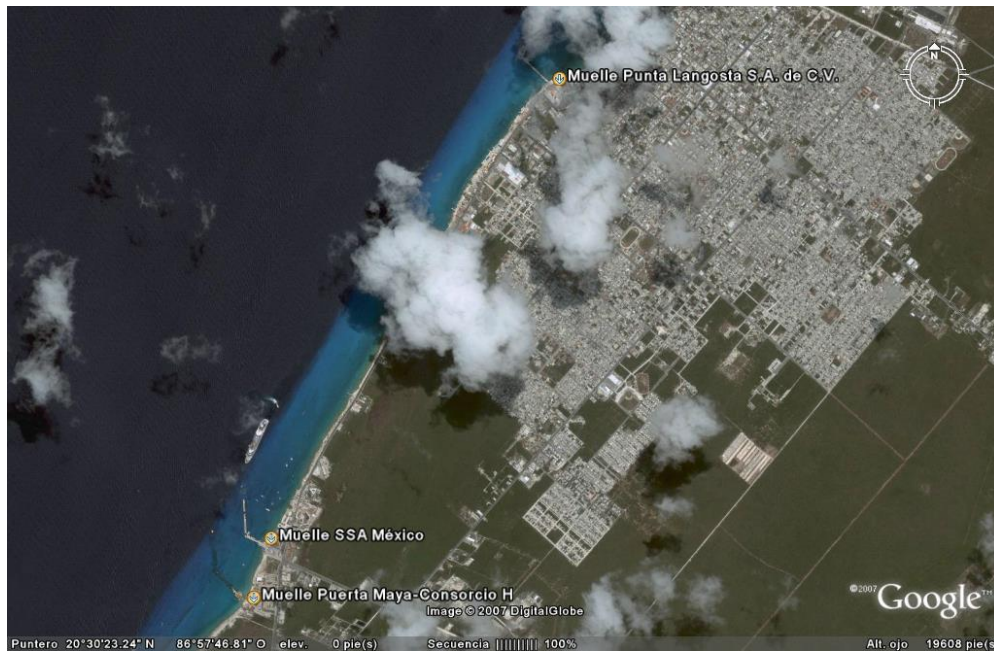


Figura 1.29 Ubicación de los muelles en Cozumel (Ref. 17)

CAPÍTULO 2

CARACTERÍSTICAS DEL MEDIO FÍSICO.

Las características del medio físico determinan las condiciones a las que están expuestas los muelles en la zona de la isla de Cozumel todos los días del año. De esta manera se establecen en este capítulo la geomorfología, geología, climatología y los procesos costeros, principalmente en la ubicación de los muelles para cruceros "PUERTA MAYA", "SSA" y "PUNTA LANGOSTA". Con base en este análisis es posible entender el comportamiento de los procesos físicos más importantes (sin considerar a los huracanes) y su influencia en los muelles de cruceros.

2.1 LOCALIZACIÓN GENERAL.

"En el idioma maya Cozumel significa "Isla de las golondrinas".



Figura 2.1 Escudo de Cozumel. El fondo azul representa el mar, el sol representa la calidad del municipio de ser la región más oriental del país, la golondrina el significado de la palabra Cozumel. (Ref. 3)

La isla de Cozumel, en el Caribe, es una isla ubicada aproximadamente a 18 km de la costa oriental de la península de Yucatán¹. Su eje mayor, Norte-Sur, mide 52 km. y el menor, Este-Oeste, 14 km., En total su superficie es de 520 km² y es la mayor de las islas mexicanas habitadas, constituyendo, junto con Isla Mujeres las tierras más orientales de México, por lo que son identificadas como las ventanas de México al Caribe y los lugares donde nace el sol para nuestro país.

Cozumel se localiza, entre las coordenadas extremas, al norte 20 grados 36', al sur 20 grados 16' de latitud norte; al este 86 grados 44' y oeste 87 grados 20' de longitud oeste. En la figura 2.1 y 2.2 se muestra la ubicación geográfica de la isla de Cozumel con respecto a la península de Yucatán y sus coordenadas geográficas.

¹ La **Península de Yucatán** divide al Golfo de México del Mar Caribe en América Central. Esta compuesta por los estados mexicanos de Campeche, Quintana Roo y Yucatán; Países como Belice y el noreste de Guatemala. (Ref. 9)

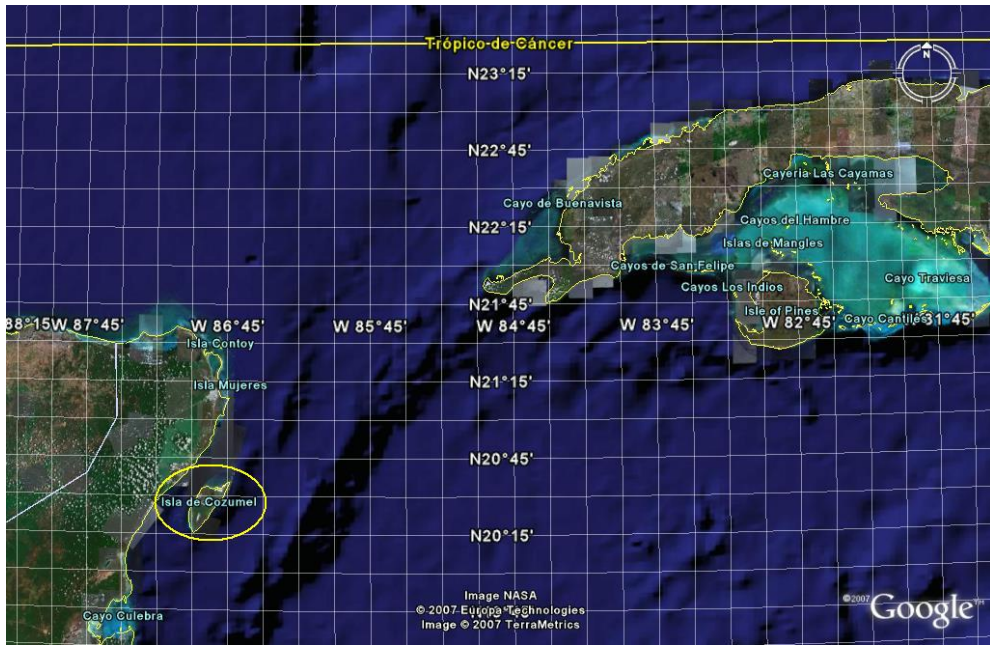


Figura 2.2 Ubicación geográfica de la isla de Cozumel (Ref. 4)



Figura 2.3 Ubicación geográfica de la isla de Cozumel (Ref. 4)

2.2 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LOS MUELLES

La ubicación de cada uno de los muelles de cruceros se muestra en las figuras 2.4 a la 2.7, de esta manera, se observan la latitud y longitud en tres puntos de cada uno de los muelles, así también, se muestra un plano general con respecto a la zona en la que están ubicados en la isla de Cozumel. En capítulos posteriores se especificarán a detalle las características estructurales, capacidades y comportamiento ante el huracán Wilma.



Figura 2.4 Ubicación geográfica de muelles para cruceros en la isla de Cozumel (Ref. 4)

MUELLE DE PUERTA MAYA CONSORCIO H

Propiedad de Carnival Corp., ofrece infraestructura portuaria de primera clase. Se localiza en el kilómetro 4.5 sur y este complejo turístico ofrece una gran lista de servicios públicos.

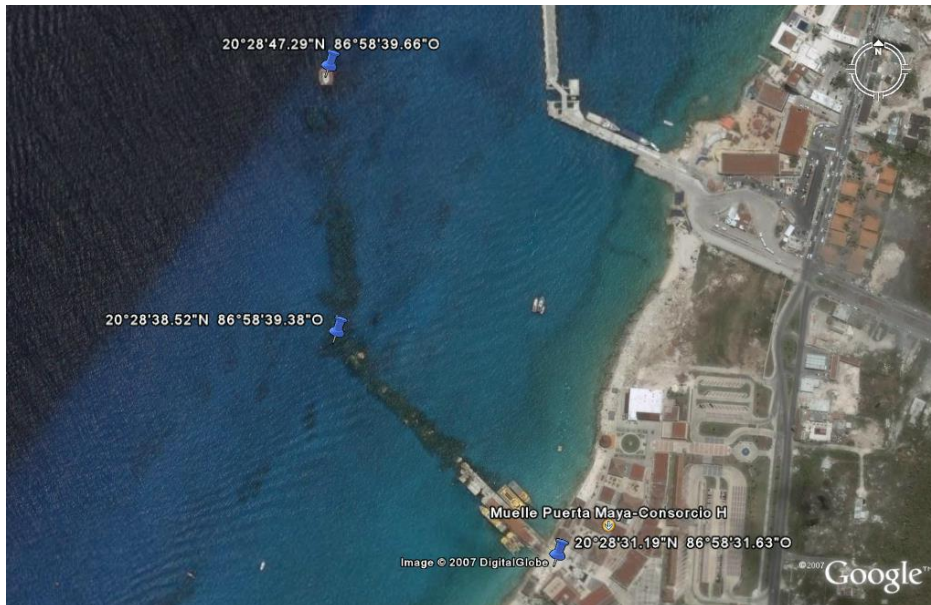


Figura 2.5 Localización Geográfica del muelle para cruceros "Puerta Maya-Consorcio H" después del Huracán Wilma (Ref. 4)

MUELLE SSA MEXICO S.A DE C.V. COZUMEL

Este fue el primer muelle para cruceros construido en la isla a finales de los años 70 por TMM y actualmente es propiedad de SSA, S.A. DE C.V. Se localiza en el kilómetro 4 sur y ofrece facilidades portuarias para los transbordadores y cruceros internacionales.

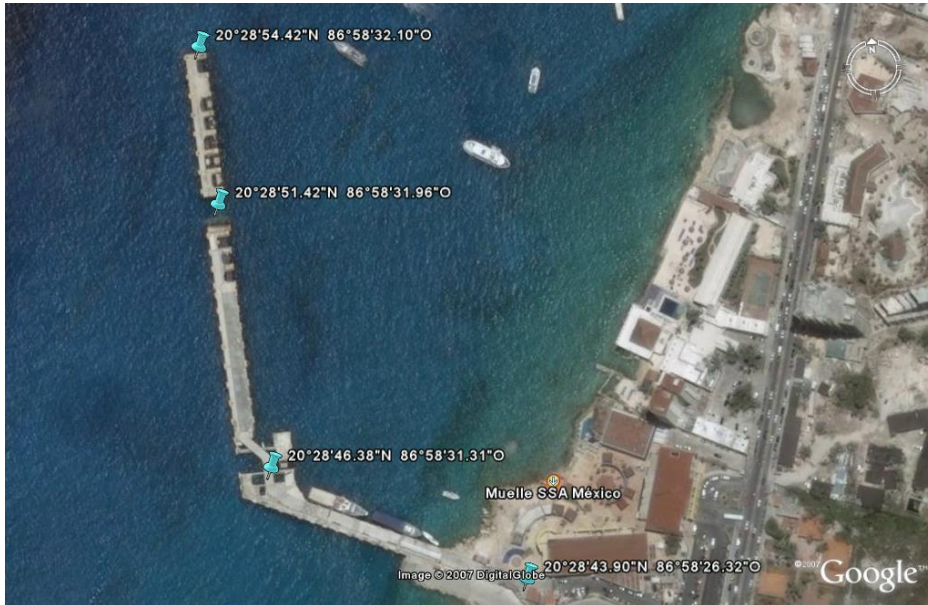


Figura 2.6 Localización Geográfica del muelle para cruceros "SSA México" después del Huracán Wilma (Ref. 4)

MUELLE PUNTA LANGOSTA S.A. DE C.V.

Este muelle de cruceros se encuentra en el pueblo de San Miguel, justo enfrente de la oficina de correos y a solo 600 metros de la plaza principal. El muelle se conecta a una plaza comercial de primera clase a través de un puente. La plaza ofrece restaurantes, bares, tiendas libres de impuesto, artesanías y renta de vehículos, entre otros.

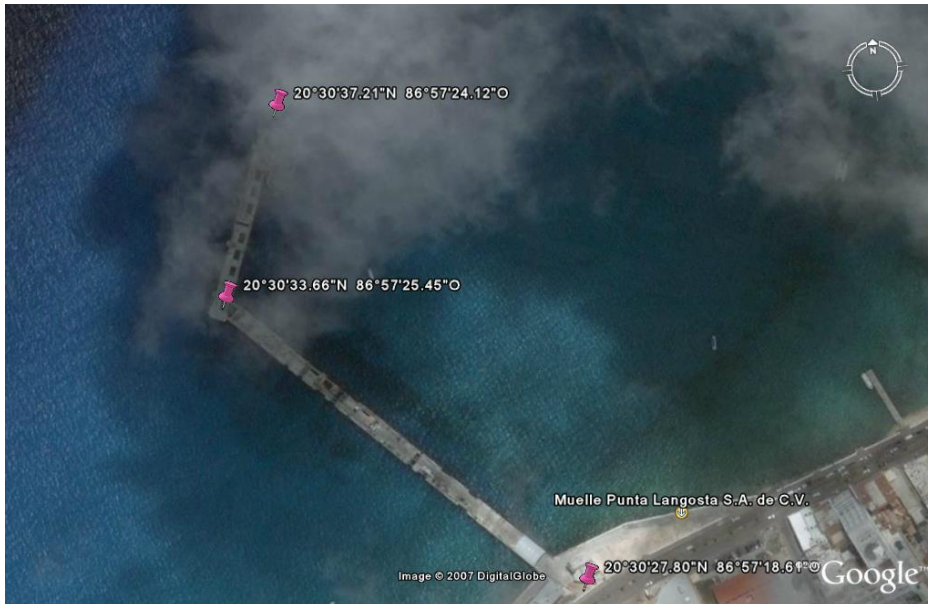


Figura 2.7 Localización Geográfica del muelle para cruceros "Punta Langosta S.A. de C.V." después del Huracán Wilma (Ref. 4)

2.3 GEOMORFOLOGÍA REGIONAL.

La isla está cubierta en casi toda su extensión por selva mediana subperennifolia² con especies de zapote, chacah, ramón, etc. En el litoral norte existe el Tular. En la costa suroeste de la isla existe una barrera arrecifal que constituye un Parque Marino Nacional.

Considerando la presión que al medio ambiente provoca, la gran cantidad de visitantes a la isla y la necesidad de preservar sus recursos naturales se han decretado las siguientes áreas protegidas:

- ❖ Parque marino Nacional Arrecifes de Cozumel con una superficie de 11,8970000 m² que comprende los arrecifes coralinos del litoral suroeste de la isla.
- ❖ Parque Natural ChanKanaab con una superficie de 140000 m². con lo cual se protege la flora y fauna silvestre y acuática de este cuerpo de agua, además del jardín botánico que lo rodea.
- ❖ Zona sujeta a conservación ecológica Laguna Colombia con una superficie de 6740000 m² para proteger la laguna Colombia situada en el sur de la isla.

Tanto la flora como la fauna son abundantes, identificándose la primera como selva media y baja caducifolia, con mucha semejanza a las grandes Islas del Caribe y menos con la de la cercana Península. Se dan en la selva el chicozapote, el jabín, la Ceiba, el ramón, el chechén, el chac'ha, el caracolillo, el cedro, y en menor medida el ébano, entre otras especies. En las partes pantanosas crece el tasiste, el mangle rojo, el mangle blanco, el botoncillo y la navajuela. Pueden cultivarse asimismo plantas propias del trópico: piña, mamey, mango sandía, plátano, cítricos, caña de azúcar, al igual que cultivos tradicionales propios de la región; maíz, frijol, calabaza, chile, camote etc. aunque poco a poco la agricultura va quedando en el abandono.

La fauna silvestre aunque mermada en pasados años por la cacería, ahora prohibida, aun es notable y es posible ver ocasionalmente, liebres, tejones, mapaches, (la variedad enana es endémica³ en la Isla), armadillos, jabalís y ocasionalmente venados cola blanca. No hay felinos salvajes en la Isla pero si serpientes, aunque no venenosas. La especie boa, ox'Kan en Maya, fue introducida irresponsablemente hace algunos años y ha depredado en gran medida a los mamíferos menores, a las aves y a los iguanos. No debe perderse de vista que en los pantanos y esteros hay lagartos y cocodrilos.

En cuanto a aves, en la selva hay loros, palomas silvestres, faisanes, tórtolas, gorriones, cardenales, tordos y en las cavernas y pozos se encuentran golondrinas. En la zona costera es común observar pelícanos, gaviotas y alcatraces, garzas, rabihorcados y en las lagunas escondidas es posible hallar flamencos, chocolateras y cocopatos.

En los litorales arenosos se da de mayo a octubre un gran arribo de tortugas marinas, que llegan a la playa a desovar. Predominan entre ellas las especies blancas, cahuama, verde y carey. Son

² Se caracteriza porque del 25 al 50 por ciento de árboles pierde sus hojas en época de seca; su altura varía de 15 a 20 metros y se localiza en terrenos fuertes de naturaleza rocosa. Su composición florística es compleja, varía de acuerdo al tipo de suelo en que se desarrollan. Se asocia con vegetación secundaria y agricultura nómada (Ref. 10)

³ Un endemismo es una especie biológica exclusiva de un lugar, área o región geográfica y no se encuentra en ninguna otra parte del mundo. (Ref. 2)

una especie protegida por lo que los nidos cuidados por un programa de gobierno, liberan cada año las crías en número superior a las 50,000 de las diferentes especies.

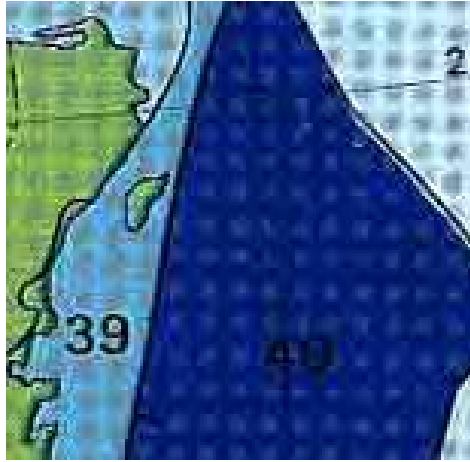


Figura 2.8 La isla de Cozumel es considerada una planicie (Ref. 6)

2.4 GEOLOGÍA

Cozumel se encuentra 18 km al este de la Península de Yucatán. A los dos lados de la isla, que se extiende de norte a sur, existe una plataforma insular estrecha que está dividida claramente en terrazas y escalones. Se supone, son plataformas de abrasión del Holoceno. La plataforma del oeste se compone de 3 terrazas (5 m, 10 m y 20 m), y el talud insular empieza a 20 m de profundidad. La vertiente baja con un ángulo de casi 90° hasta 400 m. Al este se pueden encontrar hasta cinco terrazas (5 m, 10 m, 20 m, 30 m, y 50 m), y el borde de la plataforma se encuentra aproximadamente a 50 m de profundidad. El talud insular baja con interrupciones de hasta 1000 m bajo el nivel del mar. Al norte la plataforma se extiende por una distancia larga a poca profundidad (20 – 30 m) y termina con el Banco Arrowsmith, unos 50 km al noreste de Cozumel. La geología superficial de Cozumel corresponde a un estrato profundo Pliocénico, distribuido en todo el subsuelo de la isla a una profundidad entre 24 y 25 m. Se compone de fósiles de caracol y lodos consolidados sin fósiles. Presenta otro estrato del Pleistoceno, entre 25 y 16 m de profundidad con tres horizontes, el inferior con un sedimento delgado correspondiente a una capa de marea y restos de arrecifes de parche; el medio con materiales ligeramente sueltos y en proceso de consolidación y “superficialización”. Por último un estrato del holoceno ocupando los 16 m superficiales, formado en su horizonte inferior por los fragmentos de coral, ostras, caracoles y algas calcáreas; y el horizonte superior por restos arrecifales fuertemente consolidados. En toda la zona se observa la roca aflorante, donde se pueden distinguir vestigios de fragmentos arrecifales, que representan el último estrato descrito anteriormente. Estas rocas forman en realidad cadenas o capas fuertemente consolidadas que ascienden ligeramente a la superficie.

Los suelos presentes en el área son de naturaleza rocosa y orgánica de formación reciente, con una textura arenosa – arcillosa, con coloración de blanco a gris; se encuentran en relieves planos o sobre lomas de pendiente muy suave; clasificados como Litosoles, los cuales presentan una profundidad máxima de 10 cm y rendzinas con profundidades ligeramente mayores a los 15 cm. Son los denominados Tzequel y Boshluum en la clasificación maya; caracterizados por un drenaje eficiente, en los que la roca aflorante forma extensas capas de laja. (Ref. 1)

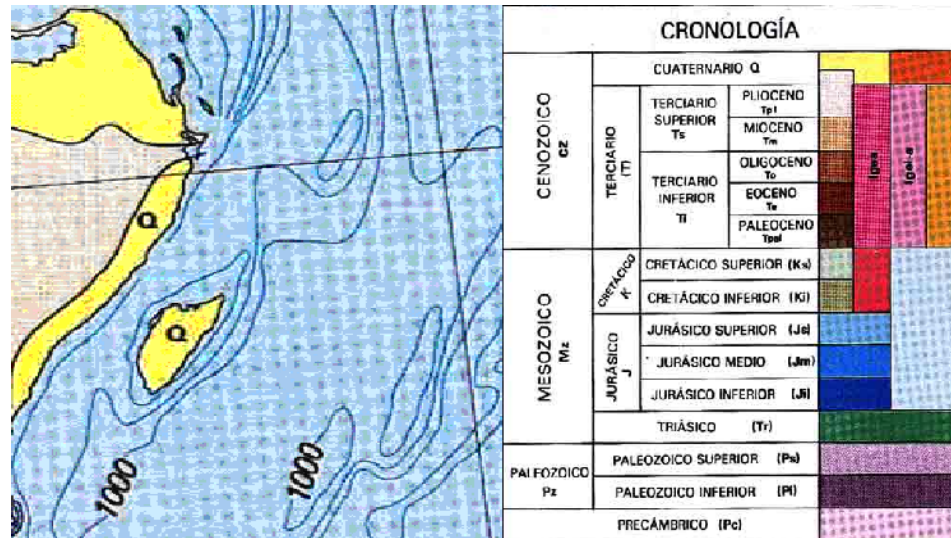


Figura 2.9 Periodo de formación de la Isla de Cozumel (Ref. 5)

2.5 CLIMATOLOGÍA

En lo que respecta a este apartado, se presentan las características climáticas que afectan de manera directa a la isla de Cozumel.

2.5.1 ASPECTOS GENERALES.

Quintana Roo es la entidad que ha registrado el mayor número de fenómenos naturales del país, debido a que sus costas se encuentran en la trayectoria de tormentas y huracanes tropicales que se forman en el Atlántico y penetran al Caribe.

Cozumel, al igual que muchos otros puntos costeros del estado, año con año ha sido blanco de innumerables eventos de este tipo; por tal motivo la población ha desarrollado una cultura para sobrellevar estos eventos climáticos. Por ejemplo, el huracán Gilberto, devastó en 1988 la mayoría de los ecosistemas costeros y selváticos de la Isla y norte del estado sin embargo, las pérdidas humanas fueron pocas en esa zona.

Por otro lado, los frentes fríos o nortes, cuando se originan por el desprendimiento de grandes masas de aire polar, generan serios problemas a la navegación y a la población en general ya que llegan a alcanzar rachas de viento de 80 a 90 km/hr provocando marejadas considerables, que obligan a las autoridades a cerrar los puertos, principalmente a la navegación menor. Estos fenómenos tienden también a generar erosión de las playas

2.5.2 TEMPERATURAS.

De acuerdo a la clasificación climática de Köppen⁴, el tipo de clima que posee la isla de Cozumel es Amw (Cálido subhúmedo), con lluvias abundantes en verano y escasas en invierno. La oscilación térmica varía entre 5 y 7 °C de temperatura promedio. La temperatura media anual es mayor a los 25 °C. En los meses de mayo – agosto se presenta la temperatura máxima que

⁴ La clasificación climática de Köppen fue creada en 1900 por el científico alemán Wladimir Peter Köppen y posteriormente modificada en 1918 y 1936. Consiste en una clasificación climática mundial basada en las temperaturas y precipitaciones otorgando letras a los diferentes valores que toman estas dos variables. (Ref. 2)

oscila entre los 34 y 36 °C, así mismo la temperatura mínima se registra durante los meses de diciembre – febrero, siendo ésta de 19 °C en promedio.

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
22.9	23.3	24.5	26.0	26.9	27.2	27.2	27.2	26.8	26.0	24.6	23.3	25.5

Tabla 2.1 Temperaturas medias (C°) registradas durante un periodo de 29 años; Estación Climatológica de Cozumel. (Ref. 1)

2.5.3 LLUVIAS.

En la entidad llueve anualmente alrededor de 1000 mm, concentrándose en el período que va de mayo a octubre, con máximos en junio y septiembre y una disminución relativa importante, llamada sequía intraestival o canícula, en agosto. Básicamente se reportan precipitaciones máximas de 190 – 220 mm en la temporada junio-septiembre-octubre, y mínimas de 45 mm en los meses críticos de sequía, entre marzo – abril. Las nieblas, aparecen en los últimos y primeros meses del año, presentándose casi siempre al paso de un frente frío. Por lo general estas nieblas se forman después de las 22:00 horas y desaparecen antes de las 08:00 horas. (Ref. 1)

2.5.4 PROCESOS COSTEROS

Dentro de los procesos costeros se encuentran, el oleaje, la marea astronómica y los eventos extremos y su recurrencia. Para poder obtener un análisis representativo, de estos eventos en la zona donde se encuentran ubicados los muelles para cruceros, es necesario realizar varios procesos de análisis de cada uno de los fenómenos que están ligados con características geomorfológicas de las costas y la batimetría de la isla de Cozumel.

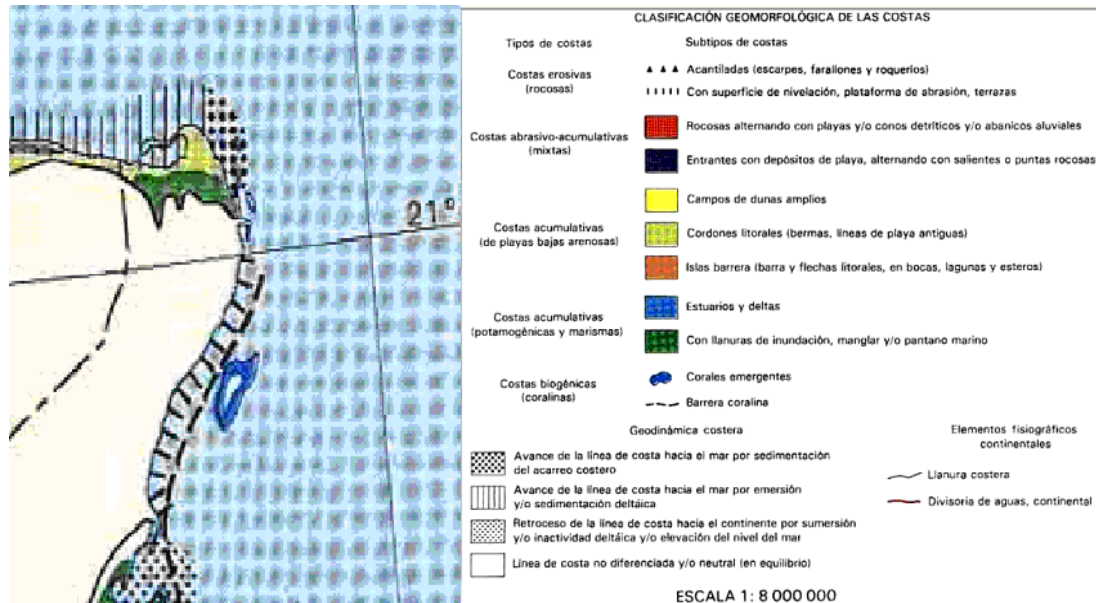
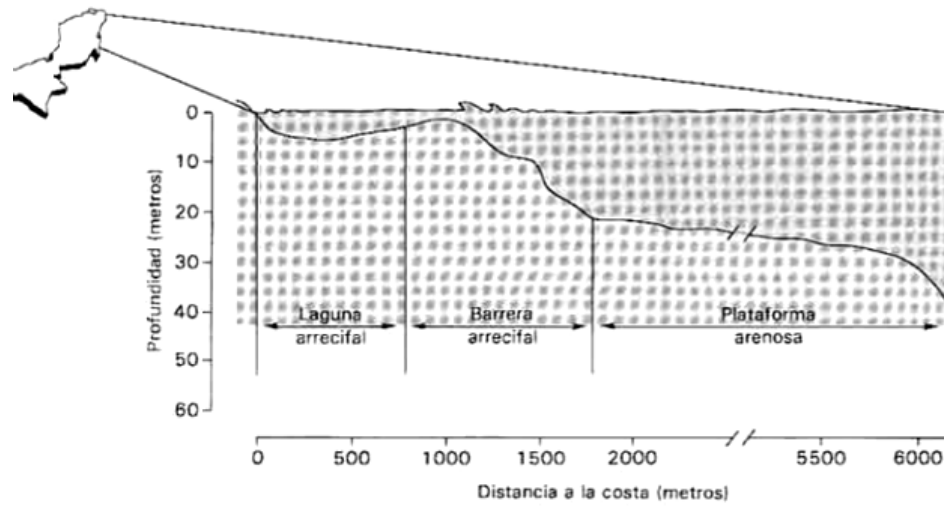


Figura 2.10 Clasificación Geomorfológico de la costa de Cozumel (Ref. 7)



Perfil batimétrico típico del frente costero del Caribe mexicano, en el que se reconocen tres ámbitos bien diferenciados. (M. Merino y L. Dávalos, inédito)

Figura 2.11 Perfil batimétrico del frente costero del caribe mexicano (Ref. 8)



Figura 2.12 Batimetría del Océano Pacífico, Golfo de California y Mar Caribe (Ref. 8)

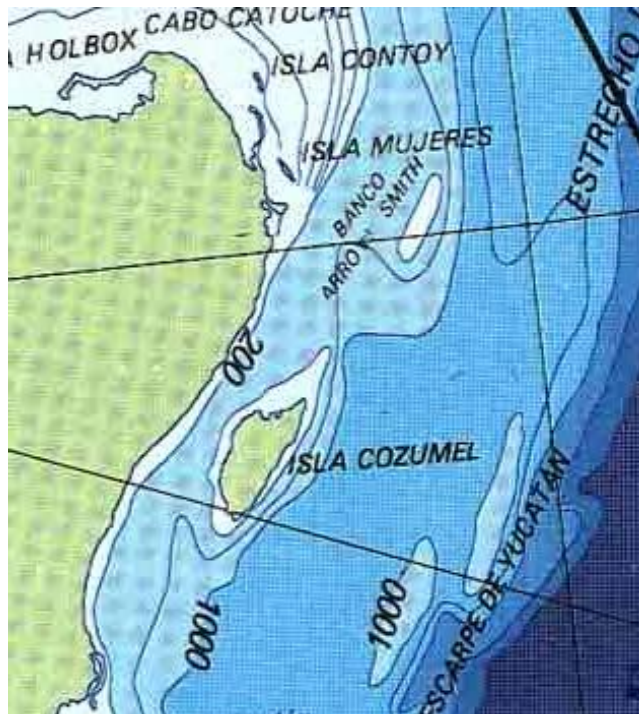


Figura 2.13 Batimetría de la Isla de Cozumel (Ref. 8)

De acuerdo con las figuras 2.10 a 2.13 que muestran en la parte superior se puede establecer que la isla de Cozumel esta rodeada por coral que emerge a la superficie y que cubre una distancia aproximada de 1500 metros y se encuentra a una profundidad de entre 15 y 30 metros, así al terminar el área de coral se encuentra una zona arenosa a una profundidad de entre 30 y 40 metros, de esta manera, estas características influyen de manera directa sobre los fenómenos costeros que afectan la zona.

2.5.4.1 OLEAJE

El oleaje es un fenómeno generado por viento que al soplar sobre la superficie del mar, trasmite su energía, provocando que la superficie se deforme y produzca ondas que se mueven en la dirección de la acción del viento.

En general una ola es una perturbación producida por una fuerza generadora en un medio continuo. Asimismo, sobre esta perturbación actúan fuerzas que tratan de restablecer la condición de equilibrio inicial, o de fuerzas restauradoras. Las fuerzas generadoras y restauradoras pueden ser de muy diversa índole, y dependiendo de sus magnitudes y características, tendrán campos de acción perfectamente definidos. En esos campos es en donde se manifestarán los diversos tipos de ondas.

En el caso particular de Cozumel, como no se cuentan con mediciones en el sitio de estudio, una alternativa aproximada consiste en considerar las mediciones de las boyas oceanográficas ubicadas en el entorno de la isla. Dentro de la zona que se denomina Península de Yucatán se encuentran cuatro estaciones WIS (pertenecientes al Nacional Data Buoy Center de la NOAA) que son las estaciones 116, 117, 118, 119 (ver figura 2.14).

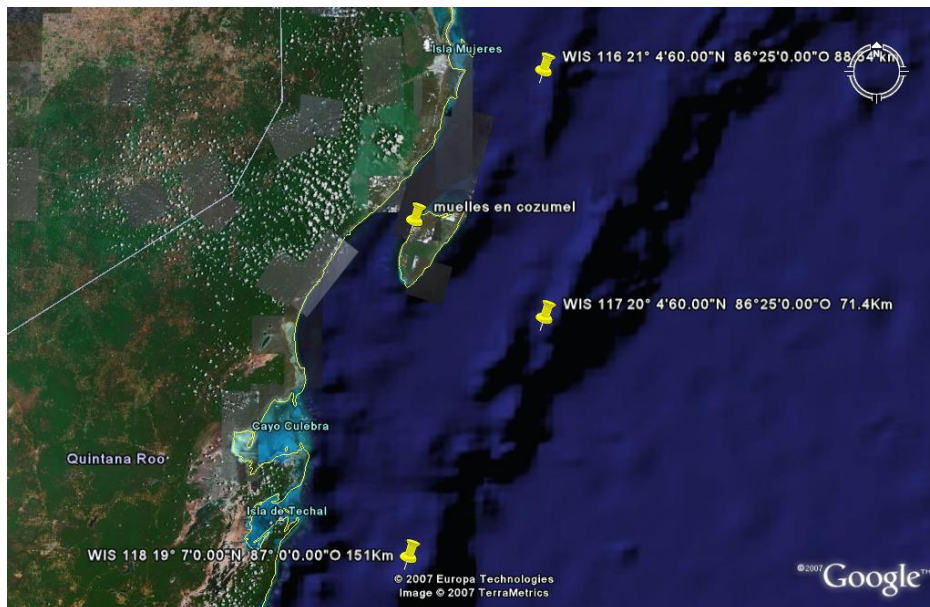


Figura 2.14 Ubicación de las estaciones WIS más próximas a la isla de Cozumel (Ref. 4)

De acuerdo con su ubicación (figura 2.14) se puede observar que la estación que puede representar con mayor precisión las características del oleaje en la isla de Cozumel es la estación WIS 117.

Con base en lo anterior es necesario considerar el siguiente procedimiento para poder analizar el oleaje en la zona de estudio. Los datos que se obtienen de la estación Wis 117 se encuentran aproximadamente a 71 km de las costas de Cozumel y debido a esto, entre otros mecanismos, se debe refractar el oleaje para poder determinar sus características en la inmediaciones de la zona costera.

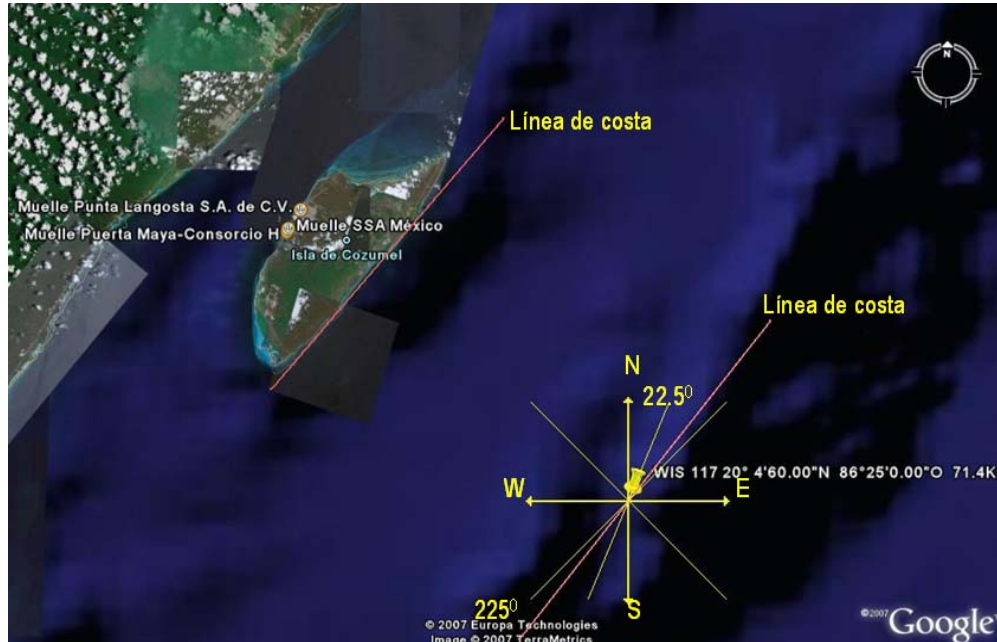


Figura 2.15 Direcciones de oleaje que afectan la isla de Cozumel (Ref. 4)

Según la figura 2.15 se observa que los ángulos de oleaje que afectan de manera directa las costas de Cozumel están dentro del intervalo de 22.5° a 225° , por lo cual solo se consideran los oleajes que se propagan en dicho rango. Es importante mencionar que para los análisis se tomó como valor representativo de cada ángulo de incidencia el valor más representativo de ola ($H_{1/3}$) y periodo ($T_{1/3}$). El proceso estadístico se muestra a continuación, debido a que el proceso es similar se limita a presentar solo un análisis y en las tablas 2.2 a la 2.7 se muestran los resúmenes para todos los ángulos de incidencia sobre la costa. Los datos que se muestran en la tabla 2.2 corresponden a un ángulo de incidencia de 22.5° (nornoreste) (Ref. 11).

WIS GULF OF MEXICO UPDATE - WITH HURRICANES 1976 - 1995
 LAT: 20.50 N, LONG: 86.25 W, DEPTH:1162 M
 OCCURRENCES OF WAVE HEIGHT AND PEAK PERIOD FOR 22.5-DEG DIRECTION BANDS
 STATION: 117 (11.25 - 33.74) 22.5 DEG

Hs (m)	Tp (s)												
	3 a 3.9	4 a 4.9	5 a 5.9	6 a 6.9	7 a 7.9	8 a 8.9	9 a 9.9	10 a 10.9	11 a 11.9	> 12	TOTAL		
0	-	0,99	53	234	294	321	170	19	7	.	.	1098	
1	-	1,99	.	32	328	673	709	208	28	5	.	1983	
2	-	2,99	.	.	.	34	247	431	129	13	4	858	
3	-	3,99	.	.	.	.	6	22	70	9	4	112
4	-	4,99	.	.	.	.	.	.	2	2	.	14
5	-	5,99	.	.	.	.	.	.	2	.	.	4
6	-	6,99	.	.	.	.	.	.	.	1	.	2
7	-	7,99	.	.	.	.	.	.	.	1	.	1
8	-	8,99	.	.	.	.	.	.	.	.	1	1
9	-	mas	.	.	.	.	.	.	.	.	.	0
TOTAL			53	266	622	1028	1132	680	238	30	9	15	4073

Tabla 2.2 Registro de datos de la estación WIS 117 para el ángulo de 22.5 grados (Ref. 11)

H (m)	FRECUENCIA	H*F	F1/3	H*F1/3	F1/10	H*F1/10	F1/100	H*F1/100	H^2*F
0,495	1098	543,51	.	.	.	.	.	.	269,0
1,495	1983	2964,585	366	547,17	.	.	.	.	4432,1
2,495	858	2140,71	858	2140,71	273,3	681,8835	.	.	5341,1
3,495	112	391,44	112	391,44	112	391,44	18,73	65,46135	1368,1
4,495	14	62,93	14	62,93	14	62,93	14	62,93	282,9
5,495	4	21,98	4	21,98	4	21,98	4	21,98	120,8
6,495	2	12,99	2	12,99	2	12,99	2	12,99	84,4
7,495	1	7,495	1	7,495	1	7,495	1	7,495	56,2
8,495	1	8,495	1	8,495	1	8,495	1	8,495	72,2
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0
TOTAL	4073	6154,135	1358	3193,21	407,3	1187,2135	40,73	179,35135	12026,6

Tabla 2.3 Método estadístico para obtener la altura significativa de la ola en el ángulo de 22.5 grados

Ola significativa	Altura de ola (m)
N/3	1358
H	1,51
H1/3	2,35
H1/10	2,91
H1/100	4,40
Hrms(m)	1,72

Tabla 2.4 Características más representativas de la altura de ola para 22.5 grados

T(s)	FRECUENCIA	T*F	F1/3	T*F1/3	F1/10	T*F1/10	F1/100	T*F1/100
3,45	53	182,85	.	.	.	.	.	.
4,45	266	1183,7	.	.	.	.	.	.
5,45	622	3389,9	.	.	.	.	.	.
6,45	1028	6630,6	.	.	.	.	.	.
7,45	1132	8433,4	386	2875,7	.	.	.	.
8,45	680	5746	680	5746	115,3	974,285	.	.
9,45	238	2249,1	238	2249,1	238	2249,1	.	.
10,45	30	313,5	30	313,5	30	313,5	16,73	174,8285
11,45	9	103,05	9	103,05	9	103,05	9	103,05
12	15	180	15	180	15	180	15	180
TOTAL	4073	28412,1	1358	11467,35	407	3819,935	41	457,8785

Tabla 2.5 Análisis de los datos para determinar las características más representativas de periodo para el ángulo de 22.5 grados

Periodo significativo	tiempo (segundos)
N/3	1358
T	6,98
T1/3	8,44
T1/10	9,38
T1/100	11,24

Tabla 2.6 Valore de periodo más representativos para 22.5 grados

	ángulo de incidencia (°)									
	22,5	45	67,5	90	112,5	135	157,5	180	202,5	225
	NNE	NE	NEE	E	SEE	SE	SSE	S	SSW	SW
H	1,51	1,43	1,16	0,96	1,01	1,20	1,21	1,23	1,02	1,06
H1/3	2,35	2,21	1,77	1,58	1,56	1,69	1,83	2,27	1,80	1,79
H1/10	2,91	2,86	2,15	0,64	1,70	2,15	2,61	3,75	2,50	2,50
H1/100	4,40	4,33	3,17	2,70	2,75	2,87	4,89	6,33	2,50	2,50
T	6,98	6,36	5,96	5,73	5,57	5,90	5,76	5,48	5,10	5,29
T1/3	8,44	7,97	7,28	6,89	6,66	6,95	7,03	7,18	6,41	3,19
T1/10	9,38	9,51	8,13	7,76	7,28	7,68	8,02	8,78	7,61	7,85
T1/100	11,24	10,03	9,30	9,00	8,57	8,65	9,84	9,45	8,45	8,45

Tabla 2.7 Resumen de datos de los valores característicos de periodo y altura de ola para cada uno de los ángulos de incidencia sobre las costas de la isla de Cozumel.

En lo que respecta al análisis de refracción; este será analizado hasta la zona de rompiente de la ola y a 10 metros de profundidad. Para determinar estas características se utilizó el "Método Analítico o de contornos paralelos", de acuerdo con esto se considera que la dirección de incidencia relativa de la ola con respecto a los contornos batimétricos es ortogonal a la línea de costa y en contornos paralelos. A partir de la ola, dirección de incidencia, y del ángulo que se forma con los contornos batimétricos se obtienen la altura de la ola refractada y la variación de la dirección de incidencia, al viajar de aguas profundas hacia la costa.

Es importante mencionar que el método analítico o de contornos paralelos se realiza utilizando teoría lineal. A continuación se muestran las ecuaciones utilizadas en el cálculo.

$$\frac{H_R}{d_R} = 0.78 \quad ; \quad L_0 = \frac{gT^2}{2\pi} \quad ; \quad \frac{d_0}{L_0} = 1/2 \quad ; \quad c = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi d}{L}\right) = \frac{L}{T} \quad ;$$

$$L = \frac{gT^2}{2\pi} \tan\left(\frac{2\pi d}{L}\right)$$

En donde:

H_R = altura de la ola en el momento de la rompiente (m)

D_R = distancia al fondo al momento de la rompiente (m)

g = aceleración de la gravedad a nivel del mar 9.81 m/s²

T = periodo de la ola (s)

L = longitud de la ola (m)

D = distancia al fondo marino (m)

El subíndice 0 indica que la ola se encuentra en aguas profundas, es decir, el fondo marino no afecta las características del oleaje dentro de esta zona.

- MÉTODO ANÁLITICO O DE CONTORNOS PARALELOS

$$\alpha = \text{angsen}\left(\frac{c_1}{c_0} \text{sen}\alpha_0\right) \quad ; \quad n = \frac{1}{2} \left[1 + \frac{4\pi d/L}{\text{senh}(4\pi d/L)} \right] \quad ; \quad K_R = \sqrt{\frac{\cos\alpha_0}{\cos\alpha_1}} \quad ;$$

$$K_f = \sqrt{\frac{n_0 c_0}{n_1 c_1}} \quad ; \quad H_{ref} = H_0 K_R K_f$$

En donde:

C = celeridad (m/s)

α = ángulo entre el frente de ola y el contorno batimétrico (°)

K_f = coeficiente de fondo (1)

K_R = coeficiente de refracción (1)

En las tabla 2.8 se muestra el procedimiento para un ángulo de incidencia y posteriormente un resumen de los datos de todas las direcciones que influyen en la costa de la isla de Cozumel se presentan en las tablas 2.9, 2.10, 2.11.

	Dirección	NNE		ángulo de incidencia (°)= 22.5								
g(m/s²)=	9.81					longitud de ola aguas profundas L0(m)=	111.331					
H(m)=	2.35					limite de aguas profunda d0(m)=	55.665					
T(s)=	8.44	dr(m)=	3.015			celeridad onda(m/s)=	13.184					
Lprop(m)	Lreal(m)	Lp-Lr (m)	d (m)	L(m)	C(m/s)	n	a(°)	Kref	Kfon	Href(m)	% inc.	
111.331	111.331		55.665	111.331	13.184	0.5117	22.5					
109.128	109.128	0.000	40.000	109.128	12.923	0.5460	22.031	0.998	0.978	2.295		
105.294	105.294	0.000	30.000	105.294	12.469	0.5998	21.219	0.997	0.971	2.223		
96.139	96.139	0.000	20.000	96.139	11.385	0.6925	19.297	0.994	0.974	2.152		
75.735	75.736	0.000	10.000	75.735	8.969	0.8276	15.090	0.989	1.031	2.193	14.577	
44.616	44.616	-0.001	3.015	44.616	5.284	0.9446	8.822	0.988	1.220	2.643	15.632	

Tabla 2.8 Método Analítico o de Contornos Paralelos para 22.5 grados

	NNE	NE	NEE	E	SEE	SE	SSE	S	SSW	SW
	22.5	45	67.5	90	112.5	135	157.5	180	202.5	225
ángulo de incidencia para la rompiente (°)	8.822	16.887	21.836	23.702	22.423	16.955	9.319	0.000	190.086	214.899
H(m) para la rompiente refractada	2.643	2.183	1.316	0.000	1.150	1.670	2.009	2.490	1.914	1.536
ángulo de incidencia para d= -10m (°)	15.090	30.213	44.643	52.218	48.332	33.766	17.364	0.000	198.485	224.959
H(m) para d= -10 (m) refractada	2.193	1.883	1.206	0.000	1.093	1.446	1.669	2.110	1.640	1.805
Porcentaje de influencia en la rompiente (%)	15.632	12.906	7.780	0.000	6.800	9.874	11.878	14.727	11.321	9.082
Porcentaje de influencia en d= -10 m(%)	14.577	12.516	8.015	0.000	7.262	9.611	11.092	14.025	10.904	11.998
longitud de ola aguas profundas L0(m)	111.331	99.149	82.807	74.134	69.208	75.343	77.094	80.377	64.082	15.841
limite de aguas profunda d0(m)	55.665	49.574	41.404	37.067	34.604	37.672	38.547	40.189	32.041	7.921
Longitud de la ola a d=10m	75.735	70.558	62.982	58.592	55.958	59.222	60.123	61.781	53.093	15.830

Tabla 2.9 Resumen de datos para los ángulos de incidencia sobre las costas de la Isla de Cozumel

Hs (m)			NNE	NE	NEE	E	SEE	SE	SSE	S	SSW	SW	TOTAL
			8.822	16.887	21.836	23.702	22.423	16.955	9.319	0.000	190.086	214.899	
			22.5	45	67.5	90	112.5	135	157.5	180	202.5	225	
0	-	0.99	.	.	.	0.000	.	.	.	.	.	.	0.000
1	-	1.99	.	.	7.780	.	6.800	9.874	.	.	11.321	9.082	44.858
2	-	2.99	15.632	12.906	.	.	.	.	11.878	14.727	.	.	55.142
3	-	3.99	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	0.000
4	-	4.99	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	0.000
5	-	5.99	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	0.000
6	-	6.99	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	0.000
7	-	7.99	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	0.000
8	-	8.99	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	0.000
9	-	mas	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	0.000
TOTAL			15.632	12.906	7.780	0.000	6.800	9.874	11.878	14.727	11.321	9.082	100.000

Tabla 2.10 Porcentaje de incidencia del oleaje sobre las costas de la Isla de Cozumel de cada uno de los ángulos en la zona de rompiente

Hs (m)			NNE	NE	NEE	E	SEE	SE	SSE	S	SSW	SW	TOTAL
			15.090	30.213	44.643	52.218	48.332	33.766	17.364	0.000	198.485	224.959	
			22.5	45	67.5	90	112.5	135	157.5	180	202.5	225	
0	-	0.99	.	.	.	0.000	-	-	-	-	-	-	0.000
1	-	1.99	-	12.516	8.015	-	7.262	9.611	11.092	-	10.904	11.998	71.398
2	-	2.99	14.577	-	.	.	.	.	.	14.025	.	.	28.602
3	-	3.99	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	0.000
4	-	4.99	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	0.000
5	-	5.99	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	0.000
6	-	6.99	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	0.000
7	-	7.99	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	0.000
8	-	8.99	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	0.000
9	-	mas	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	0.000
TOTAL			14.577	12.516	8.015	0.000	7.262	9.611	11.092	14.025	10.904	11.998	100.000

Tabla 2.11 Porcentaje de incidencia del oleaje sobre las costas de la Isla de Cozumel de cada uno de los ángulos, con distancia al fondo de 10 metros

Dirección	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	SUMA	PROM	OCURRENCIA
N	4.2	6.72						1.96			4.48	4.48	21.84	4.4	14%
NE							2.5		2.52	3.92	4.48	3.92	17.36	3.5	17%
E	3.09	3.92			3.92	3.1	3.1	2.66	2.52	4.34	2.52	3.2	32.32	3.2	36%
SE				3.9		2.8	3.4		2.52	4.76	2.52	3.36	23.24	2.4	19%
S		3.92											3.92	3.9	2.80%
SW			3.64	3.9									7.56	3.8	5.60%
W			3.64										3.64	3.6	2.80%
NW										3.92			3.92	3.9	2.80%
SUMA													113.8		100

Tabla 2.12 Registro anual de velocidad Media y porcentaje de ocurrencia para los vientos reinantes según la dirección

De acuerdo con los resultados anteriores y considerando la ubicación de los muelles en la isla de Cozumel es posible concluir que el efecto del oleaje proveniente del Atlántico es despreciable. Esto debido al abrigo natural que provoca la isla, por lo que la zona oeste de la isla no está afectada por el oleaje de aguas profundas.

Debido a la zona de protección que genera la isla sobre la zona oeste, solo es necesario considerar el oleaje que es generado por el viento. Para este análisis se requieren valores correspondientes a vientos reinantes. El método que se utilizó tiene por nombre "Método de Suerdrup-Munk-Bretneider", el cual considera las siguientes ecuaciones fundamentales para la zona de generación:

$$H = \left(\frac{u^2}{g}\right) * 0.283 \tanh \left[0.0125 \left(\frac{gF}{u^2}\right)^{0.42} \right] \dots\dots\dots\alpha$$

$$T = \left(\frac{2\pi u}{g}\right) * 1.20 \tanh \left[0.077 \left(\frac{gF}{u^2}\right)^{0.25} \right] \dots\dots\dots\beta$$

$$t = \left(\frac{u}{g}\right) * 6.5882e \left\langle \left[0.0161 \ln \left(\frac{gF}{u^2}\right)^2 - 0.3692 \ln \left(\frac{gF}{u^2}\right) + 2.2024 \right]^{1/2} + 0.87981 \ln \left(\frac{gF}{u^2}\right) \right\rangle \dots\dots\dots\gamma$$

Donde:

g; aceleración de la gravedad a nivel del mar 9.81 m/s²

u; velocidad del viento formativo; Kn

F; ftech mn

T; duración del campo de viento segundos

Dirección	U(m/s)	Ua(m/s)	Fetch (km)	H(m)	T(s)
N	6.97	6.97	40	0.71	4.1
NE	2.16	2.16			
S					
SW			40		
E	2.48	2.48			
SE	3.75	3.75			
W			40		
NW	2.99	2.99	40	0.31	3.1

Tabla 2.13 Oleaje generado por viento, considerando viento reinante

En la tabla 2.12 se muestran las direcciones de vientos reinantes en un periodo de registro de 1995 a 1997, y con ayuda del método mencionado es posible obtener el oleaje que afecta de manera directa la zona de muelles, los resultados se presentan en la tabla 2.13

2.5.4.2 MAREA ASTRONÓMICA.

A continuación se recogen los principales términos empleados en la descripción de las mareas:

- NBMI Nivel de bajamar Media Inferior (Promedio de todas las bajamares)
- NBM Nivel de Bajamar Medio (Promedio de todos los bajamares)
- NPMS Nivel de pleamar medio superior (Promedio de pleamares máximos)
- NPM (Nivel de Pleamar medio)
- NMM Nivel Medio del Mar (promedio de todos los niveles)
- Carrera de marea: Diferencia de altura entre pleamar y bajamar

De acuerdo a registros en la zona, en la tabla 2.14 se presentan los resultados estadísticos del análisis de mareas realizado por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (2007) y en la Figura 2.16 las predicciones realizadas por el CICESE (2006).

UBICACIÓN	UBICACIÓN	TIPO	CARRERA [m]	NIVELES MEDIOS [m]			NIVEL MAXIMO PLEAMAR [m]	NIVEL MINIMO BAJAMAR [m]
				PLEAMAR	DEL MAR	BAJAMAR		
Matamoros	Tamaulipas	Diurna	0,441	0,441	0,257	0,00	0,890	-0,425
Mezquital	Tamaulipas	Diurna	0,160	0,160	0,080	0,00	0,335	-0,160
La Pesca	Tamaulipas	Diurna	0,222	0,222	0,110	0,00	0,427	-0,213
Altamira	Tamaulipas	Diurna	0,472	0,472	0,227	0,00	0,610	-0,270
Tampico, Madero	Tamaulipas	Mixta-Diurna	0,436	0,436	0,255	0,00	1,172	-0,442
Tuxpan	Veracruz	Mixta-Diurna	0,503	0,503	0,284	0,00	1,117	-0,497
Veracruz	Veracruz	Mixta-Diurna	0,508	0,508	0,293	0,00	1,005	-0,487
Alvarado	Veracruz	Diurna	0,394	0,394	2,340	0,00	1,065	-0,519
Coatzacoalcos	Veracruz	Mixta-Diurna	0,456	0,456	0,265	0,00	1,078	-0,506
Frontera	Tabasco	Mixta-Diurna	0,502	0,502	0,286	0,00	1,135	-0,393
Ciudad del Carmen	Campeche	Mixta-Diurna	0,418	0,418	0,239	0,00	1,173	-0,384
Campeche	Campeche	Mixta-Semidiurna	0,622	0,622	0,289	0,00	0,797	-0,482
Progreso	Yucatán	Diurna	0,548	0,548	0,299	0,00	1,155	-0,520
Puerto Juaréz	Quintana Roo	Mixta-Semidiurna	0,171	0,171	0,071	0,00	0,307	-0,131
Puerto Moreles	Quintana Roo	Mixta-Semidiurna	0,180	0,180	0,093	0,00	0,335	-0,180
Isla Cozumel	Quintana Roo	Mixta-Semidiurna	0,203	0,203	0,092	0,00	0,434	-0,116

Tabla 2.14 Principales características de la marea de acuerdo a registro de datos (Ref. 14)

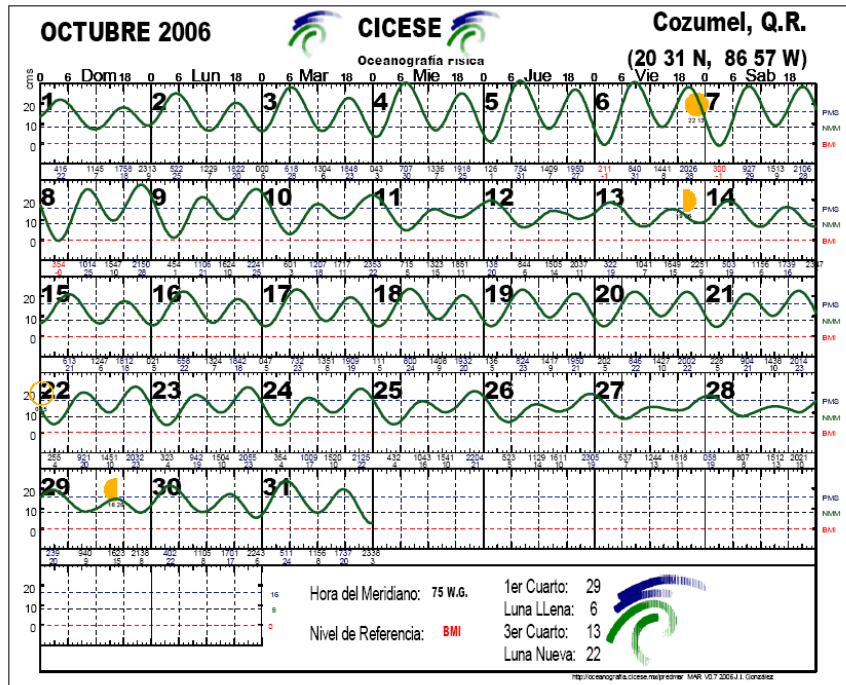


Figura 2.16 Predicciones marea para el mes de octubre del 2006 (Ref. 13)

2.5.4.3 EVENTOS EXTREMOS Y RECURRENCIA

De acuerdo a los datos registrados en la estación WIS 117, en la Tabla 2.15 se presentan los valores de oleaje para diferentes periodos.

STATION 117 (20.50N, 86.25W /1162M)

RETURN PERIOD (YEAR)	TROPICAL				NON-TROPICAL			
	Hs (TYPE I) m		Tp (s)		Hs (TYPE I) m		Tp (s)	
	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
5	4.7	5.3	10.8	11.5	6.1	6.7	12.4	12.9
10	5.7	6.6	11.9	12.8	7.2	8.0	13.4	14.1
20	6.7	7.8	12.9	14.0	8.2	9.3	14.3	15.2
50	8.0	9.4	14.1	15.3	9.6	11.0	15.5	16.6

Tabla 2.15 Eventos extremos y periodo de retorno (Ref. 11)

2.6 OTROS.

Formaciones nebulosas y vientos dominantes. Durante la mayor parte del año, el cielo se encuentra de medio nublado a nublado por columbiformes (con desarrollo vertical) que ocasionan chubascos frecuentes y tormentas eléctricas, principalmente por las tardes o noches. En invierno, condiciones frontales (Nortes) originan nubes estratiformes (en capas o mantos y sin desarrollo vertical) que dan lugar a lluvias ligeras intermitentes. La corriente general de vientos que domina la costa oriental son los Alisios, por lo que de febrero a septiembre son dominantes del este al sureste con velocidad promedio de 15 km/hora, alcanzando frecuentemente velocidades de 30 km/hora, en depresiones atmosféricas tropicales (80 – 90 km/hr) y más de 120 km/hr en huracanes. De octubre a enero predominan vientos con componente norte, siendo menos intensos que los del verano. Los vientos afectan directamente las mareas. De manera

general en la isla de Cozumel se presenta un ciclo de mareas denominado semidiurno, que se caracteriza por tener dos máximas de marea al día cuya variación nunca llega a más de 30 cm. (Ref. 1).

La *hidrología*. En la isla no existe evidencia de ríos o arroyos de caudal considerable que desemboquen en el mar; esto es debido al elevado contenido cárstico y a la delgada capa de suelo superficial, que facilita la rápida absorción del agua de lluvia hacia el subsuelo. Sin embargo esta situación favorece a su vez una circulación hidráulica subterránea que ha generado en toda la isla un sistema de cavidades o cavernas, algunas de las cuales afloran hacia la superficie, en los llamados cenotes.

CAPÍTULO 3 INFRAESTRUCTURA PORTUARIA EN COZUMEL.

En este capítulo se describen las características de la infraestructura portuaria de Cozumel y de su zona de influencia.

3.1 CENSO DE INFRAESTRUCTURA PORTUARIA.

Con la finalidad de establecer un plano más completo del movimiento próximo a Cozumel, en este apartado se presentan las principales características y funciones de cada uno de los muelles del estado de Quintana Roo. Es importante mencionar que la información que se presenta corresponde al año de 2006 (ref. 1), considerando que el muelle "Puerta Maya-Consortio H" fue destruido por el Huracán Wilma durante el mes de octubre de 2005.

PLAYA DEL CARMEN

INFRAESTRUCTURA GENERAL

La Terminal Marítima del Sureste está ubicada en el corazón de Playa del Carmen y Cozumel. Se sitúa a 55 km de distancia de Playa del Carmen. Cuenta con una infraestructura portuaria (muelle, sala de espera, andadores, plaza comercial entre otros), con una vocación 100% turística, 4 posiciones de atraque para atender a igual número de naves para el embarque y desembarque de pasajeros, así como una banda de atraque para recibir yates.

Existe en la zona una vía de acceso con una autopista de concreto, de 2, 4 y 8 carriles que comunica a los diferentes sitios de recreación como son Cancún, Xcaret, Tulum y puntos intermedios. En la ciudad se cuenta con un aeródromo para operaciones diurnas. La Terminal Marítima del Sureste ofrece los servicios portuarios de tráfico de cabotaje, atraque, amarre, agua potable, electricidad, recolección de basura, aguas residuales y los servicios generales a sus visitantes, tales como taxis, casa de cambio, mercado de artesanías, restaurantes, agencia de viajes, arrendadora de automóviles y joyería.

LOCALIZACIÓN

Ubicado en Playa del Carmen Quintana Roo, sus coordenadas geográficas son: latitud norte 20°37'25" y longitud oeste 087°04'49"

DIRECCIÓN

Primera Sur por Quintana Av. En Z. F. M. Muelle Fiscal, Playa del Carmen Quintana Roo, México.

PLAYA DEL CARMEN		
ACTIVIDAD PORTUARIA	Principales líneas de cruceros	Via tender Carlbe Cruise line Royal Caribbean Princes Cruises Line Norwegian American line Celebrity Cruise Line
ACTIVIDAD TURISTICA	Volumen de pasajeros anual Cruceros internacionales	33,194 por tráfico de altura
	Cruceros locales	1,472,059 tráfico de cabotaje
ÁREAS DE NAVEGACIÓN	Canal de acceso	Platilla Profundidad
	Dársena de ciaboga	Diámetro
	Terminal Comercial	Profundidad
ÁREAS DE OPERACIÓN	Banda 1	
	Banda 2	
	Patios	
EQUIPO PORTUARIO	Áreas verdes	
	Camión bombero	
	Camión de volteo	
	Lanchas	

Tabla 3.1 Características de la Terminal Marítima Playa del Carmen (Ref. 1)

PUNTA LANGOSTA, COZUMEL

INFRAESTRUCTURA GENERAL

Longitud total del muelle de 534 metros, la cual consta de una pasarela de acceso de 242 m y una pasarela de atraque de 292 m, ambas con un ancho de 11 m, con una altura del mar a la pasarela de 3 metros, con una profundidad máxima de 16 m y mínima de 11 m. Actualmente cuenta con tres posiciones de atraque y a corto plazo la pasarela de atraque se ampliará en 360 metros.

LOCALIZACIÓN

Ubicado en el Estado Quintana Roo, sus coordenadas geográficas son: latitud norte 20°30'28" y longitud oeste 086°57'18"

DIRECCIÓN

Av. Rafael E. Melgar s/n entre 7 y 11 Av. Cozumel, Quintana Roo, México.

PUNTA LANGOSTA		
ACTIVIDAD PORTUARIA	Principales líneas de cruceros	Royal Caribbean Cruise Line Disney Cruise Line Norwegian American line Celebrity Cruise Carnival Cruise Line Holland America
ACTIVIDAD TURÍSTICA	Volumen de pasajeros anual	2003
	Cruceros internacionales	523,434 en 340 atraques
ÁREAS DE NAVEGACIÓN	Canal de acceso	Platilla Profundidad
	Dársena de ciaboga	Diámetro 600 m Profundidad 20m
CAPACIDAD DE RECEPCIÓN DE BUQUES	Tres bandas de atraque	Exterior Interior 3º Posición
EQUIPO PORTUARIO	Equipo contra incendio, eléctrico y de combustión interna	
	Cámaras de monitoreo	
	Servicio de transporte	
	Servicio de transporte gratuito a pasajeros en las pasarelas	
	Servicio de agua potable a cruceros	
	Red de telefonía pública internacional	
	Lanchas de patrullaje	

Tabla 3.1 Características de la Terminal Marítima Punta Langosta (Ref. 1)

PUERTO MORELOS

INFRAESTRUCTURA GENERAL

Localizado a 18 kilómetros al sur del aeropuerto internacional de Cancún y 35 km al norte de Playa del Carmen, Puerto Morelos se encuentra ubicado en el corazón de la Riviera Maya. Este puerto recibe actualmente embarcaciones de carga contenerizada seca y refrigerada, embarcaciones de carga roll-on roll-off y cruceros turísticos de mediana envergadura.

LOCALIZACIÓN

Ubicado en el Estado Quintana Roo, sus coordenadas geográficas son: latitud norte 20°50'30'' y longitud oeste 86°54'00''

DIRECCIÓN

Hidalgo #22, Quintana Roo, México.

PUERTO MORELOS		
PRINCIPALES MERCANCIAS	Carga general Carga contenerizada Granel agrícola Granel mineral Fluidos	
TONELAJE MANEJADO 2003	ALTURA	0 ton
	Importación	0 ton
	Exportación	0 ton
	CABOTAJE	
ÁREAS DE NAVEGACIÓN	Canal de acceso	Longitud 2.5 km Profundidad 5m
	Dársena de ciaboga	Diámetro 6.5 km
	Terminal comercial	Profundidad 6.5 m
CAPACIDAD DE RECEPCIÓN DE BUQUES	Eslora	135 m
	Muelles	132 m
ÁREAS DE ALMACENAMIENTO	Bodegas	1600 m ²
	Cobertizos	120 m ²
	Patios	10,000 m ²
	Silos	0
EQUIPO PORTUARIO	Grúa P7H de pluma	1 120 ton
	Montacarga Taylor	1 90,000 lb
	Montacarga Clark	1 70,000 lb
	Transporte 5ta rueda para arrastre de contenedores	7 5,000 lb 5 de 30 ton
TERMINALES	No requeridas	

Tabla 3.3 Características de la Terminal Marítima Puerto Morelos (Ref. 1)

PUNTA SAM

INFRAESTRUCTURA GENERAL

La Terminal Marítima de Punta SAM se localiza 7 kilómetros al norte de Puerto Juárez.

Con vocación preponderante comercial, ésta terminal marítima registra un importante tráfico anual de mercancías y vehículos ya que es el punto de embarque a los transbordadores que cubren las rutas de abasto de Isla Mujeres.

LOCALIZACIÓN

Ubicado en el Estado Quintana Roo, sus coordenadas geográficas son: latitud norte 21°14'00'' y longitud oeste 86°48'01''

DIRECCIÓN

Hidalgo #22, Quintana Roo, México.

PUNTA SAM		
ACTIVIDAD PORTUARIA	Volumen anual de carga	195,85.04
	Carga general No. de vehículos	23,254
ACTIVIDAD TURISTICA	Volumen de pasajeros anual Transbordadores	117,805 en 1848 recorridos
	Embarcaciones de ruta	4,896 en 724 recorridos
ÁREAS DE NAVEGACIÓN	Canal de acceso	Longitud 6.2 km Profundidad 5m
	Dársena de ciaboga	
	Terminal comercial	0 m
LARGO DE MUELLE	Muelle 1	122 m 2
	Muelle 2	embarcaciones 70m 2 embarcaciones
ÁREAS DE OPERACIÓN	Patios	7,623.80 m
	Áreas verdes	2,800 m
EQUIPO PORTUARIO	Camión bombero	
	Camión de volteo	
	Lanchas	1

Tabla 3.4 Características de la Terminal Marítima Punta Sam (Ref. 1)

PUERTO JUÁREZ

INFRAESTRUCTURA GENERAL

A 5 kilómetros al norte de la Ciudad de Cancún se localiza la terminal marítima de Puerto Juárez.

Con vocación eminentemente turística, esta terminal marítima es el principal punto de embarcación de los pasajeros que viajan a Isla Mujeres y de los operadores de tours que ofrecen paseos hacia el mismo destino.

LOCALIZACIÓN

Ubicado en el Estado Quintana Roo, sus coordenadas geográficas son: latitud norte 21°13'00" y longitud oeste 86°49'30"

DIRECCIÓN

Hidalgo #22, Quintana Roo, México.

PUERTO JUÁREZ		
ACTIVIDAD PORTUARIA	Principales líneas navieras	Transportes Marítimos Continental Transportes Marítimos Magaña
ACTIVIDAD TURÍSTICA	Volumen de pasajeros anual	727,012 en 14,538 recorridos
ÁREAS DE NAVEGACIÓN	Canal de acceso	
	Dársena de ciaboga	
	Terminal comercial	
LARGO DE MUELLE	Muelle 1	30 m 3 embarcaciones
	Muelle 2	79 m 12 embarcaciones

Tabla 3.5 Características de la Terminal Marítima Puerto Juárez (Ref. 1)

ISLA MUJERES

INFRAESTRUCTURA GENERAL

En pleno centro de la ciudad de isla mujeres, se localiza la terminal del mismo nombre; con vocación preponderantemente turística, registra un importante tráfico anual de pasajeros, procedentes de Puerto Juárez y Cancún.

Adicionalmente, esta terminal registra tráfico frecuente de carga y vehículos de los transbordadores que cubren la ruta de abasto a la isla, procedentes de la terminal marítima Punta Sam.

LOCALIZACIÓN

Ubicado en el Estado Quintana Roo, sus coordenadas geográficas son: latitud norte 21°12'00" y longitud oeste 86°44'00"

DIRECCIÓN

Hidalgo #22, Quintana Roo, México.

ISLA MUJERES		
ACTIVIDAD PORTUARIA	Volumen anual de carga	
	Carga general	88,189.06
	No. De vehículos	23,023
ACTIVIDAD TURISTICA	Volumen de pasajeros anual	
	Embarcaciones turísticas	771,653 en 19,206 recorridos
	Embarcaciones de ruta	198,836 en 198,836 en 3,720 recorridos
ÁREAS DE NAVEGACIÓN	Canal de acceso	
	Dársena de ciaboga	
	Terminal comercial	
LARGO DE MUELLE	Muelle 1	95m 6 embarcaciones
	Muelle 2	55m 4 embarcaciones
ÁREAS DE OPERACIÓN	Muelle 3	9m 2 embarcaciones
	Muelle 4	20.5m 1embarcaciones
EQUIPO PORTUARIO	Muelle 5	74.5m 4 embarcaciones
	Muelle 6	66m 2 embarcaciones
	Muelle 7	1

Tabla 3.6 Características de la Terminal Marítima Isla Mujeres (Ref. 1)

SAN MIGUEL

INFRAESTRUCTURA GENERAL

Ubicada en pleno centro de la ciudad de Cozumel, la terminal marítima de San Miguel se encuentra consolidada como una de las más importantes en movimiento de pasajeros, brindando servicio a tenders, embarcaciones turísticas y embarcaciones de pasajeros.

LOCALIZACIÓN

Ubicado en el Estado Quintana Roo, sus coordenadas geográficas son: latitud norte 20°30'40'' y longitud oeste 86°57'04''

DIRECCIÓN

Hidalgo #22, Quintana Roo, México.

SAN MIGUEL		
ACTIVIDAD PORTUARIA	Principales líneas de navegación	Princess Cruises Holland American Line
ACTIVIDAD TURISTICA	Volumen anual de pasajeros	500,000 en 164 recorridos
ÁREAS DE NAVEGACIÓN	Canal de acceso	
	Dársena de ciaboga	
	Terminal comercial	
LARGO DE MUELLE	Muelle 1	225 m

Tabla 3.7 Características de la Terminal Marítima San Miguel (Ref. 1)

COZUMEL SSA MÉXICO

INFRAESTRUCTURA GENERAL

La terminal marítima ofrece a sus clientes los servicios portuarios de atraque de sus embarcaciones, amarre y desamarre de cabos, agua potable y en sus áreas comerciales ofrece los más variados servicios de venta de artesanías mexicanas, artesanías de la región, joyerías en diamantes, oro y plata, Centro Integral de Comunicaciones con Internet de alta velocidad, servicios especializados de transporte turístico y servicio de taxis.

En infraestructura portuaria se cuenta con un muelle en espigón con dos bandas de atraque de 316 y 291 m, con un calado de 11 m. Asimismo se cuenta con un muelle de tenders de 35 m para el manejo de embarcaciones menores, que dan el servicio a los cruceros. Se cuenta con el Certificado de Seguridad de las instalaciones.

LOCALIZACIÓN

Ubicado en el Estado Quintana Roo, sus coordenadas geográficas son: latitud norte 20°34'37.5" y longitud oeste 87°07'14.6"

DIRECCIÓN

km 4.5 carretera a Chankanaab, Costera Sur, Quintana Roo .

COZUMEL SSA MÉXICO		
ACTIVIDAD PORTUARIA	Principales líneas de cruceros	Royal Caribbean Celebrity Cruises Carnaval Cruise Line Costa Cruise Line
ACTIVIDAD TURISTICA	Volumen anual de pasajeros	2003 935,519
ÁREAS DE NAVEGACIÓN	Canal de acceso	Natural
	Dársena de ciaboga	Natural
CAPACIDAD DE RECEPCIÓN DE BUQUES	Muelle banda exterior	316m
	Muelle banda interior	291.65m
ÁREAS DE LA TERMINAL	Áreas comerciales	3,800m ²
	Áreas comunes y verdes	8,000m ²
EQUIPO PORTUARIO	Red contra incendio	1
	Vehículo pinck up	1

Tabla 3.8 Características de la Terminal Marítima Cozumel (Ref. 1)

CRUCEROS

RECINTO	ARRIBOS		PASAJEROS	
	2006	2007	2006	2007
	COZUMEL	989	632	2,350,834	1,428,157
PLAYA DEL CARMEN	9	5	17,436	5,309
CALICA	104	43	222,651	88,954
TOTAL	1,102	680	2,590,921	1,522,420

Tabla 3.9 Datos estadísticos de cruceros hasta junio 2007 (Ref. 2)

RECINTO	ARRIBOS		GRAL.SUELTA		CONTENERIZADA		IMPORTACIÓN		EXPORTACIÓN	
	2006	2007	2006	2007	2006	2007	2006	2007	2006	2007
	PUERTO MORELOS	60	33	40,184	729	207,651	12,433	2,963	0	29,339	400
TOTAL	60	33	40,184	729	207,651	12,433	2,963	0	29,339	400

Tabla 3.10 Datos estadísticos de embarcaciones de altura hasta junio 2007 (Ref. 2)

RECINTO	ARRIBOS (ENTRADA)		PASAJEROS (ENTRADA)	
	2006	2007	2006	2007
COZUMEL	5,260	5,286	1,312,501	731,821
PLAYA DEL CARMEN	5,248	5,235	1,256,687	720,754
PUERTO JUÁREZ	13,711	6,800	439,398	229,400
ISLA MUJERES	27,329	13,212	1,238,624	673,048
PUNTA SAM	0	0	0	0
TOTAL	51,548	30,533	4,247,210	2,355,023

Tabla 3.11 Datos estadísticos de embarcaciones de ruta hasta junio 2007 (Ref. 2)

RECINTO	ARRIBOS (ENTRADA)		PASAJEROS (ENTRADA)		CARGA (ENTRADA)	
	2006	2007	2006	2007	2006	2007
COZUMEL	1,767	1,001	100,027	46,398	723,889	327,058
PUERTO MORELOS	0	0	0	0	0	0
ISLA MUJERES	2,267	1,188	107,588	55,049	354,848	173,748
PUNTA SAM	2,278	1,188	119,003	59,374	152,477	71,680
CALICA	1,657	887	103,499	46,873	397,071	142,672
TOTAL	7,969	4,264	430,117	207,694	1,628,285	715,158

Tabla 3.12 Datos estadísticos de transbordadores hasta junio 2007 (Ref. 2)

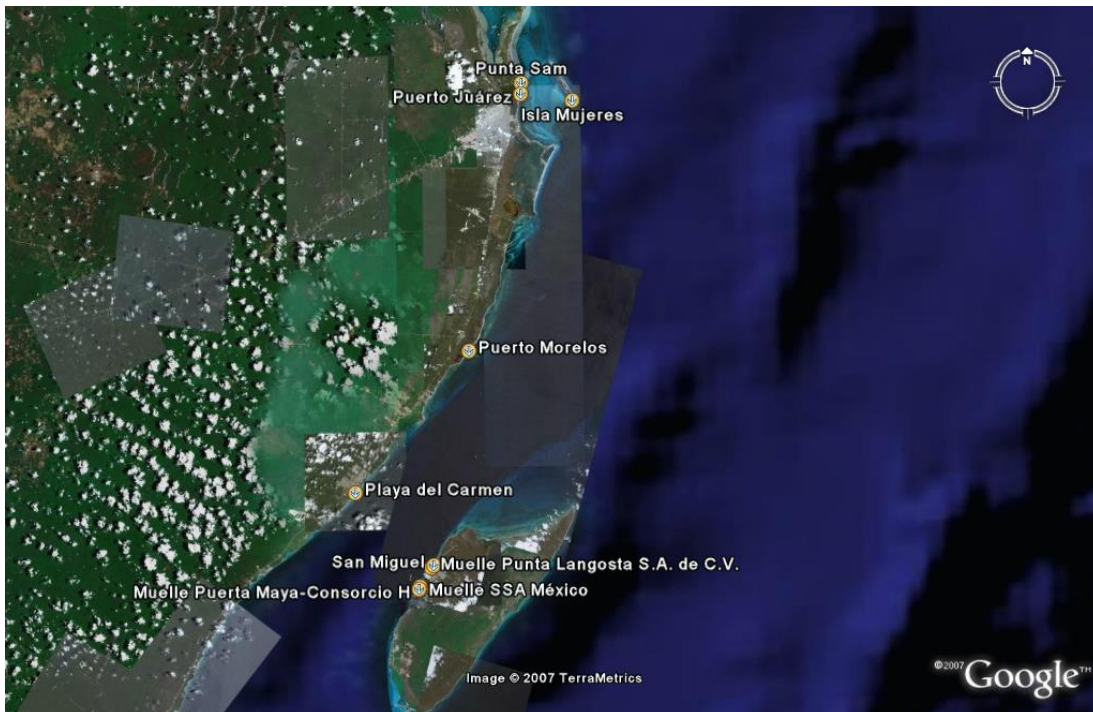


Figura 3.1 Ubicación geográfica de las terminales marítimas (Ref. 3)

3.2 DESCRIPCIÓN DE LOS MUELLES DE CRUCEROS

En este punto se describen de manera general los tres muelles para cruceros que se encuentran en la isla de Cozumel y sus características más importantes en lo que se refiere a estructuración, capacidades y su comportamiento ante el Huracán Wilma

3.2.1 LOCALIZACIÓN.

Los tres muelles para cruceros, están ubicados en el estado de Quintana Roo en la isla de Cozumel y sus coordenadas geográficas se muestran en la tabla 3.30.

Es importante señalar que cada una de las características que serán presentadas del muelle para cruceros "Puerta Maya-Consortio H", están basadas en datos referentes a su periodo de vida de 1993, fecha en la que se otorgo la concesión por parte de SCT a "CONSORCIO DE DESARROLLOS Y PROMOCIONES INMOBILIARIAS H. S.A. de C.V.", hasta octubre del 2005, cuando dicho muelle fue destruido totalmente por el Huracán Wilma. Aunque este muelle actualmente ya se encuentra en una nueva etapa de construcción.

	UBICACIÓN GEOGRÁFICA	
	LATITUD NORTE	LONGITUD OESTE
PUNTA LANGOSTA S.A. de C.V.	20°30'28''	86°57'18''
SSA MÉXICO	20°34'37.5''	87°07'14.6''
PUERTA MAYA-CONSORCIO H ¹	20°28'35.6''	86°58'36.05''

Tabla 3.13 Ubicación geográfica de los muelles para cruceros

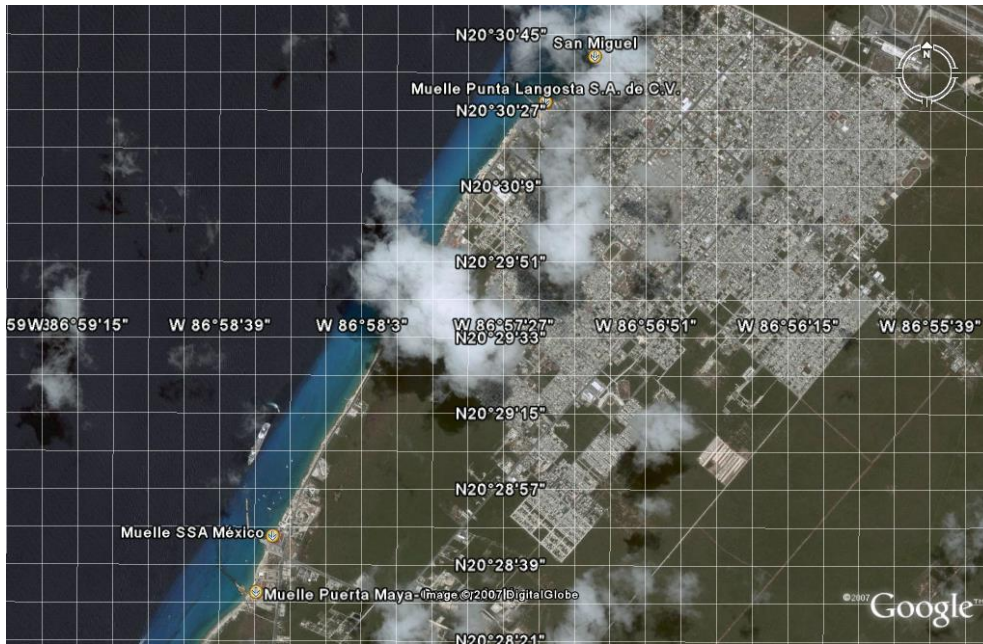


Figura 3.2 Ubicación geográfica de los muelles para cruceros (Ref. w)

3.2.2 CAPACIDADES.

Dentro de este apartado se muestran las capacidades de los tres muelles para cruceros que se encuentran en la isla de Cozumel y que son objeto de estudio de esta tesis

❖ PUNTA LANGOSTA S.A. de C.V.

Las características proporcionadas por la API Quintana Roo (Ref.1) muestran también las capacidades de este muelle; tiene una conformación en forma de L, este cuenta con tres bandas de atraque, exterior con longitud de 242.0m, interior con longitud de 242.0m y una última posición para embarcaciones menores.



Figura 3.3 Atraque de un buque en el muelle Punta Langosta

❖ SSA MÉXICO

El muelle SSA México tiene una conformación en forma de L, albergando dos bandas de atraque, una exterior y una interior. A través del tiempo, este muelle ha sido objeto de diversos trabajos estructurales, enfocados a aumentar su capacidad de atraque con la intención de responder al dinámico crecimiento del tráfico turístico y de la tipología de las embarcaciones. En años pasados contempló una ampliación del muelle en 85 m. La situación del incremento en el tamaño de las embarcaciones y la demandante evolución del tráfico turístico llevo a que en un periodo relativamente corto, fuera necesaria la implementación de un duque de alba para atraque y amarre. Actualmente las capacidades con las que cuenta son: en la banda exterior cuenta con una longitud de 316 m, mientras que en la banda interior tiene una longitud de 291.65 m

La terminal tiene 804 metros de muelle que permite dos posiciones de atraque capaces de acomodar un buque "Freedom Class" y un buque "Ultra-Voyager Class" simultáneamente; La terminal también cuenta con un muelle pequeño en donde hay tours para pasajeros.



Figura 3.4 Atraque de dos embarcaciones en el muelle SSA México

❖ PUERTA MAYA-CONSORCIO H

La terminal contaba con dos posiciones de atraque, ambas de longitud similar de aproximadamente 290.7m, capaz de recibir embarcaciones tipo "Voyager of the Seas" y "Costa Atlántica". La conformación de este muelle era muy similar al muelle SSA México.



Figura 3.5 Ubicación original del muelle Consorcio H(Ref. 2)

3.2.3 ESTRUCTURACIÓN.

❖ PUNTA LANGOSTA S.A. de C.V.

El diseño de la subestructura de este muelle es a base de tabla-estaca con un anclaje de cables potenzados a una profundidad aproximada de 7 m, su geometría se puede observar en los planos que se encuentran al final de este capítulo.



Figura 3.6 Formación en L, pasarela de acceso para el muelle Punta Langosta



Figura 3.7 Características estructurales del muelle, bitas y estructuras para atraque de buques

❖ SSA MÉXICO

El diseño de la subestructura de este muelle es a base de pilotes, su geometría se puede observar en los planos que se encuentran al final de este capítulo.



Figura 3.8 Atraque simultaneo de dos embarcaciones con ayuda del duque de Alba



Figura 3.9 Estructura del muelle a la izquierda del Duque de Alba

❖ PUERTA MAYA-CONSORCIO H

El diseño de la subestructura de este muelle es a base de elementos prefabricados o dovelas, su geometría se puede observar en los planos que se encuentran al final de este capítulo.

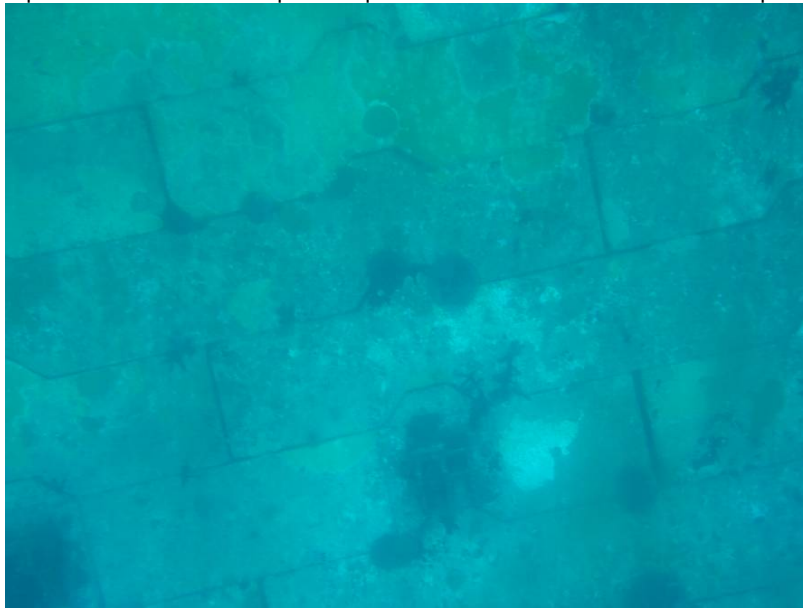


Figura 3.10 Estructura derrumbada por el Huracán Wilma, construcción por medio de elementos prefabricados

3.2.4 COMPORTAMIENTO ANTE EL HURACÁN WILMA

Como se ha mencionado en la sección 3.2.3 cada uno de los tres muelles para cruceros fueron diseñados de forma distinta, lo que implica un comportamiento diferente ante las fuerzas que provocó en Huracán Wilma. Estos factores serán analizados en el capítulo siguiente.

Como ya se ha establecido, los muelles "SSA México" y "Punta Langosta" presentaron varios daños pero en menor escala y un periodo de aproximadamente 6 meses fueron reparados en su totalidad y comenzaron a operar con normalidad, mientras que el muelle "Puerta Maya" propiedad de consorcio H, se derrumbó totalmente.



Figura 3.11 El muelle para cruceros Consorcio H, colapso totalmente por el Huracán Wilma

3.2.5 ESTADO ACTUAL.

❖ PUNTA LANGOSTA S.A. de C.V.

El muelle Punta Langosta sufrió daños menores provocados por el huracán Wilma los días 21, 22 y 23 de octubre, estos daños fueron en la zona comercial, administrativa, cisternas y en la losa de la pasarela de acceso y atraque (superestructura). Después de un proceso de reconstrucción el muelle comenzó a operar a un 100% el día 27 de septiembre de 2006 con el arribo del crucero "Disney Magic"

Para julio del 2006 fue rechazada la propuesta de aumentar este muelle por parte de la SCT, con base en los estudios técnicos realizados por la Secretaría de Navegación del Espacio Aéreo Mexicano (SENEAM). En buena medida a que interfiere con los procedimientos operacionales y trayectorias de la pista 11-29 del Aeropuerto Internacional, además que su ubicación estaría violando las dimensiones y coordenadas de las esquinas del trapecio subyacente a la superficie de aproximación a la pista 11(Ref. 3)



Figura 3.12 El muelle Punta Langosta trabaja de manera adecuada actualmente



Figura 3.13 Atraque de un buque en la pasarela de atraque exterior del muelle Punta Langosta

❖ SSA MÉXICO

Con daños importantes en su zona comercial, de oficina y muelles de atraque, sufriendo algunos colapsos en la pasarela de atraque y acceso; este muelle reanudo parcialmente sus actividades el día 15 de diciembre del 2005, mas tarde sus avances fueron incrementando paulatinamente hasta llegar a su nivel más optimo de operación. De la misma manera que el muelle para cruceros Punta Langosta, sus registros estadísticos se muestran en los datos de la API Quintana Roo; para el 27 de abril de 2006 la empresa SSA México decidió invertir un capital de 10,000,000 de dólares para aumentar la longitud del muelle y que esto permita que nuevos cruceros puedan entrar a este destino turístico. La ampliación fue aceptada por SEMARNAT el pasado mes de enero del 2007, así, se establece esta terminal como una de las más importantes para la isla de Cozumel.



Figura 3.14 Para abril del 2006, este muelle comenzó a extenderse debido al aumento en tamaño de las embarcaciones que llegan a Cozumel (Ref. 4)

❖ PUERTA MAYA-CONSORCIO H

Como se ha mencionado antes, este muelle fue destruido totalmente por el paso del Huracán Wilma los días 21, 22 y 23 de octubre de 2007. Este muelle se encuentra en proceso de reconstrucción al 30 de agosto de 2007. La empresa propietaria de la obra "CARNIVAL CORPORATION" no construye el muelle de la misma manera que el anterior, ahora se realiza con 5 pilotes por sección colados en el lugar, además de nuevas dimensiones para poder recibir embarcaciones de nueva generación.



Figura 3.15 Destrucción total de la estructura del muelle Consorcio H



Figura 3.16 Construcción del nuevo muelle por parte de la empresa CARNIVAL



Figura 3.17 La forma en que será construido este muelle, es totalmente distinta a su antecesor

CAPÍTULO 4 COMPORTAMIENTO PARTICULAR DE LA INFRAESTRUCTURA PORTUARIA DURANTE EL HURACÁN WILMA.

Durante el desarrollo de este capítulo se presentan las características del huracán Wilma como son, velocidad de vientos, posición, presiones en el ojo del huracán, velocidad de traslación. La necesidad de poder establecer estos parámetros tiene como objetivo determinar el periodo de retorno el cual está en función de datos históricos de eventos extremos en la zona, de esta manera se podrá observar el número de años en los que se volverá a presentar un evento de características similares.

Con ayuda del análisis descrito anteriormente se podrán establecer las características más desfavorables que se presentaron con el huracán Wilma y las fuerzas a las que estuvieron sometidos cada uno de los muelles, Puerta Maya, SSA México y Punta Langosta, además del periodo dentro del cual volverán a presentarse eventos similares. Así, será posible determinar los factores más importantes que influyeron en el colapso de el muelle propiedad de Consorcio H.

4.1 ANÁLISIS DEL HURACÁN WILMA

La descripción general del huracán Wilma se presentó en el apartado de generalidades G.2, con base en esto, dentro de este apartado se presentarán cada una de las características con ayuda de tablas y figuras que muestran el comportamiento del huracán en todo su periodo de vida.

4.2 FECHA DE OCURRENCIA.

Dentro de la tabla 4.1 se observa la clasificación del fenómeno de acuerdo con todos los avisos obtenidos con forma al día y hora del centro del país (Ref.1)

4.3 TRAYECTORIA

La trayectoria del huracán se establece con base en los anuncios con respecto a cada día y hora del centro del país; de esta manera se observa la trayectoria total del huracán así como sus diferentes categorías.

El estado del huracán aparece con un color de acuerdo a la categoría con la clasificación y grado de peligrosidad establecido por National Hurricane Center y la escala Saffir-Simpson(Ref.2)

Aviso	Mes	Día	Hora	Estado	Aviso	Mes	Día	Hora	Estado
1	10	15	16	DT	22A	10	21	19	H4
2	10	16	22	DT	23	10	21	22	H4
2A	10	16	1	DT	23A	10	21	1	H4
3	10	16	4	DT	24	10	21	4	H4
3A	10	16	7	DT	24A	10	21	7	H4
4	10	16	10	DT	25	10	21	10	H4
4A	10	16	13	DT	25A	10	21	13	H4
5	10	16	16	DT	26	10	21	16	H4
5A	10	17	19	DT	26A	10	22	19	H4
6	10	17	22	DT	27	10	22	22	H4

Aviso	Mes	Día	Hora	Estado	Aviso	Mes	Día	Hora	Estado
6A	10	17	1	DT	27A	10	22	1	H4
7	10	17	4	TT	28	10	22	4	H3
7A	10	17	7	TT	28A	10	22	7	H3
8	10	17	10	TT	29	10	22	10	H3
8A	10	17	13	TT	29A	10	22	13	H2
9	10	17	16	TT	30	10	22	16	H2
9A	10	18	19	TT	30A	10	23	19	H2
10	10	18	22	TT	31	10	23	22	H2
10A	10	18	1	TT	31A	10	23	1	H2
11	10	18	4	TT	32	10	23	4	H2
11A	10	18	7	TT	32A	10	23	7	H2
12	10	18	10	H1	33	10	23	10	H2
12A	10	18	13	H1	33A	10	23	13	H2
13	10	18	16	H1	34	10	23	16	H2
13A	10	19	19	H2	34A	10	24	19	H2
14	10	19	22	H2	35	10	24	22	H3
15	10	19	0	H4	35A	10	24	0	H3
15A	10	19	1	H4	35B	10	24	2	H3
16	10	19	4	H5	36	10	24	4	H3
16 ^a	10	19	7	H5	36A	10	24	6	H3
17	10	19	10	H5	36B	10	24	8	H3
17A	10	19	13	H5	37	10	24	10	H3
18	10	19	16	H5	37A	10	24	12	H3
18A	10	20	19	H5	38	10	24	13	H3
19	10	20	22	H4	39	10	24	16	H3
19A	10	20	1	H4	39A	10	25	19	H3
20	10	20	4	H4	40	10	25	22	H3
20A	10	20	7	H4	41	10	25	4	H3
21	10	20	10	H4	42	10	25	10	H2
21A	10	20	13	H4	43	10	25	16	H1
22	10	20	16	H4					

Tabla 4.1 Trayectoria del Huracán Wilma en octubre de 2005; día, mes, hora, clasificación (Ref.1)

4.4 CARACTERÍSTICAS PARTICULARES

En la tabla 4.2 se encuentran la latitud (lat), longitud (long), presión en milibar del centro del huracán(mbar), velocidad de los vientos(V) y velocidad de traslación(Vt), ambas en m/s. Cada una de estas propiedades esta referida a un número de aviso (Ref. 1).

Aviso	Lat	Long	Vm/s	Pmbar	Vt m/s	Aviso	Lat	Long	Vm/s	Pmbar	Vt m/s
1	17,6	-78,8	12,861	1004	3.218	22A	19,1	-85,9	66,878	923	2.834
2	17	-79	12,861	1003	0.000	23	19,3	-86	66,878	923	2.278
2A	17	-79	15,433	1003	2.928	23A	19,5	-86,1	66,878	930	2.277
3	17	-79,3	15,433	1003	1.432	24	20	-86,2	66,878	929	5.237
3A	17,1	-79,4	15,433	1003	0.976	24A	20,1	-86,3	64,306	930	1.414
4	17,1	-79,3	15,433	1002	2.058	25	20,2	-86,5	64,306	930	2.193
4A	17,3	-79,3	15,433	1002	5.096	25A	20,4	-86,7	61,733	926	2.825
5	17,7	-79,6	15,433	1001	0.974	26	20,6	-86,9	61,733	926	2.823
5A	17,7	-79,7	15,433	1004	1.029	26A	20,6	-86,9	61,733	930	0.000
6	17,6	-79,7	15,433	1001	2.294	27	20,8	-86,9	61,733	932	2.058
6A	17,4	-79,6	15,433	1000	2.261	27A	20,8	-87,2	59,161	935	2.895
7	17,2	-79,7	18,006	1000	4.248	28	20,9	-87,2	56,589	935	1.029
7A	16,8	-79,6	18,006	1000	6.406	28A	21	-87	54,017	943	2.187
8	16,3	-80	20,578	998	2.058	29	21,3	-87	51,444	946	3.087
8A	16,1	-80	23,150	997	3.254	29A	21,2	-87	48,872	953	1.029
9	15,8	-79,9	23,150	989	1.029	30	21,4	-87,1	43,728	957	2.272
9A	15,7	-79,9	23,150	989	3.129	30A	21,6	-87	43,728	959	2.272
10	15,8	-80,2	28,294	987	2.227	31	21,8	-86,9	43,728	959	2.272
10ª	15,7	-80	28,294	984	0.000	31A	21,8	-86,8	43,728	962	0.962
11	15,7	-80	30,867	982	2.864	32	22,1	-86,6	43,728	961	3.635
11A	15,9	-80,2	30,867	980	7.362	32A	22,4	-86,1	43,728	961	5.703
12	16,5	-80,6	33,439	977	5.331	33	22,7	-85,8	43,728	961	4.213
12ª	16,7	-81,1	36,011	975	5.331	33A	23,1	-85,3	43,728	963	6.301
13	16,7	-81,5	36,011	970	3.908	34	23,5	-84,9	46,300	959	5.602
13A	16,7	-81,8	43,728	954	2.931	34A	23,9	-84,4	48,872	958	6.280
14	16,8	-82,1	48,872	945	3.118	35	24,4	-83,7	51,444	958	8.386
15	16,9	-82	66,878	901	2.115	35A	24,7	-83,3	51,444	954	7.309
15A	17	-82,2	66,878	901	6.655	35B	25,1	-82,8	54,017	954	9.366
16	17,2	-82,5	77,167	884	3.598	36	25,5	-82,4	56,589	950	8.333
16A	17,2	-82,8	77,167	882	2.927	36A	26,1	-81,4	54,017	950	16.816
17	17,4	-83,2	77,167	882	4.430	36B	26,3	-80,7	48,872	952	10.335
17A	17,5	-83,5	74,594	900	3.110	37	26,9	-80	46,300	956	13.395
18	17,7	-83,7	72,022	892	2.847	37A	27,3	-79,2	43,728	956	12.727
18ª	17,9	-83,9	72,022	892	2.846	38	28,1	-78,8	51,444	955	26.828
19	18,1	-84,3	69,450	894	4.418	39	29	-77,4	54,017	954	15.773
19ª	18,1	-84,7	69,450	899	3.893	39A	30,2	-76	56,589	955	17.570
20	18,3	-85	66,878	900	3.581	40	31,6	-74,3	56,589	959	20.782
20ª	18,3	-85,2	64,306	910	1.945	41	34,8	-70	51,444	965	24.765
21	18,4	-85,5	64,306	915	3.098	42	38,5	-66	46,300	970	24.892
21A	18,6	-85,5	64,306	915	2.058	43	41,7	-62,8	38,583	976	20.319
22	18,9	-85,7	66,878	918	3.653						

Tabla 4.2 Posición, velocidad, presión, velocidad de traslación en cada aviso del huracán Wilma (Ref. 1)

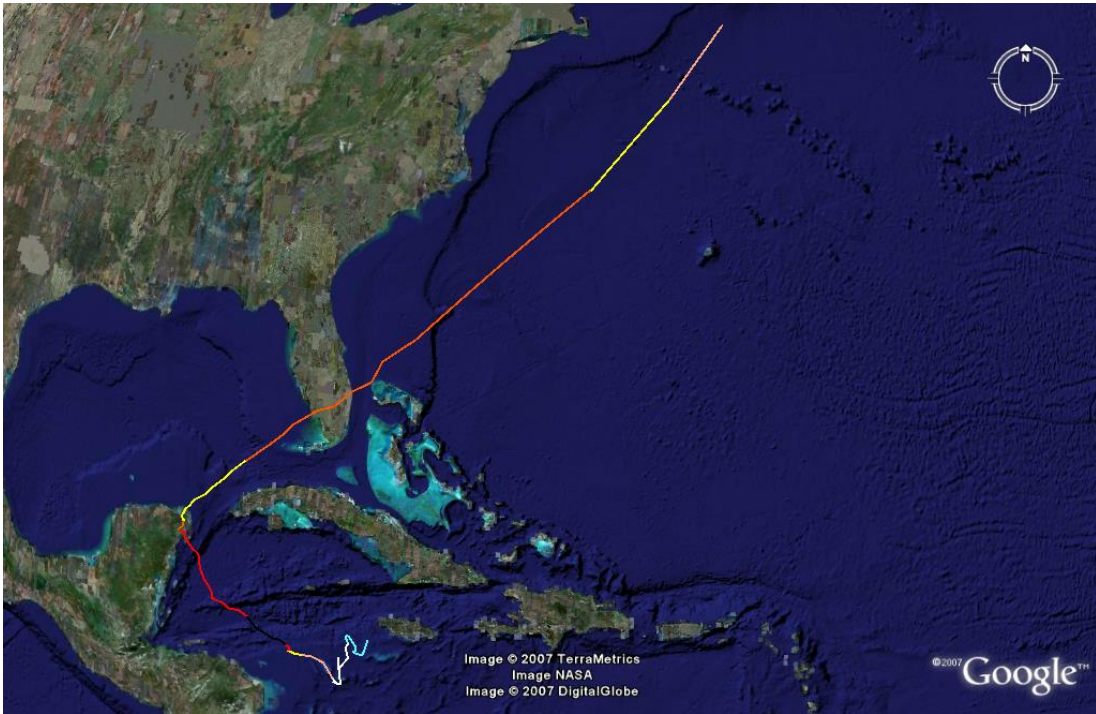


Figura 4.1 Trayectoria del Huracán Wilma y su categoría (Ref.2)

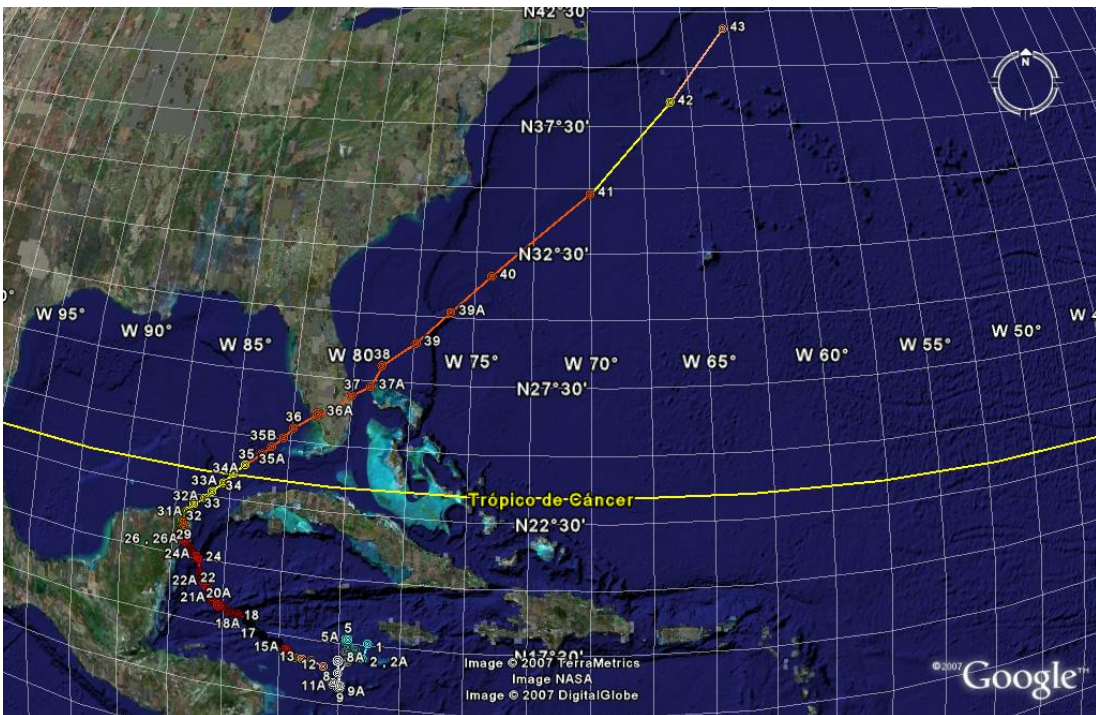


Figura 4.2 Trayectoria del huracán Wilma de acuerdo a su ubicación geográfica y su categoría en cada uno de los avisos (Ref. 3)

4.5 ANÁLISIS DE EXTREMOS HISTÓRICOS Y DE EXTREMOS ASOCIADOS AL HURACÁN WILMA.

Para el análisis de los extremos que se han presentado en la zona como son, vientos, oleaje y marea de tormenta es necesario realizar un análisis estadístico que permita establecer y comparar los eventos que se presentan en cada suceso extremo de acuerdo con su posible periodo de retorno y las características particulares del huracán Wilma. Para realizar este cálculo se cuenta con un registro estadístico desde 1948 hasta 2007 de todos los eventos extremos registrados que se presentaron en este periodo de tiempo.

La referencia 20 proporciona un análisis estadístico por medio de la distribución de Weibull de todos los eventos extremos que se presentaron de 1948-2007

Para establecer la altura de ola significativa generada en la zona se utiliza el modelo Hurac (Ref. 19), este modelo se encuentra compuesto de tres submodelos, los cuales generan el cálculo de los campos de presión, viento y oleaje.

Para determinar diferentes características del huracán como son: la sobreelevación de la marea de tormenta, se utiliza el método de Keulegan (Ref. 4).

Método de Keulegan

$$S = -\frac{kV^2x}{g(H_1 - H - S)} \ln \frac{H_1}{H + S}$$

S; sobreelevación

H₁; Profundidad a la orilla de la plataforma continental

H, Profundidad en el sitio de estudio

X; Distancia desde el borde continental hasta la costa

K ; Coeficiente de esfuerzo del viento=3x10⁻⁶

G ; aceleración de la gravedad

V ; velocidad del viento

Modelo Hurac

Modelo de presión atmosférica

$$P_r = P_0 + (P_N + P_0) \exp(-R/r)$$

Donde:

P₀; la presión a una distancia radial r en mbar

P_N; presión normal en mbar

R; radio de máximos vientos ciclostrofos en km

Modelo de viento

$$U_R = 21.8\sqrt{P_N - P_0} - 0.5fR$$

$$f = 2\varpi \sin \phi$$

$$\varpi = 0.2618 \text{rad} / h$$

$$W = 0.886(F_V U_R + 0.5V_F \cos(\theta + \beta))$$

$$F_V = 1 - 0.971 \exp\left(-6.826\left(\frac{r}{R}\right)^{4.798}\right); \frac{r}{R} < 1$$

$$F_V = \exp\left(A \ln^3\left(\frac{r}{R}\right) \exp\left(B \ln\left(\frac{r}{R}\right)\right)\right); \frac{r}{R} \geq 1$$

$$A = -0.99 * (1.066 - \exp(-1.936N_c))$$

$$B = -0.357(1.4456 - \exp(-5.2388N_c))$$

Donde:

f; parámetro de aceleración de coriolis

w, velocidad angular de la tierra

ϕ ; latitud (°)

W; velocidad del viento a diez metros sobre el nivel del mar

($\theta + \beta$); ángulo total entre la velocidad de traslación V_F y la velocidad del viento U_r

F_V ; factor de amortiguamiento

Modelo de oleaje

$$H_s = 0.2887 F_h \left(1 - \frac{6.69 N_c}{1 + 10.3 N_c - 3.25 N_c^2}\right) \sqrt{R(P_N - P_0)} \left(1 + \frac{V_F \cos(\theta + \beta)}{2U_R F_V}\right)^2$$

$$F_h = \frac{1 + 0.8974\left(\frac{r}{R} - 1\right)}{1 + 0.742\left(\frac{r}{R} - 1\right) + 0.07382\left(\frac{r}{R} - 1\right)^2}; \frac{r}{R} < 1$$

$$F_h = \frac{1 + 0.8974\left(\frac{r}{R} - 1\right)}{1 + 0.742\left(\frac{r}{R} - 1\right) + 0.07382\left(\frac{r}{R} - 1\right)^2} - \frac{N_c\left(\frac{r}{R} - 1\right)}{1 + C\left(\frac{r}{R} - 1\right) + \frac{N_c}{10}\left(\frac{r}{R} - 1\right)^2}; \frac{r}{R} \geq 1$$

$$C = \frac{0.7 N_c^{2.55}}{0.13 + N_c^{2.55}}$$

$$N_c = fR / U_r$$

$$T_s = 12.1 \sqrt{H_s / g}$$

$$P_0 = 1019.08 - 0.182V_v - 0.0007175V_v^2$$

$$R = 0.475P_0 - 413.01$$

$$r = |E_x a \cos(\text{sen}(\phi_i)\text{sen}(\phi_c) + \cos(\phi_i)\cos(\phi_c)\cos(\lambda_c - \lambda_i))|$$

$$E_x = \frac{E_{ra}^2 E_{re}}{(E_{ra} \cos \phi)^2 + (E_{re} \text{sen} \phi)^2}$$

$$\beta = a \tan 2(\lambda_i - \lambda_c; \phi_i - \phi_c)$$

Donde:

N_c ; número de Coriolis ciclostrófico

T_s ; Periodo de ola asociado a la altura de ola significativa

P_0 ; presión central del huracán en mbar

V_v ; velocidad de viento promedio en un minuto km/hr

λ ; longitud

ϕ ; latitud

Los subíndices i y c indican las posiciones del punto de interés y del centro del ciclón respectivamente

E_x ; radio de la tierra

E_{ra} ; radio de la tierra en el ecuador(6378.135km)

E_{re} ; radio polar de la tierra (6356.75 km)

Con ayuda de los métodos antes mencionados se establecen las características de viento, oleaje y marea de tormenta. El análisis será realizado para la ubicación del muelle para cruceros Puerta Maya que tiene la siguiente ubicación.

	UBBICACIÓN GEGOGRÁFICA					
	LATITUD NORTE		Y UTM	LONGITUD OESTE		X UTM
PUNTA LANGOSTA S.A. de C.V.	20°30'28''	20,507	2267590.733	86°57'18''	-87	500000.000
SSA MÉXICO	20°34'37.5''	20,577	2275334.225	87°07'14.6''	-87,1	489573.372
PUERTA MAYA-CONSORCIO H	20°28'35.6''	20.476	2264156.893	86°58'36.05''	-87	500000.000

Tabla 4.3 Ubicación geográfica de los muelles para cruceros en Cozumel (Ref. 5)

4.5.1 ANÁLISIS DE VIENTOS VS TR.

En la tabla 4.4 se muestra la velocidad promedio de vientos de cada uno de los huracanes que se presentaron de 1952-2005

Huracán	V (m/s)
FOX 20-28 oct 1952	38.6
HILDA 10-20 sep 1955	51,4
JANET 21-30 sep 1955	74,6
ANNA 20-24 jul 1961	43,7
CARLA 3-16 sep 1961	66,9

Huracán	V (m/s)
HATTIE 1961	72,0
ISELL 8-17 oct 1964	12,9
DEBBIE 24-30 sep 1965	12,9
ALMA 4-14 jun 1966	41,2
BEULAH 5-22 sep 1967	51,4
ABBY 1-13 jun 1968	23,2
GLADYS 13-21 oct 1968	25,7
CAMILLE 14-22 ago 1969	51,4
FRANCELIA 1969	41,2
ELLA 8-13 sep 1970	15,4
LAURA 12-22 nov 1971	25,7
CARMEN 1974	61,7
CAROLINE 1975	12,9
ELOISE 13-24 sep 1975	20,6
FRIEDA 16-19 oct 1977	12,9
GRETA 13-20 sep 1978	48,9
ALLEN 1980	84,9
HERMINE 20-26 sep 1980	30,9
JEANNE 7-16 nov 1980	20,6
DANNY 12-20 ago 1985	12,9
FLOYD 9-14 oct 1987	23,2
GILBERT 8-20 sep 1988	74,6
KEITH 17-26 nov 1988	30,9
DIANA 4-9 ago 1990	28,3
GERT 14-21 sep 1993	18,0
ALLISON 3-11 jun 1995	20,6
OPAL 1995	12,9
ROXANNE 7-21 oct 1995	51,4
DOLLY 19-25 ago 1996	30,9
MITCH 1998	77,2
IRENE 12-19 oct 1999	30,9
KATRINA 1999	12,9
KEITH 2000	51,4
CHANTAL 14-22 ago 2001	30,9
IRIS 4-9 oct 2001	61,7
MICHELLE 2001	46,3
ISIDORE 14-27 sep 2002	46,3
CLAUDETTE 7-17 jul 2003	36,0
LARRY 2003	10,3
IVAN 2-24 sep 2004	72,0
ARLENE 8-13 jun 2005	20,6

Huracán	V (m/s)
CINDY 3-7 jul 2005	15,4
EMILY 11-21 jul 2005	59,2
STAN 1-5 oct 2005	15,4
WILMA 15-25 oct 2005	66,9
	Máx=

Tabla 4.4 Método probabilística de Gumbell para determinar las características del evento extremo con su periodo de retorno.

La referencia 20 proporciona la figura 4.1, en la cual se observa la velocidad de viento sostenido extremal contra el periodo de retorno y también la probabilidad de que se presente un viento de cierta magnitud.

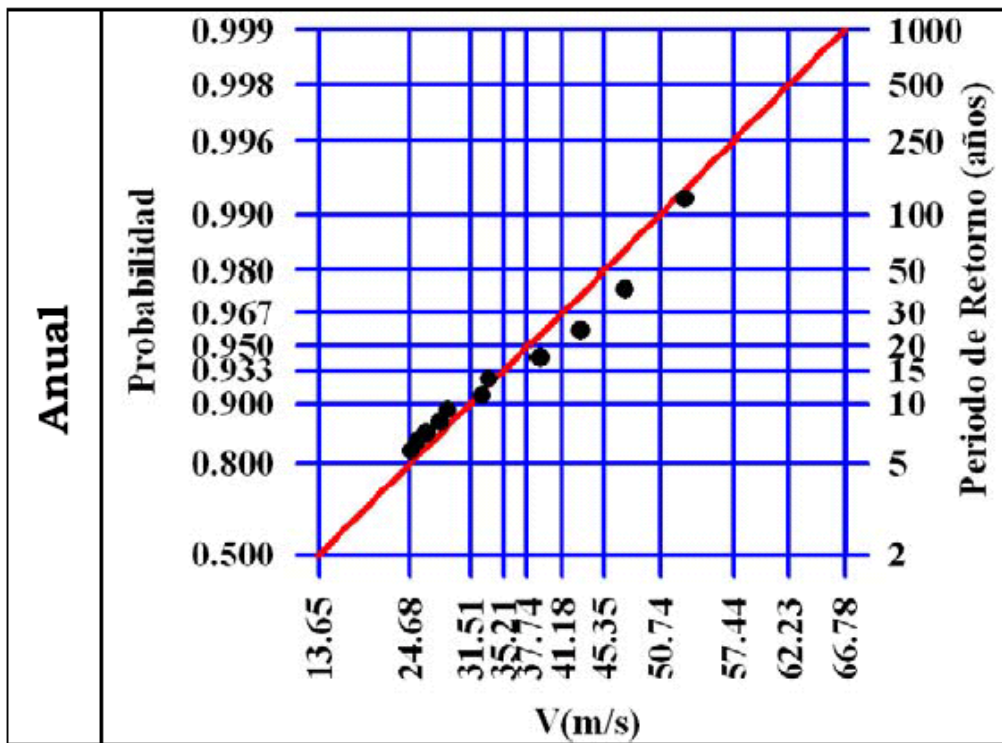


Figura 4.3 Datos obtenidos a través de la distribución de Weibull que muestran la magnitud del evento y su probable periodo de retorno (Ref. AAA)

Aviso	Vm/s	aviso	Vm/s	Aviso	Vm/s	Aviso	Vm/s
1	12,861	12	33,439	23	66,878	33A	43,728
2	12,861	12A	36,011	23A	66,878	34	46,300
2A	15,433	13	36,011	24	66,878	34A	48,872
3	15,433	13A	43,728	24A	64,306	35	51,444
3A	15,433	14	48,872	25	64,306	35A	51,444
4	15,433	15	66,878	25A	61,733	35B	54,017
4A	15,433	15A	66,878	26	61,733	36	56,589
5	15,433	16	77,167	26A	61,733	36A	54,017

Aviso	Vm/s	aviso	Vm/s	Aviso	Vm/s	Aviso	Vm/s
5A	15,433	16A	77,167	27	61,733	36B	48,872
6	15,433	17	77,167	27A	59,161	37	46,300
6A	15,433	17A	74,594	28	56,589	37A	43,728
7	18,006	18	72,022	28A	54,017	38	51,444
7A	18,006	18A	72,022	29	51,444	39	54,017
8	20,578	19	69,450	29A	48,872	39A	56,589
8A	23,150	19A	69,450	30	43,728	40	56,589
9	23,150	20	66,878	30A	43,728	41	51,444
9A	23,150	20A	64,306	31	43,728	42	46,300
10	28,294	21	64,306	31A	43,728	43	38,583
10A	28,294	21A	64,306	32	43,728		
11	30,867	22	66,878	32A	43,728		
11A	30,867	22A	66,878	33	43,728		

Tabla 4.5 Vientos presentados por el huracán Wilma en su periodo de vida de acuerdo con cada uno de los avisos (Ref. 1)

4.5.2 ANÁLISIS DE OLEAJE VS TR.

El análisis de oleaje se realiza para las condiciones de altura de ola significativa, y se presenta su posible periodo de retorno esto con la finalidad de obtener valores más representativos de las condiciones de oleaje extremo presentados por el huracán Wilma. (Ref. 20)

El registro que se presenta a continuación comprende desde 1948-2007 y fue obtenido de la referencia (AAAA), dentro de esta tabla se observa la altura de ola media asociada a cada evento extremo.

Huracán	Hs (m)
FOX 20-28 oct 1952	6.7
HILDA 10-20 sep 1955	8.6
JANET 21-30 sep 1955	7.2
ANNA 20-24 jul 1961	7.3
CARLA 3-16 sep 1961	8.1
HATTIE 1961	8.7
ISBELL 8-17 oct 1964	7.6
DEBBIE 24-30 sep 1965	7.0
ALMA 4-14 jun 1966	6.9
BEULAH 5-22 sep 1967	7.9
ABBY 1-13 jun 1968	6.8
GLADYS 13-21 oct 1968	7.0
CAMILLE 14-22 ago 1969	8.0
FRANCELIA 1969	7.3
ELLA 8-13 sep 1970	7.2
LAURA 12-22 nov 1971	7.1
CARMEN 1974	8.7

Huracán	Hs (m)
CAROLINE 1975	7.3
ELOISE 13-24 sep 1975	7.4
FRIEDA 16-19 oct 1977	7.0
GRETA 13-20 sep 1978	9.1
ALLEN 1980	9.4
HERMINE 20-26 sep 1980	8.2
JEANNE 7-16 nov 1980	7.4
DANNY 12-20 ago 1985	7.2
FLOYD 9-14 oct 1987	7.9
GILBERT 8-20 sep 1988	8.9
KEITH 17-26 nov 1988	7.8
DIANA 4-9 ago 1990	8.6
GERT 14-21 sep 1993	7.9
ALLISON 3-11 jun 1995	8.2
OPAL 1995	6.4
ROXANNE 7-21 oct 1995	8.7
DOLLY 19-25 ago 1996	7.5
MITCH 1998	8.2
IRENE 12-19 oct 1999	7.3
KATRINA 1999	8.1
KEITH 2000	7.2
CHANTAL 14-22 ago 2001	7.3
IRIS 4-9 oct 2001	8.0
MICHELLE 2001	8.0
ISIDORE 14-27 sep 2002	8.3
CLAUDETTE 7-17 jul 2003	8.0
LARRY 2003	7.0
IVAN 2-24 sep 2004	8.5
ARLENE 8-13 jun 2005	8.1
CINDY 3-7 jul 2005	7.2
EMILY 11-21 jul 2005	9.7
STAN 1-5 oct 2005	7.0
WILMA 15-25 oct 2005	8.9

Tabla 4.6 Registro de oleaje significativo presentado por cada huracán(Ref. 1)

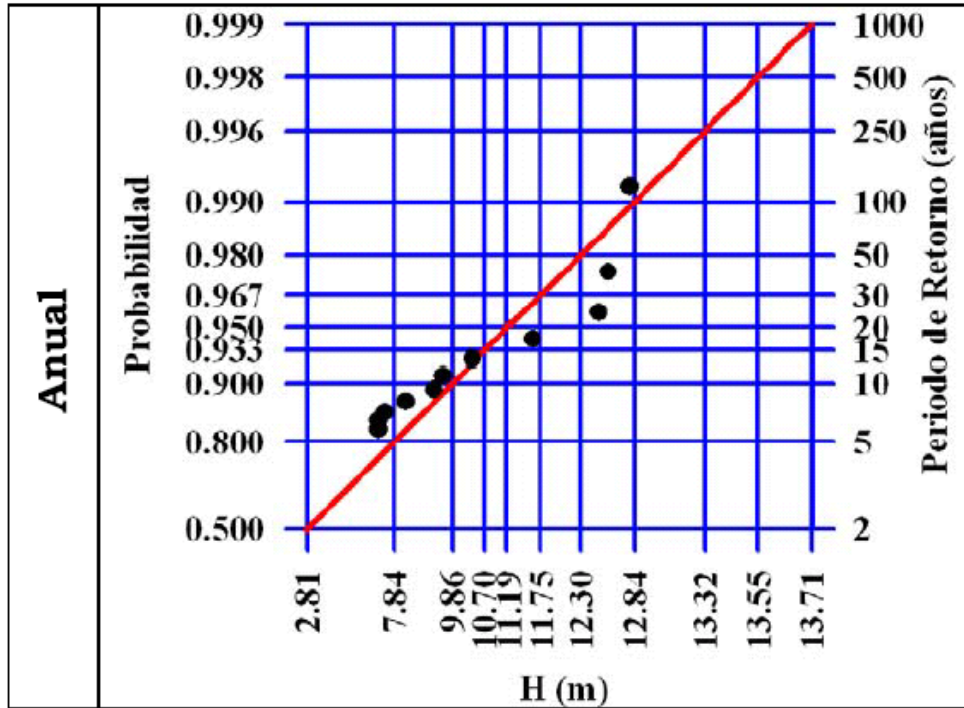


Figura 4.4 Régimen extremal de altura de ola significativa y su periodo de retorno (Ref. 20)

Con ayuda del modelo Hurac se obtiene la tabla que se presenta a continuación y que muestra la altura de ola generada por el huracán Wilma a su paso por la isla de Cozumel (Ref. 19)

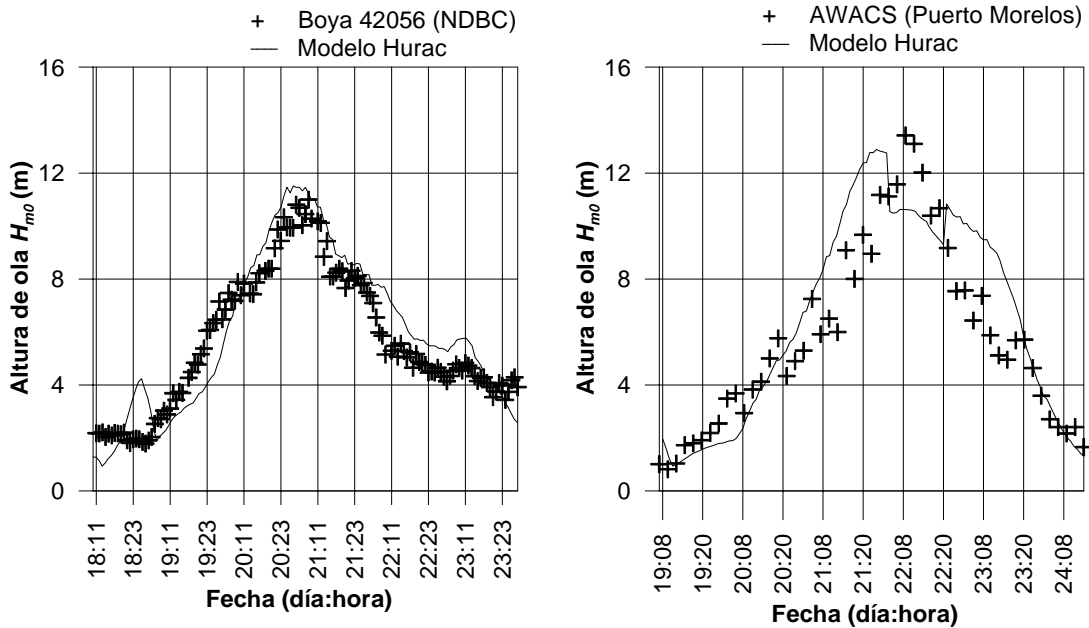


Figura 4.5 Características de ola significativa ($H_{1/3}$) generadas por el huracán Wilma. (Ref. 19)

De acuerdo con el análisis de los datos del huracán Wilma y resultados de los periodos de retorno se observa que la mayor parte del oleaje se encuentra entre 7 y 8 metros lo que corresponde a un periodo de retorno de entre 5y 10 años; es importante señalar que también se

presentan olas que corresponden a un periodo de retorno de 100 años y que son de aproximadamente 12 metros.

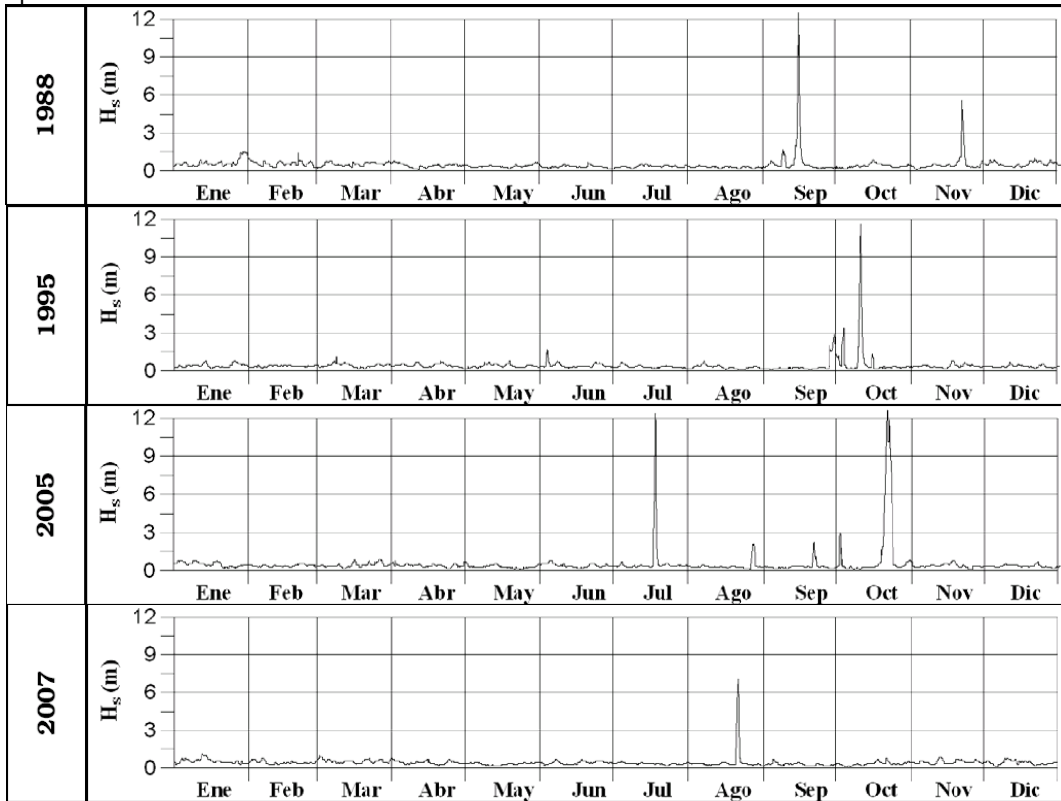


Figura 4.6 Eventos extremos mayores presentados en la isla en los últimos diez años(Ref. 19)

Dentro de los registros de las estaciones WIS existe un análisis para periodos de retorno y se establecen valores máximos y mínimos para oleaje significativo para el caso de eventos extremos, estos datos se muestran en la figura 4.4 y 4.5

4.5.3 ANÁLISIS DE MAREA DE TORMENTA VS TR.

Huracán	mt (m)
FOX 20-28 oct 1952	0.513
HILDA 10-20 sep 1955	1.278
JANET 21-30 sep 1955	0.805
ANNA 20-24 jul 1961	0.634
CARLA 3-16 sep 1961	1.031
HATTIE 1961	1.602
ISELL 8-17 oct 1964	0.097
DEBBIE 24-30 sep 1965	0.467
ALMA 4-14 jun 1966	0.532
BEULAH 5-22 sep 1967	1.416
ABBY 1-13 jun 1968	0.331
GLADYS 13-21 oct 1968	0.492
CAMILLE 14-22 ago 1969	1.175

Huracán	mt (m)
FRANCELIA 1969	0.678
ELLA 8-13 sep 1970	0.152
LAURA 12-22 nov 1971	0.466
CARMEN 1974	1.848
CAROLINE 1975	0.069
ELOISE 13-24 sep 1975	1.077
FRIEDA 16-19 oct 1977	0.167
GRETA 13-20 sep 1978	1.068
ALLEN 1980	1.818
HERMINE 20-26 sep 1980	0.618
JEANNE 7-16 nov 1980	0.562
DANNY 12-20 ago 1985	0.087
FLOYD 9-14 oct 1987	0.517
GILBERT 8-20 sep 1988	3.641
KEITH 17-26 nov 1988	1.647
DIANA 4-9 ago 1990	0.914
GERT 14-21 sep 1993	0.337
ALLISON 3-11 jun 1995	0.741
OPAL 1995	0.521
ROXANNE 7-21 oct 1995	3.715
DOLLY 19-25 ago 1996	0.661
MITCH 1998	1.333
IRENE 12-19 oct 1999	0.454
KATRINA 1999	0.199
KEITH 2000	1.284
CHANTAL 14-22 ago 2001	0.535
IRIS 4-9 oct 2001	0.865
MICHELLE 2001	0.870
ISIDORE 14-27 sep 2002	0.895
CLAUDETTE 7-17 jul 2003	2.049
LARRY 2003	0.516
IVAN 2-24 sep 2004	1.880
ARLENE 8-13 jun 2005	0.463
CINDY 3-7 jul 2005	0.298
EMILY 11-21 jul 2005	3.933
STAN 1-5 oct 2005	0.591
WILMA 15-25 oct 2005	3.407

Tabla 4.7 Registro de mareas más intensas presentadas en cada huracán analizado por el Método de Keulegan para la isla de Cozumel en la ubicación del muelle para cruceros "Puerta Maya"

tr	mt
2,0	0,81
5,0	1,50
10,0	1,95
15,0	2,21
20,0	2,39
25,0	2,53
50,0	2,96
70,0	3,16
100,0	3,38
115,0	3,47

Tabla 4.8 Resultado de análisis probabilístico que muestra el periodo de retorno contra marea de tormenta

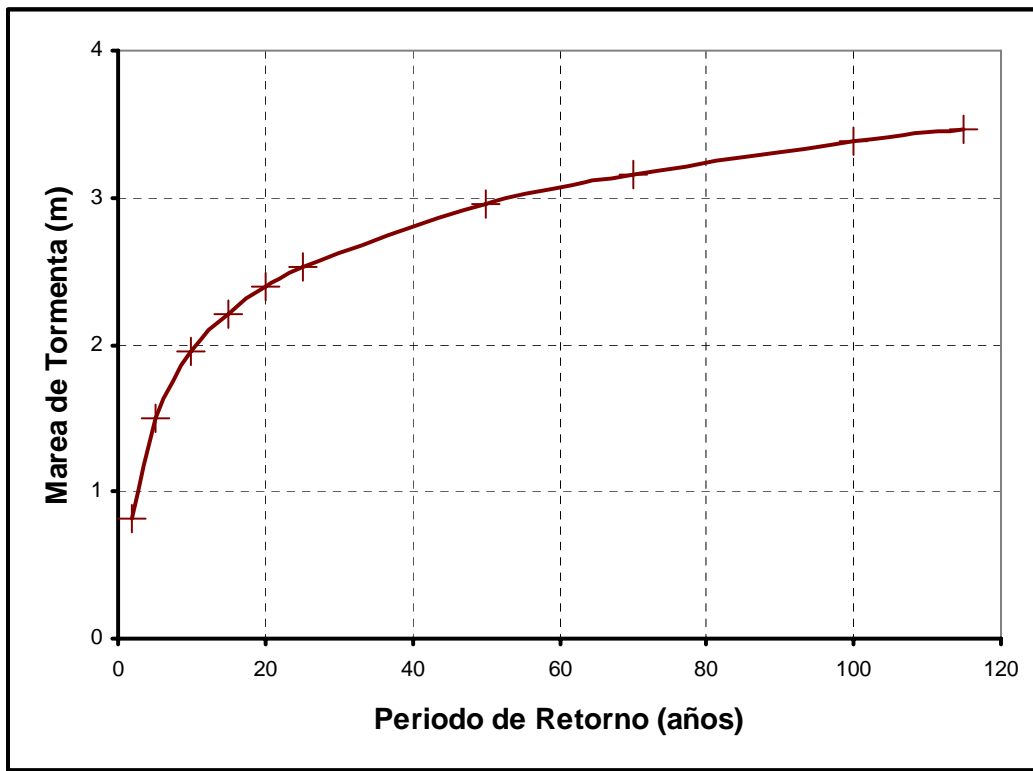


Figura 4.1 Grafica de Marea de Tormenta (m)-Periodo de Retorno (años)

aviso	MT m	aviso	MT m	aviso	MT m	aviso	MT m
1	0.117	12	0.483	23	2.554	33A	1.113
2	0.124	12A	0.545	23A	2.808	34	1.067
2A	0.137	13	0.583	24	3.625	34A	1.021
3	0.140	13A	0.758	24A	3.983	35	0.975
3A	0.141	14	0.879	25	5.002	35A	0.945
4	0.149	15	1.245	25A	7.558	35B	0.946
4A	0.150	15A	1.262	26	10.070	36	0.970
5	0.164	16	1.527	26A	9.787	36A	0.865
5A	0.139	16A	1.544	27	6.553	36B	0.744
6	0.165	17	1.587	27A	5.860	37	0.664

aviso	MT m	aviso	MT m	aviso	MT m	aviso	MT m
6A	0.171	17A	1.585	28	5.103	37A	0.601
7	0.186	18	1.545	28A	4.557	38	0.712
7A	0.182	18A	1.589	29	3.261	39	0.730
8	0.216	19	1.608	29A	3.383	39A	0.753
8A	0.241	19A	1.680	30	2.684	40	0.725
9	0.289	20	1.716	30A	2.308	41	0.584
9A	0.288	20A	1.714	31	2.049	42	0.468
10	0.353	21	1.813	31A	1.995	43	0.335
10A	0.363	21A	1.886	32	1.717		
11	0.400	22	2.143	32A	1.459		
11A	0.417	22A	2.345	33	1.296		

Tabla 4.9 Sobre elevación de marea de tormenta provocada por el huracán Wilma con respecto a cada aviso. Cálculo por el método de Keulegan con respecto al sitio de estudio (muelle para cruceros "Puerta Maya")(Ref. 4)

Para determinar la altura de la marea de tormenta se utilizó el método de Keulegan (Ref. 4); en la tabla 4.12 se observa la marea de tormenta registrada en cada aviso y la figura 4.5 se observa la marea de tormenta asociada a un periodo de retorno

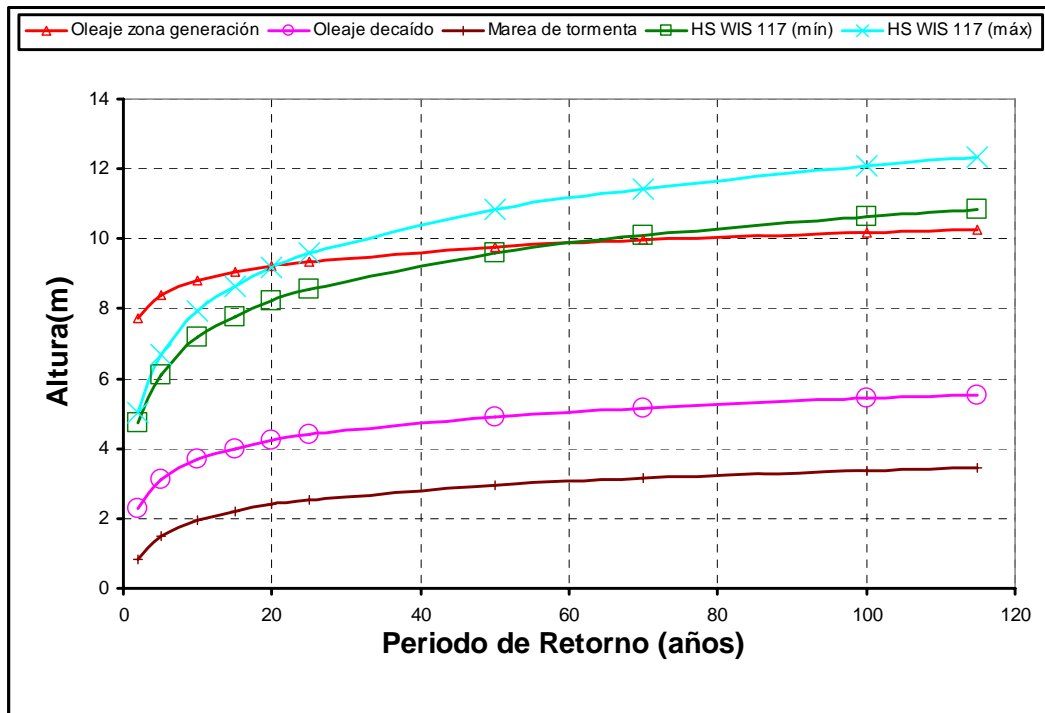


Figura 4.8 Gráfica de resumen de altura de eventos (m)-Periodo de Retorno (años) estación WIS 117

4.5.4 ANÁLISIS DE CORRIENTES INDUCIDAS.

Las corrientes que se presentan de manera regular entre la Península de Yucatán y la isla de Cozumel corresponden a un fenómeno global de movimiento de masas y en particular a la corriente del golfo, esta corriente se acerca por la Península de Yucatán y se propaga hacia el Norte y Noreste para continuar sobre las aguas de la Península de Florida. Al paso de esta corriente por la isla de Cozumel se bifurca y produce una componente con dirección continua

hacia el norte cruzando Cozumel y la Península de Yucatán, cuya velocidad media en la parte media del canal de Cozumel alcanza valores de 2.05 m/s.

4.6 MODELACIÓN DEL OLEAJE ASOCIADO AL HURACÁN WILMA.

4.6.1 OLEAJE EXTREMO.

La figura 4.9 representa la altura de ola dentro de la zona más próxima a los muelles para cruceros, con ayuda de estos datos podemos realizar la modelación del oleaje extremo

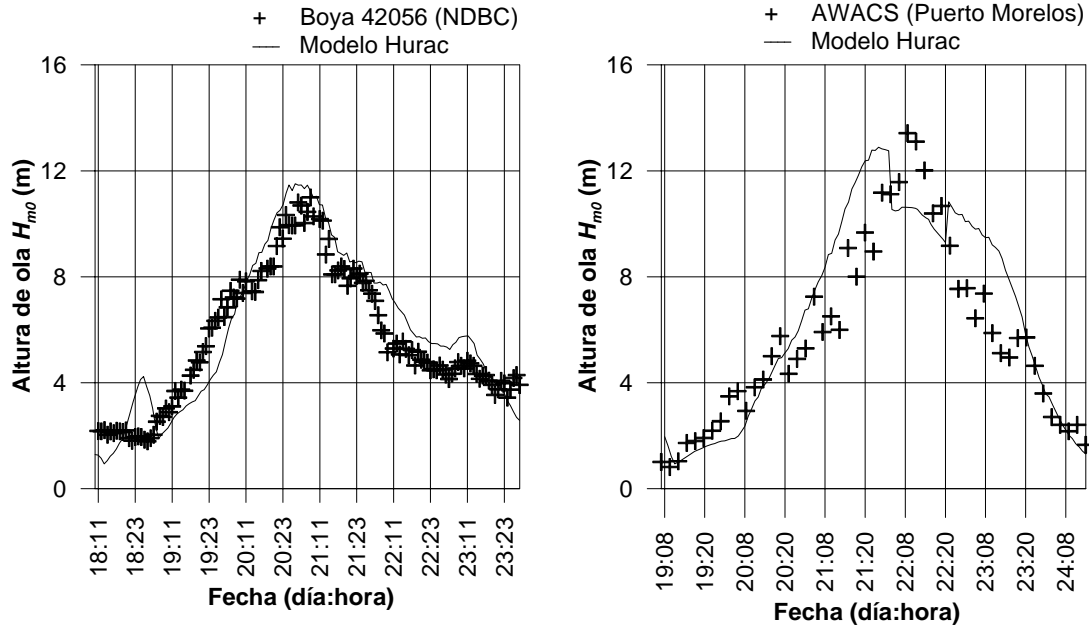


Figura 4.9 Características de ola significativa ($H_{1/3}$) generadas por el huracán Wilma. (Ref. 19)

4.6.2 APLICACIÓN DE UN MODELO DE PROPAGACIÓN DE OLEAJE.

El estudio del comportamiento del huracán Wilma se ha realizado por medio del modelo Hurac, aunque este método es muy aceptable es necesario aplicar un segundo análisis que incluya parámetros que no son considerados por el primer cálculo, de esta manera es posible obtener las características del fenómeno meteorológico con mayor exactitud en los puntos de mas interés para este estudio, el periodo de eventos que afectan de manera importante a la zona de los muelles esta registrada por los avisos 26, 26A, 27 y 27A . De acuerdo con esto se realizará un segundo análisis con ayuda de un software que permita caracterizar de manera adecuada los avisos para que de esta manera se establezcan las características más desfavorables a las que estuvieron sujetos los muelles.

El software que se utiliza para este estudio es el Mopla (Ref. 8), este programa tiene la capacidad de realizar la propagación del oleaje y la interacción con las corrientes generadas por las ondas de oleaje, corrientes y la evolución morfológica de una playa, para realizar el análisis son necesarios datos de características de oleaje, la topografía y la batimetría de la zona. Las propiedades más importantes de este programa se presentan a continuación.

Respecto a la propagación de oleajes:

- Propagar oleajes monocromáticos o espectrales desde profundidades indefinidas hasta zonas de playa en la costa. Incluyendo deformaciones debido a la refracción, asomeramiento, difracción, disipación por rotura y pos-rotura.
- Caracterización de los oleajes de una zona litoral.
- Cálculo de los regímenes medios direccionales del oleaje en zonas costeras.
- Propagación de eventos de oleaje extraordinarios, los cuales permiten definir las alturas de olas de diseño para obras en el litoral.

El Mopla se compone de modelos numéricos de "Propagación de ondas" (Oluca-MC/SP), los modelos de "Corrientes en playas" (Copla-MC/SP) y los modelos de "Erosión/sedimentación" (Eros-MC/SP). Estos modelos numéricos se basan en modelos teóricos que tienen una serie de restricciones. Con el fin de evaluar si el modelo Mopla es aplicable para un determinado problema, se deben consultar los correspondientes manuales de referencia, los cuales contienen una descripción detallada de todos estos aspectos.

Definición de conceptos básicos utilizados en el programa

Batimetría. Es un archivo en formato xyz que define la batimetría de la zona de estudio. Sólo puede haber una por directorio y al cargarla, se cargarán también las mallas y casos de estudio asociados a ella.

Malla. Una malla es una rejilla rectangular situada sobre una batimetría, sin sobrepasar los límites de ésta. Los valores en los nodos de la rejilla son interpolados por el programa Surfer a partir de los datos de la batimetría. Estos valores interpolados son la batimetría entrada tanto para el modelo de propagación de ondas como el de corrientes.

Malla encadenada. También se llaman mallas anidadas o encadenamiento. Es un arreglo de varias mallas con diferente resolución de nodos, en el que la última fila de una es colineal con la primera fila de la siguiente. De esta forma puede aplicarse el modelo de propagación de ondas a una malla y tomar sus resultados como datos de entrada de la malla siguiente.

Caso de oleaje. Es un conjunto de parámetros de control de los modelos de propagación y definición del oleaje que se aplica a una malla o un encadenamiento. Se dividen en dos, el caso simple y los casos de encadenamiento.

Caso de corrientes. Un caso de corrientes (o caso de Copla) es una serie de parámetros que definen las características de flujo, para las corrientes generadas por un oleaje previamente calculado con el programa Oluca- (MC/SP). Es por ello que un caso de corrientes no se puede estudiar por separado, siempre debe estar asociado a un caso simple o a un caso de encadenamiento.

Caso de transporte. Es un grupo de parámetros que permiten llevar a cabo el cálculo del transporte de sedimentos y/o la evolución de una playa. Éste está asociado a un caso de corriente, y por lo tanto, también a un caso de oleaje.

Caso. Se denominará caso a la combinación de una malla simple o encadenada, con un caso de oleaje. Donde adicionalmente se pueden incluir un caso de corriente y un caso de transporte.

Caso simple. Es cuando se aplica un caso a una sola malla.

Caso de encadenamiento. Es cuando se aplica un caso a un conjunto de mallas encadenadas que tienen en común el caso de oleaje de la malla exterior.



Figura 4.10 Ventana principal del Mopla (Ref. 8)

Las características del evento extremo como son marea de tormenta, altura de ola, periodo y dirección están dadas por el método del huracán estándar mientras que la batimetría del mar caribe será proporcionada por una carta de la Secretaría de Marina (Ref. 9) y la topografía por medio de una carta topográfica (Ref. 10) y además de puntos obtenidos por medio de un GPS, producto de una visita realizada a la zona de estudio

Para agregar los datos de los efectos del huracán Wilma es necesario considerar características propias del modelo que garanticen una correcta ejecución del mismo. Dentro de estas características se encuentran la dirección por donde incide el oleaje, de esta forma queda condicionada la segunda característica fundamental del modelo que es el arreglo de varias mallas en las que su dirección queda definida por la dirección de incidencia del oleaje. El arreglo correcto de una malla o de varias mallas garantiza el buen o mal funcionamiento del modelo de propagación de oleaje. Este arreglo es de cuatro mallas para cada uno de los tres avisos que son analizados. El arreglo de cada una de las mallas condiciona la siguiente malla que es agregada, es decir, la longitud de cada uno de los lados, del número de espacios se debe de ir reduciendo en cada malla conforme se aproxime a la zona que es de mayor interés, así, el

resultado obtenido es de mayor exactitud en la propagación del oleaje en la zona de los muelles para el caso particular de este estudio.

Después de generar un arreglo adecuado de mallas es posible agregar las propiedades de cada uno de los avisos que serán analizados, las condiciones que el modelo requiere son periodo de la ola, altura de la ola, marea de tormenta y dirección del oleaje, estas características se obtuvieron por medio del método del huracán. Los resultados que se obtienen del modelo de oleaje se representan por medio de cada una de las mallas y estas mallas quedan ubicadas dentro de un plano de referencia en coordenadas UTM, así los resultados serán presentados por cada una de estas mallas y su ubicación dentro del plano 16Q de las coordenadas UTM.

Los resultados que son obtenidos por el programa Mopla se generan para ser visualizados dentro de un segundo programa que tiene por nombre Surfer (Ref. 12), este programa muestra los resultados de manera bidimensional y tridimensional, aunque la forma tridimensional presenta una visualización más elaborada y estética no permite observar de manera adecuada los valores de altura de ola en posiciones intermedias, debido a lo anterior los resultados que aquí se presentan serán mostrados en forma bidimensional, de esta forma es más aceptable el resultado generado por el programa en cuestión y resulta más accesible el análisis de los valores.

En la figura 4.8 se muestran los puntos más próximos a la ubicación de los muelles, es importante mencionar que solo se realizara el análisis por medio del software a los avisos 26, 26A y 27, esto debido a que son los extremos más próximos mientras que el aviso 27A se encuentra dentro del territorio de Cancún debido a esto los valores calculados por el método del huracán debido a que no consideran esta condición no son tan aceptables y no es posible generar una correcta propagación dentro del Mopla, y para el aviso 25A no es analizado debido a que sus efectos no serán mayores que los presentados por los tres avisos antes mencionados y de igual manera no considera el método del huracán la zona de la isla.

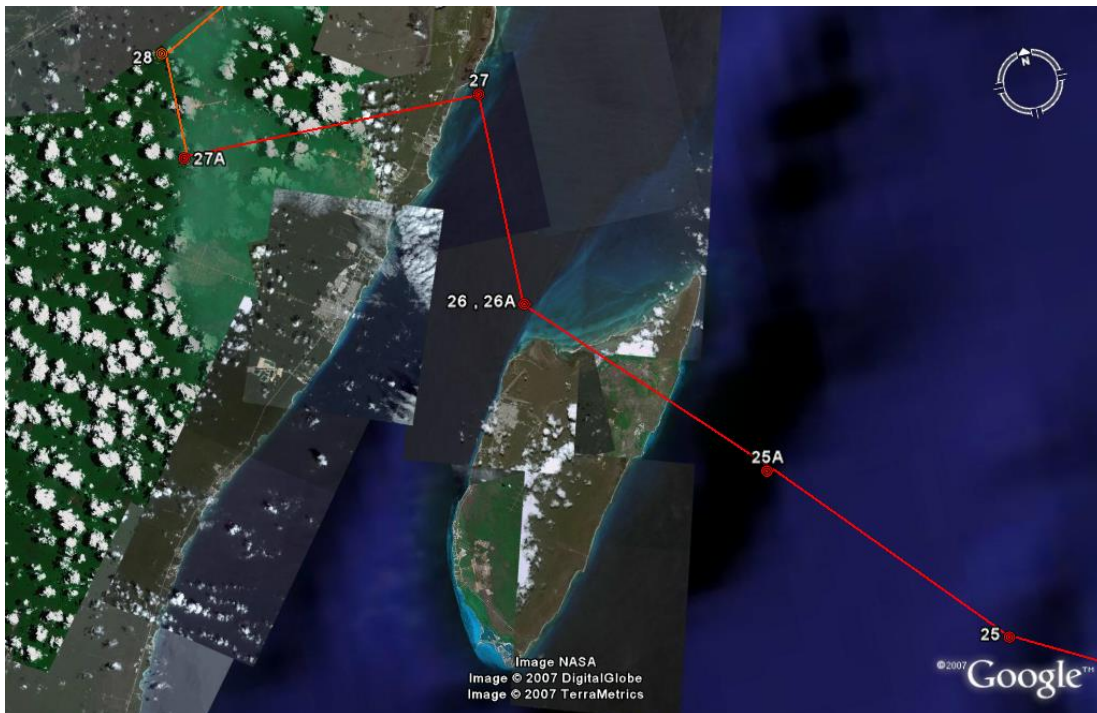


Figura 4.11 Ubicación de los avisos más próximos a la zona de muelles en el mar caribe (Ref. 3)

4.6.2.1 OLEAJE EXTREMO INDIVIDUAL.

El huracán Wilma genero una marea de tormenta muy importante sin embargo para poder establecer la magnitud del oleaje generado por este fenómeno meteorológico dentro de este apartado no se considera la elevación extraordinaria provocada por la marea de tormenta solo se considera un valor de 0.434 como marea astronómica. El resultado de cada uno de los avisos se muestra en las siguientes figuras

Para el aviso 26 las condiciones de simulación son: periodo de 11 segundos, altura de ola de 5.25 metros, dirección del oleaje N40.0E y marea astronómica de 0.434 metros.

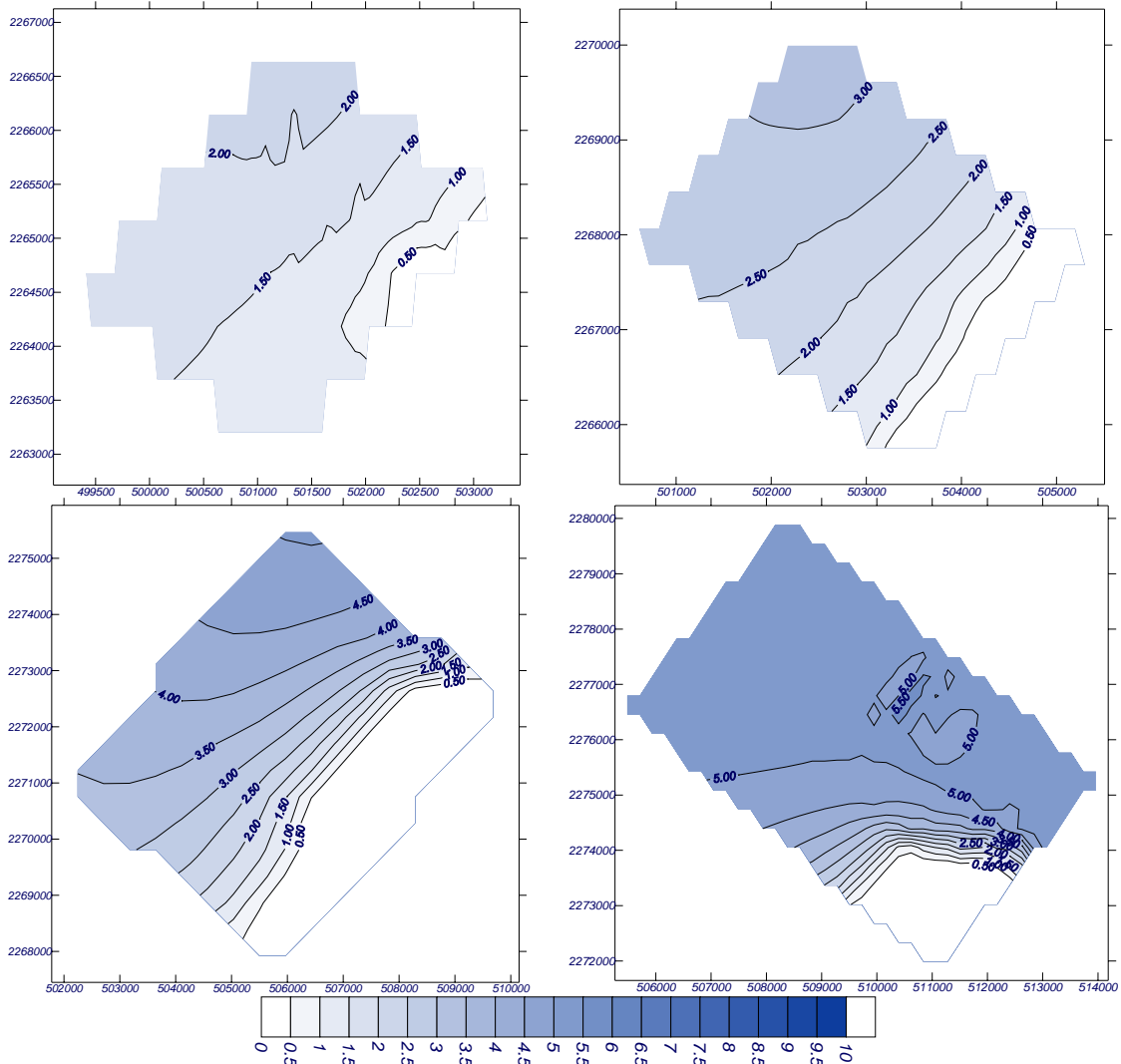


Figura 4. 12 Resultados obtenidos por medio del software Mopla para el aviso 26

Para el aviso 26A las condiciones de simulación son: periodo de 10.5 segundos, altura de ola de 7.43 metros, dirección del oleaje N40.0E y marea astronómica de 0.434 metros.

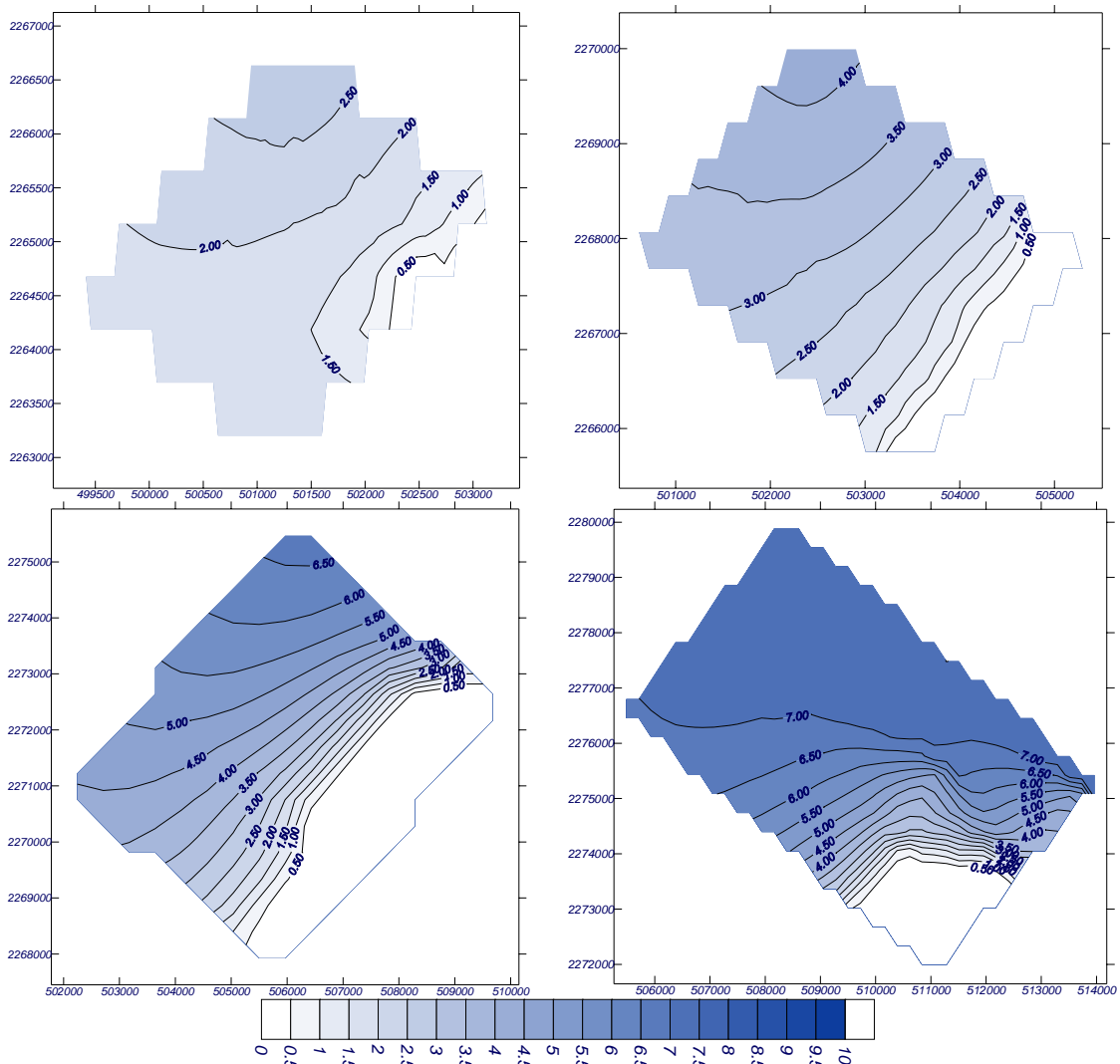


Figura 4.13 Resultados obtenidos por medio del software Mopla para el aviso 26A

Para el aviso 27 las condiciones de simulación son: periodo de 10 s, altura de ola de 8.03 m, dirección del oleaje N33.0E y marea astronómica de 0.434 m.

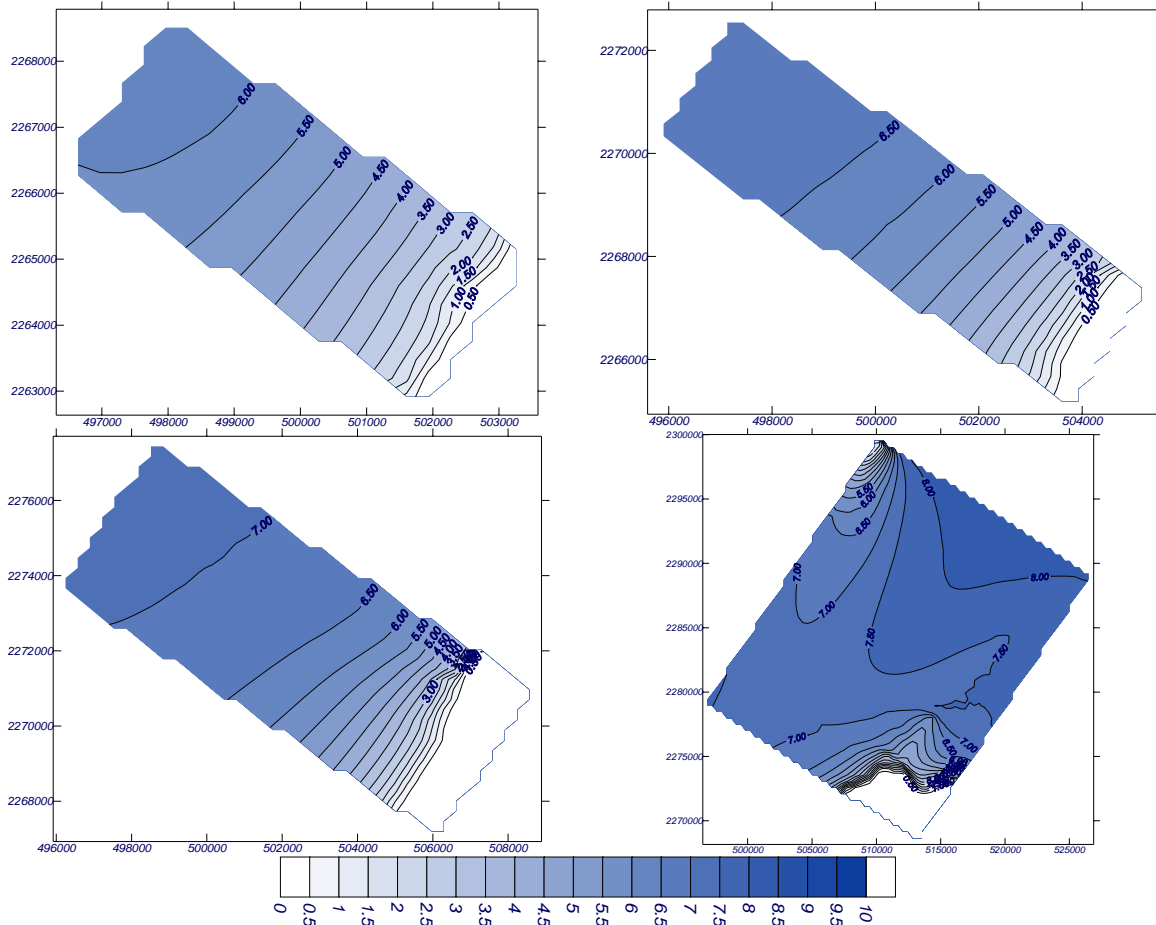


Figura 4.14 Resultados obtenidos por medio del software Mopla para el aviso 27

4.6.2.2 OLEAJE EXTREMO COMBINADO CON MAREA DE TORMENTA Y MAREA ASTRONÓMICA.

En lo que respecta a los eventos de altura de ola generados por el huracán Wilma en los avisos 26, 26A y 27 debido a la marea de tormenta y sumando a este nivel de marea extraordinaria un valor de 0.434 m que representa el nivel de marea astronómica registrado en la zona (Ref. 11) se obtienen los resultados que se presentan a continuación:

Para el aviso 26 las condiciones de simulación son: periodo de 11 s, altura de ola de 8.25 m, dirección del oleaje N40.0E, marea de tormenta de 10.07 m y una marea astronómica de 0.434 m.

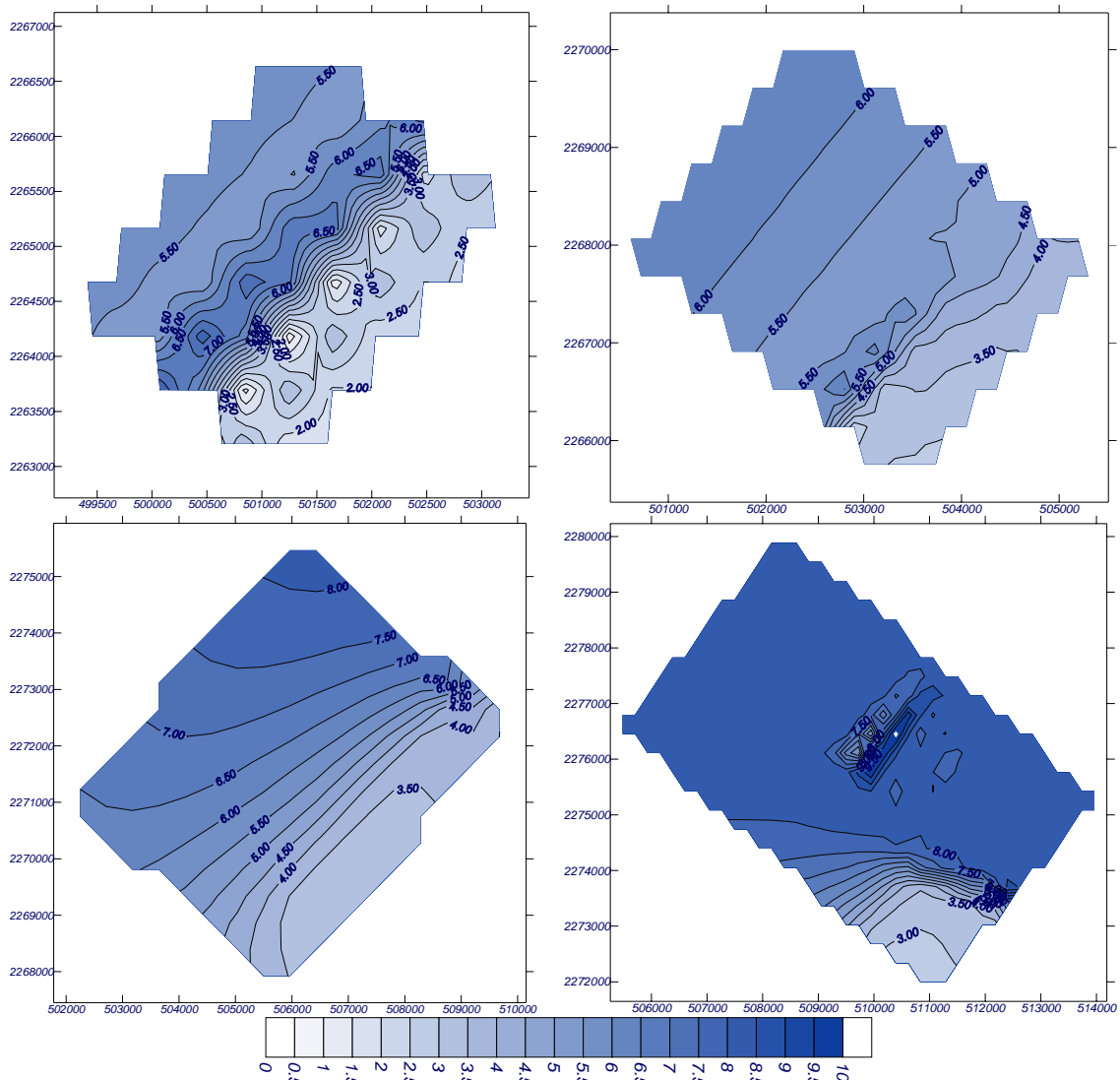


Figura 4.15 Resultados obtenidos por medio del software Mopla para el aviso 26

Para el aviso 26A las condiciones de simulación son: periodo de 10.5 s, altura de ola de 7.43 m, dirección del oleaje N40.0E marea de tormenta de 9.56 m y una marea astronómica de 0.434 m.

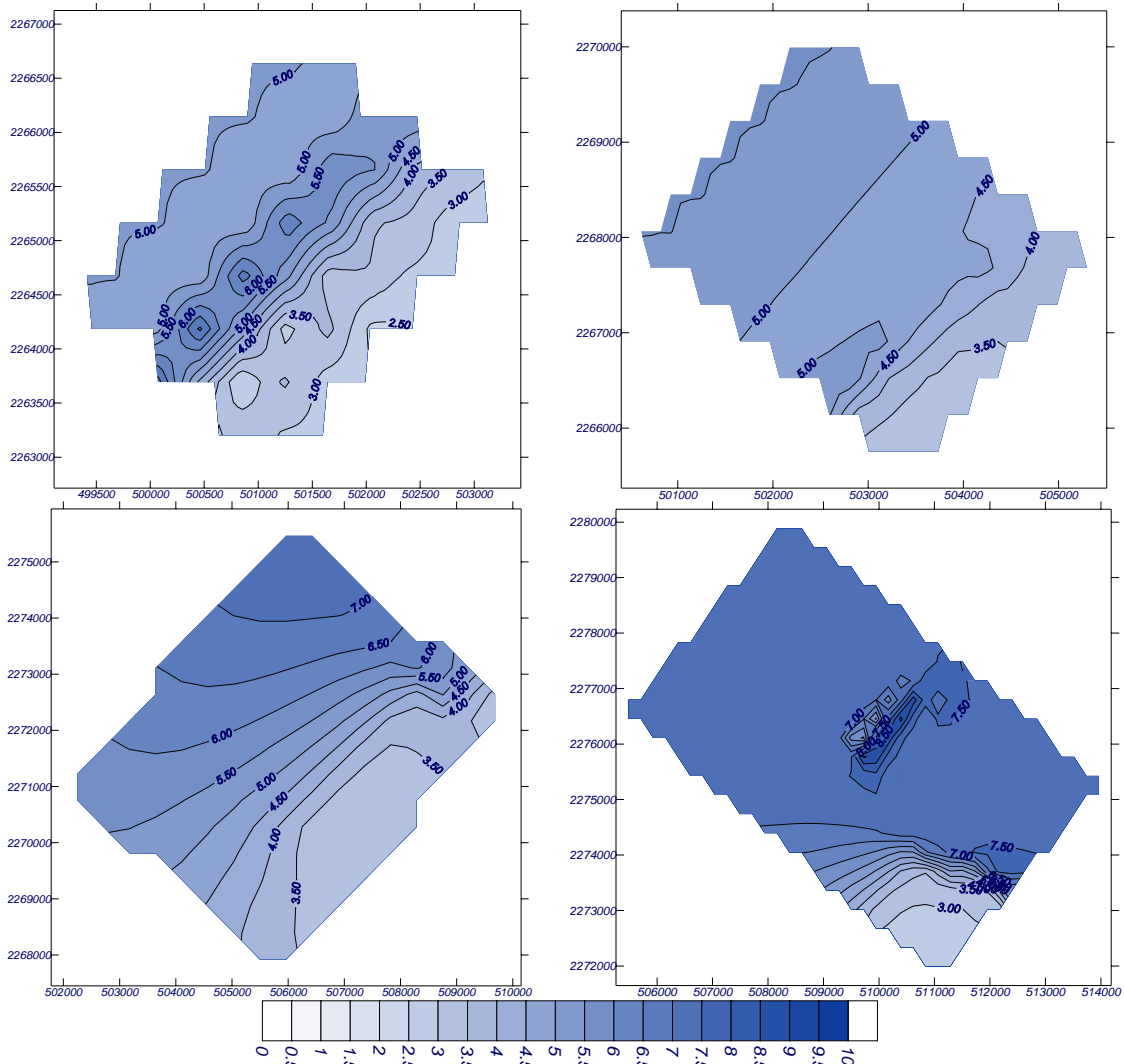


Figura 4. 16 Resultados obtenidos por medio del software Mopla para el aviso 26A

Para el aviso 27 las condiciones de simulación son: periodo de 109. s, altura de ola de 8.03 m, dirección del oleaje N33.0E marea de tormenta de 6.546 m y una marea astronómica de 0.434 m.

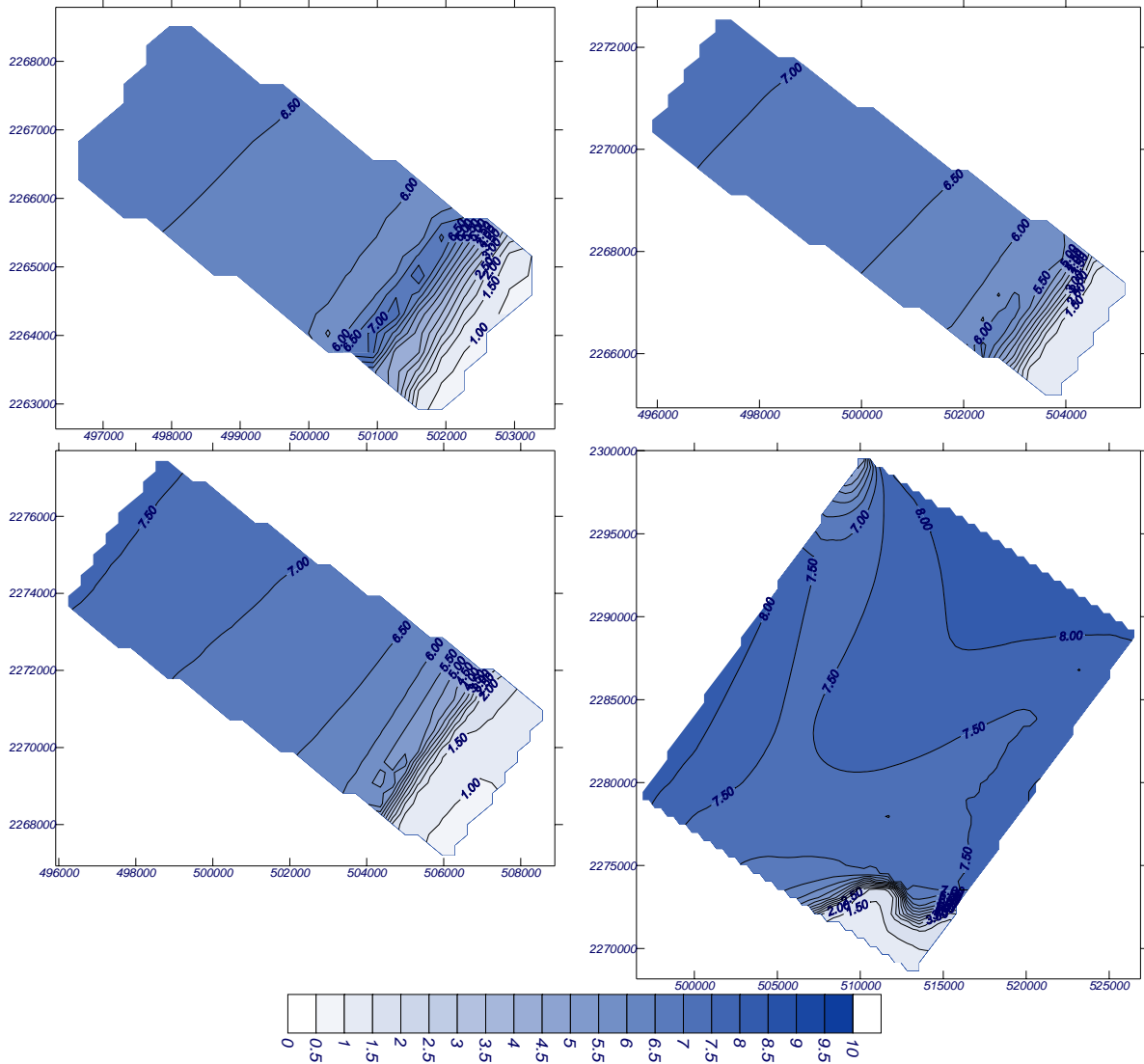


Figura 4.2 Resultados obtenidos por medio del software Mopla para el aviso 27

4.6.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES.

Para verificar que los resultados obtenidos mediante el programa MOPLA representen de manera adecuada los efectos ocasionados por el huracán Wilma es necesario realizar un cuarto análisis, este estudio es realizado en condiciones normales, es decir, con una altura de ola, periodo y una marea astronómica que son representativas del oleaje que afecta a la isla en todas las épocas del año. Así en la figura 4.15 se observa que los valores obtenidos son muy similares a los efectos presentados por el oleaje en la isla de Cozumel.

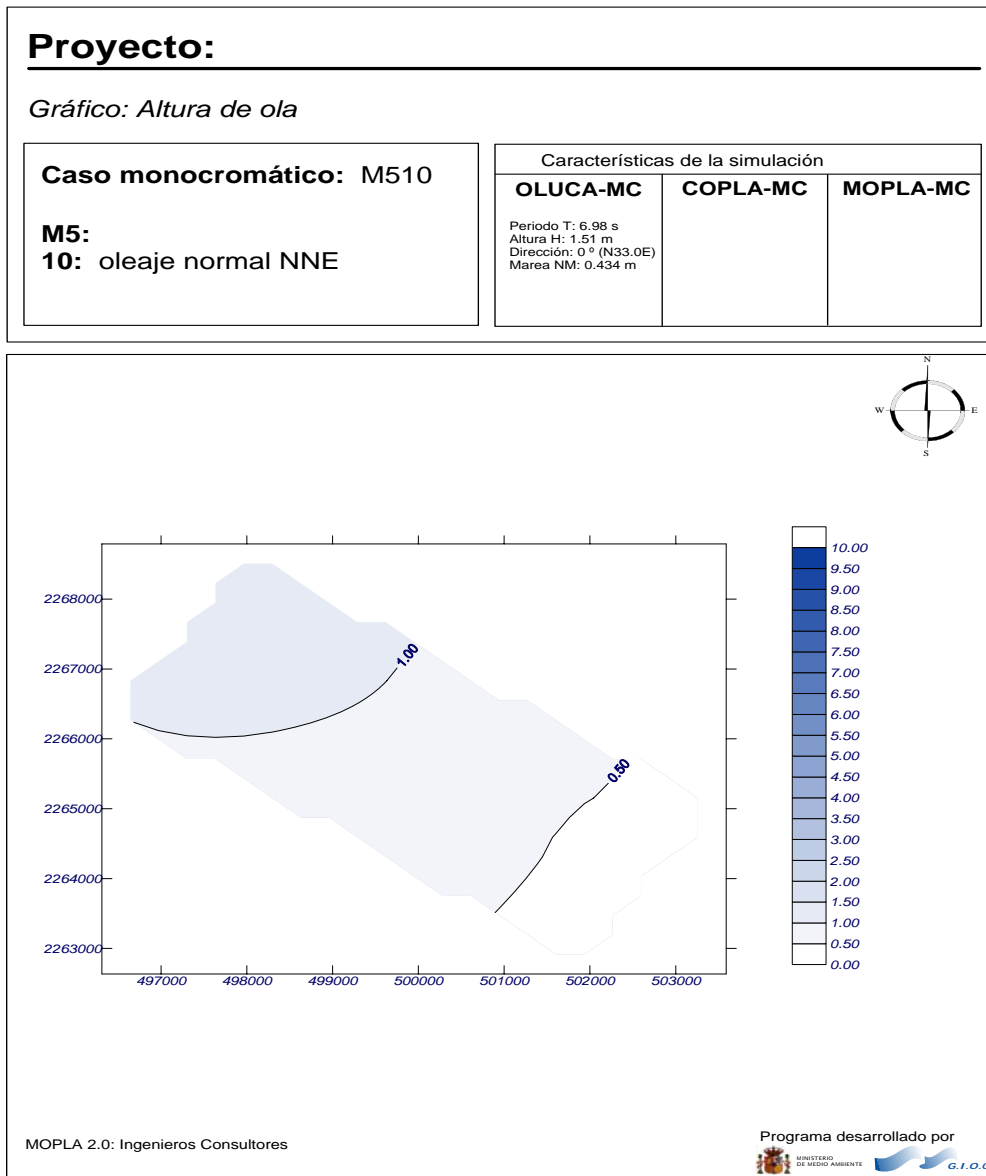


Figura 4.3 Oleaje generado en condiciones normales mostrado en la hoja de resultados generada por el software Mopla

La diferencia que existe entre los valores obtenidos por el modelo hurac y los obtenidos por el programa MOPLA al considerar la marea de tormenta, es de aproximadamente cuatro metros; esta diferencia es debido a las consideraciones que realiza cada uno de los cálculos; mientras que el primer análisis realizado considera dentro de las ecuaciones variables como, la distancia del fenómeno a la zona de interés, el radio del fenómeno, la velocidad de desplazamiento, la

diferencia de presiones y no realiza consideraciones como la ubicación de elementos que interfieren en la trayectoria del oleaje como en este caso la isla de Cozumel o la Península de Yucatán. Así el software Mopla considera la ubicación de la isla pero no los efectos que generaron el oleaje, es decir, las características del huracán, además de esto los datos que son requeridos por el programa son resultados de cálculos hechos por el modelo hurac, estas características son el motivo para que se obtengan resultados diferentes en cada uno de los métodos.

Con ayuda del Software Mopla es posible establecer con mayor precisión la altura de la ola conforme se acerca a la costa y de acuerdo a la ubicación del punto donde se genera hasta el punto en donde esta ubicada la malla denominada de detalle, esta malla es la ultima y la que está ubicada en el punto de mayor interés para el análisis, para nuestro estudio la ubicación del muelle Puerta Maya, esta ubicación es debido a que en el modelo hurac se presento el mismo punto como zona de interés para la propagación del oleaje, la ventaja principal de este programa es que permite observar la variación de la altura de ola conforme se aproxima a la costa, mientras que con el cálculo anterior se considera solo una ola significativa y de gran proporción, otro aspecto que es importante señalar es que para el punto de interés el valor obtenido de altura de ola es de aproximadamente tres metros para cada uno de los avisos, mientras que con el modelo hurac se obtiene un valor aproximado de ocho metros, la diferencia mayor radica como ya se menciona en las variables de los métodos y quizá la variable mas importante es la consideración del radio del huracán y la propagación del oleaje hasta el punto de estudio.

La misión de realizar estudios con o sin la marea de tormenta generada por el huracán Wilma es con la finalidad de establecer el cambio en la magnitud del oleaje originado por este fenómeno y la importancia que tiene en el desarrollo del fenómeno extremo, así al comparar los resultados obtenidos poder establecer lo siguiente: Existen un incremento en la altura de la ola de entre dos y tres metros dependiendo de la cercanía a la costa, debido al incremento de la marea el oleaje rompe mas cercano a la costa o dentro de la costa con alturas de un metro, la costa queda debajo de la marea generada por el huracán en los puntos del extremo oeste de la isla.

Con lo anterior mencionado es posible concluir que los valores obtenidos por medio del software Mopla son representativos de las condiciones que fueron generadas por el huracán Wilma en cada uno de los avisos que fueron analizados, sin embargo estos resultados no serán considerados en el siguiente apartado debido a que el motivo principal es mostrar las características mas desfavorables a las que estuvieron sujetos cada uno de los muelles para cruceros que se encuentran en la zona.

4.7 ANÁLISIS DE FUERZAS EJERCIDAS POR EL HURACÁN WILMA SOBRE LA INFRAESTRUCTURA PORTUARIA.

Las condiciones mas desfavorables a las que estuvieron sujetos los muelles para cruceros de la zona de Cozumel y de las que se cuenta con un registro son los avisos 25A, 26, 26A, 27 y 27A, en lo que respecta a el aviso 25A, las fuerzas que fueron registradas no presentan una condición extrema, esto debido a que el huracán se encuentra del lado este de la isla, sumando a el punto de ubicación del huracán el radio del fenómeno que es de 28 km se observa en la figura 4.16 que la pared del huracán se encuentra aproximadamente en el extremo oeste de la isla, con esta condición se observa que no es posible la generación de un oleaje importante, y que la marea de tormenta calculada por el método ya mencionado no es representativa debido a la ubicación del fenómeno. De esta forma este aviso no es considerado para los efectos de oleaje, marea de tormenta, pero si deberá de ser considerado para los empujes de vientos y corrientes.

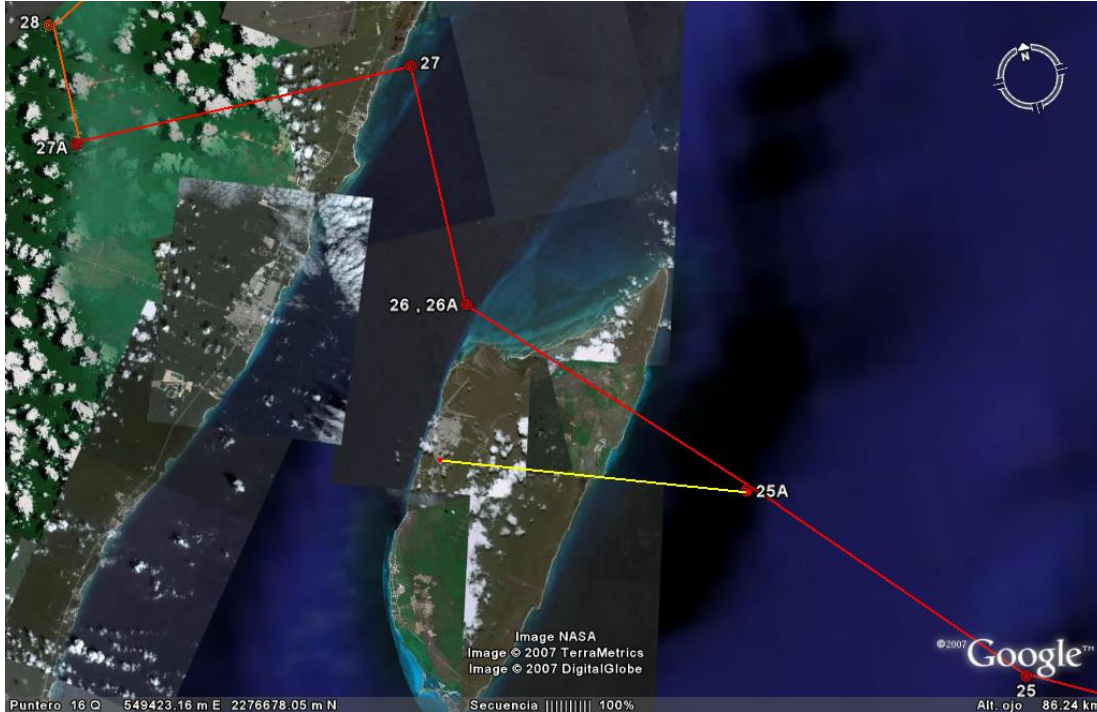


Figura 4.19 Ubicación del punto 25A y radio del huracán Wilma de 28 km (Ref. 3)

La generación de oleaje por medio de viento y por huracán tiene varias diferencias, entre las cuales destacan las siguientes:

- La velocidad del viento dentro de un huracán no es constante
- La trayectoria del viento tiene dirección tangente a la forma del radio del huracán que no la que sigue el viento al soplar sobre la superficie del mar
- El huracán se mueve sobre olas generadas con diferentes direcciones a la de él, lo que provoca ondas en forma piramidal
- Como el huracán se desplaza, el fetch cambia con él y por tanto también la velocidad y dirección del viento

Existen diferentes métodos para determinar el oleaje, como son:

- Fuerza sobre un muro de baja altura provocado por oleaje no rompiente
- Teoría Lineal
- Formula de Minikin, oleaje rompiente
- Fuerza de un muro de baja altura provocada por oleaje rompiente
- Fuerza sobre un muro vertical provocada por oleaje rompiente Sainflou
- Fuerza sobre un muro provocada por oleaje rompiente Denny

Cada uno de estos métodos puede ser consultado en la Referencia 16, dentro de este apartado solo se presentan las propiedades del método a utilizar y sus diferentes variables.

De acuerdo con las características de oleaje obtenidas para cada uno de los avisos y que se observan en la tabla 4.10 es posible establecer que la profundidad a la que rompe el oleaje extremo se encuentra entre 10 y 11 m por debajo del nivel medio del mar, de esta forma se observa que la mayor parte de la estructura estará sujeta a oleaje rompiente, así, el nivel del mar

para futuros cálculos se considera sin marea de tormenta, esto con el objetivo de establecer las fuerzas que genera el oleaje de manera directa sobre la estructura.

Para determinar la ecuación mas adecuada para el análisis se deben tomar en cuenta las variables más representativas del fenómeno y las características geométricas de los muelles en estudio. Con ayuda de estas variables se establece que la expresión mas adecuada es la formula de Minikin, la cual se describe a continuación.

$$P_m = 101\gamma \frac{H_r}{L_D} \frac{d}{D} (D + d)$$

$$F_m = \frac{P_m H_r}{3}$$

$$M_m = \frac{P_m H_r d}{3}$$

$$F_T = F_m + \frac{\gamma \left(d + \frac{H_r}{2} \right)^2}{2}$$

$$M_T = F_m + \frac{\gamma \left(d + \frac{H_r}{2} \right)^3}{6}$$

$$d_T = \frac{M_T}{F_T}$$

Donde:

H_r ; altura de la ola rompiente

D ; profundidad del fondo a una distancia de la longitud de la ola medida desde la pared

L_D ; Longitud de la onda a la profundidad D

D ; profundidad del nivel medio del mar y el desplante del muro

F_m ; Fuerza debida al componente de la presión dinámica

M_m ; momento respecto al pie del muro originado por la fuerza F_m

F_T ; fuerza total unitaria, considerando presión hidrostática

M_T ; momento total con respecto a el pie del muro originado por la fuerza F_T

d_T ; punto de aplicación de la fuerza, medido desde el fondo

Dentro del análisis de oleaje a realizar y debido a la ubicación de la subestructura que se encuentra por debajo del nivel medio del mar, no se considera la presión hidrostática, y los análisis de oleaje se realizan por medio de las fuerzas F_m y M_m

Para determinar las fuerzas ejercidas por el oleaje extremo sobre la losa de la pasarela del muelle es necesario la aplicación de la formula de Morrison, las características de esta ecuación se muestran a continuación.

Formula de Morrison

$$F = F_{dinamicas} + F_{inercia}$$

$$F = C_D \frac{w}{2g} Au^2 + C_m \frac{w}{g} va_x$$

Donde:

C_D ; coeficiente de arrastre, en este caso =1

W ; peso del elemento (kg)

A ; área expuesta al efecto de oleaje (m^2)

u ; Componente horizontal de la velocidad orbital (m/s)

C_m ; coeficiente de inercia

v ; volumen del objeto en cada metro lineal

a_x ; componente de la aceleración horizontal en (m/s^2)

Debido a que solo se considera la fuerza que genera el oleaje sobre los muelles no se considera la parte que corresponde a la fuerza de inercia; de esta manera para continuar con los cálculos se determina la componente horizontal de la velocidad orbital del oleaje generado en cada uno de los avisos. Para realizar lo anterior se utiliza la teoría de la onda solitaria, que se define como sigue:

$$u = \frac{H}{2} \frac{gT}{L} \frac{\cosh[2\pi(z+d)/L]}{\cosh(2\pi d/L)} \cos \theta$$

$$\cos \theta = \cos\left(\frac{2\pi x}{L} - \frac{2\pi t}{T}\right)$$

Donde

H ; altura de la ola (m)

g ; aceleración de la gravedad (m/s^2)

z ; distancia al fondo marino que garantiza aguas profundas (m)

d ; distancia a el fondo marino desde el punto en donde se realiza el análisis (m)

L ; longitud de la ola (m)

U ; velocidad orbital horizontal (m)

x ; distancia en donde se desea conocer las componentes de la velocidad (fig. 4.17)

t ; tiempo en que se realiza el análisis de acuerdo con la propagación del oleaje

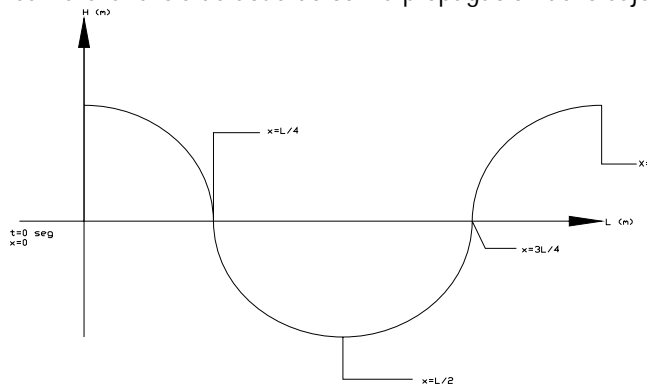


Figura 4.20 Características del oleaje para determinar la velocidad orbital horizontal

La ecuación anterior se encuentra en función del tiempo t y la distancia x , de acuerdo con la figura 4.20 las características mas apropiadas para determinar la velocidad de la componente orbital vertical es cuando $t=0$ y $x=0.25L$

El área que es necesaria en para determinar las fuerzas totales ejercidas por el oleaje mediante la formula de Minikin será considerada como el área lateral de cada estructura esto por la

dirección en la que se propaga en oleaje en cada uno de los avisos y en lo que respecta a el peso de la estructura se considera la parte proporcional a la losa que carga cada una de las columnas de los muelles. Los estudios se realizan para las columnas que se encuentran en una batimetría más profunda debido a que estas son las que se encuentran en condiciones más desfavorables

En las tabla 4.10 se encuentran las principales características de cada uno de los avisos que afectaron de manera mas directa a la infraestructura portuaria, en la tabla 4.15 se encuentran las fuerzas ejercidas por el oleaje y en la tabla 4.16 la fuerza que ejerce el oleaje extremo sobre la pasarela de acceso.

EVENTOS EXTREMOS HURACÁN WILMA														
aviso	latitud	longitud	día	hora centro	radio (km)	H(m)	L(m)	T(s)	MT (m)	C (m/s)	d(m)	dr(m)	z(m)	comp H u(m/s)
26	20.6	-86.9	21	16	28.011	8.253	190.077	11.031	10.070	17.231	95.039	10.580	-11	1.6363
26A	20.6	-86.9	22	19	29.331	7.428	170.622	10.451	9.787	16.326	85.311	9.524	-11	1.4919
27	20.8	-86.9	22	22	30.014	8.025	184.611	10.871	6.553	16.982	92.305	10.289	-11	1.5974
27A	20.8	-87.2	22	1	31.069	8.274	190.622	11.047	5.860	17.256	95.311	10.608	-11	1.6399

Tabla 4.10 propiedades de los eventos extremos ocasionados por el huracán Wilma

FUERZAS PROVOCADAS POR OLEAJE PROVOCADA POR EL HURACÁN WILMA SOBRE LAS COLUMNAS DE LOS MUELLES										
	Punto de aplicación	Punta Langosta S. A. de C. V.			SSA México			Puerta Maya		
aviso	Z(m)	longitud(m)	Hm(m)	Fza (ton)	longitud(m)	Hm(m)	Fza (ton)	longitud(m)	Hm(m)	Fza (ton)
26	11	4	11	667.028	0.4	11	66.703	6.5	11	1083.20
26A	11			601.947			60.195			978.165
27	11			649.355			64.936			1055.20
27A	11			668.51			66.851			1086.329

Tabla 4.11 Fuerzas dinámicas provocadas por el oleaje extremo

FUERZAS PROVOCADAS POR OLEAJE GENERADO POR EL HURACÁN WILMA SOBRE LA LOSA DE LOS MUELLES										
		Punta Langosta S. A. de C. V.			SSA México			Puerta Maya		
aviso	Comp V u(m/s)	dist. Entre col	ancho muelle	Fza (ton)	dist. Entre col	ancho muelle	Fza (ton)	dist. Entre col	ancho muelle	Fza (ton)
26	1.624	4	11	6.102	5.4	11	8.237	7.5	15	15.601
26A	1.479			5.066			6.839			12.952
27	1.585			5.813			7.848			14.864
27A	1.627			6.129			8.274			15.671

Tabla 4.12 Fuerzas provocadas por el oleaje extremo sobre la losa de la pasarela de atraque y acceso, se considera oleaje no rompiente

4.8 ANÁLISIS DE OTROS EFECTOS

4.8.1 SOCAVACIÓN.

Para determinar el transporte litoral y que en este caso representa el arrastre de sedimentos generado por el huracán debido a que este fenómeno es de gran importancia, por que puede generar una socavación en las pilas de los muelles, provocando así un cambio en la estabilidad del muelles y que este factor puede ser determinante para el comportamiento durante este fenómeno meteorológico.

Existen diferentes métodos para determinar el transporte litoral, dentro de ellos se encuentra el método del CERC, de Cadwell y Larras(Ref. 13), para este estudio utilizaremos el método del CERC, el objetivo de utilizar este método es por que dentro de sus ecuaciones existen variables que involucran la frecuencia con la que se repite el oleaje en el día, si se realiza un arreglo será posible ajustar este tiempo a el tiempo en que el huracán se encuentra sobre determinada zona, esta manera los resultados que se obtengan serán más representativos de los fenómenos provocados por el huracán Wilma.

Es importante aclarar que este tipos de métodos son presentados como referencia y que no garantizan que el volumen de arena que se obtenga sea exactamente el que fue arrastrado por el huracán Wilma.

El método del CERC se muestra a continuación.

$$Q_s = 125E_a$$

$$E_a = \frac{E_0}{2} Kr^2 (86400/T) \text{sen} \alpha \cos \alpha$$

$$E_0 = \frac{\gamma H_0^2 L}{8000000}$$

Donde

Q_s ; transporte litoral (Yd³/día)

γ ; peso específico del agua (lb/ft³)

H; altura de la ola en aguas profundas

Kr; coeficiente de refracción en la rompiente

L; longitud de la ola en la rompiente (ft)

α ; ángulo de incidencia (°)

El factor que aparece de 86400 representa los segundos del día, si este factor se ajusta a la duración de cada aviso que es de tres horas es posible determinar el arrastre de sedimento en este periodo de tiempo, así el factor será sustituido por 10800 que son los segundos que se encuentran en tres horas, la ecuación se re-escibe como sigue:

$$E_a = \frac{E_0}{2} Kr^2 (10800/T) \text{sen} \alpha \cos \alpha$$

Conforme a lo anterior en este análisis se consideran los avisos 26, 26A, 27 y 27A, a si como el sentido del oleaje se considera tangente a la trayectoria del huracán, además de esto el coeficiente de refracción que se establece para el oleaje extremo será considerado con un valor

de uno, esto con el objeto de observar con mayor claridad el arrastre de sedimentos ocasionado por el huracán. La tabla 4.17 muestra el proceso de transporte de sedimentos ocasionado por el oleaje extremo que generó el huracán Wilma.

Para poder establecer con mayor claridad los efectos que causó el huracán Wilma será necesario conocer la densidad de la arena (2100 kg/m^3) que se encuentra en la zona, para obtener la cantidad de arena en toneladas que es transportada por el oleaje extremo.

TRANSPORTE LITORAL OCASIONADO POR EL HURACÁN WILMA													
aviso	dirección	H ₀ (m)	H ₀ (ft)	T ₀ (s)	L ₀ (m)	L ₀ (ft)	a(°)	Kr	E ₀ (lb)	Ea(ld/dia)	Qs(yd ³ /dia)	Qs(m ³ /dia)	Qs(m ³ /12hr)
26	NW	8.253	27.076	11.031	190.077	623.613	40	1	3.557	6858.908	857363.555	1121389.193	560694.597
26A	NW	7.428	24.371	10.451	170.622	559.784	40	1	2.587	5265.100	658137.451	860811.286	430405.643
27	NNW	8.025	26.330	10.871	184.611	605.678	33	1	3.267	5929.604	741200.467	969453.609	484726.805
27A	NNO	8.274	27.147	11.047	190.622	625.399	-33	1	3.586	-6405.066	-800633.267	-1047188.777	-523594.389

Tabla 4.13 Transporte litoral provocado por el huracán Wilma y calculado por el método del CERC

4.8.2 EMPUJES DE VIENTOS Y CORRIENTES.

Otro de los efectos importantes generados por el huracán Wilma son las velocidades de sus vientos, en cada uno de los avisos se registran la velocidad de las paredes del huracán, esta velocidad es la mayor que puede registrarse en la tormenta, la dirección de los vientos está indicada por el giro de este que es en sentido anti-horario, así estas velocidades tan grandes generan una fuerza sobre la estructura de los muelles, de igual forma estos vientos provocan corrientes que no suelen ser de gran profundidad pero que si son de gran magnitud en los primeros metros de la superficie y guardan una relación con respecto a la dirección de los vientos.

La presión provocada por los vientos será determina por la ecuaciones que se encuentran en el reglamento de construcciones del Distrito Federal(Ref. 15), estas ecuaciones, consideran la forma de la estructura dentro de un coeficiente y la velocidad del viento, así la expresión se escribe como sigue:

$$p_z = 0.048C_p v_d^2$$

C_p = coeficiente local de presión que depende de la forma de la estructura

V_d = velocidad de diseño

En nuestro caso el coeficiente de $C_p=1$, mientras que la velocidad de diseño será considerada como la velocidad ocasionada por el fenómeno meteorológico.

Para determinar las corrientes y sus propiedades se emplea el método conocido como ecuaciones de Eckman (Ref. 14), este método establece consideración de un viento ideal, de velocidad constante sobre una superficie de agua de extensión infinita, estas ecuaciones son validas para el hemisferio norte, es importantes señalar que estas ecuaciones solo deberán considerarse como una orientación de las corrientes debido a que la formación de estas depende de otros muchos parámetros que no son considerados en las ecuaciones.

$$U = U_s e^{-az} \cos(45^\circ - az)$$

$$V = U_s e^{-az} \text{sen}(45^\circ - az)$$

$$a = \pm \sqrt{\frac{\rho_w \Omega \text{sen} \phi}{\mu}}$$

Donde:

U; velocidad del viento

V; componente de la velocidad de la corriente en dirección del viento

U_s ; velocidad absoluta de la corriente en la superficie

Z; coordenada vertical con desarrollo positivo hacia abajo

ρ_w ; densidad del agua

Ω ; velocidad angular de la tierra

ϕ ; grados latitud

μ ; viscosidad del agua

Al determinar U y V en la superficie del agua la corriente en su dirección presenta una desviación de 45° con respecto a la del viento, para valores mayores de z esta desviación aumento mientras que la

velocidad disminuye llegando un punto tal en que el sentido de la corriente es opuesto al de la superficie, la representación gráfica de este fenómeno se conoce como espiral de Eckman, y se presenta en la figura 4.21.

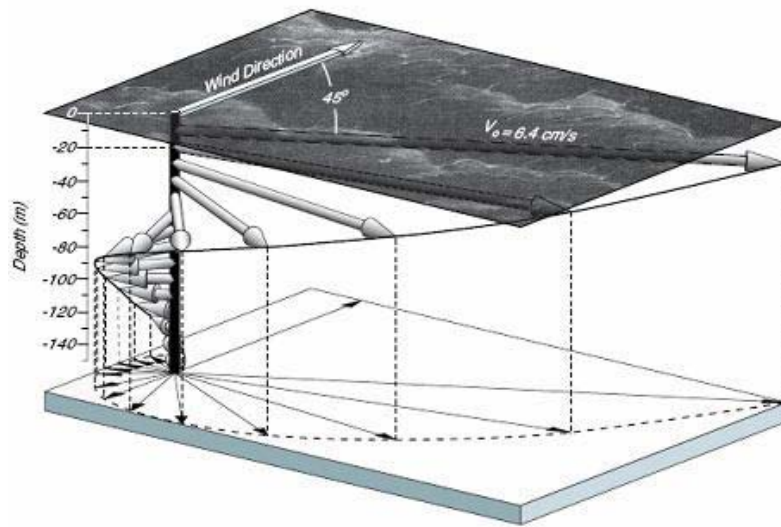


Figura 4.21 Representación gráfica de la espiral de Ekman (Ref. 14)

Con las ecuaciones de Ekman y considerando como U_s la velocidad que fue registrada en cada uno de los avisos por el huracán Wilma se obtiene la tabla 4.14, que muestra los efectos de las corrientes generados sobre la infraestructura portuaria

CARACTERÍSTICAS DE VIENTO EN CADA AVISO				
aviso	latitud (°)	longitud (°)	radio (km)	HW U_s (m/s)
25A	20.4	-86.7	28.011	61.733
26	20.6	-86.9	28.011	61.733
26A	20.6	-86.9	29.331	61.733
27	20.8	-86.9	30.014	61.733
27A	20.8	-87.2	31.069	59.161

Tabla 4.14 Características de vientos para los avisos con mayor influencia en la costa oeste de la isla Cozumel

	longitud(m)	Hm(m)	Hsnm*(m)
Punta Langosta S. A. de C. V.	4	11	3
SSA México	0.4	11	3
Puerta Maya	6.5	11	3

Tabla 4.15 Características geométricas de cada uno de los muelles necesarias para determinar las fuerzas del huracán sobre la estructura de cada uno de los muelles (*Hsnm= altura sobre el nivel del mar).

$$\rho_w = 1032 \text{ (kg/m}^3\text{)} \quad \Omega = 0.00072722 \text{ (rad/s)} \quad \phi = 20.48 \text{ (}^\circ\text{)} \quad \mu = 0.001 \text{ (kgs/m}^2\text{)} \quad A = 5.1247 \text{ (1/m)}$$

Las tablas 4.14 y 4.15 muestran las variables necesarias para realizar los cálculos de acuerdo con las ecuaciones de Ekman, como se observa en la tabla 4.18 el análisis se realiza por cada una de las columnas de los muelles.

FUERZAS PROVOCADAS POR VIENTOS Y CORRIENTES EN CADA MUELLES									
		Us (m/s)	61.733	MUELLE PUNTA LANGOSTA S. A. de C. V.		MUELLE SSA MÉXICO		PUERTA MAYA	
		a(+)		Fza viento	Fza corriente	Fza viento	Fza corriente	Fza viento	Fza corriente
U, V(°)	z	U(m/s)	V(m/s)	(ton)	(ton)	(ton)	(ton)	(ton)	(ton)
45	0	43.652	43.652	2.305	4410.043	0.23	441.00	3.75	7166.32
39.876	1	0.282	0.236		0.128		0.01		0.21
34.751	2	0.002	0.001		0.000		0.00		0.00
29.627	3	0.000	0.000		0.000		0.00		0.00
24.503	4	0.000	0.000		0.000		0.00		0.00
19.379	5	0.000	0.000		0.000		0.00		0.00
14.254	6	0.000	0.000		0.000		0.00		0.00
9.130	7	0.000	0.000		0.000		0.00		0.00
4.006	8	0.000	0.000		0.000		0.00		0.00
-1.118	9	0.000	0.000		0.000		0.00		0.00
-6.243	10	0.000	0.000		0.000		0.00		0.00
-11.367	11	0.000	0.000		0.000		0.00		0.00
-16.491	12	0.000	0.000		0.000		0.00		0.00

FUERZAS PROVOCADAS POR VIENTOS Y CORRIENTES EN CADA MUELLES									
		Us (m/s)	59.161	MUELLE PUNTA LANGOSTA S. A. de C. V.		MUELLE SSA MÉXICO		PUERTA MAYA	
		a(+)		Fza viento	Fza corriente	Fza viento	Fza corriente	Fza viento	Fza corriente
U, V(°)	z	U(m/s)	V(m/s)	(ton)	(ton)	(ton)	(ton)	(ton)	(ton)
45	0	41.833	41.833	2.12	4050.20	0.21	405.02	3.440	6581.568
39.876	1	0.270	0.226		0.12		0.01		0.192
34.751	2	0.002	0.001		0.00		0.00		0.000
29.627	3	0.000	0.000		0.00		0.00		0.000
24.503	4	0.000	0.000		0.00		0.00		0.000
19.379	5	0.000	0.000		0.00		0.00		0.000
14.254	6	0.000	0.000		0.00		0.00		0.000
9.130	7	0.000	0.000		0.00		0.00		0.000
4.006	8	0.000	0.000		0.00		0.00		0.000
-1.118	9	0.000	0.000		0.00		0.00		0.000
-6.243	10	0.000	0.000		0.00		0.00		0.000
-11.367	11	0.000	0.000		0.00		0.00		0.000
-16.491	12	0.000	0.000		0.00		0.00		0.000

Tabla 4.16 Fuerzas de viento y corrientes generadas por el huracán Wilma sobre los muelles de Cozumel

4.9 MODO DE COMPORTAMIENTO Y FALLA DE LA INFRAESTRUCTURA PORTUARIA.

Para determinar las condiciones más desfavorables a las que estuvieron sujetos cada uno de los muelles para cruceros, se establece de cada uno de los avisos presentados, cual genero las fuerzas más extremas sobre las estructuras y con base en esto su comportamiento y el modo de falla del muelle Puerta Maya.

Cabe mencionar que la socavación se considera como la suma de los avisos anteriores a el que será analizado debido a que este arrastre se presenta como continuo en el periodo de los eventos extremos que mas afectaron la costa oeste de la isla.

De acuerdo con las características de cada uno de los muelles y para considerar la situación más desfavorable conforme a la variación de los efectos y la ubicación del fenómeno, el aviso que genera las condiciones más desfavorables es el 27, esto es debido a que el oleaje que genera afecta de manera directa la estructura de los muelles, además de que la distancia de la pared del huracán a los muelles es la adecuada para la formación del oleaje, de igual modo, las corrientes que se generan afectan de manera directa la estructura lateral del muelles y el factor de socavación provocado por los dos avisos anteriores es una factor determinante debido a la estructura de cada muelle.

A continuación se presentan las características estructurales de cada muelle ya que es un factor determinante de su comportamiento

El muelle Punta Langosta al ser construido por medio de tabla-estaca cuenta con una profundidad de aproximadamente siete m por debajo del fondo marino, esto para generar mayor estabilidad en las columna y también cuenta con un anclaje de cables post-tensados por debajo de la tabla-estaca; otros aspecto importante es que hasta antes del huracán Wilma la losa que forma la pasarela de acceso y atraque(superestructura) no estaba diseñada para soportar grandes fuerzas debidas a el oleaje, esto con el objetivo de que en condiciones extremas fallaran y las columnas de la subestructura no sufrieran daños, actualmente la losa con la que fue reparado el muelle no cuenta con estas características de diseño

El muelle SSA México que esta construido a base de pilas tiene un área de contacto menor con respecto a los dos muelles restantes, los pilotes deben de ser hincados hasta una profundidad adecuada que garantice un buen funcionamiento.

Para el muelle Puerta Maya una de las principales características para su construcción fueron las limitantes echas por SEMARNAT, esto es, debido a que la estructura se encuentra muy proxima a la zona de coral, la profundidad que podía ser desplantada era menor que en los muelles anteriores, es decir, la forma en que trabajaba la estructura conocido como tipo gravedad, tenia una menor longitud por debajo del fondo marino, así también la socavación juega un papel importante en su comportamiento, además de esto, el área de las columnas es mayor así como la longitud de la pasarela, en resumen, este muelle cuenta con mayor área de exposición sujeta a los fenómenos naturales.

Para poder comprender de manera más clara los párrafos antes escritos es necesario realizar para cada muelle, un diagrama de cuerpo libre en el cual se muestran las fuerzas generadas por el huracán y las fuerzas en condiciones normales además de la geometría de cada estructura, así, podremos establecer el comportamiento de los muelles que es el objetivo del siguiente apartado; la geometría de los elementos se puede consultar en el apartado 3.2.3 de este estudio.

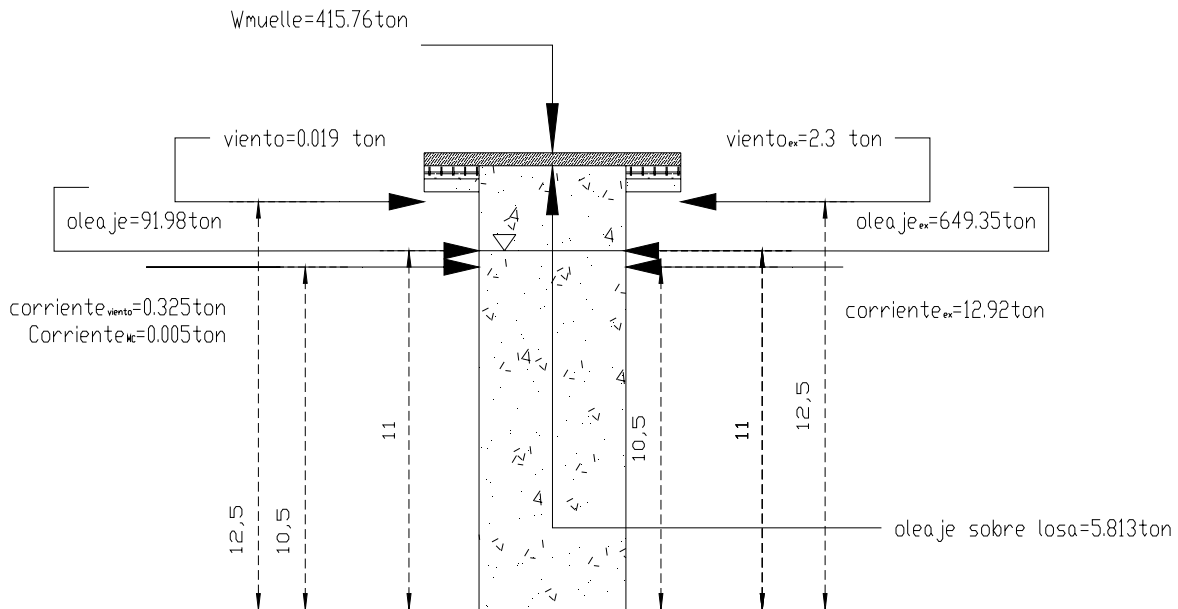


Figura 4.22 Diagrama de cuerpo libre, muelle Punta Langosta, sin escala, acotaciones en m

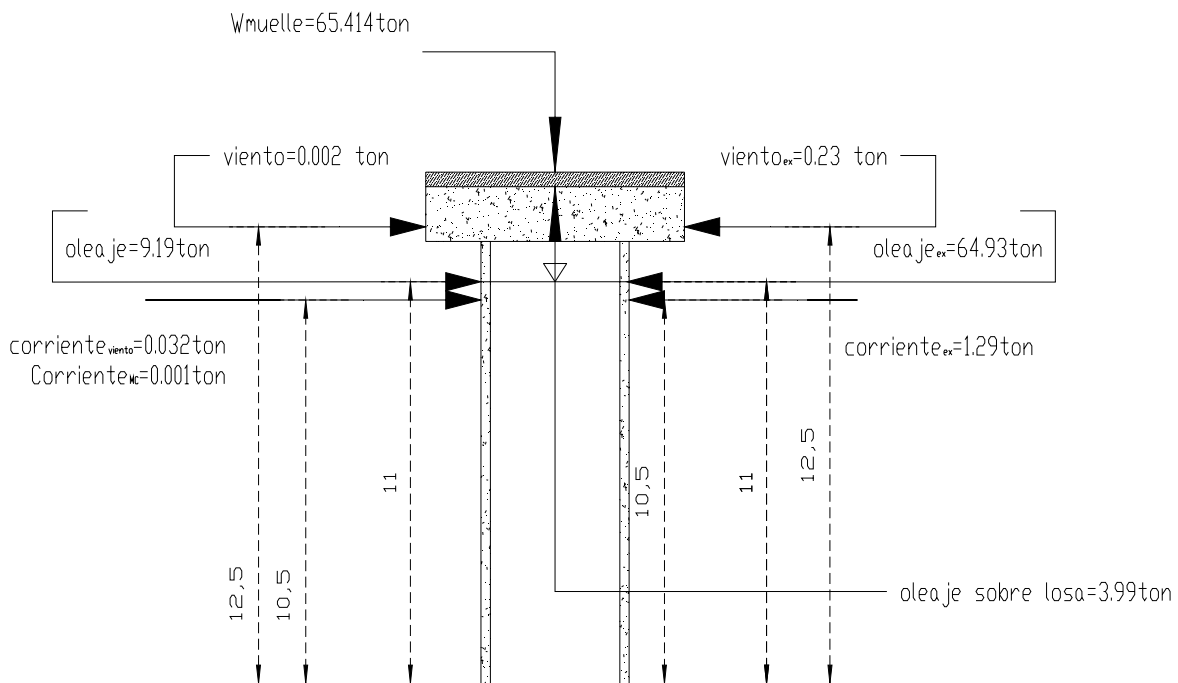


Figura 4.23 Diagrama de cuerpo libre, muelle SSA México, sin escala, acotaciones en m

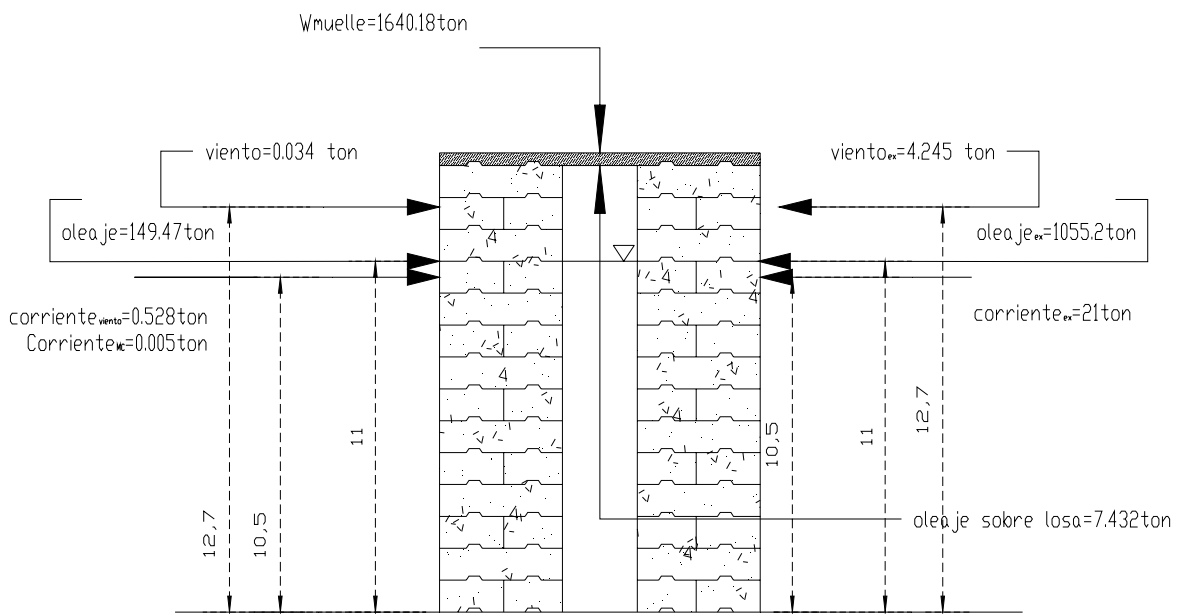


Figura 4.24 Diagrama de cuerpo libre, muelle Puerta Maya, sin escala, acotaciones en m

4.9.1 COMPORTAMIENTO DE ACUERDO AL ANÁLISIS

Con base en los diagramas de cuerpo libre presentados en las figuras 4.19, 4.20 y 4.21, es necesario realizar un análisis del comportamiento presentado por cada uno de los muelles bajo las

licitaciones originadas por el oleaje extremo; de esta manera se podrá establecer con mayor claridad el comportamiento de los muelles Punta Langosta y SSA México así como el modo de falla del muelle Puerta Maya.

Para establecer el comportamiento del muelle Puerta Maya y su modo de falla se realiza un análisis de estabilidad bajo las condiciones extremas sin considerar un aumento en la marea y los efectos ocasionados por la socavación. Al realizar este estudio el cálculo es sobre solo una de las columnas del muelle para verificar si este elemento es estable por si solo, de no ser así, la estructura del muelle será considerada como un cuerpo rígido tanto para condiciones normales como para condiciones extremas; el análisis se describe a continuación bajo las premisas de la figura 4.21

Las ecuaciones que son necesarias para realizar el análisis de estabilidad se muestran a continuación y los resultados obtenidos se resumen en las tablas 4.21 y 4.22

- Revisión por Volteo

$$\frac{M_r}{\sum F_v} = \frac{\sum M_v - \sum M_h}{\sum F_v}$$

M_r ; momento resultante

$\sum M_v$; suma de momentos verticales

$\sum M_h$; suma de momentos horizontales

$\sum F_v$; suma de fuerzas verticales

- Revisión por Deslizamiento

$$\frac{\sum F_h}{\sum F_v} \leq \frac{\sum F_v \tan \Phi + CA}{|\sum F_h|}$$

$$F_s = \frac{\mu \sum F_v}{\sum F_h}$$

$\sum F_h$; suma de fuerzas horizontales

μ ; factor de seguridad de acuerdo con las fuerzas actuantes, en este caso con valor de 0.7

Φ ; ángulo de fricción interna del material (concreto 45°)

C; cohesión del materia (concreto 0.7)

A; área de la superficie de desplante o de la sección horizontal a cualquier elevación

- Revisión por Esfuerzos Permisibles

$$\sigma_{AB} = \frac{\sum F_v}{A} \pm \frac{M}{I} y_{\max}$$

$$I = \frac{bh^3}{12}$$

σ_{AB} ; esfuerzos actuantes sobre el material (concreto $\sigma = 2500 \text{ ton/m}^2$)

M; diferencia de $\Sigma M_h - \Sigma M_v$

A; área de la superficie de desplante o de la sección horizontal a cualquier elevación

I; momento de inercia del área A

y_{\max} ; distancia al centro de la figura, debido a que es la distancia mas desfavorable

A continuación se observan los resultados obtenidos para una columna y como cuerpo rígido, en el caso de una columna se observa que la estructura es inestable incluso en condiciones normales, es decir, el diseño del muelle esta basado para que trabajen en conjunto ambas columnas, al realizar el análisis como cuerpo rígido se observa que el comportamiento de la subestructura bajo condiciones normales cumple de manera adecuada en análisis de estabilidad, así, podemos establecer que no hay falla por volteo ya que se encuentra dentro del tercio medio de la estructura, no existe deslizamiento del elemento y además de esto, las fuerzas ejercidas por el medio físico no son las suficientes para provocar un esfuerzo cortante mayor al del concreto por lo que no existe una falla de este tipo.

ANÁLISIS DE ESTABILIDAD (UNA COLUMNA)							
FALLA POR VOLTEO							
	Mv(ton m)	2410.742	x(m)	1.917	Mv(ton m)	2438.612	
	Mh(ton m)	10231.506	primer tercio(m)	1.917	Mh(ton m)	1650.131	
	Fv(ton)	812.659	tercio medio (m)	3.833	Fv(ton)	820.091	
	Fh(ton)	930.417			Fh(ton)	150.031	
	Mr/ ΣF_v	-9.624			Mr/ ΣF_v	0.961	
REVISION POR DESLIZAMIENTO							
Fh/Fv(1)	1.145	< μ			Fh/Fv(1)	0.183	< μ
$\mu F_v/F_h(1)$	0.611	> μ	largo(m)=	5.75	$\mu F_v/F_h(1)$	3.826	> μ
Fc	0.902	>3	ancho(m)=	6.5	Fc	5.641	>3
ESFUERZOS PERMISIBLES							
$\sigma_{AB}(\text{ton/m}^2)$	214.898	<fc			$\sigma_{AB}(\text{ton/m}^2)$	2.469	<fc
$\sigma_{AB}(\text{ton/m}^2)$	-171.412				$\sigma_{AB}(\text{ton/m}^2)$	41.416	
y _{max} (m)	3.250	fc(ton/m ²)	2500		y _{max} (m)	3.250	
I(m ⁴)	131.591				I(m ⁴)	131.591	
$\Sigma M(\text{ton m})$	7820.763				$\sigma M(\text{ton m})$	-788.481	

Tabla 4.21 Análisis de estabilidad para una columna

ANÁLISIS DE ESTABILIDAD COMO CUERPO RIGIDO (DOS COLUMNAS)						
FALLA POR VOLTEO						
Mv(ton m)	12245.63	x(m)	15	Mv(ton m)	12301.3688	
Mh(ton m)	10231.506	primer tercio(m)	5	Mh(ton m)	1650.131	
Fv(ton)	1632.751	tercio medio (m)	10	Fv(ton)	1640.1825	
Fh(ton)	930.417	Centroide (m)	7.5	Fh(ton)	150.031	
Mr/ΣFv	1.234			Mr/ΣFv	6.494	
REVISION POR DESLIZAMIENTO						
Fh/Fv(1)	0.570	<μ		Fh/Fv(1)	0.091	<μ
μFv/Fh(1)	1.228	>μ		μFv/Fh(1)	7.653	>μ
Fc	1.811	>3		Fc	11.281	>3
ESFUERZOS PERMISIBLES						
σ _{AB} (ton/m ²)	20.332	<fc		σ _{AB} (ton/m ²)	13.953	<fc
σ _{AB} (ton/m ²)	23.353			σ _{AB} (ton/m ²)	29.930	
y _{max} (m)	7.500			y _{max} (m)	7.5	
I(m ⁴)	10000.000			I(m ⁴)	10000	
ΣM(ton m)	-2014.123			ΣM(ton m)	-10651.238	

Tabla 4.17 Análisis de estabilidad para dos columnas, considerado como cuerpo rígido

Para establecer el comportamiento de los muelles SSA México y Punta Langosta se debe realizar el estudio de una manera distinta ya que estos muelles fueron diseñados para trabajar de una forma diferente.

Con forme a la referencia 17 y considerando que cada uno de los elementos se encuentra desplantado sobre un material poco cohesivo sin llegar al estrado resistente, esto debido a que no conocemos de manera exacta la profundidad de este, podemos utilizar las siguientes ecuaciones:

$$H_U = \frac{0.5\gamma dK_p L^3}{e + L}$$

$$f = 0.82 \sqrt{\frac{H_U}{dK_p \lambda}}$$

$$H_U = \frac{3}{2} \gamma dK_p f^2$$

$$M_{\max} = H_U \left(e + \frac{2}{3} F \right)$$

Donde:

H_u; resultante de fuerzas horizontales ejercidas sobre la estructura

γ; peso volumétrico en este caso del agua de mar (2100 kg/m³)

K_p; Factor de resistencia lateral en la superficie de tierra, figura 7.7 Ref. 17 (k_p=4)

L; longitud del elemento
 D; diámetro del elemento
 F; distancia del nivel de fondo hacia el momento máximo
 E; distancia del punto de aplicación de la fuerza a el nivel de fondo

De acuerdo con estas ecuaciones y bajo la consideración que cada uno de estos muelles no fue destruido por el huracán Wilma podemos obtener la longitud mínima de desplante necesaria para que la subestructura resista las fuerzas horizontales, así se podrá obtener el momento máximo y su punto de aplicación al que estuvieron sujetos los elementos. Es importante mencionar que la subestructura se considera como un elemento largo y libre en la parte que se encuentra sobre el nivel del fondo marino.

Además de esto también resulta conveniente determinar la capacidad de carga de los elementos considerando que están hincados en arena con una densidad $\rho=2100 \text{ kg/m}^3$ y un ángulo de fricción interna $\phi=33^\circ$ (este valor es propuesto con base en la Ref. 18)

Se reitera que en los resultados que se muestran a continuación no se considera un estrato resistente y que para el caso del muelle Punta Langosta un anclaje de cable post-tensado que llega hacia el estrato y que permite resistir de manera mas eficiente las licitaciones a las que esta sujeta esta estructura. Los resultados son los siguientes.

- **Muelle SSA México**

$d=0.40 \text{ m}$ $H_u= 57.224 \text{ ton}$ $e=11\text{m}$

$$57.224 = \frac{0.5(2.1)(0.4)(4)L^3}{11 + L}$$

$$L = 8.8\text{m}$$

$F=3.38 \text{ m}$
 $H_u=54.57\text{ton}$
 $M_{\text{max}}=758.35 \text{ ton m}$

Capacidad de carga del pilote

$$Q_{fr} = \pi D \left(\frac{1}{2} K_0 \gamma L \tan \delta \right) L$$

$K_0=0.5$
 $\delta=2/3\phi=22$

$Q_{fr} 051.6 \text{ ton}$

- **Muelle Punta Langosta**

$H_U=6291.94 \text{ ton}$ $e = 11\text{m}$ $d=6.3$

L=19m
F=8.94m
H_U=2819.7 ton
M_{max}= 106702.1 ton m

Capacidad de carga del pilote
Q_{fr}=240.56 ton

De acuerdo con los resultados obtenidos para el muelle SSA México es posible considerar los valores como aceptables aún considerando un estrado de arena de espesor indefinido, en lo que respecta a el muelle Punta Langosta se obtienen resultados de profundidad mayores debido a que su área de exposición es mucho mayor comparada con el muelle anterior, así, la profundidad de las cimentaciones de este muelle se reduciría si se conociera la profundidad del estrado rocoso, las características de resistencia que aportan los cables post-tensado a el muelle Punta Langosta.

4.9.2 CONCLUSIONES Y COMENTARIOS.

El análisis del comportamiento de cada uno de los muelles bajo las fuerzas más desfavorables del huracán Wilma a las que estuvieron sujetos, permite determinar el modo de falla del muelle Puerta Maya, también es posible establecer propiedades importantes de los muelles restantes; así, podemos concluir con base en los cálculos lo siguiente:

- La subestructura del muelle Puerta Maya contaba con un área de exposición mayor que los muelles restantes, esto origina que cada una de las fuerzas aumente su magnitud, genera que el oleaje rompa sobre la estructura y provoca una presión dinámica sobre el muelle mucho mayor.
- Debido a el diseño de la subestructura por medio de dovelas y por las limitaciones que SEMARNAT impuso sobre la profundidad de excavación por la cercanía del muelle a los arrecifes de coral, este muelle contaba con muy poca profundidad por debajo del nivel del suelo, de esta manera la forma en que trabaja la estructura depende totalmente del peso de los elementos prefabricados y que están rellenos por concreto y de los elementos provistos para evitar la socavación.
- Si los elementos que impiden la socavación no son capaces de resistir el arrastre generado por el huracán Wilma, la subestructura y cimentación del muelles se encuentra sujeta a este fenómeno, sumando a esto que el huracán a su paso por la isla se desplazó de manera muy lenta, la socavación que se genera es importante.
- Con ayuda del estudio de estabilidad se concluye que la estructura del muelle Puerta Maya debe trabajar en conjunto para asegurar la estabilidad esto implica un diseño bajo mayores cargas, esto repercute en un costo más elevado.
- Debido al funcionamiento para el que fue diseñada la subestructura los elementos prefabricados deben tener un mayor peso, es por esto que estuvieron rellenas totalmente de concreto.

- El diseño del muelle SSA México presenta poca exposición a las fuerzas generadas por los fenómenos naturales, sin embargo el realizar un hincado de pilas a un nivel demasiado profundo o hasta estrato firme resulta costoso y se debe garantizar que se encuentra en roca sana, de no ser así pueden generar fallas en partes de la pasarelas e incluso un colapso total.
- El diseño por medio de pilas y pilotes facilita obtener el nivel de la pasarela, caso contrario al diseño por medio de dovelas, ya que es necesario un dragado y una nivelación del terreno de desplante para garantizar el nivel de la pasarela y estabilidad de la subestructura.
- No es necesario colocar elementos de protección anti-socavación si se garantiza que las pilas llegan hasta un estrato rocoso, ya que el pilote trabajara por punta transmitiendo las fuerzas al estrato rocoso.
- La profundidad a la que esta hincado el pilote determina el valor de la fuerza horizontal que es capaz de resistir, para el muelle SSA México considerando un estrato infinito de arena es necesaria una profundidad de 8.8 m para soporta las fuerzas de un huracán categoría cuatro
- El muelle Punta Langosta cuenta con un área de exposición similar a la del muelle que colapso, sin embargo su diseño es diferente, ya que solo cuenta con una columna que trabaja por gravedad, y que no depende de la superestructura (losa de acceso) esto garantiza su estabilidad.
- La cimentación es por medio de tabla-estaca a una profundidad aproximada de siete metros por debajo del fondo marino y además cables post-tensados que llegan hasta estrato rocoso; aunque los valores obtenidos representan una mayor profundidad, ya se menciona que no fue considerado un estrato rocoso ni el diseño por cables de anclaje.
- La pasarela de acceso y atraque del muelle Puerta Maya fue diseñada para fallar bajo condiciones extremas, de esta manera la fuerza que provoca el oleaje sobre esta es eliminado y la subestructura recibe un menor empuje.
- Debido al anclaje de los cables hasta el estrato rocoso y la profundidad de la tabla-estaca no es necesario colocar elementos para proteger de efectos de socavación.
- Es necesario garantizar una correcta cimentación para muelles con elementos prefabricados, de no ser así, y debido a sus características geométricas y la profundidad de desplante la estructura puede volcar debido a las fuerzas horizontales actuantes.
- Si el estrato rocoso se encuentra a una profundidad mínima el perforar para garantizar la estabilidad de la tabla-estaca o pilotes de punta resulta muy costoso

Con ayuda de los análisis descritos y las conclusiones antes mencionadas se presenta en el siguiente capítulo la propuesta de parámetros de diseño para muelle en la zona.

CAPÍTULO 5 PROPUESTA DE PARÁMETROS DE DISEÑO.

El objetivo principal del presente capítulo, es proponer parámetros de diseño que permitan diseñar la infraestructura para el atraque de cruceros de forma eficiente, segura y económicamente aceptable. De acuerdo con los análisis realizados en capítulos anteriores estamos en la posibilidad de establecer diferentes factores que tienen importancia mayor para el diseño de los muelles y para su funcionamiento, estos factores son los parámetros de diseño.

Los parámetros que se presentan a continuación, no consideran un diseño específico de la subestructura, es decir, dentro de los modelos matemáticos necesarios para determinar cada una de las solicitudes no se considera la geometría de la subestructura que se condicione el modelo matemático a solo un tipo de estructura, de ser así, será en mencionado en la ecuación.

Antes de establecer un diseño que cumpla con las condiciones de eficiencia, economía y seguridad se deben realizar algunas consideraciones que influyen de manera importante en el diseño de la infraestructura, estas consideraciones están ligadas a la zona del proyecto.

Los aspectos de la zona de proyecto y que influyen de manera importante en el diseño de la infraestructura, se mencionan a continuación:

ZONA DE PROYECTO	
Impacto ecológico	Normas, leyes, reglamentos
restricciones ambientales	
tipo de suelo	
Exposición a los efectos metaoceanicos	
Orientación propuesta para optimización de acuerdo a la zona	
Batimetría	
Geometría del muelle para recibir embarcaciones de tipo Genesis con duque de Alba	

Tabla 5.1 Consideraciones básicas para la zona de proyecto

Unas de las restricciones que se genera de manera mas importante es la debida a el tipo de cimentación que será propuesta para el muelle, dentro de los diseños mas comunes para la construcción del muelle se encuentran los siguiente: que el muelle sea diseñado para que trabaje por gravedad (por peso propio), por pilotes o un diseño por tabla-estaca.

Los factores que se presentan en la tabla 5.1 establecen de manera importante las restricciones a las que estará sujeto el muelle para su diseño, construcción y operación.

En lo que respecta a las restricciones ambientales debidas a el impacto ecológico que se puede generar por la construcción de un muelle y su operación en un determinado lugar, es necesario considerar leyes, reglamentos y normas que establecen diferentes condiciones, y que el objetivo principal de estas es preservar el medio ambiente; de esta forma las consideraciones ambientales

son un factor determinante para la ubicación de la infraestructura. Un análisis detallado de este factor queda fuera de los objetivos de esta tesis, así, solo serán mencionadas las leyes, normas y reglamentos que es necesario considerar.

- Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente(Ref. 4)
 - ❖ Artículo 28
 - ❖ Artículo 35

- Reglamento de la Ley general del equilibrio ecológico y la Protección al Ambiente en materia de Evaluación del Impacto Ambiental (Ref. 5)
 - ❖ Artículo 9
 - ❖ Artículo 12

- Normas Oficiales Mexicanas (Ref. 6)
 - ❖ NOM-001-SEMARNAT-1996(calidad del agua)
 - ❖ NOM-052-SEMARNAT-2005(residuos peligrosos)
 - ❖ NOM-079-SEMARNAT-1994(contaminación por ruido)
 - ❖ NOM-116-SEMARNAT-2003(protección de especies)

Para el tipo de suelo se realiza un análisis de mecánica de suelos que nos permita conocer las propiedades mas importantes como son: profundidad a la que se encuentra el estrato rocoso, estratos y profundidades, nivel freático y otros factores que permiten establecer las fuerzas que puede resistir el tipo de suelo para poder proponer una cimentación y una subestructura aceptable.

Para la zona propuesta se debe realizar un análisis que permita determinar los efectos a los que estará expuesta la estructura y en condiciones normales así como un análisis de eventos extremos, esto con la finalidad de establecer las características propias de la zona y la probabilidad de que se presente un evento extremo de características importantes (periodo de retorno).

La orientación que es propuesta para la geometría del muelle esta en función de variables como son: delimitaciones por zonas naturales, empuje de los vientos reinantes sobre las embarcaciones, corrientes marinas, exposición a oleaje extremo y otro factor importante es el espacio necesario para que el buque pueda realizar sus maniobras para llegada y salida del muelle (dársena de ciaboga).

De acuerdo con la embarcación de diseño, la orientación de la infraestructura y la zona de proyecto, será necesario determinar la profundidad mínima que necesita el barco para su atraque, esta condición es primordial debido a que establece la longitud del muelle.

5.1 PARÁMETROS DE DISEÑO

Después de establecer las características mas importantes de la zona de proyecto se proponen proponer los parámetros bajo los cuales será diseñada la infraestructura, estas variables son una serie de combinaciones de solicitaciones a las que estará sujeto el muelle en diferentes condiciones, que van desde condiciones normales hasta condiciones extraordinarias provocadas por los fenómenos meteorológicos generados por un huracán de categoría importante o las condiciones de sismo.

De acuerdo con la combinación de solicitaciones que se proponga, las características de operaciones del tipo de buque que atracará en el muelle, el periodo de retorno de un evento extremo, las condiciones de sismo de diseño propuesta con base a norma, se determina la siguiente tabla que establece las solicitaciones a considerar en cada unas de las condiciones a las que estará sujeta el muelle.

SOLICITACIONES		normales	Extraordinaria		
			Sismo Tr=n años (MDOC) CFE-SISMO	Huracán TrH=n años cat. H Wilma (H(m) V(Km/hr)	Riesgo TrH>TrHdiseño subestructura
Carga muerta		x	x	x	x
Carga viva(uniforme) o viva(concentrada)		x	x		
Flotación (subpresión)		x	x	x	x
Atraque de buque		x			
Ola		x	x	x	x
Corriente sobre buque	marina	x	x		
	por viento	x	x		
Corriente sobre subestructura	marina	x	x	x	x
	propelas	x			
	por viento	x	x	x	x
viento	estructura	x	x	x	x
	buque	x	x		
Socavación	oleaje	x	x	x	x
	propelas	x			
Marea		x	x	x	x
Temperatura		x			
MODOS DE COMPORTAMIENTO, CRITERIOS DE ANALISIS					
Estabilidad de subestructura(diferentes métodos) con factor de seguridad	Dovelas	x	x	x	x
	Pilotes	x	x	x	x
	Tabla-estaca	x	x	x	x

Tabla 5.2 Propuesta de parámetros de diseño

En la tabla 5.2 se observan las diferentes condiciones de carga a las que estará sujeta el muelle; algunas de estas condiciones son obligadas para el análisis estructural y no es posible realizar una optimización con base a estos modelos matemáticos, un ejemplo son las ecuaciones a utilizar para determinar las presiones dinámicas que provoca el buque sobre la infraestructura del muelle, las condiciones estarán delimitadas por el buque de diseño, también queda condicionada a las características impuestas por la CFE(Ref. 1), para los lineamientos que serán necesarios considerar para el análisis de sismo y por ultimo las condiciones océano-meteorológicas a las que estará sujeta la estructura en condiciones normales.

Las condiciones restantes y que están relacionadas a propiedades extremas de los fenómenos meteorológicos, como son los huracanes, quedan determinadas ya sea por las categorías dentro de las que se encuentran clasificados estos fenómenos o por un periodo de retorno de las propiedades de estas tormentas extremas obtenido mediante un análisis estadístico. Dentro del planteamiento que será presentado mas adelante y con forme a la tabla 5.2, el cálculo estará basado en un periodo de retorno diez años mayor a las características que provoco el huracán Wilma a su paso por la isla de Cozumel. El determinar un periodo de retorno elevado garantiza la resistencia de la estructura a los procesos ambientales, sin embargo genera un diseño con un costo elevado, esta consideración nos lleva a establecer o proponer una distinta opción de diseño para la subestructura y la superestructura, este análisis se denomina diseño por riesgo.

El diseño por riesgo se establece como un diseño mediante el cual el periodo de retorno es menor para el cálculo de la superestructura que el periodo de retorno bajo el cual será diseñada la subestructura. Uno de los principales factores a tomar en cuenta es el establecer que la estabilidad de la subestructura debe ser totalmente independiente de la superestructura, ya que la falla del elemento superior o superestructura es más próxima que el de la subestructura, el objetivo principal que se persigue es que si se presenta un fenómeno meteorológico con un periodo de retorno muy elevado, este provocaría una falla en primer lugar de la superestructura, liberando así presión hidrodinámica sobre la subestructura; generando menor fuerza sobre los elementos debido a la disminución del área de exposición a los efectos provocados por el huracán.

Los parámetros de diseño que son presentados en la tabla 5.2 no precisan un tipo de subestructura especifica, debido a esto estamos en la opción de establecer combinaciones de carga de manera general y así, presentar los modelos matemáticos pertinentes que nos permitan realizar un diseño adecuado del muelle y que estén en la opción de analizar cualquier tipo de estructura excepto donde alguna ecuación presente limitaciones.

Con todo lo anterior mencionado podemos presentar los modelos matemáticos de cada una de las solicitaciones a las que esta sujeta cualquier tipo de estructura y bajo las consideraciones de un periodo de retorno diez años mayor a el provocado por la velocidad del viento del huracán Wilma y un buque de diseño de generación Genesis, este buque cuenta con dimensiones mayores a buques anteriores por lo que provoca fuerzas aun mayores sobre los muelles. Así, las características del periodo de retorno y el buque se muestran a continuación.

Aviso	Lat	Long	Vm/s	Pmbar	Vt m/s	Aviso	Lat	Long	Vm/s	Pmbar	Vt m/s
1	17,6	-78,8	12,861	1004	3.218	22A	19,1	-85,9	66,878	923	2.834
2	17	-79	12,861	1003	0.000	23	19,3	-86	66,878	923	2.278
2A	17	-79	15,433	1003	2.928	23A	19,5	-86,1	66,878	930	2.277
3	17	-79,3	15,433	1003	1.432	24	20	-86,2	66,878	929	5.237
3A	17,1	-79,4	15,433	1003	0.976	24A	20,1	-86,3	64,306	930	1.414
4	17,1	-79,3	15,433	1002	2.058	25	20,2	-86,5	64,306	930	2.193
4A	17,3	-79,3	15,433	1002	5.096	25A	20,4	-86,7	61,733	926	2.825
5	17,7	-79,6	15,433	1001	0.974	26	20,6	-86,9	61,733	926	2.823
5A	17,7	-79,7	15,433	1004	1.029	26A	20,6	-86,9	61,733	930	0.000
6	17,6	-79,7	15,433	1001	2.294	27	20,8	-86,9	61,733	932	2.058
6A	17,4	-79,6	15,433	1000	2.261	27A	20,8	-87,2	59,161	935	2.895
7	17,2	-79,7	18,006	1000	4.248	28	20,9	-87,2	56,589	935	1.029
7A	16,8	-79,6	18,006	1000	6.406	28A	21	-87	54,017	943	2.187
8	16,3	-80	20,578	998	2.058	29	21,3	-87	51,444	946	3.087
8A	16,1	-80	23,150	997	3.254	29A	21,2	-87	48,872	953	1.029
9	15,8	-79,9	23,150	989	1.029	30	21,4	-87,1	43,728	957	2.272
9A	15,7	-79,9	23,150	989	3.129	30A	21,6	-87	43,728	959	2.272
10	15,8	-80,2	28,294	987	2.227	31	21,8	-86,9	43,728	959	2.272
10A	15,7	-80	28,294	984	0.000	31A	21,8	-86,8	43,728	962	0.962
11	15,7	-80	30,867	982	2.864	32	22,1	-86,6	43,728	961	3.635
11A	15,9	-80,2	30,867	980	7.362	32A	22,4	-86,1	43,728	961	5.703
12	16,5	-80,6	33,439	977	5.331	33	22,7	-85,8	43,728	961	4.213
12A	16,7	-81,1	36,011	975	5.331	33A	23,1	-85,3	43,728	963	6.301
13	16,7	-81,5	36,011	970	3.908	34	23,5	-84,9	46,300	959	5.602
13A	16,7	-81,8	43,728	954	2.931	34A	23,9	-84,4	48,872	958	6.280
14	16,8	-82,1	48,872	945	3.118	35	24,4	-83,7	51,444	958	8.386
15	16,9	-82	66,878	901	2.115	35A	24,7	-83,3	51,444	954	7.309
15A	17	-82,2	66,878	901	6.655	35B	25,1	-82,8	54,017	954	9.366
16	17,2	-82,5	77,167	884	3.598	36	25,5	-82,4	56,589	950	8.333
16A	17,2	-82,8	77,167	882	2.927	36A	26,1	-81,4	54,017	950	16.816
17	17,4	-83,2	77,167	882	4.430	36B	26,3	-80,7	48,872	952	10.335
17A	17,5	-83,5	74,594	900	3.110	37	26,9	-80	46,300	956	13.395
18	17,7	-83,7	72,022	892	2.847	37A	27,3	-79,2	43,728	956	12.727
18A	17,9	-83,9	72,022	892	2.846	38	28,1	-78,8	51,444	955	26.828
19	18,1	-84,3	69,450	894	4.418	39	29	-77,4	54,017	954	15.773
19A	18,1	-84,7	69,450	899	3.893	39A	30,2	-76	56,589	955	17.570
20	18,3	-85	66,878	900	3.581	40	31,6	-74,3	56,589	959	20.782
20ª	18,3	-85,2	64,306	910	1.945	41	34,8	-70	51,444	965	24.765
21	18,4	-85,5	64,306	915	3.098	42	38,5	-66	46,300	970	24.892
21A	18,6	-85,5	64,306	915	2.058	43	41,7	-62,8	38,583	976	20.319
22	18,9	-85,7	66,878	918	3.653						

Tabla 5.3 Posición, velocidad, presión, velocidad de traslación en cada aviso del huracán Wilma (Ref. 1)

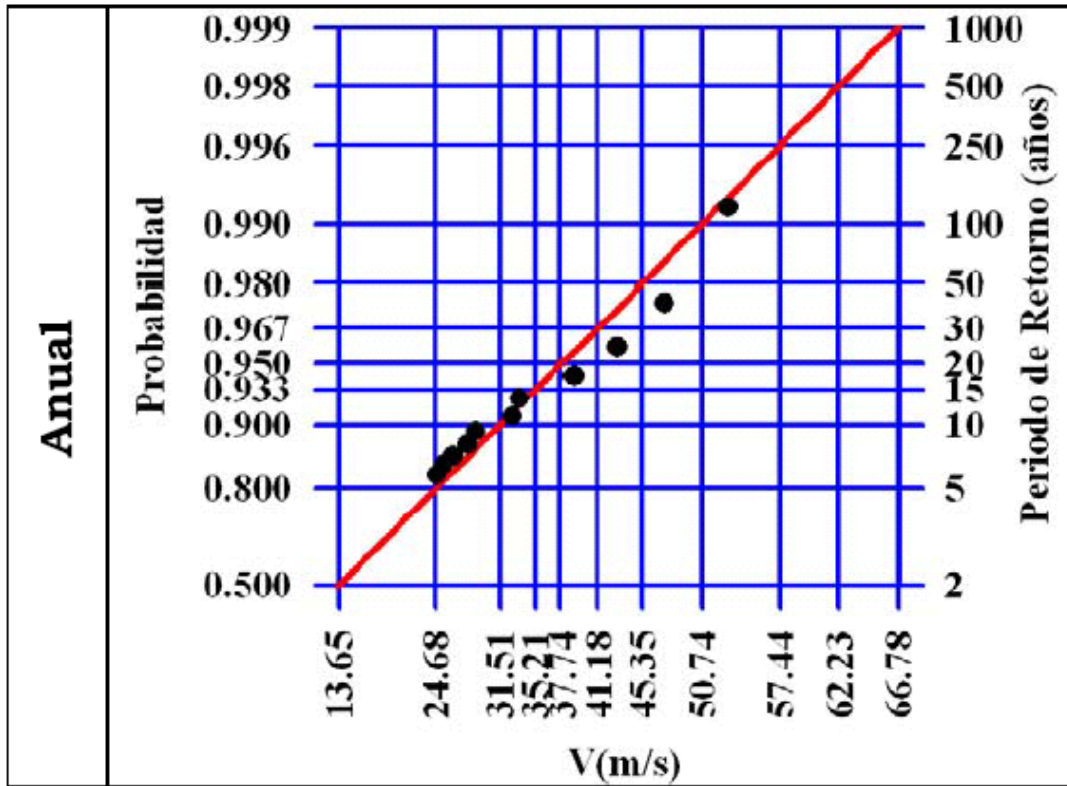


Figura 5.1 Gráfica de viento (m/s)-periodo de retorno (años)(Ref. 20)

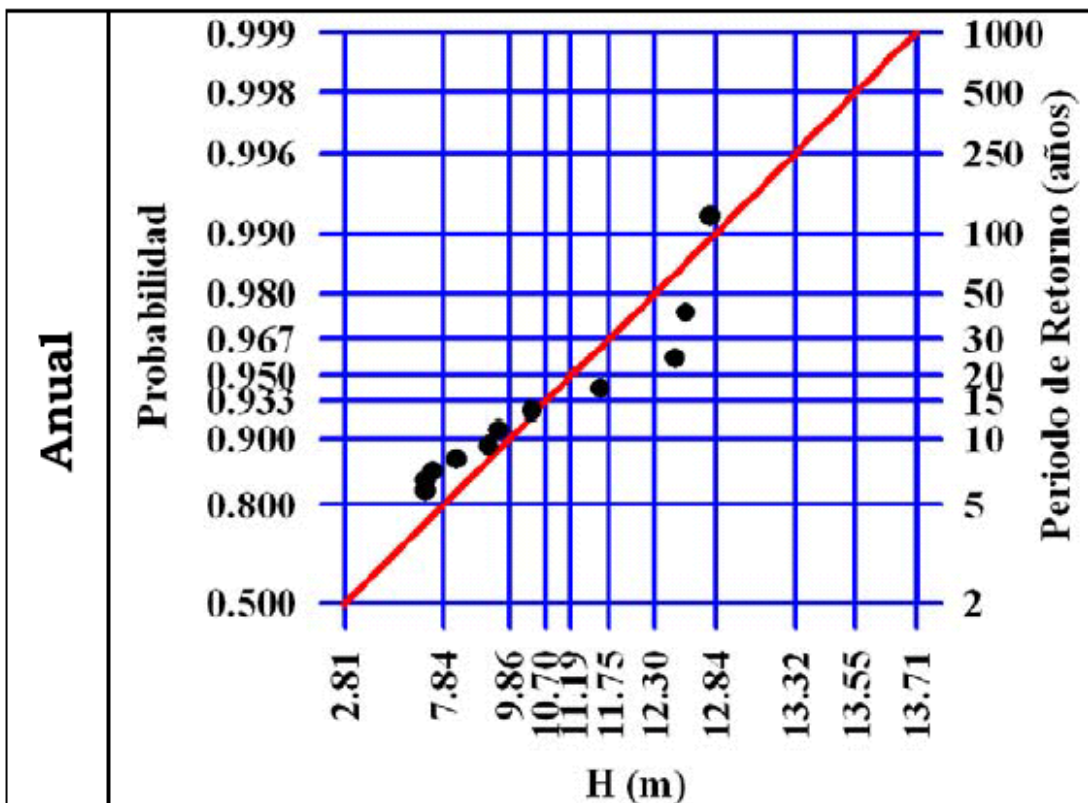


Figura 5.2 Gráfica de resumen de altura de ola (m)-Periodo de Retorno (años)

En la tabla 5.3 se puede observar las características que presentó el huracán Wilma en todo su periodo de vida y la respectiva categoría a la que corresponde, con base en esto y el periodo de retorno para una velocidad de viento promedio de 61.733 m/s es de aproximadamente 70 años con base en la tabla 5.4 y la figura 5.1, de esta forma y realizando la consideración de un factor de seguridad de 10 años mas obtenemos un periodo de retorno de 100 años, este periodo de retorno cuenta con una velocidad de viento promedio de 78.663 m/s, una altura de ola de 9 m y una marea de tormenta de 2.4 m; es importante señalar que este periodo no es el que considera para el análisis bajo condiciones de riesgo, para este ultimo estudio se utilizará un periodo de retorno de 10 años, es decir las características que presentó el huracán Wilma con una velocidad de 61.733 m/s, altura de ola de 8.4m y una marea de tormenta de 2 m; los valores de altura de ola y marea de tormenta son obtenidos de la figura 5.2.

En lo que respecta a el oleaje normal se considera una altura de ola de 1.5 m con un periodo de 8 s y una longitud de 90 m, mientras que para el viento que se presenta de manera normal en la zona se considera una velocidad de 5.55 m/s

Para poder establecer los modelos matemáticos correspondientes a los parámetros de diseño se establece el buque de diseño:

La empresa Royal Caribbean cuenta con una nueva generación de cruceros de la clase denominada Génesis la cual estará lista para el otoño del 2009, esta embarcación la más grande en la historia cuenta con las siguientes características y que se muestran en la tabla 5.5

Genesis Class-Royal Caribbean	
Línea de cruceros	Royal Carribbean int.
Nombre de embarcación	Génesis Class
Eslora (m)	360
Manga(m)	47
Peso(ton)	220 000
Calado(m)	9.14
Velocidad(Knots/m/s)	20.2/10.39
Capacidad Max	5 400
Propulsión	4 motores de 18 MW 2 fijos y 2 libres

Tabla 5.4 Características de la embarcación de diseño(Ref. 3)



Figura 5.3 Embarcación Génesis Class-Royal Caribbean (Ref. 3)

Con las condiciones de diseño antes mencionadas es posible establecer cada uno de los modelos matemáticos que fueron mencionados en la tabla 5.2

5.1.1 Carga Muerta

La carga muerta se establece como la carga que existe de manera permanente, es decir, esta acción siempre se encuentra presente, en la mayoría de los casos el peso propio de la estructura. Para determinar este peso es necesario tener en cuenta varios parámetros que determinan el peso neto de la estructura, factores de subpresión, peso sumergido y el peso de acuerdo con la geometría de la estructura que se encuentra por encima del nivel del mar, de esta manera se establece un valor de carga muerta considerando todas las variables que rodean la infraestructura.

5.1.2 Carga Viva

La carga viva se establece como las fuerzas producidas por el uso de la infraestructura, para el diseño de la infraestructura es necesario considerar dos tipos de fuerza, considerando una carga viva máxima de 250kg/cm^2 y una carga viva reducida de 100 kg/cm^2 , estos factores son considerados para el sistema de muelle y pasarela de acceso.

Para completar el análisis de cargas vivas se debe considerar la carga concentrada, este tipo de carga es originada por el atraque de barcos y que actúa de forma horizontal sobre la estructura, la forma de análisis para este tipo de fuerza se presenta mas adelante y esta condicionada a las características de atraque impuestas para la embarcación (velocidad y orientación), de no cumplirse con estas es posible generar cargas accidentales que también es necesario considerar en el estudio.

5.1.3 Flotación(subpresión)

La subpresión se considera como la fuerza de empuje hacia arriba que genera el agua sobre la estructura, el modelo matemático se determina como sigue:

$$P = \gamma AH$$

Donde:

γ ; Peso específico (ton/m³); $\gamma=1.032$ (ton/m³)

A; Área de desplante de la subestructura(m²)

H; altura del nivel del mar (m)

5.1.4 Atrache de Buque

Conforme a las Recomendaciones para Obras Marítimas ROM (Ref. 7) "las sobrecargas de operaciones de buques son aquellas cargas producidas por la acción directa o indirecta de buques sobre estructuras o instalaciones portuarias, estas son"/(Ref. 7)

Cargas de atraque

Cargas de amarre

Cargas de carena

Cargas de varada

Dentro de los factores que es necesario considerar para determinar cada una de las cargas antes mencionadas se encuentran los siguientes:

- ❖ Dimensiones, características estructurales y movimientos del buque
- ❖ Características físicas de la instalación
- ❖ Factores operacionales: condiciones de aproximación a la instalación y métodos de operación y maniobra
- ❖ Naturaleza y características de la estructura resistente, incluyendo la existencia y compatibilidad con diversos tipos de de equipamientos
- ❖ Mareas, variaciones del nivel del mar
- ❖ Condiciones metaoceánicas: viento, oleaje, corrientes

Cada una de las cargas antes mencionadas establecen las condiciones y características particulares del muelle, en lo que respecta a nuestro análisis solo se considera la fuerza debida a el atraque del buque, debido a que con base a esta carga es posible diseñar la estructura y determinar las defensas a utilizar

Energía de atraque

$$E_c = \frac{Mv^2}{2g} K$$

$$M = M_1 + M_2$$

$$M_2 = \frac{\pi}{4} \gamma_w EC^2$$

Donde:

M_1 ; peso del buque (ton)
 M_2 ; peso hidrodinámica (ton)
 V ; velocidad de aproximación (m/s)
 K ; factor de excentricidad, para plataformas y muelles 0.6 y para duque de alba de 0.75
 E ; eslora del buque (m)
 C ; calado del buque (m)
 γ_w ; peso volumétrico del agua (ton/m³)

En lo que respecta a la geometría del buque esta fue definida en la tabla 5.5 y de acuerdo con criterios mexicanos se utilizará una velocidad de acercamiento de 0.17 m/s y un ángulo de acercamiento de 10°

5.1.5 Oleaje

Existen diferentes métodos para determinar la distribución de presiones generada por el oleaje, cada uno de los modelos matemáticos están en función de diferentes variables y esto implica que estos modelos sean validos dentro de un intervalo de valores específico. Dentro de las variables más representativas que se encuentran en los modelos están: oleaje rompiente, no rompiente, tipo de estructura, si la ola sobrepasa la estructura, geometría de la subestructura etc.

Dentro de este apartado se mencionara la ecuación para oleaje rompiente (Ref. 8) y que no considera dentro de sus variables una geometría específica de la subestructura.

Formula de Minikin

$$P_m = 101\gamma \left(\frac{H_r}{L_D} \right) \left(\frac{d}{D} \right) (D + d)$$

$$F_m = \frac{P_m H_r}{3}$$

$$M_m = \frac{P_m H_r d}{3}$$

P_m ; Máxima presión dinámica, ocurre a la elevación de reposo del agua
 F_m ; fuerza debida al componente de la presión dinámica por unidad de ancho
 D ; Profundidad del fondo a una distancia de una longitud de la ola medida desde la pared de la subestructura
 L_D ; Longitud de la onda a la profundidad D
 d ; profundidad entre el nivel medio del mar y el desplante del muro

5.1.6 Corrientes

Para determinar las fuerzas que generan las corrientes sobre la subestructura de un muelle es necesario establecer primero la forma en que son originadas cada una de ellas; el determinar el origen de este evento tiene como finalidad establecer los modelos matemáticos que serán

necesarios para establecer su magnitud, de esta manera se define a continuación los modelos matemáticos de los diferentes tipos de corrientes.

De acuerdo con cada una de las corrientes estas pueden actuar ya sea sobre la estructura del muelle o sobre la embarcación; sin embargo las ecuaciones solo varían en el área donde se ejerce la presión.

5.1.6.1 Marina

Las corrientes de tipo marinas que circulan por el mar caribe tienen como valor máximo de velocidad 0.5 m/s sobre la superficie, de acuerdo con los análisis observados anteriormente se observa que la distribución de fuerza solo actúa de manera representativa en los primeros centímetros de la superficie del agua a el fondo del nivel del mar, el modelo matemático que es necesario utilizar, es el siguiente (Ref. 9)

Formula de Morrison

$$F = F_{dinamicas} + F_{inercia}$$

$$F = C_D \frac{w}{2g} Au^2 + C_m \frac{w}{g} va_x$$

Donde:

C_D ; coeficiente de arrastre, en este caso =1

W ; peso del elemento (ton)

A ; área expuesta al efecto de oleaje (m^2)

u ; Componente horizontal de la velocidad orbital (m/s)

C_m ; coeficiente de inercia

v ; volumen del objeto en cada metro lineal

a_x ; componente de la aceleración horizontal en (m/s^2)

Debido a que solo se considera la fuerza que genera el oleaje sobre los muelles no se considera la parte que corresponde a la fuerza de inercia; el componente de la velocidad U es al velocidad de la corriente marina de esta forma la ecuación se ajusta a los términos requeridos en este estudio.

5.1.6.2 Propelas

Otro factor que genera corrientes son los mecanismos que utilizan los barcos para su movimiento, es decir, las propelas, el aumento de diámetro y potencia en los últimos años de estos dispositivos mecánicos ocasionado por diseño de nuevas embarcaciones de mayor tonelaje genera que los efectos que pueden generar estos dispositivos sean tomados en cuenta para el diseño de la subestructura y su estabilidad.

Dentro de este apartado se presentan las ecuaciones necesarias para determinar la velocidad de la propela y con base en esto y la formula de Morrison, será posible determinar la fuerza que generan las corrientes inducidas por las propelas de la embarcación sobre la subestructura del muelle.

Las ecuaciones que aquí se presentan consideran que las propelas del barco se encuentran dentro de un ducto.

$$T = \frac{\pi}{4} \rho D_p^2 U_0^2$$

$$U_0 = 1.6nD_p (K_T)^{0.5}$$

$$U_x = U_{\max} \exp\left[-15.4 \frac{r^2}{x^2}\right]$$

$$U_{\max} = AU_0 (D_0 / x)^a$$

$$U_b = 0.3U_0 (D_0 / H_p)$$

Donde:

T; empuje total debido a la propulsión

ρ ; densidad del agua

D_p ; diámetro de la propela

U_0 ; velocidad de flujo

K_T ; coeficiente que depende de la relación (P/D_p) tabla 1.2 ref. 12

P ; paso de propela

n ; numero de revoluciones de la propela por segundo

r ; radio de la propela

x ; distancia de la propela al muro

U_{\max} ; velocidad de flujo máximo

D_0 ; diámetro inicial del flujo, en este caso $D_p=D_0$

A ; coeficiente que depende de la relación H_p/D_p

H_p ; longitud desde el eje de la propela hasta el fondo marino

a ; factor que depende de la limitación de fondo y el nivel del agua 6

U_b ; velocidad del flujo en el fondo debido a limitaciones laterales que se encuentren entre 5 a $10 H_p$

5.1.6.3 Viento

La velocidad de los vientos genera una fuerza al entrar en contacto con el agua y esto genera un desplazamiento de masa, de esta manera se genera otro tipo de corrientes, en las que su magnitud esta en función la velocidad de los vientos, así, se presenta la siguiente ecuación que nos permite determinar la velocidad de la corriente generada por viento, después de obtener la velocidad de la corriente provocada por el viento con ayuda de la formula de Morrison es posible determinar las fuerzas que genera este tipo de corrientes

Formula de Eckman

$$U = U_s e^{-az} \cos(45^\circ - az)$$

$$V = U_s e^{-az} \operatorname{sen}(45^\circ - az)$$

$$a = \pm \sqrt{\frac{\rho_w \Omega \operatorname{sen} \phi}{\mu}}$$

Donde:

U; velocidad del viento

V; componente de la velocidad de la corriente en dirección del viento

U_s; velocidad absoluta de la corriente en la superficie

Z; coordenada vertical con desarrollo positivo hacia abajo

ρ_w; densidad del agua

Ω; velocidad angular de la tierra

φ; grados latitud

μ; viscosidad del agua

5.1.7 Viento

Para considerar de manera adecuada la fuerza que ejerce el viento sobre la subestructura y superestructura del muelle en condiciones de operación es necesario hacer notar que el mayor valor de esta se presenta de cuando el buque esta atracado en el muelle, la gran área de exposición del crucero el viento genera una fuerza mayor y que esta puede recaer sobre el muelle, las ecuaciones para establecer la fuerza y momento que el viento genera sobre el muelle con base a la referencia 1 son:

$$R_v = \frac{\rho}{2g} * C_v * V_v^2 * (A_T \cos^2 \alpha + A_L \operatorname{sen}^2 \alpha) - \frac{C_v * V_v^2}{16000} * (A_T \cos^2 \alpha + A_L \operatorname{sen}^2 \alpha)$$

$$\operatorname{tg} \phi = \frac{A_L}{A_T} * \operatorname{tg} \alpha$$

$$F_{LV} = R_v * \cos \phi$$

$$F_{TV} = R_v * \operatorname{sen} \phi$$

$$M_{TV} = F_{TV} * e = F_{TV} * K_e * L$$

R_v; fuerza resultante horizontal, en ton

φ; ángulo formado entre el eje longitudinal del buque, considerado de popa a proa, y la dirección de la resultante en grados

F_{TV}; Componente en el sentido transversal del buque de la fuerza resultante, en ton

F_{LV}; Componente en el sentido longitudinal del buque de la fuerza resultante, en ton

M_{TV}; Momento resultante aplicado sobre un eje vertical que pasa por el centro de gravedad del buque, en ton m

ρ; peso específico del aire (1.225x10⁻³ ton/m³)

g; Aceleración de la gravedad (9.81 m/s²)

C_v; Factor de forma adimensional

Puede variar entre 1 y 1.3, a falta de una determinación más precisa mediante estudios en modelo, se adoptará el valor de 1.3 para cualquier forma del buque y dirección de actuación del viento α ; ángulo formado entre el eje longitudinal del buque, considerado de proa a popa, y la dirección de actuación del viento, en grados. Se considerará que el viento puede actuar en cualquier dirección.

V_v ; velocidad básica horizontal del viento de proyecto correspondiente a 10 m de altura, en m/s, supuesta constante para toda la altura

A_T ; área de proyección transversal del buque expuesta a la acción del viento, en m^2

A_L ; área de la proyección longitudinal del buque expuesta a la acción del viento, en m^2

A_T ; $B^*(G+h_T)$

A_L ; $L_{pp}*(G+h_L)$

B ; Manga del buque

G ; Franco bordo del buque = Puntal – Calado

L_{pp} ; Eslora entre perpendiculares del buque

h_T ; altura medida de la superficie de la superestructura del buque por encima de la cubierta, proyectada sobre un plano transversal

h_L ; altura medida de la superficie de la superestructura del buque por encima de la cubierta, proyectada sobre un plano longitudinal

Con ayuda de las ecuaciones anteriores podemos observar que la fuerza de nuestro interés y que actúa de manera directa sobre el muelle es F_{TV} , al obtener su valor para condiciones de viento normales es posible determinar el empuje que sufre el muelle de acuerdo con el viento de diseño.

Algunos de los valores antes mencionados, no son proporcionados como datos del buque de diseño, para continuar con el análisis estos valores serán obtenidos de la referencia 1 de acuerdo con el peso más próximo del buque de diseño.

La presión provocada por los vientos será determinada por las ecuaciones que se encuentran en el reglamento de construcciones del Distrito Federal (Ref. 15), estas ecuaciones, consideran la forma de la estructura dentro de un coeficiente y la velocidad del viento, así la expresión se escribe como sigue:

$$p_z = 0.048C_p v_d^2$$

C_p = coeficiente local de presión que depende de la forma de la estructura

V_d = velocidad de diseño

En nuestro caso el coeficiente de $C_p=1$, mientras que la velocidad de diseño será considerada como la velocidad ocasionada por el fenómeno meteorológico

5.1.8 Socavación

Para determinar la socavación que se genera por diferentes causas, ya sea por oleaje o propelas es necesario establecer algunas funciones matemáticas que nos permitan establecer dichos valores. Los modelos matemáticos que se conocen para este tipo de estudios cuenta con un intervalo de análisis muy marcado, dentro de las consideraciones que se deben establecer se encuentran, la ubicación geográfica de la zona, tipo de oleaje ya sea rompiente o no rompiente, granulometría del suelo, periodo y altura de ola, ángulo de incidencia del oleaje sobre la costa.

Con base en estos elementos establecer un método que nos permita cuantificar de forma aproximada la socavación en la zona, es debido a esto para cuantificar de manera precisa es más conveniente realizar algún tipo de prueba que demuestre la cantidad de socavación generada por oleaje, propelas o que permita ajustar algún modelo matemático que cuantifique la socavación con una mayor eficiencia.

A continuación se muestran algunos modelos matemáticos para determinar la socavación por oleaje y propelas de cruceros, siendo estos dos factores los que más influyen en la socavación de playas.

5.1.8.1 Oleaje

El método del CERC se muestra a continuación, este diseñado para unidades del sistema ingles,

$$Q_s = 125E_a$$

$$E_a = \frac{E_0}{2} Kr^2 (86400/T) \text{sen} \alpha \text{cos} \alpha$$

$$E_0 = \frac{\gamma H_0^2 L}{8000000}$$

Donde

Q_s ; transporte litoral (Yd³/día)

γ ; peso específico del agua (lb/ft³)

H_0 ; altura de la ola en aguas profundas

Kr ; coeficiente de refracción en la rompiente

L ; longitud de la ola en la rompiente (ft)

α ; ángulo de incidencia (°)

5.1.8.2 Propelas

El gran aumento en las dimensiones de los barcos, y la potencia que deben generar los mecanismos de propulsión que mueven estas embarcaciones de gran tamaño, tienen como resultado que se realice un estudio de socavación que pudieran generar estos mecanismos.

La subestructura de los muelles debe contar con una protección para la socavación que provocan las corrientes marinas y el oleaje, el efecto de la corriente generada por las propelas no genera riesgo para la subestructura, sin embargo el moviendo de materiales de fondo provocado por los mecanismos de propulsión si puede provocar una acumulación de arena en lugares poco adecuados ya sea en la parte de fondo del muelle o en los alrededores produciendo una reducción en el canal de navegación, además de esto, muelles muy próximos a zonas que tienen arrecifes de coral y debido a el alcance de la corriente generada por la propela se puede depositar arena sobre los arrecifes provocando cambio en el medio natural desfavorable para este tipo de zonas protegidas.

De acuerdo con lo anterior y considerando que nuestro análisis esta realizado en un suelo no cohesivo se establecen las ecuaciones necesarias para determinar el arrastre y erosión de material provocado por las propelas con base a la referencia 12.

Con las ecuaciones mencionadas a continuación y con ayuda de la figura 1-15 de la referencia 12, es posible establecer si las fuerzas que generan las propelas provoca erosión

$$\frac{D_{50}}{h} = \left(\frac{U_{b(cr)}}{B_1(k^1\psi_{cr}g\Delta h)} \right)^{2.5}$$

$$D_{50} > \frac{KU_b^2}{g\Delta}$$

$$Z_{\max} = 0.004H_p \left(\frac{F_0}{H_p / D_0} \right)^{2.9}$$

$$F_0 = \frac{U_0}{\left[gd_s \frac{(w_s - w)}{w} \right]^{0.5}}$$

$$F_s = \frac{\tau_0}{(w_s - w)d_s}$$

$$\tau_0 = 0.5c_f \rho V^2$$

Donde:

d_s ; diámetro de las partículas de fondo

$C_f = 0.06$

τ_0 ; fuerza cortante de material de fondo

V ; velocidad de cortante

h ; profundidad de fondo

$U_{b(cr)}$; velocidad crítica de fondo que provoca erosión

B_1 ; Coeficiente estimado de flujo

Flujo de gran turbulencia $B_1=5-6$

Turbulencia media $B_1=7-8$

Turbulencia menor $B_1=8-10$

k^1 ; factor de reducción por inclinación

$$k^1 = (1 - \frac{\sin^2 \alpha}{\sin^2 \phi})^{0.5}$$

donde:

α ; ángulo de inclinación del material

ϕ ; ángulo de fricción interna del material de fondo

ψ_{cr} ; parámetro de protección

Para reposo absoluto $\psi_{cr}=0.03$

Para comienzo de inestabilidad $\psi_{cr}=0.04$

Para movimiento $\psi_{cr}=0.06$

Z_{max} ; distancia de alcance de la corriente

H_p ; longitud desde el eje de la propela hasta el fondo marino

F_0 ; número de fraude

D_0 ; diámetro inicial del flujo, en este caso $D_p=D_0$

D_{50} ; diámetro medio del material

K ; coeficiente que varía entre 1 y 2, para este caso se recomienda 1.3

U_b ; velocidad del flujo en el fondo debido a limitaciones laterales que se encuentren entre 5 a $10 H_p$

$\Delta=\rho/\rho_w-1$

5.1.9 Marea

La marea se establece como el cambio del nivel medio del mar producido por fuerzas gravitacionales principalmente, dentro de este fenómeno existe un movimiento de la masa de agua. El movimiento de agua ocasiona que suba o baje el nivel medio del mar con forme a el ciclo de la marea.

El aumento de marea provoca que la distancia entre el nivel del mar y su fondo marino aumente, ocasionando oleaje con mayor altura se acerca mas a la costa; este factor provoca que la subestructura del muelle reciba oleaje de mayor altura en condiciones normales. De igual manera la marea de tormenta representa un movimiento de masa generado por el fenómeno meteorológico, el aumento generado por la tormenta tropical es posible aproximarlos mediante el método del huracán o con base en un análisis de probabilidad con ayuda de los registros con los que se cuenta.

Dentro del capítulo anterior se observo el nivel de marea provocado por el huracán Wilma (método del huracán estándar Rfe. 1-), mientras que un nivel de pleamar máxima se presento con base a tablas de registros de este fenómeno (Ref. 10).

De acuerdo con los datos establecidos por un periodo de retorno $T=20$ años, las características presentadas por el oleaje son de valores altos y que considerando el nivel medio del mar como base, la mayor parte de la subestructura se encuentra en zona de oleaje rompiente que tiene una mayor disipación de energía en un periodo de tiempo menor, así, el diseño que se propone considera que todas los elementos de la subestructura están expuestos a las mismas fuerzas generadas por el oleaje, con esta consideración el aumentar el nivel del mar no influye de manera trascendente sobre nuestro estudio, por lo que este fenómeno no será considerado en este diseño.

Sin embargo, este efecto no deja de ser importante y deberá considerarse para objeto de operatividad del muelle y permanencia de los buques en la infraestructura portuaria.

5.1.10 Temperatura

La variación de temperatura en la zona de proyecto es de gran importancia y radica en el diseño para la estructura de acero y concreto, de no tomarse en cuenta o diseñar bajo la consideración de una temperatura no adecuada puede provocar que la estructura sufra agrietamiento en su proceso constructora o que en su proceso de operación.

5.1.11 Sismo

Existen diferentes métodos que consideran una serie de variables distintas que permiten establecer un correcto funcionamiento de la estructura con base a la clasificación con la que cuenta, esta clasificación y los elementos necesarios que se presentan a continuación pueden ser consultados en la referencia 11

La zona de proyecto se encuentra localizada dentro la zona sísmica A con base a los capítulos anteriores podemos establecer que el tipo de suelo puede ser considerado como de tipo II, debido a las características de la estructura y su uso, se considera como una estructura tipo B, de esta forma se obtienen los siguientes coeficientes

Factor de comportamiento sísmico $Q=2$

Coefficiente sísmico $c=0.16$

El procedimiento para este análisis es mediante el método estático el cual se describe a continuación:

1. Calcular fuerzas laterales aplicadas en los centro de masa que produzcan efectos equivalentes a la acción sísmica.
2. Distribuir las fuerzas laterales del paso uno y los momentos torsionantes asociados a dichas fuerzas entre los sistemas resistentes a carga lateral que forman la estructura, como son, marcos, muros o combinaciones de estos..
3. Analizar como sistema resistente ante las cargas laterales que le correspondan.

5.1.12 Modos de comportamiento, criterios de análisis

Con ayuda de las solicitaciones establecidas en la tabla 5.2 y que fueron desarrolladas se procede a realizar un estudio de estabilidad para garantizar que la estructura propuesta cumpla con los requisitos de estabilidad y que esto nos permita garantizar un correcto funcionamiento del muelle, ya sea en condiciones de operación normal o con base a las solicitaciones propuestas para un evento extremo como lo es un sismo o un fenómeno meteorológico como un huracán.

Dentro de la propuesta se encuentran tres tipos de subestructura que son: columnas a base de elementos prefabricados(dovelas), pilas ancladas hasta un estrato poco cohesivo y sin llegar a un estrato resistente, columna a base de tabla-estaca. Con base en esto se presentan a continuación los métodos de análisis necesarios y los factores de seguridad a considerar

5.1.12.1 Criterios de estabilidad para elementos prefabricados.

5.1.12.1.1 Revisión por Volteo

$$\frac{M_r}{\sum F_v} = \frac{\sum M_v - \sum M_h}{\sum F_v}$$

M_r ; momento resultante

$\sum M_v$; suma de momentos verticales

$\sum M_h$; suma de momentos horizontales

ΣF_v ; suma de fuerzas verticales

5.1.12.1.2 Revisión por Deslizamiento

$$\frac{\sum F_h}{\sum F_v}$$

$$F_c = \frac{\sum F_v \tan \Phi + CA}{|\sum F_h|}$$

$$F_s = \frac{\mu \sum F_v}{\sum F_h}$$

ΣF_h ; suma de fuerzas horizontales

μ ; factor de seguridad de acuerdo con las fuerzas actuantes, en este caso con valor de 0.7

Φ ; ángulo de fricción interna del material (concreto 45°)

C; cohesión del material (concreto 0.7)

A; área de la superficie de desplante o de la sección horizontal a cualquier elevación

5.1.12.1.3 Revisión por Esfuerzos Permisibles

$$\sigma_{AB} = \frac{\sum F_v}{A} \pm \frac{M}{I} y_{\max}$$

$$I = \frac{bh^3}{12}$$

σ_{AB} ; esfuerzos actuantes sobre el material (concreto $\sigma=2500\text{ton/m}^2$)

M; diferencia de $\Sigma M_h - \Sigma M_v$

A; área de la superficie de desplante o de la sección horizontal a cualquier elevación

I; momento de inercia del área A

y_{\max} ; distancia al centro de la figura, debido a que es la distancia mas desfavorable

5.1.12.2 Criterios de estabilidad para pilas ancladas en un estrato poco cohesivo y columnas a base de tabla-estaca

Con forme a la referencia 13 y considerando que cada uno de los elementos se encuentra desplantado sobre un material poco cohesivo (espesor infinito) debido a que no conocemos de manera exacta la profundidad de este, podemos utilizar las siguientes ecuaciones:

$$H_U = \frac{0.5\gamma dK_p L^3}{e + L}$$

$$f = 0.82 \sqrt{\frac{H_U}{dK_p \gamma}}$$

$$H_U = \frac{3}{2} \gamma dK_p f^2$$

$$M_{\max} = H_U \left(e + \frac{2}{3} F \right)$$

Donde:

H_u ; resultante de fuerzas horizontales ejercidas sobre la estructura

γ ; peso volumétrico en este caso de la arena (2100 kg/m^3)

K_p ; Factor de resistencia lateral en la superficie de tierra, figura 7.7 Ref. 17 ($k_p=4$)

L ; longitud del elemento

D ; diámetro del elemento

f ; distancia del nivel de fondo hacia el momento máximo

e ; distancia del punto de aplicación de la fuerza a el nivel de fondo

Además de esto también resulta conveniente determinar la capacidad de carga de los elementos considerando que están hincados en arena con una densidad $\rho=2100 \text{ kg/m}^3$ y un ángulo de fricción interna $\phi=33^\circ$ (este valor es propuesto con base en la Ref. 18)

$$Q_{fr} = \pi D \left(\frac{1}{2} K_0 \gamma L \tan \delta \right) L$$

5.2 PARÁMETROS DE OPERATIVIDAD.

Las condiciones de operación de un muelle se establecen como los intervalos bajo los cuales es posible operar el muelle de manera adecuada, ya sea para atraque de buques, paralización de las operaciones y permanencia de los buques en el muelle. Bajo estos supuestos se establecen los límites para los fenómenos metaoceánicos como son: oleaje, corrientes y vientos, de acuerdo con estos intervalos será posible establecer el porcentaje de operatividad muelle.

El determinar los extremo de estos fenómenos naturales esta en función de un gran número de variables como: características de la embarcación de diseño, número de remolcadores disponibles, sistemas de defensa de los muelles, orientación de la superestructura y características particulares del lugar

El establecer los parámetros de diseño para el atraque de embarcaciones en los muelles depende directamente de realizar un análisis estadístico de los registros de los datos metaoceánicos con los que se cuente, sin embargo este estudio puede estar limitado a una estructura en específico. Para poder establecer un intervalo general, es decir, que sea valido para diferentes muelles y diferentes embarcaciones es necesario realizar un estudio mas detallado. Existen actualmente parámetro de operatividad que garantizan dentro de sus intervalos una correcta operación de las embarcaciones en sus diferentes etapas en los muelles, así, con base en la referencia 7 es posible presentar la tabla 5.6 en la cual se observan los parámetros de operatividad y permanencia.

Para comprender con mayor claridad la tabla que muestra los factores limites de operaciones necesario establecer las siguientes definiciones.

Atraque de buques: Se refiere al tiempo que tarda el buque en hacer la maniobra de atraque o de salida del muelle.

Paralización de operaciones: Tiempo que tarda la embarcación mientras se realiza el embarque y desembarque.

Permanencia de buques en muelle: Tiempo que se lleva el buque atracado en el muelle.

FACTORES LIMITES EN LA OPERACIÓN DE LOS CRUCEROS EN MUELLES			
CONDICIONES	VIENTO	CORRIENTE	OLEAJE
	[m/s]	[m/s]	[m]
ATRAQUE DE BUQUES			
* Acciones en sentido longitudinal al muelle	17	1.0	2.0
* Acciones en sentido transversal al muelle	10	0.1	1.5
PARALIZACION DE OPERACIONES			
* Acciones en sentido longitudinal al muelle	22	1.5	0.5
* Acciones en sentido transversal al muelle	22	0.5	0.3
PERMANENCIA DE BUQUES EN MUELLE			
* Acciones en sentido longitudinal al muelle	22	1.5	1.0
* Acciones en sentido transversal al muelle	22	0.7	0.7
$V_{10-1 \text{ min}}$	Velocidad media del viento, correspondiente a 10 m de altura y ráfaga de 1 minuto.		
$V_{C-1 \text{ min}}$	Velocidad media de la corriente, correspondiente a una profundidad del 50 % del calado del buque, en un intervalo de un minuto.		
Hs	Altura de la ola significativa del oleaje (para estudios de mayor precisión, se considerará la influencia del período).		
Longitudinal	Se entenderá que el viento, la corriente o el oleaje actúan longitudinalmente, cuando su dirección está comprendida entre el sector de $\pm 45^\circ$ con el eje longitudinal del buque.		
Trasversal	Se entenderá que el viento, la corriente o el oleaje actúan longitudinalmente, cuando su dirección está comprendida entre el sector de $\pm 45^\circ$ con el eje transversal del buque.		

Tabla 5.5 Factores limites de operación de acuerdo con la referencia 7

Es importante resaltar que la tabla 5.6 esta totalmente referida a embarcaciones tipo crucero, debido a que con ayuda de esta podremos proponer una estructura adecuada en el capítulo siguiente.

5.3 PARÁMETROS DE PERMANENCIA.

Estos parámetros están referidos a los tiempos necesarios para realizar maniobras de protección a la infraestructura del muelle, estas varían de acuerdo a si se encuentra un buque en atraque o no, además del tipo de estructura que necesita modificaciones, la disponibilidad de medios de remolque

para sacar los buques de los puestos de atraque y de las condiciones de que el buque pueda navegar controladamente hacia otros muelles, fondeaderos o áreas de navegación exterior.

Los factores de permanencia que serán considerados en este estudio están basados en la referencia 7 y son presentados en la tabla 5.6

CAPÍTULO 6 PROPUESTA DE MEJORA ESTRUCTURAL.

En el capítulo que se presenta a continuación se realiza una propuesta de mejora estructural que tiene como base de análisis los parámetros de diseño que fueron mencionados en el capítulo anterior, así, con base en los modelos matemático, las características de los fenómenos metaoceánicos propuestas para un determinado periodo de retorno, y las combinaciones de carga para las diferentes condiciones, se propone una mejora estructural que permita garantizar una infraestructura que resista los efectos antes mencionados, de encontrar limitaciones en estas estructuras para resistir los fenómenos meteorológicos se presentaran los motivos que originan que la estructura no sea confiable bajo estos efectos.

Se realiza la propuesta de tres opciones con una estructuración distinta, por medio de elementos prefabricados o dovelas, pilotes y tabla-estaca; cada una de éstas cuenta con una geometría distinta. Para observar con mayor claridad los resultados del análisis numérico, los resultados del estudio se presentan en tres tablas, dentro de cada una de ellas se encuentra la geometría de la subestructura, de la superestructura y su comportamiento bajo las solicitaciones de carga propuestas.

6.1 ESTRUCTURACIÓN PROPUESTA.

DISEÑO POR ELEMENTOS PREFABRICADOS			
COLUMNA		LOSA	
largo(m)	5	largo(m)	10
ancho(m)	5	ancho(m)	16
Altura(m)	14	espesor(m)	0.8
# de columnas	3	primer tercio(m)	5.000
		tercer tercio(m)	10.000

Tabla 6.1 Características geométricas de la subestructura y superestructura de un diseño por medio de elementos prefabricados

DISEÑO PILOTES			
COLUMNA		LOSA	
Díámetro(m)	0.800	largo(m)	10
altura(m)	14	ancho(m)	15
Profundidad de penetración	20	espesor(m)	0.8
# de pilotes	4		

Tabla 6.2 Características geométricas de la subestructura y superestructura de un diseño por medio de pilotes

DISEÑO POR TABLA- ESTACA			
COLUMNA		LOSA	
largo(m)	6	largo(m)	10
ancho(m)	6	ancho(m)	15
Altura(m)	14	espesor(m)	0.8
Profundidad de penetración	7		

Tabla 6. 3 Características geométricas de la subestructura y superestructura de un diseño por medio de tablaestaca

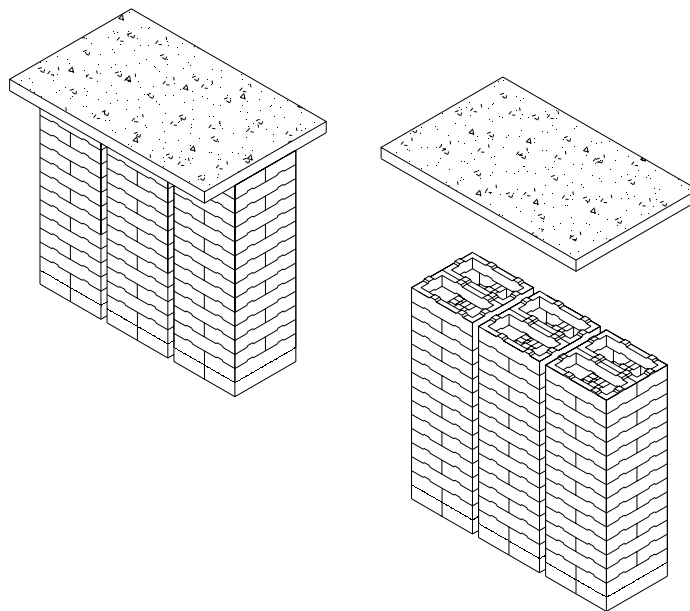


Figura 6.1 Geometría propuesta para diseño con elementos prefabricados

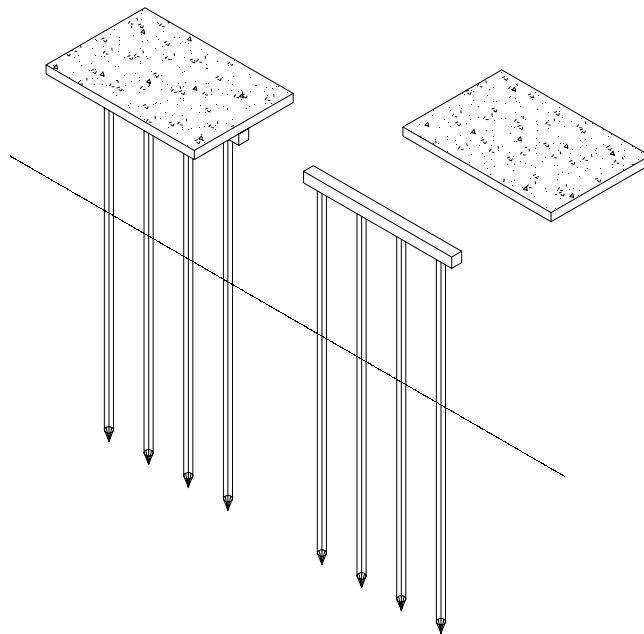


Figura 6.2 Geometría propuesta para el diseño con pilotes de punta

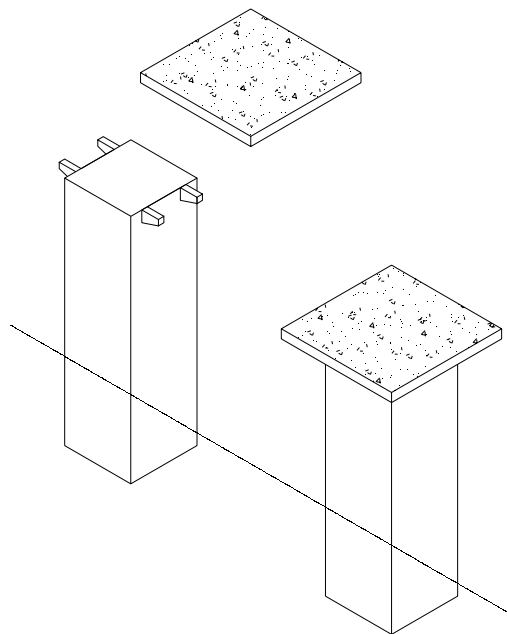


Figura 4.3 Geometría propuesta para el diseño por elementos de tabla-estaca

El análisis de riesgo comprende un diseño para la superestructura tal que resista un conjunto de solicitaciones menores a las que resiste la subestructura así, se provoca el colapso de esta y esto origina que el área de impacto disminuya garantizando que la subestructura no sufra daños importantes.

Las tablas presentadas anteriormente y que contienen las propiedades geométricas de cada una de las infraestructuras propuestas, en el siguiente apartado se presenta el comportamiento bajo los parámetros de diseño propuestos en el capítulo 5 y para las diferentes condiciones, normales, sismo y extremas

6.2 COMPORTAMIENTO ESPERADO.

El análisis que se realiza para condiciones normales, sismo y un periodo de retorno de 20 años se presenta en las tablas, 6.4, 6.5 y 6.6 respectivamente; dentro de estas se puede observar que las estructuras de pilotes y tabla-estaca propuesta cumplen de manera adecuada para cada una de las combinaciones de carga.

En un análisis por riesgo que se encuentra en la tabla 6.7 se presenta un cambio en las condiciones en las que será afectada la superestructura considerando las condiciones menores, estas son las características que presentó el huracán Wilma a su paso por Cozumel, así para determinar el diseño de esta estructura se consideran efectos menores, esto ocasiona que la falla se presente en un menor periodo de tiempo, de esta manera se reduce el área de impacto de los fenómenos meteorológicos, principalmente el oleaje provocando así una menor presión sobre la subestructura. El análisis por riesgo incluye de manera directa en el diseño estructural de los elementos ocasionando un cambio en estos y fijando como objetivo proteger la subestructura, es debido a esto que el diseño de la subestructura se realiza para solicitaciones menores en comparación a los efectos bajo los cuales será diseñada la subestructura. Es importante destacar que para el correcto funcionamiento de la subestructura bajo un análisis de riesgo la estabilidad de esta no debe depender en ningún momento de la superestructura, así este componente de la estructura no considera cargas como el atraque del barco o influye en la estabilidad de la subestructura.

En lo que respecta el diseño por elementos prefabricados propuesto se observa que la estabilidad de este elemento esta condicionada a la superestructura y que debido a esto las condiciones de volteo son demasiado grandes provocando poca seguridad en la estructura en condiciones normales, así también, en el análisis por sismo para esta estructura este elemento presenta un volteo considerable, dentro de este diseño no se resisten efectos meteorológicos de un periodo de retorno de 20 años, por lo que esta estructura es poco confiable y no recomendable.

FUERZAS ACTUANTES EN CONDICIONES NORMALES										
TIPO/FUERZA	Z(m)	DOVELAS		PILOTES		TABLA ESTACA		D I R	E J E	
		ton	M(ton m)	ton	M(ton m)	ton	M(ton m)			
Muerta	5.50	-1722.60	-9474.300	-319.603	-1757.814	-964.128	-5302.704	-1	y	
Viva(uniforme) viva(concentrada)	7.50	-150.000	-1125.000	-150.000	-1125.000	-150.000	-1125.000	-1	y	
Flotación (subpresión)	7.50	2554.20	19156.50	91.298	684.737	408.672	3065.040	1	y	
Atraque de buque	11.00	99.827	1098.092	99.827	1098.092	99.827	1098.092	1	x	
Oleaje	11.00	58.283	641.114	9.325	102.578	69.940	769.336	1	x	
Corriente sobre buque	marina	NBM	trans	ton	0.653			**	**	
	por viento	NBM	trans	ton	30.055			**	**	
Corriente sobre subestructura	marina	11.00	0.014	0.154	0.002	0.025	0.017	0.185	1	x
	propelas	0.36	107.538	38.714	17.206	6.194	129.045	46.456	1	x
	por viento	10.67	0.417	4.453	0.067	0.712	0.501	5.343	1	x
viento	estructura	14.00	22.178	310.489	3.548	49.678	26.613	372.587	1	x
	buque		trans	ton	10.033			**	**	
Socavación (m³/día)	oleaje	m³/día	24186.686					**	**	
	propelas	***	existe arrastre de sedimentos					**	**	
Marea								**	**	
Temperatura								**	**	
resultante	X		288.256	2093.015	129.975	1257.280	325.942	2292.000	+	x
	Y		681.600	8557.200	-378.304	-2198.077	-705.456	-3362.664	-	y
MODOS DE COMPORTAMIENTO, CRITERIOS DE ANALISIS										
ELEMENTOS PREFABRICADOS-DOVELAS										
DIMENSIONES										
COLUMNA		LOSA		VOLTEO		9.484	No existe volteo			
largo(m)	5	largo(m)	10							
ancho(m)	5	ancho(m)	15	DESOLIZAMIENTO		F _s =	1.655	F _c >F _s		
Altura(m)	14	espesor(m)	0.8			F _c =	2.425	no desliza		
# de columnas	3	1r tercio(m)	5.000	CORTANTE		σ _{columna}	33.513	<σ _{conc}		
		3r tercio(m)	10.000			No falla por cortante				
PILOTES										
DIMENSIONES										
COLUMNA		LOSA		Ors(ton)	4098.470	>	378.304			
Diámetro(m)	0.800	largo(m)	10	Hu(ton)	867.097	>	ΣF _h	129.975		
altura(m)	14	ancho(m)	15	f(m)	9.31					
Profundidad de penetración	20	espesor(m)	0.8	Mmax(ton m)	14922.49	>	ΣM _h	1257.280		
# de pilotes	4									
TABLA -ESTACA										
DIMENSIONES										
COLUMNA		LOSA		Ors	1295.432	>	705.456			
largo(m)	6	largo(m)	10	Hu(ton)	480.2000	>	ΣF _h	325.942		
ancho(m)	6	ancho(m)	15	f(m)	1.1059					
Altura(m)	14	espesor(m)	0.8	Mmax(ton m)	5636.241	>	ΣM _h	3362.664		

Tabla 6.4 Comportamiento de la infraestructura sobre condiciones normales

FUERZAS ACTUANTES EN CONDICIONES NORMALES MAS SISMO										
		DOVELAS		PILOTES		TABLA ESTACA		D I R	E J E	
TIPO/FUERZA	Z(m)	ton	M(ton m)	ton	M(ton m)	ton	M(ton m)			
Muerta	5.50	-1722.600	-9474.30	-319.60	-1757.81	-964.12	-5302.70	-1	y	
Viva(uniforme),viva(concentrada)	7.50	-150.000	-1125.00	-150.00	-1125.00	-150.00	-1125.00	-1	y	
Flotacion(subpresion)	7.50	2554.200	19156.50	91.298	684.737	408.67	3065.040	1	y	
Atraque de buque								**	**	
Oleaje	11.00	58.283	641.114	9.325	102.578	69.940	769.336	1	x	
Corriente sobre buque	marina							**	**	
	por viento							**	**	
Corriente sobre subestructura	marina	11.00	0.014	0.154	0.002	0.025	0.017	0.185	1	x
	propelas								1	x
	por viento	10.67	0.417	4.453	0.067	0.712	5.343	1	x	
viento	estructura	14.00	22.178	310.489	3.548	49.678	26.613	372.587	1	x
	buque								**	**
Socavación (m³/día)	oleaje	m3/día	24186.686						***	**
	propelas							**	**	
Sismo	14.00	551.232	7717.248	102.273	1431.819	308.52	4319.293	1	x	
Marea								**	**	
Temperatura								**	**	
resultante	X		632.124	8673.458	115.216	1584.813	405.59	5466.745	1	x
	Y		681.600	8557.200	-378.30	-2198.07	-705.45	-3362.66	-1	y
MODOS DE COMPORTAMIENTO, CRITERIOS DE ANALISIS										
ELEMENTOS PREFABRICADOS-DOVELAS										
DIMENSIONES										
COLUMNA		LOSA		VOLTEO		-0.171	existe volteo			
largo(m)	5	largo(m)	10							
ancho(m)	5	ancho(m)	15	DESLIZAMIENTO		F _s =	0.755	F _c >F _s		
Altura(m)	14	espesor(m)	0.8			F _c =	1.106	no desliza		
# de columnas	3	1r tercio(m)	5.000	CORTANTE		σ _{columna}	33.513	<σ _{con}		
		3r tercio(m)	10.000					no falla por cortante		
PILOTES										
DIMENSIONES										
COLUMNA		LOSA		Qrs(ton)	4098.47	>	378.30			
Diametro(m)	0.800	largo(m)	10	Hu(ton)	867.097	>	ΣF _h	115.216		
altura(m)	14	ancho(m)	15	f(m)	9.31					
Profundidad de penetración	20	espesor(m)	0.8	Mmax(ton m)	14922.4	>	ΣM _h	1584.813		
# de pilotes	4									
TABLA -ESTACA										
DIMENSIONES										
COLUMNA		LOSA		Qrs(ton)	1295.43	>	705.45			
largo(m)	6	largo(m)	10	Hu(ton)	480.200	>	ΣF _h	405.592		
ancho(m)	6	ancho(m)	15	f(m)	1.1059					
Altura(m)	14	espesor(m)	0.8	Mmax(ton m)	5636.24	>	ΣM _h	3362.664		

Tabla 6.5 Comportamiento de la infraestructura sobre condiciones normales y sismo

FUERZAS ACTUANTES EN CONDICIONES EXTREMAS Tr = 20 AÑOS										
TIPO/FUERZA		Z(m)	DOVELAS		PILOTES		TABLA ESTACA		D I R	E J E
			ton	M(ton m)	ton	M(ton m)	ton	M(ton m)		
Muerta		5.50	-1722.60	-9474.30	-319.60	-1757.81	-964.12	-5302.704	-1	y
Viva(uniforme) Viva(concentrada)									**	**
Flotacion(subpresion)		7.50	2554.20	19156.50	91.298	684.73	408.67	3065.040	1	y
Atraque de buque									**	**
Oleaje	subestructura	11.00	902.75	9930.33	144.441	1588.85	1083.31	11916.406	1	x
	losa	5.50	21.72	119.46	21.72	119.46	21.72	119.46	1	y
Corriente sobre buque	marina								**	**
	por viento								**	**
Corriente sobre subestructura	marina	11.00	0.014	0.154	0.002	0.025	0.017	0.185	1	x
	propelas								**	**
	por viento	10.67	83.856	894.46	13.417	143.115	100.628	1073.361	1	x
viento	estructura	14.00	4455.26	62373.70	712.842	9979.79	5346.31	74848.446	1	x
	buque								**	**
Socavación (m³/día)	oleaje	m3/día	1471802.92						**	**
	propelas								**	**
Marea									**	**
Temperatura									**	**
resultante	X		5441.893	73198.66	870.703	11711.78	6530.27	87838.398	+	x
	Y		853.320	9801.66	-206.584	-953.617	-533.736	-2118.204	-	y
MODOS DE COMPORTAMIENTO, CRITERIOS DE ANALISIS										
ELEMENTOS PREFABRICADOS-DOVELAS										
DIMENSIONES										
COLUMNA		LOSA		VOLTEO		-74.295	existe volteo			
largo(m)	5	largo(m)	10							
ancho(m)	5	ancho(m)	15	DESLIZAMIENTO		Fs=	0.110	Fc>Fs		
Altura(m)	14	espesor(m)	0.8			Fc=	0.160	no desliza		
# de columna	3	1r tercio(m)	5.000	CORTANTE		σcolumna	33.513	<σconcreto		
		3r tercio(m)	10.000					no falla por cortante		
PILOTES										
DIMENSIONES										
COLUMNA		LOSA		Qrs(ton)	4098.470	>	206.584			
Diámetro(m)	0.800	largo(m)	10	Hu(ton)	867.097	>	ΣFh	870.703		
altura(m)	14	ancho(m)	15	f(m)	9.31					
Profundidad penetración	20	espesor(m)	0.8	Mmax(ton m)	14922.49	>	ΣMh	11711.786		
# de pilotes	4									
TABLA -ESTACA										
DIMENSIONES										
COLUMNA		LOSA		Qrs(ton)	1295.432	>	533.736			
largo(m)	6	largo(m)	10	Hu(ton)	480.200	>	ΣFh	6530.272		
ancho(m)	6	ancho(m)	15	f(m)	1.1059					
Altura(m)	14	espesor(m)	0.8	Mmax(ton m)	5636.241	>	ΣMh	2118.204		

Tabla 6.6 Comportamiento de la infraestructura sobre condiciones extremas para Tr=20 años

°FUERZAS ACTUANTES EN CONDICIONES EXTREMAS Tr = HW										
		DOVELAS		PILOTES		TABLA ESTACA		D	E	
TIPO/FUERZA	Z(m)	ton	M(ton m)	ton	M(ton m)	ton	M(ton m)	R	J	
Muerta	5.50	-1722.60	-9474.30	-319.60	-1757.81	-964.12	-5302.70	-1	y	
Viva(uniforme) o viva(concentrada)								**	**	
Flotacion(subpresion)	7.50	2554.20	19156.50	91.298	684.737	408.672	3065.04	1	y	
Atraque de buque								**	**	
Oleaje	subestructura	11.00	902.758	9930.338	144.441	1588.85	1083.31	11916.4	1	x
	losa	5.50	15.25	83.875	15.25	83.875	15.25	83.875	1	y
Corriente sobre buque	marina							**	**	
	por viento							**	**	
Corriente sobre subestructura	marina	11.00	0.014	0.154	0.002	0.025	0.017	0.185	1	x
	propelas								**	**
	por viento	10.67	83.856	894.467	13.417	143.115	100.628	1073.36	1	x
viento	estructura	14.00	4455.26	62373.705	712.842	9979.79	5346.31	74848.4	1	x
	buque								**	**
Socavacion (m ³ /dia)	oleaje	m3/dia	1471802.92						**	**
	propelas								**	**
Marea								**	**	
Temperatura								**	**	
resultante	X		5441.893	73198.665	870.703	11711.78	6530.27	87838.3	+	x
	Y		846.850	9766.075	-213.054	-989.202	-540.206	-2153.78	-	y
MODOS DE COMPORTAMIENTO, CRITERIOS DE ANALISIS										
ELEMENTOS PREFABRICADOS-DOVELAS										
DIMENSIONES										
COLUMNA		LOSA		VOLTEO	-74.904		existe volteo			
largo(m)	5	largo(m)	10							
ancho(m)	5	ancho(m)	15	DESLIZAMIENTO	Fs=	0.109	Fc>Fs			
Altura(m)	14	espesor(m)	0.8		Fc=	0.159	no desliza			
# de columnas	3	1tercio(m)	5.000	CORTANTE	σcolumna	33.513	<σconc			
		3r tercio(m)	10.000				no falla por cortante			
PILOTES										
DIMENSIONES										
COLUMNA		LOSA		Qrs(ton)	4098.47	>	213.054			
Diametro(m)	0.800	largo(m)	10	Hu(ton)	867.097	>	ΣFh	870.703		
altura(m)	14	ancho(m)	15	f(m)	9.31					
Profundidad de penetracion	20	espesor(m)	0.8	Mmax(ton m)	14922.49	>	ΣMh	11711.786		
# de pilotes	4									
TABLA -ESTACA										
DIMENSIONES										
COLUMNA		LOSA		Qrs(ton)	1295.43	>	540.206			
largo(m)	6	largo(m)	10	Hu(ton)	480.200	>	ΣFh	6530.27		
ancho(m)	6	ancho(m)	15	f(m)	1.1059					
Altura(m)	14	espesor(m)	0.8	Mmax(ton m)	5636.24	>	ΣMh	2153.78		

Tabla 6.7 Comportamiento de la infraestructura en condiciones extremas para un análisis de riesgo Tr=20 años

6.3 ASPECTOS CONSTRUCTIVOS.

Cada uno de las estructuras propuestas en este capítulo tiene un proceso constructivo distinto aunque todos se rigen por un intervalo de condiciones meteorológicas aceptables que permitan realizar de manera adecuada los movimientos y trabajos para llevar de manera correcta el desarrollo del proyecto.

En general para realizar un proceso constructivo adecuado se deberá contar con condiciones meteorológicas adecuadas es decir, vientos reinantes que presenten velocidades que complique las maniobras de barcos o grúas, que se utilicen para colocar, la tabla estaca, pilotes o elementos prefabricados; corrientes que no provoquen un movimiento al colocar las dovelas o comenzar el hincado de los pilotes y por ultimo un oleaje adecuado que no origine que el ensamble de las dovelas pueda complicarse y sufrir un colapso o en su caso respectivo una inclinación no adecuada de los pilotes o la tabla estaca.

6.4 Costos.

El determinar un costo de manera directa sobre cada una de las propuestas antes mencionadas implicaría poder realizar una cuantificación de todos y cada uno de los materiales que será necesario utilizar en el proceso constructivo, a si como obra de mano, tiempo de operación de maquinaria y todos los requerimientos necesarios para establecer un correcto desarrollo de la obra; si los trabajos se realizan en suelo firme o en trabajos de zonas costa fuera

CAPÍTULO 7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

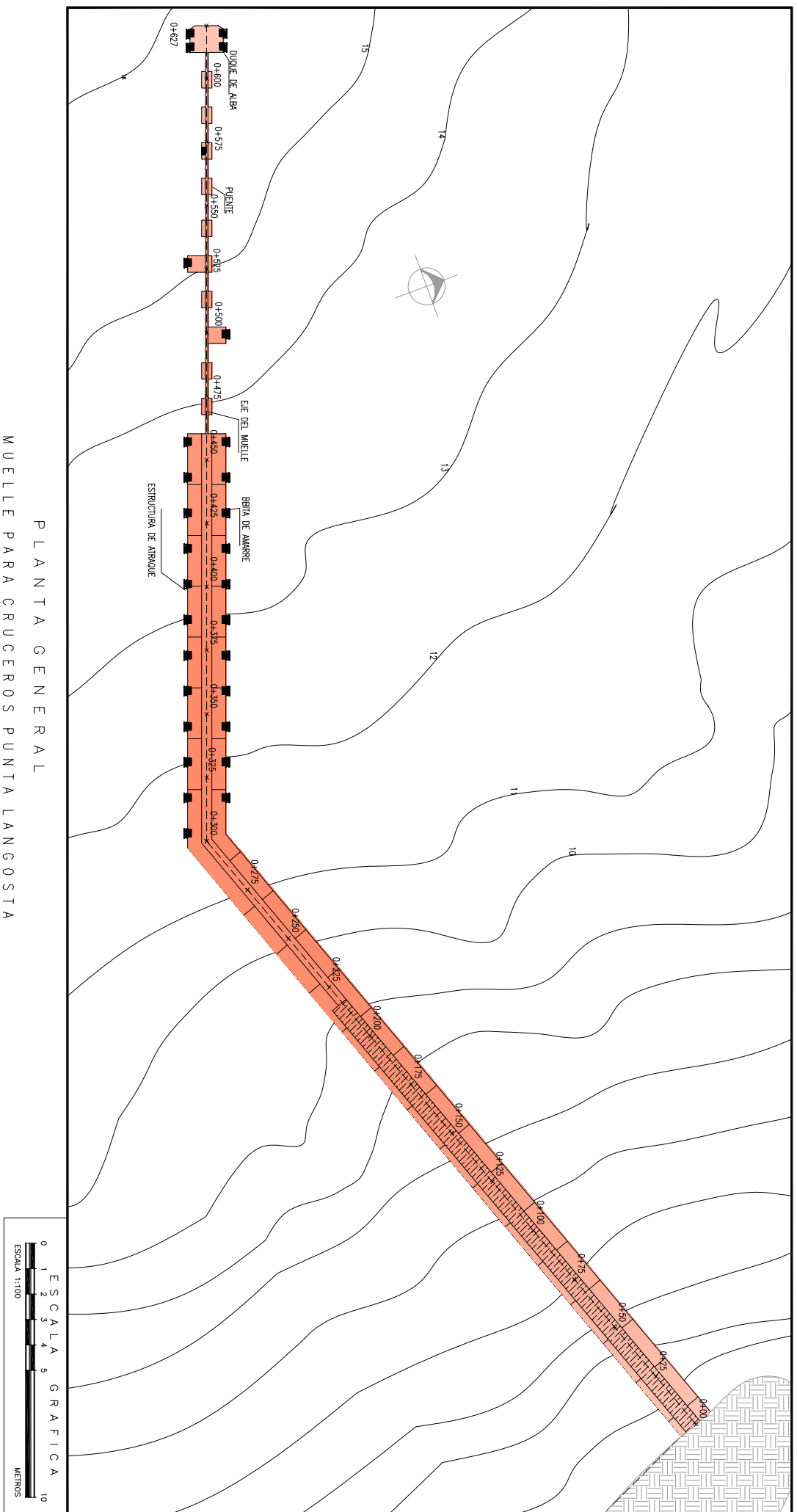
Con base en los estudios realizados a la infraestructura portuaria de Cozumel bajo los efectos ocasionados por el huracán Wilma, los análisis del comportamiento presentado por estas estructuras bajo las condiciones meteoceánicas, las propuestas de los parámetros de diseño y el comportamiento de las estructuras propuestas se cuenta con la posibilidad de establecer las conclusiones y recomendaciones sobre este estudio las cuales se presentan a continuación.

7.1. CONCLUSIONES.

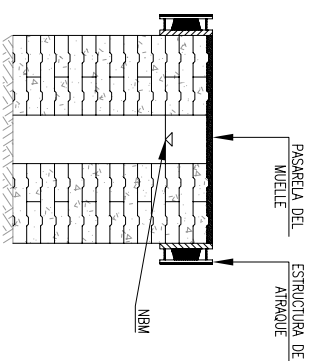
- Los efectos meteorológicos ocasionados por el huracán Wilma además de ser de una magnitud importante, su periodo de permanencia en la zona del mar caribe fue de un periodo aproximado de 12 horas, estos efectos ocasionaron que las estructuras portuarias estuvieran sujetas a fuerzas importantes dentro de un periodo de tiempo considerable.
- Debido a el periodo de permanencia del fenómeno y la exposición de la subestructura a el oleaje rompiente, se genera un efecto de socavación importante influyendo de manera mas importante sobre le muelle Puerta Maya debido a su tipo diseño.
- El aumento del nivel del mar debido a la marea de tormenta provoco que oleaje de mayor altura pudiera impactar sobre la subestructura y superestructura, esto provoca un aumento de presión sobre los componentes del muelle y que es directamente proporcional al área de exposición de los elementos.
- Si la estabilidad del muelle depende de la relación superestructura-subestructura, una falla en la superestructura debido a las fuerzas provocadas por el fenómeno meteorológico provocara un colapso total del muelle.
- El diseño de un muelle de gravedad por medio de elementos prefabricados o dovelas esta restringido a trabajar con base a un marco rígido con la relación superestructura-subestructura esto restringe en gran medida, el diseño del mismo y las condiciones extremas bajo las cuales esta estructura no podría sufrir daños mayores.
- La cimentación de las dovelas puede ser realizadas por tres método diferentes; construcción de losa de cimentación con empleo de bolsacreto; empleo de cimbra perimetral a las dovelas y sacos de grava, losa de cimentación con regulación del fondo marino.
- Todos y cada uno de los elementos debe considerar que un factor de seguridad asociados a cada uno de los modos de comportamiento del tipo de estructura propuesta.

7.2. RECOMENDACIONES

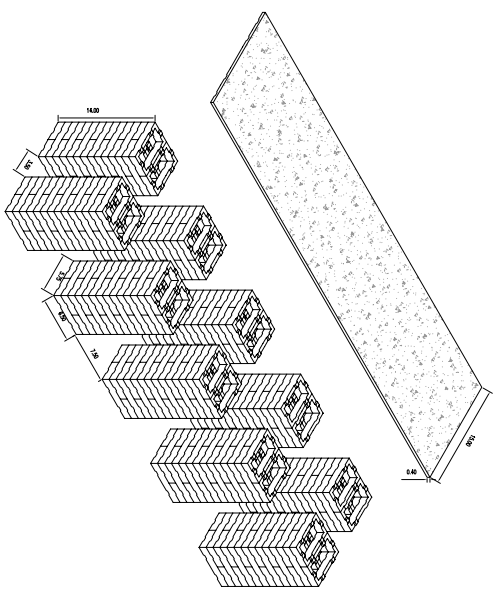
- Es necesario analizar con mayor detalle las condiciones físicas que actúan en la zona de estudio, tal es el caso de oleaje y corrientes, por medio de algún software que analice corriente y fenómenos de reflexión y refracción.
- Es necesario que se realice un estudio de geotecnia en las zonas donde se apoyarán las subestructura de los muelles, con el objeto de verificar las condiciones del sitio.
- Deberá plantearse la posibilidad de desarrollar un estudio de maniobrabilidad para verificar que las embarcaciones no presenten problemas durante la maniobra de atraque y desatraque que pongan en peligro la integridad de la embarcación y las estructuras que conforman el muelle.
- Se recomienda realizar una prueba en el sitio del concreto que se utilizará durante la construcción del muelle.
- Dentro de la propuesta a realizar es necesario establecer como objetivo reducir el área de impacto de los elementos y asegurar que la estabilidad de los elementos no dependa de la relación superestructura-subestructura.
- El diseño por riesgo implica garantizar la estabilidad de la subestructura y establecer métodos que permitan liberar riesgo de colapso debido a las fuerzas ejercidas por los fenómenos meteorológicos sobre la superestructura.



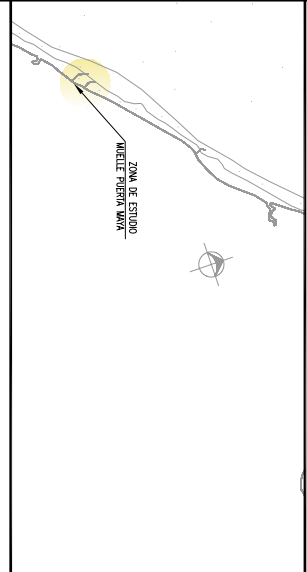
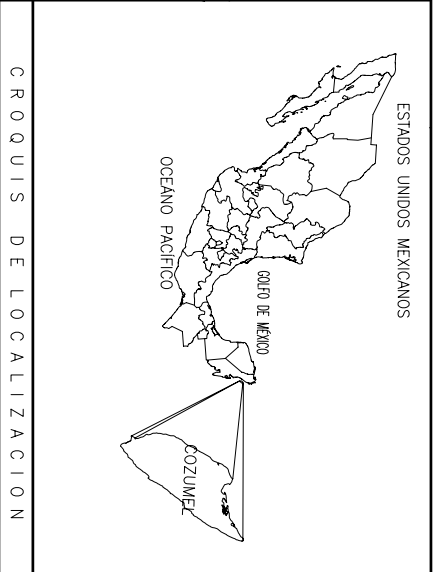
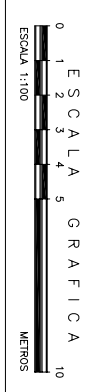
CUADRO DE CONSTRUCCION		
PUNTO DE LOCALIZACION	X	Y
0+00	502324.761	2264165.275
0+300	502324.197	2264375.549
0+627	502324.336	2264652.249



CORTE E - E ESCALA 1:400



ISOMETRICO
ESCALA 1:200



NOTAS

- * EL NIVEL DEL FONDO ES REPRESENTATIVA EN LOS CORTEES, ES NECESARIO CONSIDERAR LA BATHIMETRIA QUE SE ENCUENTRA EN LA PLANTA GENERAL
- * LAS COORDENADAS UTILIZADAS SON UTM, REFERIDAS EN LA ZONA 16
- * ACOLOCACIONES EN METROS, A MENOS DE QUE SE INDIQUE OTRA UNIDAD
- * EL NORTE CONSIDERADO, ES EL ASTRONOMICO

FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

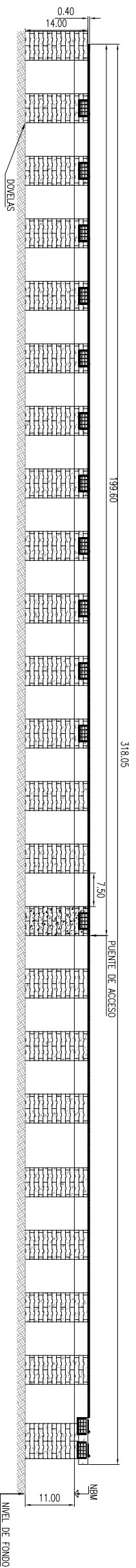
PROYECTO: ANALISIS DE LOS EFECTOS OCASIONADOS POR EL HURACAN WILMA SOBRE LA INFRAESTRUCTURA PORTUARIA DE COZUMEL Y PROPUUESTA DE PARAMETROS DE DISEÑO PARA MUELLES EN LA ZONA

PLANO: MUELLE PUERTA MAYA - PLANO GEOMETRICO

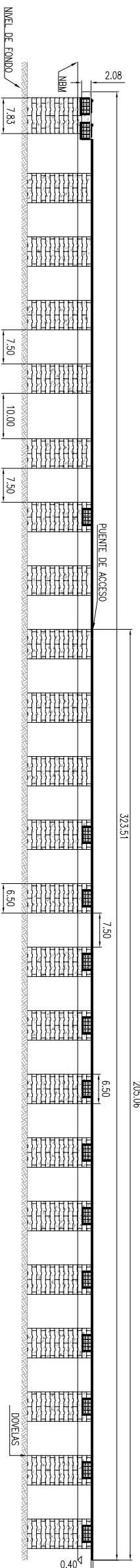
UBICACION: COZUMEL, QUINTANA ROO

DIBUJO: JOSE ANTONIO GONZALEZ VAZQUEZ FECHA: ABRIL 2008

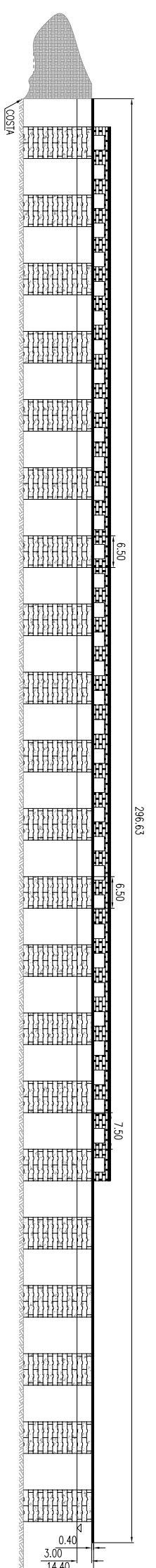
No. PLANO: 1/2 REG: 1 ESCALA DE PLOTO: 1:1



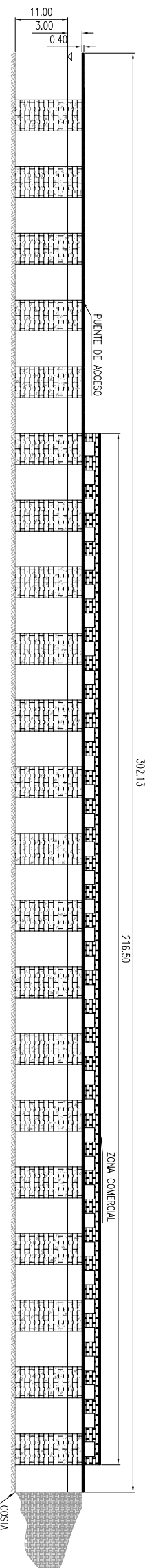
PASARELA DE ATRAQUE INTERIOR VISTA A - A ESCALA 1:200



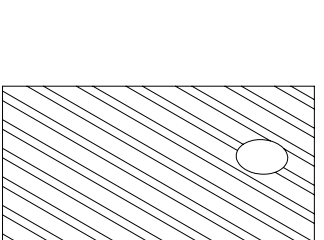
PASARELA DE ATRAQUE EXTERIOR VISTA B - B ESCALA 1:200



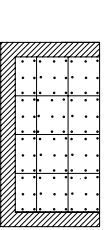
PASARELA DE ACCESO INTERIOR VISTA C - C ESCALA 1:200



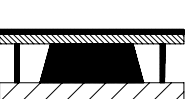
PASARELA DE ACCESO EXTERIOR VISTA D - D ESCALA 1:200



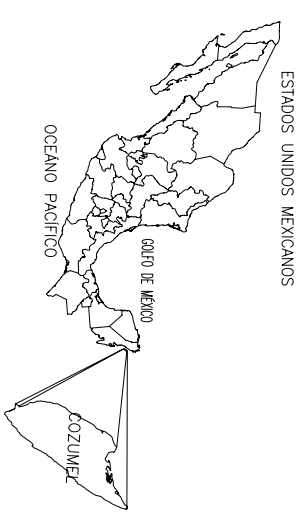
BITA DE AMARRRE ESCALA 1:200



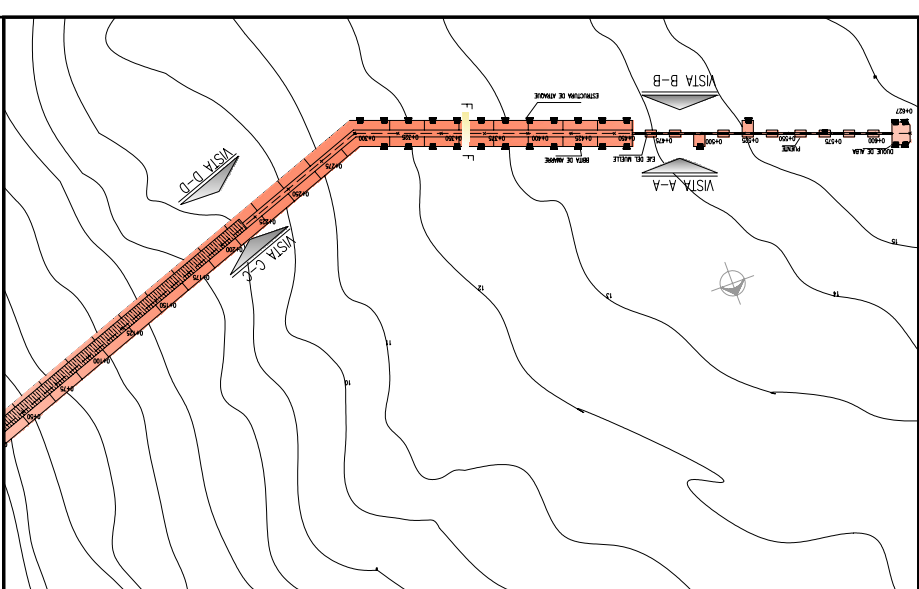
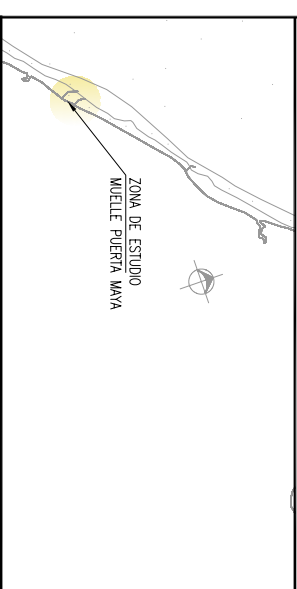
ESTRUCTURA DE ATRAQUE ESCALA 1:200



ESCALA 1:200



CROQUIS DE LOCALIZACION



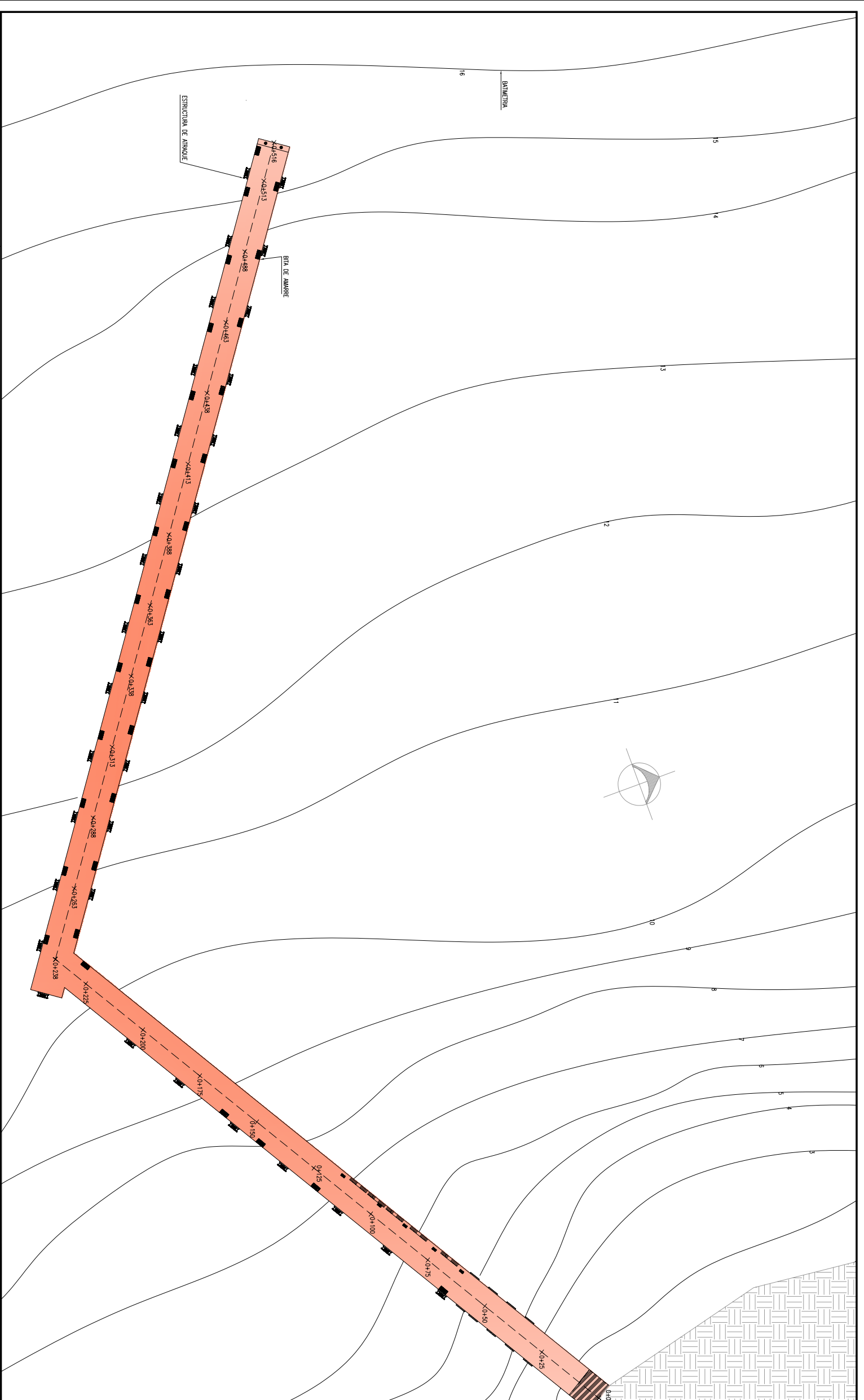
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE INGENIERIA

PROYECTO: ANALISIS DE LOS EFECTOS OCASIONADOS POR EL HURACAN WILMA SOBRE LA INFRAESTRUCTURA PORTUARIA DE COZUMEL Y PROPUUESTA DE PARAMETROS DE DISEÑO PARA MUELLES EN LA ZONA

PLANO: MUELLE PUERTA MAYA - PLANO GEOMETRICO

UBICACION: COZUMEL, QUINTANA ROO

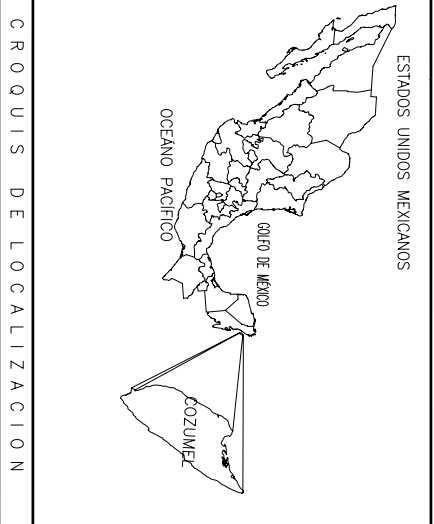
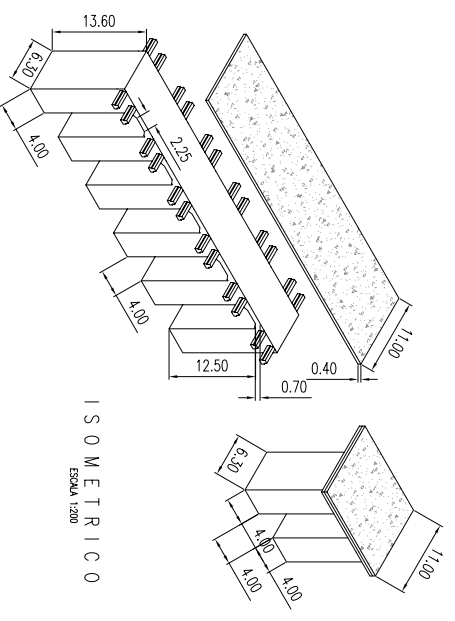
DIBUJO: JOSE ANTONIO GONZALEZ VAZQUEZ
 FECHA: ABRIL 2008
 No. PLANO: 2/2
 REG. 1 ESCALA DE PLOTO: 1:1



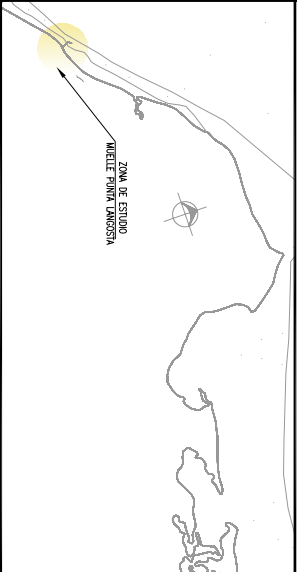
ESCALA GRAFICA
0 1 2 3 4 5
10
METROS
ESCALA 1:150

CUADRO DE CONSTRUCCION			
PUNTO DE LOCALIZACION	X	Y	
0+000	504650.248	2267687.779	
0+238	504472.952	2267853.732	
0+516	504525.052	22667975.479	

PLANTA GENERAL
MUELLE PARA CRUCEROS PUNTA LANGOSTA



CROQUIS DE LOCALIZACION



SIMBOLOGIA

- NEW NIVEL DE BAHIARE MEDIO INTERIOR
- NORTE
- 0+000 DISEÑAMIENTO
- PARO DE MUELLE
- EJE DE PROYECTO
- VIA
- BAIENETRA A CADA METRO
- BAIENETRA CADA 5 METROS
- BRA DE AMARRE
- ESTRUCTURA DE ATROQUE
- NIVEL MEDIO DEL MAR

NOTAS

- * EL NIVEL DEL FONDO ES REPRESENTATIVA EN LOS CORTEES, ES NECESARIO CONSIDERAR LA BAIENETRA QUE SE ENCUENTRA EN LA PLANTA GENERAL
- * LAS COORDENADAS UTILIZADAS SON UTM, REFERENCIAS EN LA ZONA 16
- * ACOLOCACIONES EN METROS, A MENOS DE QUE SE INDIQUE OTRA UNIDAD
- * EL NORTE CONSIDERADO, ES EL ASTRONOMICAMENTE

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

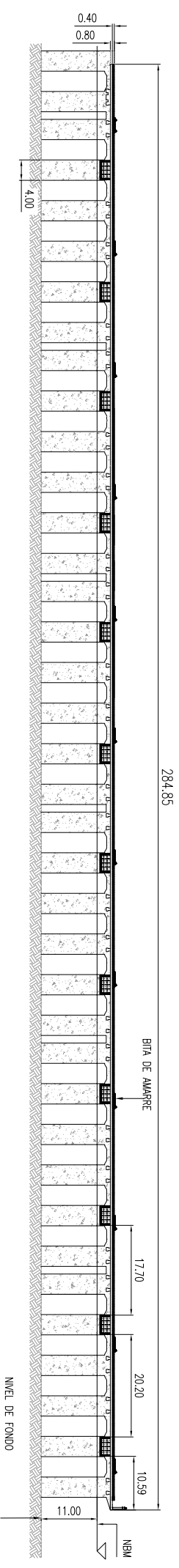
PROYECTO: ANALISIS DE LOS EFECTOS OCASIONADOS POR EL HURACAN WILMA SOBRE LA INFRAESTRUCTURA PORTUARIA DE COZUMEL Y PROPOSITA DE PARAMETROS DE DISEÑO PARA MUELLES EN LA ZONA

PLANO: MUELLE PUNTA LANGOSTA - PLANO GEOMETRICO

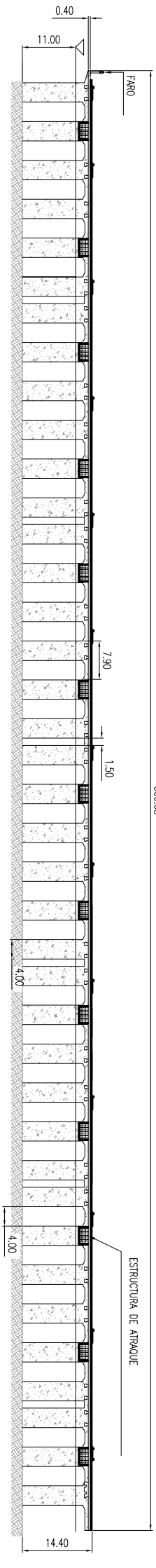
UBICACION: COZUMEL, QUINTANA ROO

DIBUJO: JOSE ANTONIO GONZALEZ VAZQUEZ
FECHA: ABRIL 2008

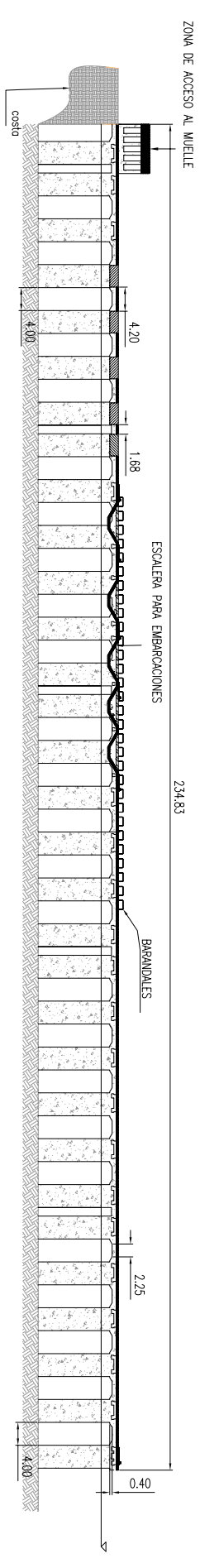
No. PLANO: 1/2
REG: 1
ESCALA DE PLANO: 1:1



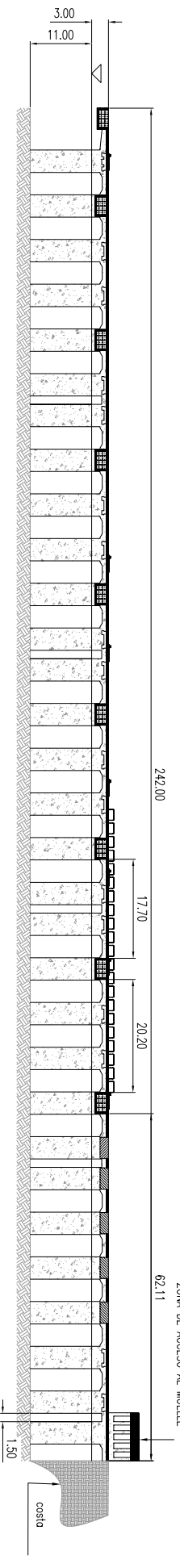
PASARELA DE ATRAQUE INTERIOR VISTA A - A ESCALA 1:300
300.68



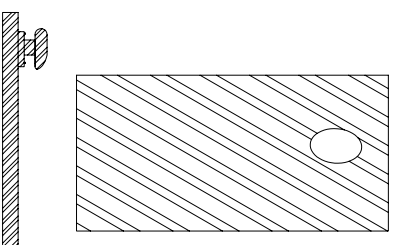
PASARELA DE ATRAQUE EXTERIOR VISTA B - B ESCALA 1:300



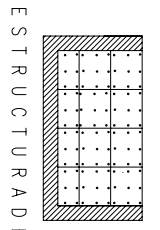
PASARELA DE ACCESO INTERIOR VISTA C - C ESCALA 1:300



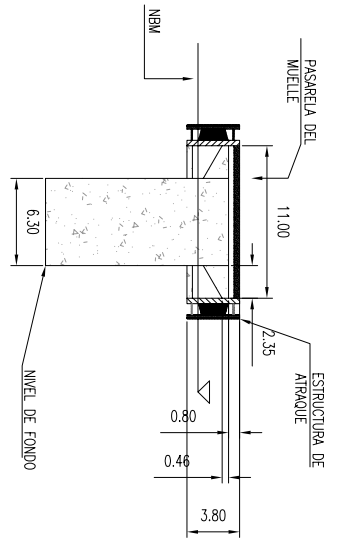
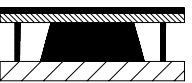
PASARELA DE ACCESO EXTERIOR VISTA D - D ESCALA 1:300



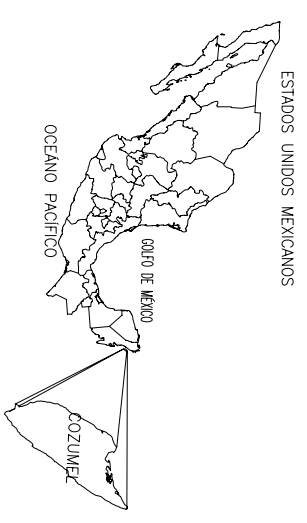
BITA DE AMARRE ESCALA 1:300



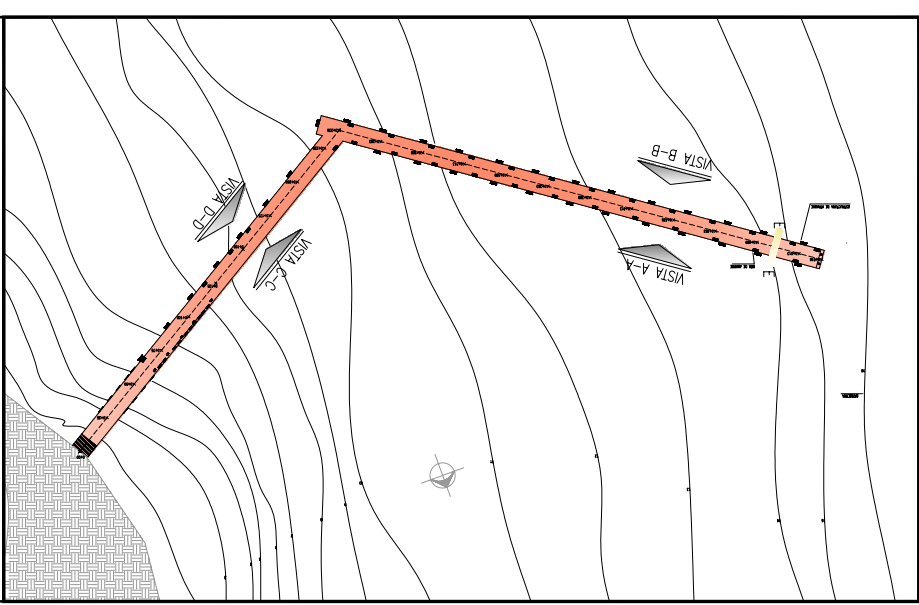
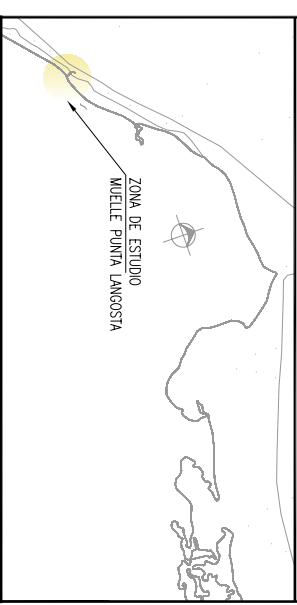
ESTRUCTURADA DE ATRAQUE ESCALA 1:200



CORTE E - E ESCALA 1:400



ESTADOS UNIDOS MEXICANOS
Golfo de México
OCEANO PACIFICO
COZUMEL
CROQUIS DE LOCALIZACION

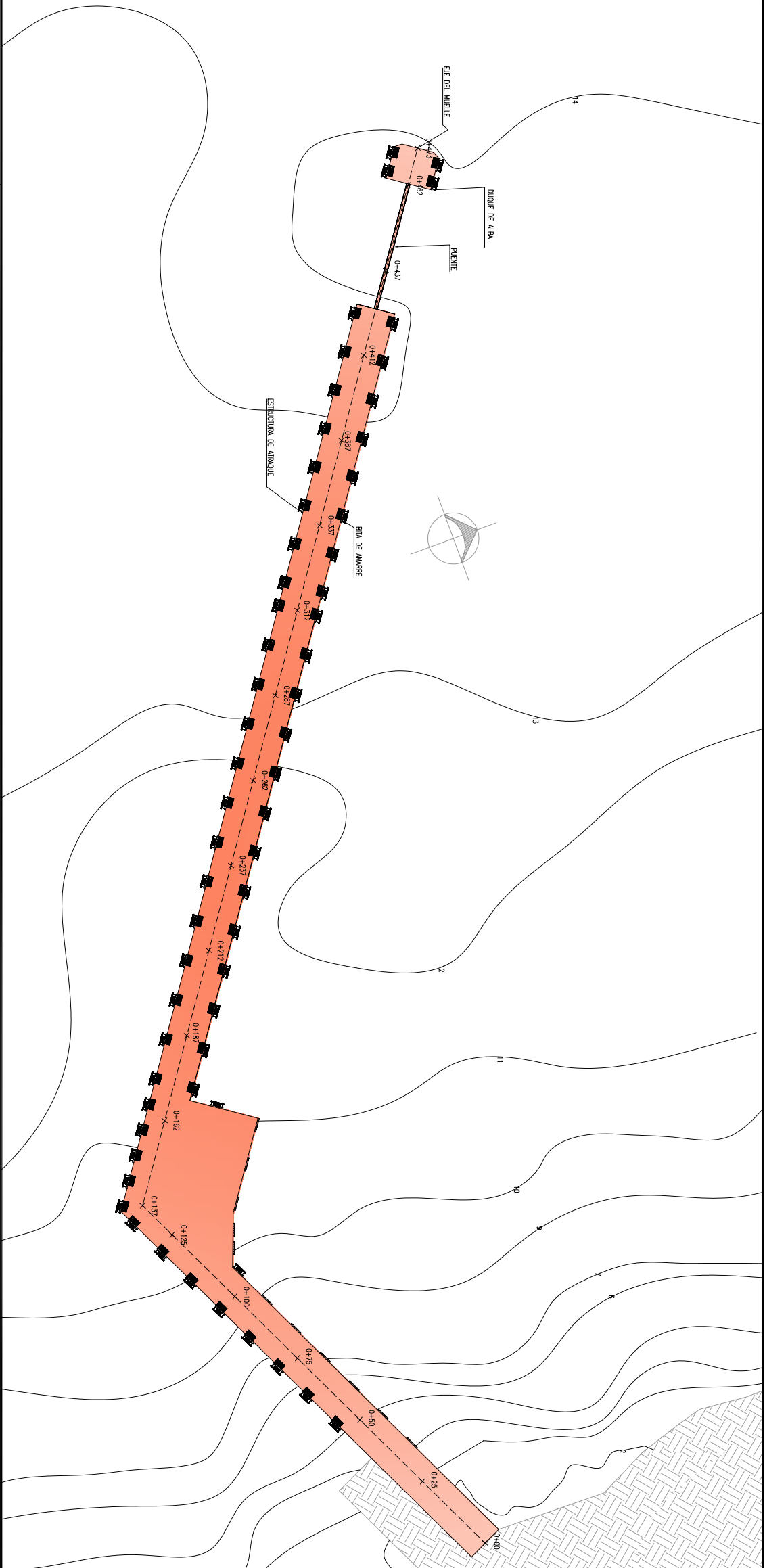


UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE INGENIERIA

PROYECTO: ANALISIS DE LOS EFECTOS OCASIONADOS POR EL HURACAN WILMA SOBRE LA INFRAESTRUCTURA PORTUARIA DE COZUMEL Y PROPUESTA DE PARAMETROS DE DISEÑO PARA MUELLES EN LA ZONA

PLANO: MUELLE PUNTA LANGOSTA - PLANO GEOMETRICO

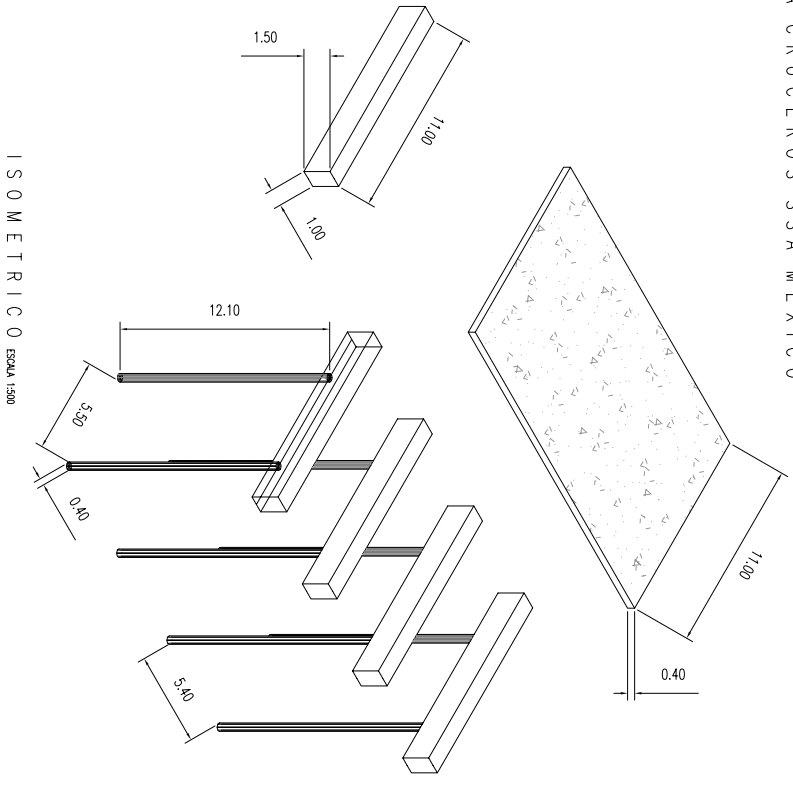
UBICACION: COZUMEL, QUINTANA ROO
DIBUJO: JOSE ANTONIO GONZALEZ VAZQUEZ
FECHA: ABRIL 2008
No. PLANO: 2/2
REV: 1
ESCALA DE FOLIO: 1:1



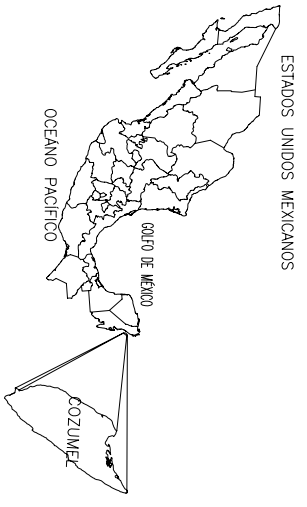
ESCALA GRAFICA
0 1 2 3 4 5 10
ESCALA 1:150
METROS

PLANTA GENERAL MUELLE PARA CRUCEROS SSA MEXICO

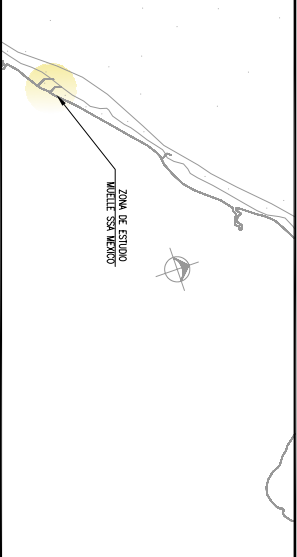
CUADRO DE CONSTRUCCION			
PARO DE LOCALIZACION	X	Y	
0+00	502680.129	2264489.109	
0+137	502554.979	2264544.416	
0+473	502544.506	2264843.212	



ISOMETRICO ESCALA 1:500



CROQUIS DE LOCALIZACION



NOTAS

- NIVEL DEL FONDO MEDIO INTERIOR
- NIVEL DEL FONDO MEDIO EXTERIOR
- NIVEL DEL FONDO MEDIO
- NIVEL MEDIO DEL MAR
- EJE DE PROYECTO
- VISTA
- BATIMETRIA A 50M METROS
- BATIMETRIA A 10M METROS
- BATIMETRIA CADA 5 METROS
- EJE DE AMARRE
- ESTRUCTURA DE ARRIQUE
- NIVEL MEDIO DEL MAR

NOTAS

- * EL NIVEL DEL FONDO ES REPRESENTATIVA EN LOS CORTES, ES NECESARIO CONSIDERAR LA BATIMETRIA QUE SE ENCUENTRA EN LA PLANTA GENERAL.
- * LAS COORDENADAS UTILIZADAS SON UTM, REFERIDAS EN LA ZONA 16
- * ACOOTACIONES EN METROS, A MENOS DE QUE SE INDIQUE OTRA UNIDAD
- * EL NORTE CONSIDERADO, ES EL ASTRONOMICO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE INGENIERIA

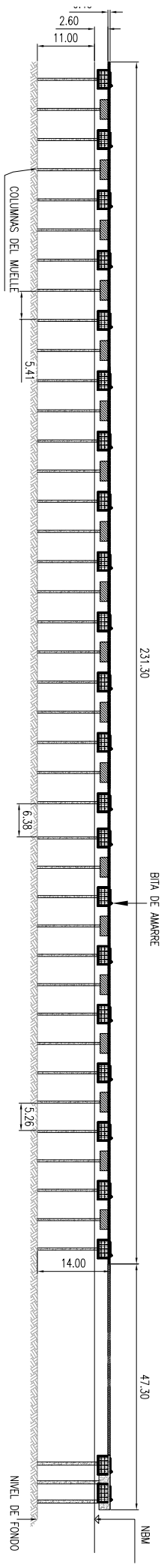
PROYECTO: ANALISIS DE LOS EFECTOS OCASIONADOS POR EL HURACAN WILMA SOBRE LA INFRAESTRUCTURA PORTUARIA DE COZUMEL Y PROPUESTA DE PARAMETROS DE DISEÑO PARA MUELLES EN LA ZONA

PLANO: MUELLE SSA MEXICO - PLANO GEOMETRICO

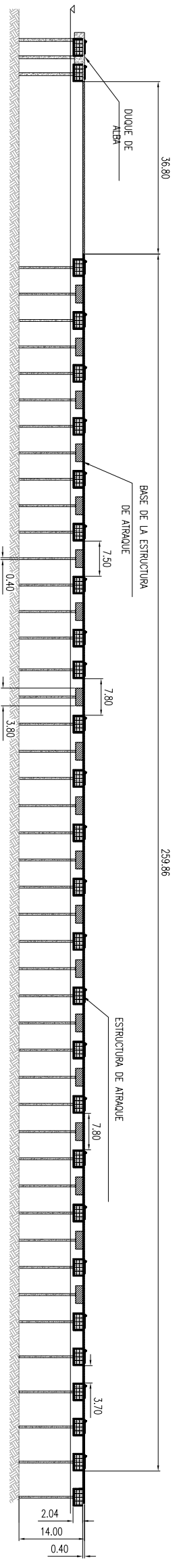
UBICACION: COZUMEL, QUINTANA ROO

DIBUJO: JOSE ANTONIO GONZALEZ VAZQUEZ
FECHA: ABRIL 2008

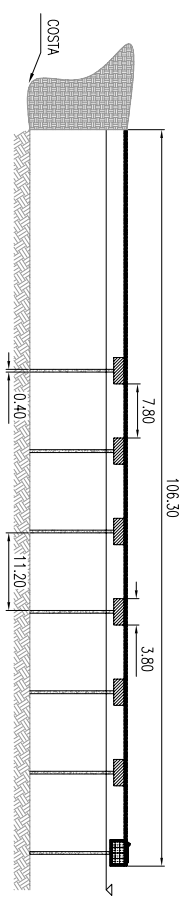
No. PLANO: 1/1
Escala de Plano: 1:1



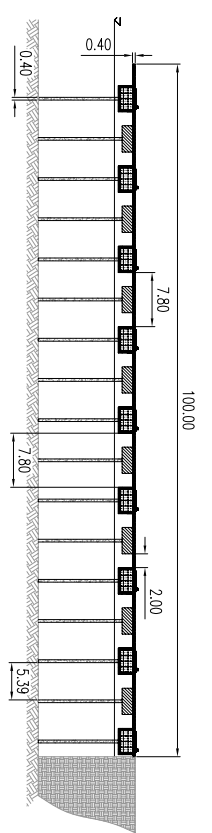
PASARELA DE ATRAQUE INTERIOR VISTA A-A ESCALA 1:200



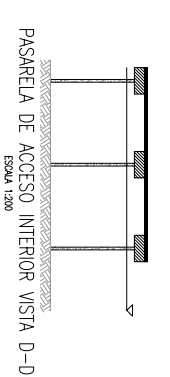
PASARELA DE ATRAQUE EXTERIOR VISTA B-B ESCALA 1:200



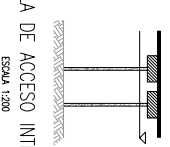
PASARELA DE ACCESO INTERIOR VISTA C-C ESCALA 1:200



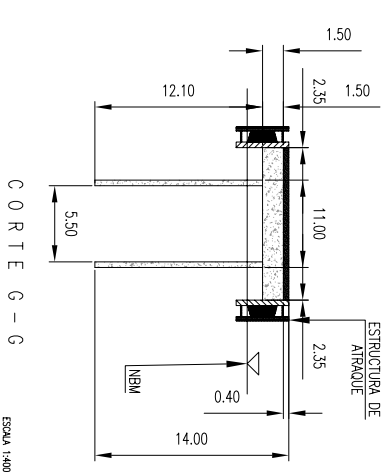
PASARELA DE ACCESO EXTERIOR VISTA F-F ESCALA 1:200



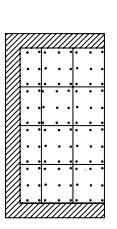
PASARELA DE ACCESO INTERIOR VISTA D-D ESCALA 1:200



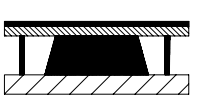
PASARELA DE ACCESO INTERIOR VISTA E-E ESCALA 1:200



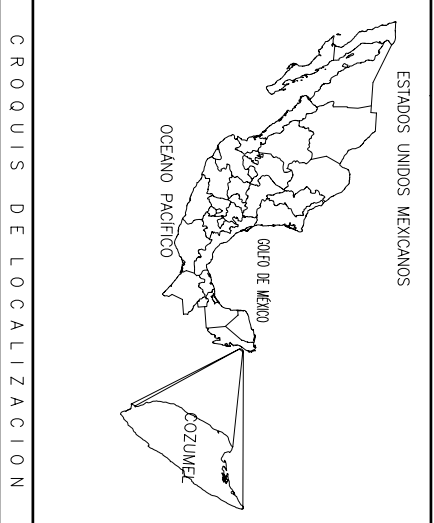
CORTE G-G ESCALA 1:400



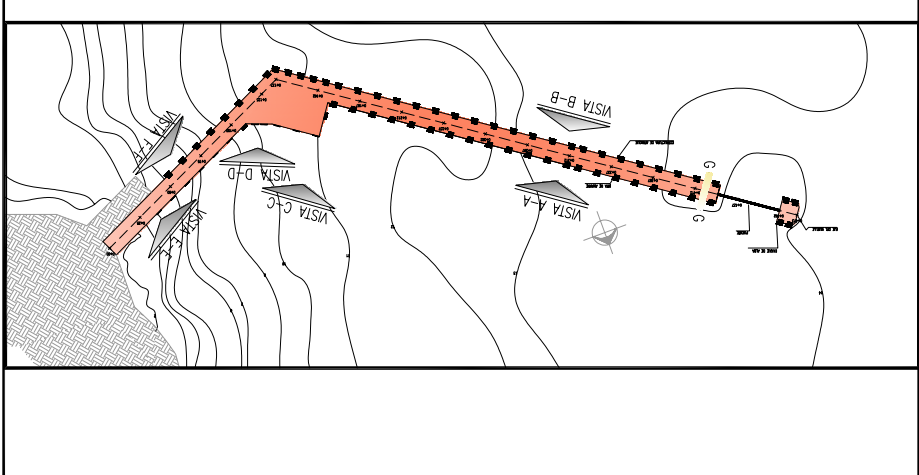
ESTRUCTURADE ATRAQUE ESCALA 1:200



BITA DE AMARRE ESCALA 1:200



CROQUIS DE LOCALIZACION



FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTONOMA DE MEXICO

PROYECTO: ANALISIS DE LOS EFECTOS OCASIONADOS POR EL HURACAN WILMA SOBRE LA INFRAESTRUCTURA PORTUARIA DE COZUMEL Y PROPUUESTA DE PARAMETROS DE DISEÑO PARA MUELLES EN LA ZONA

PLANO: MUELLE SSA MEXICO - PLANO GEOMETRICO

UBICACION: COZUMEL, QUINTANA ROO

DIBUJO: JOSE ANTONIO GONZALEZ VAZQUEZ FECHA: ABRIL 2008

No. PLANO: 1/1 REV. 1 ESCALA DE FOLIO: 1:1

REFERENCIAS.

GENERALIDADES

1. "El desarrollo turístico en Cancún, Quintana Roo y sus consecuencias sobre la cubierta vegetal" Investigaciones geográficas, Boletín del instituto de Geografía, UNAM Num. 43, 2000 (julio 2007)
2. <http://sedetur.qroo.gob.mx/estadisticas/2001/julio.php> (julio 2007)
3. Administración Portuaria Integral de Quintana Roo, S.A. de C.V. www.apiqroo.com.mx/estadisticas (julio 2007)
4. <http://smn.cna.gob.mx/> "Resumen del Huracán Wilma del Océano Atlántico del 15-25 de octubre del 2005" Ing. Alberto Hernández Unzón y M.G: Cirilo Bravo (julio 2007)
5. <http://www.nhc.noaa.gov/> (julio 2007)
6. www.cfe.gob.mx aviso del Huracán Wilma número 27 (julio 2007)
7. <http://www.cancunfirstclass.com/cozumel-map-esp.asp> (julio 2007)
8. www.GoogleEarth.com (julio 2007)
9. www.noticaribe.com.mx (julio 2007)

CAPITULO 1

1. <http://www.rivieramaya.com/esp/es-EstadisticasProy.htm> (julio 2007)
2. http://www.cancun-map.com/espanol/map_cancunzh_esp.asp (julio 2007)
3. http://www.esmas.com/infografias/noticias/swf_foto_11670.html (julio-2007)
4. the deadliest, costliest, and most intense united states tropical cyclones from 1851 to 2006 (and other frequently requested hurricane facts) Updated 15 April 2007 for return period information
5. http://es.wikipedia.org/wiki/Vientos_alisios (julio-2007)
6. <http://hurricanes.noaa.gov/prepare/season.htm> (julio-2007)
7. <http://maps.csc.noaa.gov/hurricanes/viewer.html> (julio-2007)
8. <http://www.nhc.noaa.gov/> (julio-2007)

9. <http://www.noaa.gov/> (julio-2007)
10. [http:// National Hurricane Center/Tropical Prediction Center Glossary.gov/](http://NationalHurricaneCenter/TropicalPredictionCenterGlossary.gov/) (Julio-2007)
11. http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/Epac_hurr/Epac_hurricane.html (julio-2007)
12. <http://www.aoml.noaa.gov/hrd/Landsea/lanina/> (julio-2007)
13. <http://www.weather.gov/storms/wilma/> (julio-2007)
14. Tropical Cyclone Report Hurricane Wilma 15-25 October 2005 National Hurricane Center 1 January 2006 (Julio-2007)
15. PLAN DE DESARROLLO ESTATAL 2005-2011 (julio 207)
16. <http://www.qroo.gob.mx/qroo/WebPage.php?Pagina=Nota.php&IdNota=3321> (julio 2007)
17. <http://cgpmm.sct.gob.mx/index.php?id=520> (julio 2007)
18. www.GoogleEarth.com (julio 2007)

CAPITULO 2

1. AYUNTAMIENTO CONSTITUCIONAL DE COZUMEL 20052008 Programa de Desarrollo Urbano del Centro de Población de Cozumel, Quintana Roo.(agosto 2007)
2. www.wikipedia.com (agosto 2007)
3. www.cozumel.gob.mx (agosto 2007)
4. www.GoogleEarth.com (agosto 2007)
5. Instituto de Geografía UNAM; CARTA GEOLÓGICA INEGI mayo1992 escala 1:4 000 000
6. Instituto de Geografía UNAM; Carta "GEOMORFOLOGÍA2" Regionalización Geomorfológica INEGI marzo1992 escala 1:2 000 000
7. Instituto de Geografía UNAM; Carta "GEOMORFOLOGÍA2" Tipos de Costas INEGI marzo1992 escala 1:8 000 000
8. Instituto de Geografía UNAM; CARTE DE HIPSOMETRÍA Y BATIMETRÍA INEGI junio1989 escala 1:4 000 000
9. http://es.wikipedia.org/wiki/Pen%C3%ADnsula_de_Yucat%C3%A1n (agosto 2007)

10. <http://www.e-local.gob.mx/work/templates/enciclo/campeche/Mpios/04010a.htm> (agosto 2007)
11. U.S. Army Corps of Engineers para la estación WIS 117 (Wave Information Studies)
12. Método de Weigel Apunte de Temas Especiales de Ingeniería Civil III, Ríos y costas Semestre 2007-2
13. Calendarios Mensuales de Marea <http://oceanografia.cicese.mx/predmar/calmen.php> (agosto 2007)
14. Registro de mareas para los puertos del Caribe SCT, SMN (septiembre 2007)

CAPITULO 3

1. Administración Portuaria Integral de Quintana Roo, S.A. de C.V. 2006 (septiembre 2007)
2. <http://www.apiqroo.com.mx/CGI-BIN/espanol/estadisticas.php> (septiembre 2007)
3. www.GoogleEarth.com (septiembre 2007)
4. www.noticaribe.com.mx (septiembre 2007)
5. Estudios de maniobrabilidad para los Muelles SSA México y Consorcio H. Aleph, ingenieros consultores (septiembre 2007)

CAPITULO 4

1. <http://weather.unisys.com/hurricane/index.html> (octubre 2007)
2. <http://www.nhc.noaa.gov/> (octubre 2007)
3. www.GoogleEarth.com (octubre 2007)
4. "Ingeniería Marítima y Portuaria" Guillermo Macdonel Martínez, Julio Pindter Vega, Luis Herrerón de la Torre, Juan Pizá Ortiz, Héctor López Gutiérrez. Editorial alfaomega 1999
5. Administración Portuaria Integral de Quintana Roo, S.A. de C.V. 2006 (septiembre 2007)
6. Atlas de Dinámica Costera de la República Mexicana, Secretaría de Marina, 2002(septiembre 2007)
7. U.S. Army Corps of Engineers Para la estación WIS 117 (Wave Information Studies)

8. MOPLA modelo de oleaje, corrientes y evolución morfológica de una playa. Ministerio de Medio Ambiente, Dirección General de Costas. Universidad de Cantabria. Grupo de Ingeniería Oceanográfica y de Costas.
9. Carta de la Secretaría de Marina, registro de corrientes del mar caribe 1993
10. Carta topográfica 1:250 000 Cozumel F16-11 Quintana Roo y Yucatán
11. Registro de mareas para los puertos del Caribe SCT, SMN (septiembre 2007)
12. Golden Software SURFER 8
13. CERC; <http://www.usace.army.mil/ublications/eng-manual-em.htm>(diciembre 2007)
14. Ingeniería Civil Costa Fuera, tomo1, procesos metaoceánicos, Víctor M. Valdés
15. Reglamento de Construcción del Distrito Federal, 1999
16. Manual de diseño de obras civiles CFE
17. Pile foundation Analysis and design H. G. Poulos; E. H. Davis The University of Sydney Ed. New York Wiley c1980
18. Mecánica de suelos Teoría y Aplicación de la mecánica de suelos Tomo II Juárez Badillo Alfonso Rico Rodríguez Ed. Limusa 2001
19. Modelo híbrido para la caracterización del oleaje Hybrid model for ocean wave characterization. Ruiz Martínez, Gabriel, Silva Casarín, Rodolfo, Pérez Romero, Dulce María, Posada Vanegas, Gregorio y Bautista Godínez, Eric Gustavo
20. Atlas de Clima Marítimo de la Vertiente Atlántica Mexicana; resumen de resultados, periodo de 1948 a 2007, Longitud 87.0 W Latitud 20.5 N; Instituto de Ingeniería UNAM. Grupo de Ingeniería de Costas y Puertos

CAPITULO 5

1. Manual de Diseño de Obras Civiles. Comisión Federal de Electricidad. Diseño por sismo 1999
2. <http://weather.unisys.com/hurricane/index.html> (enero 2007)
3. http://en.wikipedia.org/wiki/Genesis_of_the_Seas (febrero 2007)
4. Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente. Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, Secretaría General

5. Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Evaluación del Impacto Ambiental. Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. Secretaría General.
6. <http://www.semarnat.gob.mx/leyesy normas/Pages/normasoficialesmexicanasvigentes.aspx> (marzo 2007)
7. ROM, Recomendaciones Para Obras Marítimas
8. Manual de Diseño de Obras Civiles. Comisión Federal de Electricidad. marítima 199
9. Ingeniería Civil Costa Fuera, tomo1, procesos metaoceánicos, Víctor M. Valdés
10. Calendarios Mensuales de Marea <http://oceanografia.cicese.mx/predmar/calmen.php> (marzo 2007)
11. Manual de Diseño de Obras Civiles. Diseño por sismo Comisión Federal de Electricidad. Instituto de investigaciones eléctricas 1993
12. Marine Structures Engineering, Specialized Applications. Gregory P. Tsinker, Ph. D. Edit. Chapman & Hall 1995 (marzo 2007)
13. Pile foundation Analysis and design H. G. Poulos; E. H. Davis The University of Sydney Ed. New York Wiley c1980 (marzo 2007)

CAPITULO 6

1. <http://www.icamingenieros.com.mx/> (abril 2008)
2. www.pilotesposada.com (abril 2008)
3. www.marsa.com.mx (abril 2008)