



COMUNICACIONES

SECRETARÍA DE INFRAESTRUCTURA, COMUNICACIONES Y TRANSPORTES



Simulaciones de maniobras de embarcaciones en tiempo acelerado en Lázaro Cárdenas y Manzanillo

Juan Ramón Estrada Camacho
Manuel Mendoza Grande
Dora Luz Ávila Arzani
Rodolfo Ramírez Xicotencatl

Publicación Técnica No. 730
Querétaro, México
2023

ISSN 0188-7297

Esta publicación fue realizada en la Coordinación de Ingeniería Portuaria y Costera del Instituto Mexicano del Transporte, por el Ing. Juan Ramón Estrada Camacho, M. en I. Manuel Mendoza Grande, M. en I. Dora Luz Ávila Arzani y el Ing. Rodolfo Ramírez Xicotencatl.

Esta publicación es el producto final del proyecto de investigación interna VI-28/16 con el nombre " Base de datos para simulación de maniobras en tiempo acelerado para los puertos de Lázaro Cárdenas, Mich. y Manzanillo, Col."

Tabla de Contenido

	Página
Sinopsis.....	v
Abstract.....	vii
Introducción.....	1
1. Recopilación y caracterización de la información.....	3
1.1 Información batimétrica.....	3
1.2 Información de oleaje.....	5
1.3 Información de oleaje del puerto de Lázaro Cárdenas.....	6
1.4 Información de oleaje del puerto de Manzanillo.....	8
1.5 Información de corrientes.....	10
1.6 Información de corrientes del puerto de Lázaro Cárdenas.....	11
1.7 Información de corrientes del puerto de Manzanillo.....	12
1.8 Información de viento.....	12
1.9 Información de viento del puerto de Lázaro Cárdenas.....	13
1.10 Información de viento del puerto de Manzanillo.....	15
1.11 Información de marea astronómica.....	17
1.12 Información de la embarcación.....	19
1.13 Representación matemática del buque.....	21
1.14 Información de los remolcadores.....	23
2. Integración y validación de la base de datos con la simulación.....	25

2.1 Procedimiento de parada y distancia real de parada de una embarcación	26
2.2 Caso de estudio puerto de Lázaro Cárdenas.....	28
2.2.1 Resultados de las pruebas	30
2.3 Caso de estudio puerto de Manzanillo	39
2.3.1 Resultados de las pruebas	41
Conclusiones.....	51
Bibliografía	53
Anexo 1 Información de oleaje – puerto Lázaro Cárdenas.....	55
Anexo 2 Información de viento – Puerto Lázaro Cárdenas, Mich.....	63
Anexo 3 Propagación de oleaje – puerto Lázaro Cárdenas, Mich.	69
Anexo 4 Corrientes litorales – Puerto Lázaro Cárdenas, Mich.	71
Anexo 5 Información de oleaje – Manzanillo, Col.....	73
Anexo 6 Información de viento – Manzanillo, Col.....	81
Anexo 7 Propagación de oleaje – puerto de Manzanillo, Col.....	87
Anexo 8 Corrientes litorales – Puerto de Manzanillo, Co.....	89
Anexo 9 Trayectoria de la embarcación, oleaje –Puerto Lázaro Cárdenas, Mich.....	91
Anexo 10 Trayectoria de la embarcación, corrientes – puerto de Lázaro Cárdenas, Mich.	95
Anexo 11 Trayectoria de la embarcación, oleaje – Puerto de Manzanillo, Col.	99
Anexo 12 Trayectoria de la embarcación Corrientes – puerto de Manzanillo, Col.	103

Sinopsis

En el presente estudio se elaboró diferentes bases de datos para los puertos de Lázaro Cárdenas, en el estado de Michoacán, y en el puerto de Manzanillo, en el estado de Colima, donde se incluyó la información batimétrica, las condiciones oceanográficas y meteorológicas, como son: el viento, oleaje y corrientes. Con la información antes mencionada se utilizó para realizar simulaciones numéricas de propagación de oleaje y corrientes en las zonas de estudio.

Las bases de datos se integraron en archivos electrónicos con formatos para ser utilizados con el programa de cómputo Ship Manoeuvring (SHIPMA), que es un programa para simulación de maniobras de embarcaciones en tiempo acelerado.

Con las bases de datos y el programa de cómputo se realizó diferentes simulaciones de la maniobra de frenado de un barco portacontenedor PANAMAX (200 m. de eslora, 30.5 m. de manga y 10.5 m. de calado), en las simulaciones realizadas se consideró que, durante la maniobra de frenado de la embarcación, esta se realizó con una simulación con marcha atrás en el sistema de propulsión de la embarcación, y también se consideró diferentes condiciones de viento, oleaje y corrientes.

Abstract

In the present study, different databases were developed for the ports of Lázaro Cárdenas, in the state of Michoacán, and in the port of Manzanillo, in the state of Colima, where bathymetric information, oceanographic and meteorological conditions, such as wind, waves and currents, were included. With the after mentioned information, it was used to perform numerical simulations of wave and current propagation in the study areas.

The databases were integrated into electronic files with formats to be used with the Computer Program Ship Manoeuvring (SHIPMA), which is a program for simulation of maneuvers of ships in accelerated time.

With the databases and the computer program, different simulations of the braking maneuver of a PANAMAX container ship (200 m. in length, 30.5 m. in beam and 10.5 m. in draft) were carried out, in the simulations carried out it was considered that, during the braking maneuver of the boat, it was carried out simulating the reverse in the propulsion system of the boat, and different wind, wave and current conditions were also considered.

Introducción

Los sistemas de simulación de maniobras de embarcaciones han sido desarrollados para evaluar y optimizar el diseño de las áreas de navegación, estos sistemas se pueden diferenciar por la formulación matemática que incorporan para realizar la simulación de la maniobra de un barco.

Los sistemas de simulación de maniobras de embarcaciones, en los que incorporan en su modelo matemático el pilotaje del barco en la simulación, se denominan sistemas de simulación en tiempo acelerado, el incluir el modelo matemático de pilotaje en estos sistemas elimina la intervención humana para el control de un barco durante la simulación, no obstante, es posible incluir algunos aspectos náuticos relevantes durante la simulación de las maniobras mediante el aporte de información de los pilotos o capitanes, las principales ventajas de estos sistemas es que su ejecución es rápida, es posible realizar una comparación objetiva de escenarios, y se puede evaluar de forma preliminar de los espacios de maniobra. Esta forma de simulación se considera adecuada para representar el comportamiento de un barco en ciertas circunstancias, en los estudios donde se utilizan estos sistemas se deben de realizar un número de simulaciones suficientes para poder realizar un análisis estadístico de las maniobras.

Por otra parte, los sistemas que no incluyen en su formulación matemática el pilotaje son sistemas de simulación en tiempo real, estos sistemas incorporan el factor humano, durante una simulación un piloto o capitán debe realizar el gobierno de un buque con manipulación del equipo y consolas en torno al modelo matemático. Por el grado de realismo y la posibilidad de incorporar en una simulación el factor humano la verificación de la disposición final de alguna modificación a un puerto que involucre las áreas de navegación debe de realizarse con un simulador de maniobras de embarcaciones en tiempo real.

Estos dos diferentes sistemas de simulación no se sustituyen uno a otro, con los sistemas de simulación en tiempo acelerado se puede proveer de un análisis preliminar de maniobras potencialmente riesgosas, maniobras que se deberán de estudiarse en un sistema de simulación en tiempo real.

En la Coordinación de Ingeniería Portuaria y Costera dispone de un programa de computo (software) de maniobrabilidad de embarcaciones en tiempo acelerado denominado SHIPMA 7.1.1. El diagrama del modelo numérico que utiliza esta herramienta es el que se muestra en la figura I.1. El modelo numérico toma en consideración la configuración del puerto (áreas y profundidades), características específicas del buque, la acción de remolcadores, condiciones de oleaje, viento y corrientes, entre otras (ver figura I.1).

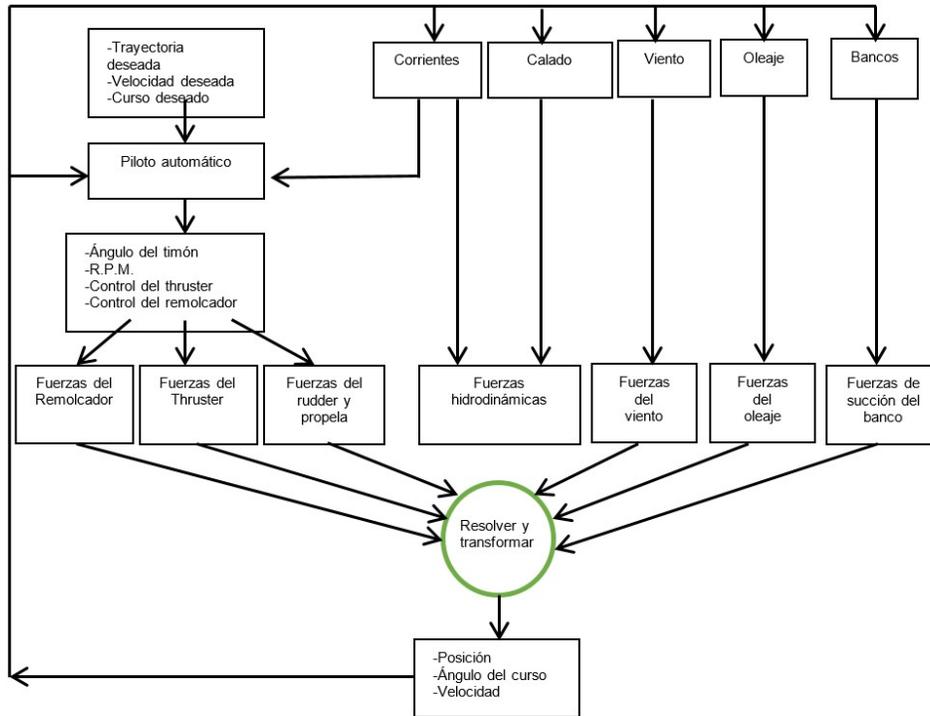


Figura I.1 Diagrama del modelo matemático de maniobras del software SHIPMA

En virtud de que la librería de embarcaciones del modelo numérico de maniobras en tiempo acelerado SHIPMA, se dispone de un barco portacontenedor con las siguientes características: eslora de 200.0 m, manga de 30.5 m, calado de 10.5 m y un desplazamiento de 39.2 t., el presente proyecto de investigación se realizó con este modelo de barco y con las condiciones de clima marítimo representativas de la zona de estudio.

1. Recopilación y caracterización de la información

Para conocer el comportamiento de las maniobras de las embarcaciones se requiere recopilar las condiciones batimétricas, la disposición de las áreas de agua, de oleaje y corrientes, de viento y de las características de la embarcación a simular, dicha información se muestra a continuación.

1.1 Información batimétrica

Para iniciar el desarrollo de la base de datos es requisito definir la localización geográfica y el área que se integrará en dicha base, esto puede realizarse con mapas, los mapas de escala grande (escalas hasta 1:50000) proporcionan información para lograr definir el área que se integró en la base de datos. La extensión del área a definir deberá de incluir preferentemente el área de pilotaje. Las coordenadas geográficas de las áreas y los mapas utilizados para integrar las bases de datos son las siguientes:

Tabla 1.1 Coordenadas UTM de las áreas de los puertos que se integraron en la base de datos

PUERTO	COORDENADAS INFERIOR IZQUIERDA	COORDENADA SUPERIOR DERECHA	MAPAS
LÁZARO CÁRDENAS	(794 886;1979779)	(806085;1990909)	Carta Náutica S.M. 513.3 Escala 1: 10, 000 Carta Náutica S.M. 513.2 Escala 1: 20, 000 Plano "Planta General" Escala 1:10,000 proporcionado por la APILAC, fecha de levantamiento mayo de 2013. Plano "Levantamiento batimétrico, Dársena principal y canal comercial" Escala 1:2,000 proporcionado por la APILAC, fecha de levantamiento diciembre de 2014.
MANZANILLO	(568000;2106000)	(574750;2112500)	Carta Náutica S.M. 511.3 Escala 1: 5, 000 Carta Náutica S.M. 511.2 Escala 1: 25, 000 Carta Náutica S.M. 511.5 Escala 1: 10, 000

La información batimétrica y de las áreas de agua de estudio fue obtenida de las fuentes de información de la tabla 1.1.

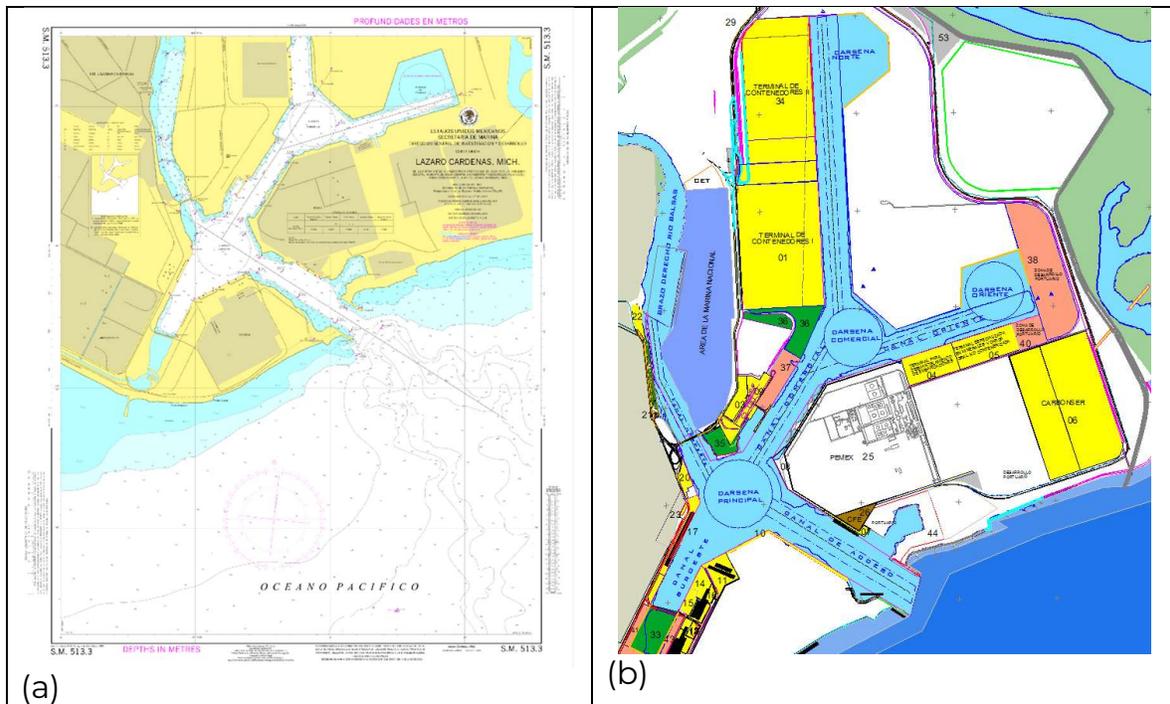


Figura 1.1 a) Carta náutica y b) Disposición de las áreas de agua en el puerto de Lázaro Cárdenas, Mich

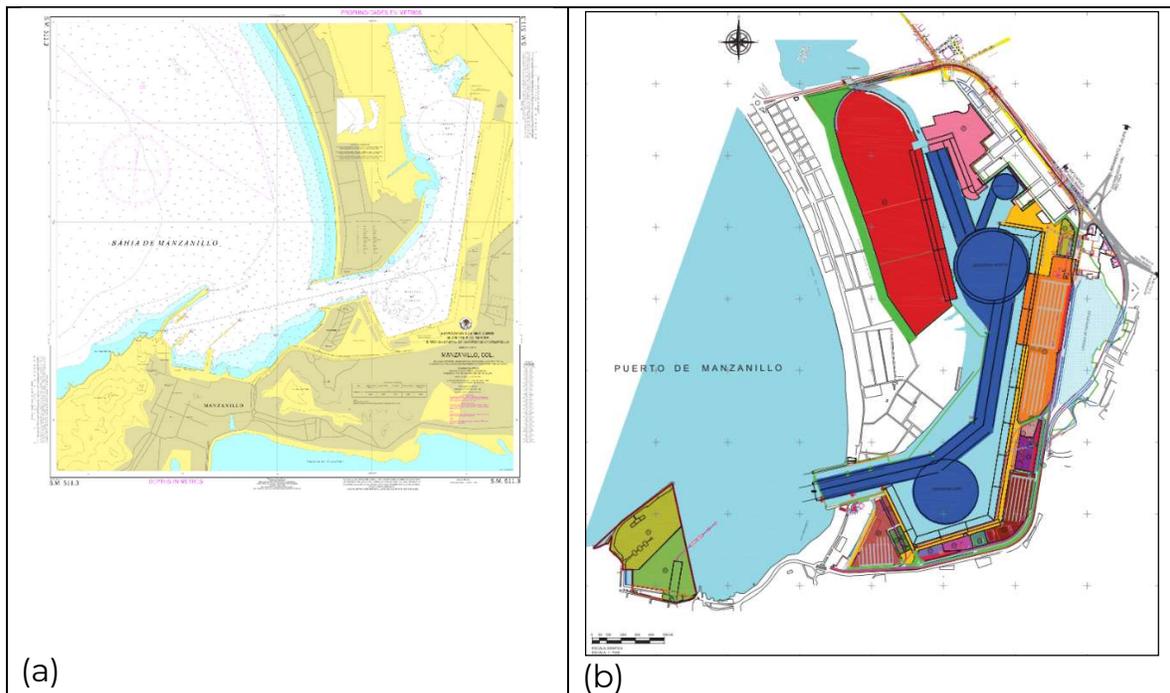


Figura 1.2 a) Carta náutica y b) Disposición de las áreas de agua en el puerto de Manzanillo, Col

1.2 Información de oleaje

Para caracterizar el oleaje para los puertos de Manzanillo y Lázaro Cárdenas, se utilizó la información de las boyas direccionales medidoras de oleaje de la Red Nacional de Estaciones Oceanográficas y Meteorológicas (RENEOM) del Instituto Mexicano del Transporte (IMT).

Para el puerto de Lázaro Cárdenas la boya medidora de oleaje está ubicada en las coordenadas: 17.8899° de Latitud Norte y 102.21821° de Longitud Oeste y los datos registrados son desde enero de 2008 hasta octubre de 2014. Para el puerto de Manzanillo la boya está ubicada en las coordenadas: 19.0665° de Latitud Norte y 104.34428° de Longitud Oeste, los datos registrados son de marzo de 2008 hasta julio de 2015. La localización geográfica se muestra en el Anexo 1 y el Anexo 2.

Del análisis estadístico de los datos de oleaje de todos los registros de oleaje recopilados, se presentan los resultados de las características medias del oleaje en el régimen anual y estacional por dirección, estas características medias se determinaron con las siguientes expresiones, en el caso de la altura media del oleaje la expresión toma en consideración el flujo de la energía del oleaje.

$$\bar{T} = \frac{1}{n_k} \sum_{k=1}^{n_k} T_k$$

$$\bar{H} = \sqrt{\frac{\frac{1}{n_k} \sum_{k=1}^{n_k} T_k * H_k^2}{T}}$$

Donde:

T_k = Representa una serie de datos de periodos de oleaje en el tiempo

H_k = Representa una serie de datos de alturas de oleaje en el tiempo

(T_k, H_k) = Representa un grupo de datos de períodos y alturas de oleaje en el tiempo

n_k = Es el número total de datos $k = (1, 2, \dots, n_k)$

1.3 Información de oleaje del puerto de Lázaro Cárdenas

El resumen estadístico de la incidencia de oleaje en la zona exterior del puerto se presenta en la tabla 1.2. Para el realizar el análisis de la información se elaboró diferentes tablas de frecuencias cruzadas de las relaciones alturas de ola – períodos de ola, dirección de incidencia - altura de ola y dirección de incidencia - período de ola. El arreglo tabular se realizó con la agrupación de registros en forma anual y en forma estacional, también se presentan gráficas de distribución de altura y período por dirección (ver Anexo 1 – Información de oleaje – Puerto Lázaro Cárdenas, Mich).

Las direcciones de incidencia de oleaje que predominan en la zona exterior del puerto de Lázaro Cárdenas son: S22.5°E, Sur, S22.5°O, S45°O y S67.5°O, con un 97.36 % del total de los registros obtenidos.

Tabla 1.2 Valores de altura de ola significativa media y periodo medio resultado de la caracterización del oleaje normal

Dirección	Altura de ola significativa (m)	Período (s)
S 22.5° E	1.59	9.07
Sur	1.21	13.31
S 22.5° O	1.23	14.26
S 45° O	1.15	13.72
S 67.5° O	1.09	12.69

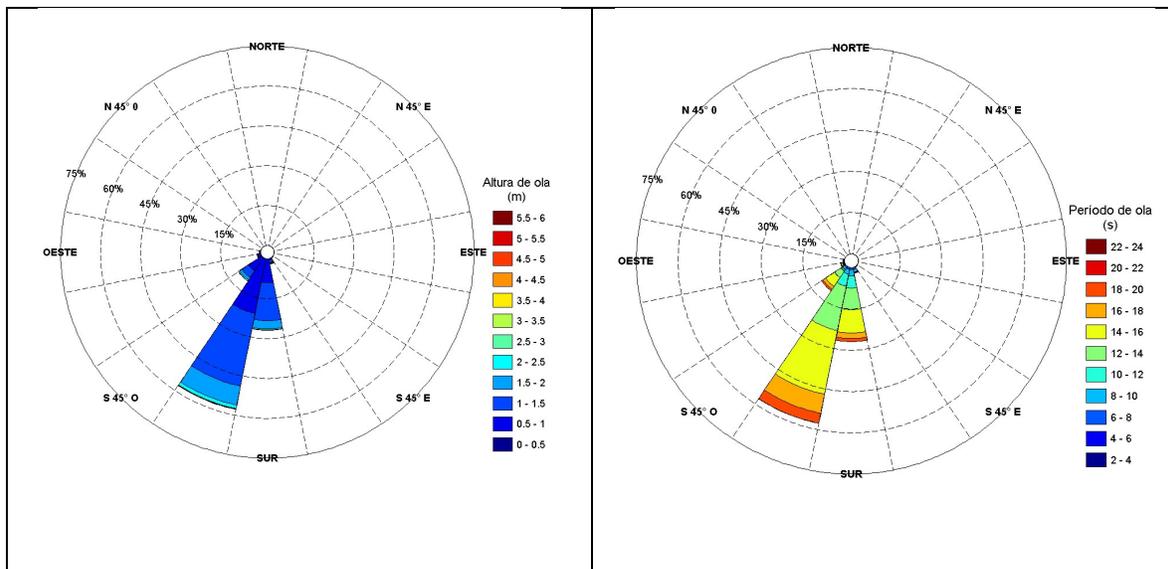


Figura 1.3 Distribución de alturas y período de oleaje-régimen anual

Tabla 1.3 Resumen estadístico de oleaje por dirección

Dirección	ANUAL			PRIMAVERA			VERANO			OTOÑO			INVIERNO		
	H (m)	T (s)	% acc.	H (m)	T (s)	% acc.	H (m)	T (s)	% acc.	H (m)	T (s)	% acc.	H (m)	T (s)	% acc.
NORTE	3,26	23,34	0,01							3,26	23,34	0,01			
N 22.5° E	3,12	24,84	0,01							3,12	24,84	0,01			
N 45° E	3,60	25,02	0,02				4,96	25,00	0,00	3,57	25,22	0,02	1,85	22,21	0,00
N 67.5° E	3,27	24,89	0,02				2,56	22,50	0,00	3,34	24,69	0,01	3,37	28,57	0,00
ESTE	3,47	24,58	0,01	0,91	12,50	0,00	3,12	25,00	0,00	3,62	25,71	0,01	3,12	25,00	0,00
S 67.5° E	3,55	20,85	0,02				1,74	10,28	0,00	3,77	25,07	0,01			
S 45° E	2,02	8,55	0,18	1,15	10,23	0,00	2,05	7,09	0,07	2,34	9,38	0,06	1,47	9,79	0,04
S 22.5° E	1,59	9,07	2,14	1,11	10,40	0,20	1,89	9,06	0,55	1,71	8,82	0,97	0,96	9,01	0,40
SUR	1,21	13,31	26,86	1,18	14,15	9,81	1,46	13,11	5,87	1,22	12,53	6,55	0,87	12,86	4,62
S 22.5° O	1,23	14,26	57,77	1,21	14,61	18,59	1,55	14,38	11,22	1,28	14,09	11,81	0,92	13,90	16,14
S 45° O	1,15	13,72	10,59	1,06	14,20	2,07	1,69	12,97	1,66	1,40	12,49	1,71	0,86	14,19	5,14
S 67.5° O	1,09	12,69	1,52	0,96	11,61	0,18	1,77	9,14	0,15	1,98	10,99	0,16	0,83	13,71	1,01
OESTE	1,47	7,30	0,71	1,34	7,43	0,22	1,83	8,22	0,03	2,70	14,31	0,04	1,01	6,39	0,41
N 67.5° O	2,93	11,34	0,04	1,25	7,08	0,01	1,34	15,38	0,00	3,93	22,69	0,01	0,90	6,80	0,01
N 45° O	3,62	23,31	0,02				4,40	23,60	0,00	3,55	24,24	0,01	0,53	12,50	0,00
N 22.5° O	3,18	23,85	0,01				3,61	25,00	0,00	3,20	24,47	0,01	0,50	16,67	0,00

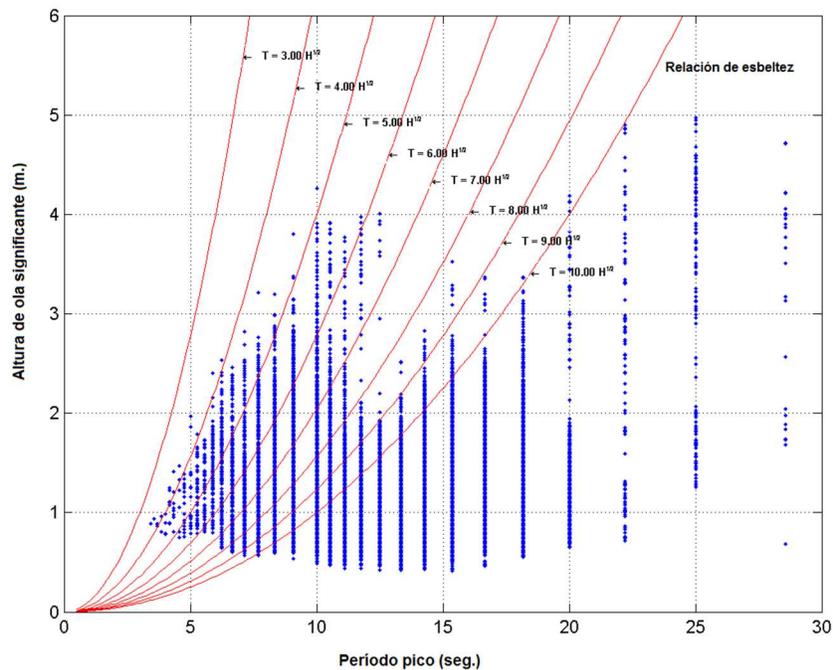


Figura 1.4 Distribución de los registros de oleaje altura de ola-período

La información de oleaje que se incorporó en la base de datos corresponde a las cinco direcciones antes mencionadas y se utilizó un modelo numérico para propagar el oleaje desde la localización de la boya hasta la zona del puerto.

La información de oleaje en el software SHIPMA se puede diferenciar como oleaje distante y oleaje local (archivos con extensiones .SWL y .WAV respectivamente), los archivos tienen un arreglo tabular que indican la localización acorde al sistema coordenado, la magnitud y dirección del oleaje y periodo como se muestra en la figura 1.5. El patrón de oleaje

incorporado en los archivos de la base de datos son los que se muestran en las gráficas del anexo 3.

```

Programmer's File Editor - [Oleaje_Sur_Laza.swl]
File Edit Options Template Execute Macro Window Help
** Oleaje para vientos de 0 m/s de la dirección
**
**Shipma: Condiciones de oleaje
**
**Nota: los datos de oleaje fueron obtenidos de una simulación numérica
**La velocidad del viento es de 0 m/s; dir 0 N; nivel del mar 0.0 m
**La dirección de oleaje es la dirección en la que viaja el oleaje
**Los grados estan referidos al Norte
**
**
**Período del oleaje (s)
13.3
**Factor de escala
1.0
**
** X Y Hs Phi
** [m] [m] [m] [grados]
797788.2 1983038.0 0.001 180.000
797745.3 1983050.5 0.000 180.000
797697.1 1983061.9 0.000 180.000
797801.1 1982895.8 0.615 345.912
797759.4 1983033.2 0.000 180.000
797777.3 1983028.2 0.001 180.000
797710.2 1983059.6 0.000 180.000
797723.3 1983040.0 0.000 180.000
797683.9 1983063.3 0.000 180.000
797800.0 1982920.0 0.465 345.532
797701.9 1983000.0 0.404 344.706
    
```

Figura 1.5 Archivo de la base de datos con información de oleaje propagado hacia el puerto de Lázaro Cárdenas

1.4 Información de oleaje del puerto de Manzanillo

Para el puerto de manzanillo de forma similar, el resumen estadístico se presenta en la tabla 1.4, las tablas de frecuencias cruzadas de las relaciones se encuentran en el Anexo 5.

Las direcciones que predominan en la zona: Sur, S22.5°O, S45°O, S67.5°O y Oeste con un 98.50% del total de los registros obtenidos.

Tabla 1.4 Valores de altura de ola significativa media y periodo medio resultado de la caracterización del oleaje normal

Dirección	Altura de ola significativa (m)	Período (s)
Sur	0.90	14.81
S 22.5° O	1.03	14.14
S 45° O	1.04	13.98
S 67.5° O	0.93	13.31
Oeste	0.89	14.01

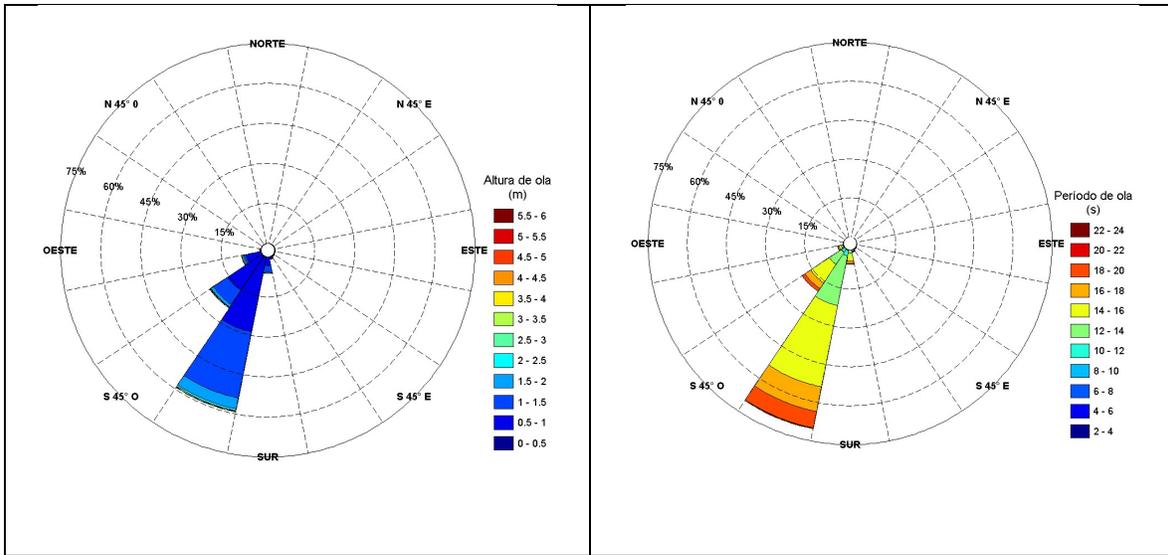


Figura 1.6 Distribución de alturas y períodos de oleaje en su régimen anual

Tabla 1.5 Resumen estadístico de oleaje por dirección

Dirección	ANUAL			PRIMAVERA			VERANO			OTOÑO			INVIERNO		
	H (m)	T (s)	% acc.	H (m)	T (s)	% acc.	H (m)	T (s)	% acc.	H (m)	T (s)	% acc.	H (m)	T (s)	% acc.
NORTE	0,84	16,65	0,05	0,98	14,28	0,00	0,86	15,95	0,00	0,84	14,59	0,01	0,82	17,88	0,03
N 22.5° E	0,80	16,11	0,05	1,01	14,28	0,00	0,93	15,43	0,01	0,75	14,55	0,01	0,76	17,24	0,02
N 45° E	0,94	16,32	0,07	2,08	25,00	0,00	0,98	16,73	0,02	0,72	14,90	0,02	0,67	16,15	0,02
N 67.5° E	0,99	15,74	0,12	0,99	15,01	0,00	1,05	16,21	0,08	0,83	14,99	0,02	0,67	14,12	0,01
ESTE	0,91	15,52	0,13	0,92	14,38	0,01	1,08	16,36	0,05	0,75	15,18	0,03	0,66	14,71	0,03
S 67.5° E	0,92	16,02	0,15	0,96	13,95	0,01	1,06	16,66	0,07	0,76	15,65	0,02	0,70	15,75	0,04
S 45° E	0,89	15,83	0,20	1,05	14,36	0,01	1,07	15,89	0,06	0,78	15,82	0,08	0,70	16,22	0,03
S 22.5° E	0,87	15,28	0,37	0,94	14,10	0,04	1,03	15,28	0,09	0,84	15,67	0,14	0,67	15,21	0,09
SUR	0,90	14,81	1,65	0,96	14,30	0,26	1,06	14,62	0,37	0,89	14,91	0,68	0,68	15,24	0,33
S 22.5° O	1,03	14,14	45,20	1,05	14,68	10,62	1,16	13,71	11,44	1,03	14,11	15,54	0,75	14,09	7,58
S 45° O	1,04	13,98	41,94	1,07	14,72	8,37	1,23	13,59	10,11	1,08	14,00	11,56	0,75	13,78	11,88
S 67.5° O	0,93	13,31	8,05	0,90	14,15	0,82	1,52	9,61	0,95	1,10	11,36	1,13	0,80	14,30	5,14
OESTE	0,89	14,01	1,66	1,03	9,81	0,18	1,33	10,89	0,02	1,16	11,79	0,14	0,84	14,93	1,29
N 67.5° O	0,82	17,35	0,20				1,00	15,01	0,00	0,69	14,94	0,01	0,82	17,67	0,17
N 45° O	0,82	16,27	0,06							0,81	14,90	0,02	0,83	16,91	0,04
N 22.5° O	0,84	17,40	0,03	0,87	15,38	0,00	1,02	16,67	0,00	0,77	15,01	0,00	0,83	18,64	0,02

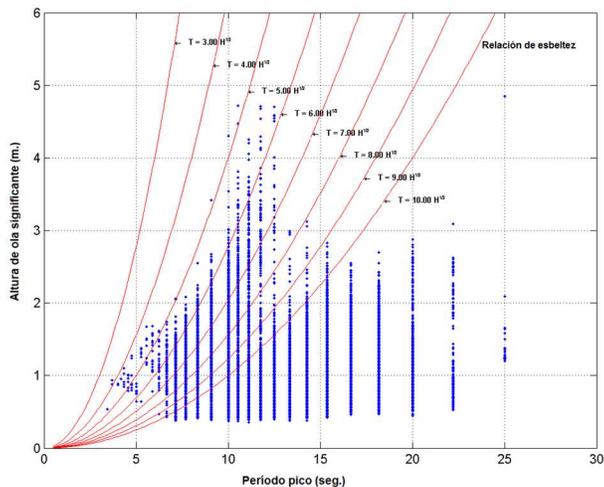
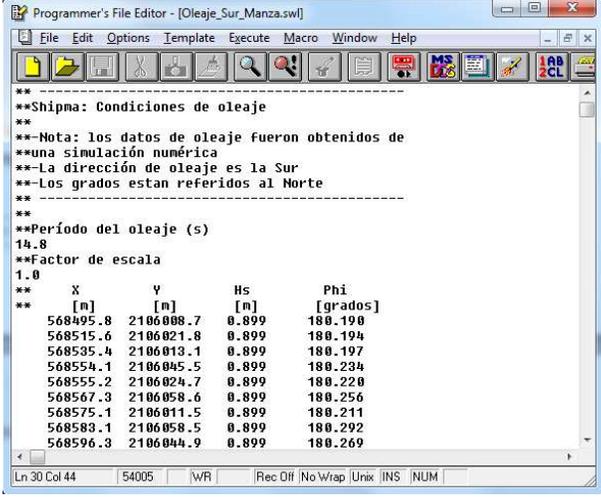


Figura 1.7 Distribución de los registros de oleaje altura de ola-período

El archivo de oleaje que se integra en la de la base de datos se muestra en la figura 1.7, el patrón de oleaje incorporado en los archivos de la base de datos se muestra en las gráficas del anexo 7.



```
Programmer's File Editor - [Oleaje_Sur_Manza.swl]
File Edit Options Template Execute Macro Window Help
***Shipma: Condiciones de oleaje
***
***Nota: los datos de oleaje fueron obtenidos de
***una simulación numérica
***La dirección de oleaje es la Sur
***Los grados estan referidos al Norte
***
***
***Período del oleaje (s)
14.8
***Factor de escala
1.0
***
*** X Y Hs Phi
*** [m] [m] [m] [grados]
***
568495.8 2106008.7 0.899 180.190
568515.6 2106021.8 0.899 180.194
568535.4 2106013.1 0.899 180.197
568554.1 2106045.5 0.899 180.234
568555.2 2106024.7 0.899 180.220
568567.3 2106058.6 0.899 180.256
568575.1 2106011.5 0.899 180.211
568583.1 2106058.5 0.899 180.292
568596.3 2106044.9 0.899 180.269
Ln 30 Col 44 54005 |WR| Rec Off |No Wrap |Unix |INS |NUM
```

Figura 1.8 Archivo de la base de datos con información de oleaje propagado hacia el puerto de Lázaro Cárdenas

1.5 Información de corrientes

Las corrientes influyen directamente en la maniobrabilidad de una embarcación, en la integración de la base de datos se incorporaron la información de las corrientes generadas por el oleaje.

La información de las corrientes por oleaje es el resultado de modelaciones numéricas en la zona de los puertos de Lázaro Cárdenas y Manzanillo, utilizó como base la batimetría, y el cálculo resultante del modelo de propagación de oleaje se ocupó para determinar las corrientes litorales, se utilizó un modelo de flujo del MIKE21 FM, dicho modelo es aplicado en zonas marinas donde generalmente los fenómenos de flujo y transporte son importantes, la condición inicial que se requiere es la dirección del oleaje, la altura y periodo de ola, así como los esfuerzos radiales, los cuales fueron determinados durante la modelación de la propagación de oleaje.

El modelo numérico se basa en la solución de las ecuaciones de Navier-Stokes y de continuidad, las cuales se discretizan espacialmente con la técnica de volumen infinito de celda centrada, la exactitud y el tiempo de simulación se controla y se especifica el intervalo del paso de tiempo y el número CFL (Courant-Friedrich-Lévy) que se debe mantener con un valor menor de uno.

Aunque el modelo numérico utilizado es muy estable en su formulación, es recomendable realizar mediciones de corrientes con instrumentos con objeto de calibrar el modelo numérico de corrientes litorales.

El cálculo de las corrientes para el puerto de Lázaro Cárdenas y el puerto de Manzanillo se realizaron para cada una de las direcciones de oleaje que se muestran en la tabla 1.6 y en la figura 1.9, los resultados se presentan con vectores, en donde se indican la dirección de propagación y el módulo del vector representa la velocidad de la corriente.

1.6 Información de corrientes del puerto de Lázaro Cárdenas

Se tomó en cuenta las modelaciones de las corrientes litorales, se obtuvieron resultados de la velocidad de la corriente en la bocana del puerto, dichos resultados se muestran en la tabla 1.6.

Tabla 1.6 Valores de altura de ola significativa media y periodo medio resultado de la caracterización del oleaje normal

Dirección	Altura de ola significativa (m)	Período (s)	Corriente en la bocana (m/s)	Dirección de la corriente (°)
S 22.5° E	1.59	9.07	0.045	137.5
Sur	1.21	13.31	0.036	131.8
S 22.5° O	1.23	14.26	0.039	126.1
S 45° O	1.15	13.72	0.029	135.8
S 67.5° O	1.09	12.69	0.020	140.4

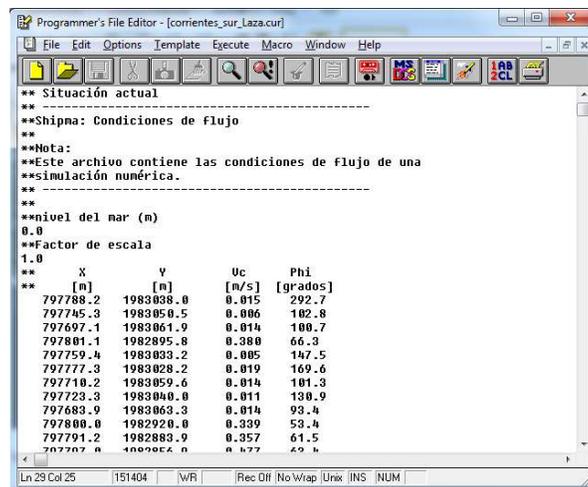


Figura 1.9 Archivo de la base de datos con información de corrientes del puerto de Lázaro Cárdenas

1.7 Información de corrientes del puerto de Manzanillo

En el caso del puerto de Manzanillo, y se tomó en cuenta las modelaciones de las corrientes litorales, se obtuvieron los resultados de la velocidad de la corriente en la bocana del puerto, dichos resultados se muestran en la tabla 1.7

Tabla 1.7 Magnitud y dirección de la corriente en la bocana

Dirección	Altura de ola significativa (m)	Período (s)	Corriente en la bocana (m/s)	Dirección de la corriente (°)
Sur	0.90	14.81	0.002	249.2
S 22.5° O	1.03	14.14	0.004	237.8
S 45° O	1.04	13.98	0.005	244.1
S 67.5° O	0.93	13.31	0.006	272.7
Oeste	0.89	14.01	0.018	276.2

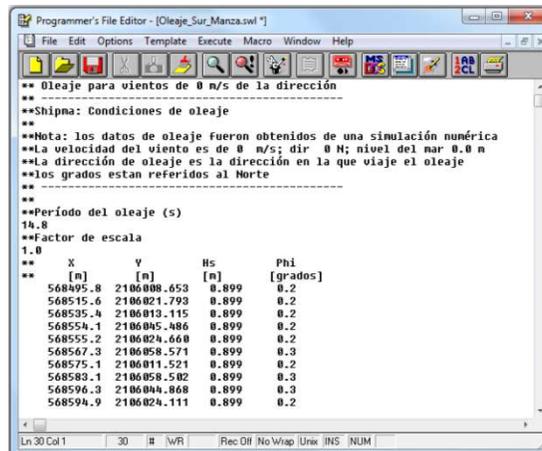


Figura 1.10 Archivo de la base de datos con información de corrientes del puerto de Manzanillo

1.8 Información de viento

La acción del viento actúa directamente en el área sobre la línea de flotación en las embarcaciones (obra muerta). Cuando la fuerza del viento actúa sobre el área expuesta del buque la acción resultante es una componente en el eje transversal y una componente en el longitudinal del barco, así como una resultante de rotación. (ver figura 1.11).

Para caracterizar el viento, en la zona de estudio, se analizaron los registros de las Estaciones Meteorológicas Automatizadas (EMA) que pertenecen a la RENEOM.

Para el análisis de los datos registrados en las EMAs y su caracterización consistió en la agrupación de los eventos registrados por dirección, una vez agrupados los eventos por dirección se determinó la velocidad promedio y la velocidad máxima registrada, de esta forma el viento reinante es aquel que presenta con mayor frecuencia en una dirección y el viento dominante es aquel que sopla con mayor intensidad en una dirección, también se realizaron tablas donde se indica la el número de eventos agrupados por rangos de velocidades y por dirección, este análisis se realizó para el régimen anual y régimen estacional.

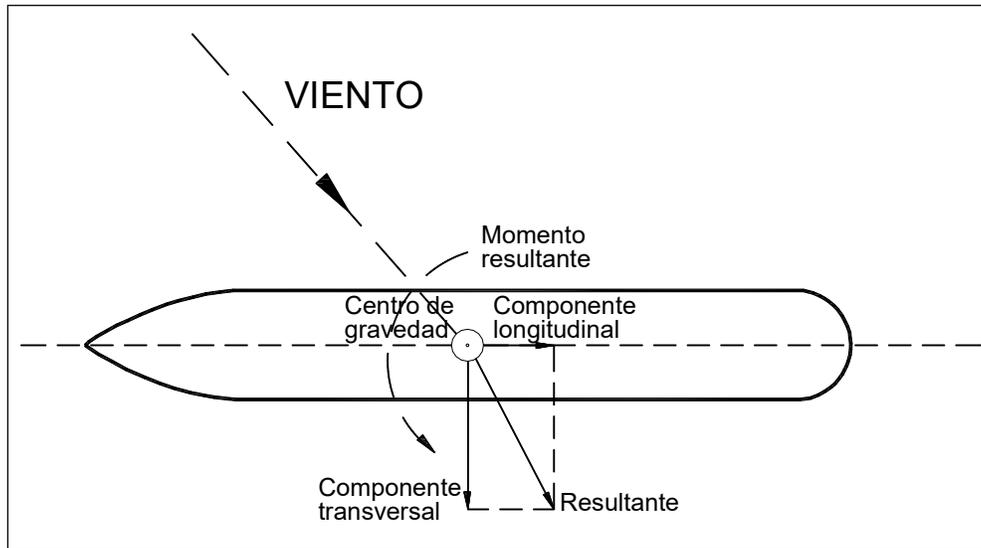


Figura 1.11 Esquema vectorial de la acción del viento sobre una embarcación

1.9 Información de viento del puerto de Lázaro Cárdenas

La EMA para el puerto de Lázaro Cárdenas se encuentra localizada en el faro del puerto al oeste de la bocana, el periodo de registros de medición abarca de noviembre de 2007 a julio de 2015.

El resumen estadístico de la incidencia de viento en la zona del puerto se presenta en la Tabla 1.9. Para el realizar el análisis de la información se elaboraron tablas de frecuencias cruzadas de la dirección de incidencia – magnitud del viento, y se determinó la velocidad promedio y la velocidad máxima registrada para realizar las gráficas de viento reinante y viento dominante, el arreglo tabular se realizó con la ayuda de los registros en forma anual y en forma estacional (ver Anexo 2).

Con base en los registros obtenidos de la EMA en el puerto de Lázaro Cárdenas existe una tendencia de frecuencia de incidencia de los vientos

de los cuadrantes al Norte (del sector N22.5°O al sector N45°E) con un 32.24 % y los cuadrantes al Oeste (del sector S22.5°E al sector S67.5°O) con un 42.02%. Las mayores velocidades de viento se registraron del sector S45°O al sector Norte (ver grafica de viento dominante en la figura 1.12).

En la base de datos se incorpora la información de la velocidad promedio y velocidad máxima registrada para los 16 sectores en los que se discretizó los registros de viento obtenidos de la EMA.

Tabla 1.8 Magnitud promedio y máxima del viento por dirección – régimen anual

Dirección	Velocidad promedio (m/s)	Velocidad máxima (m/s)
NORTE	3.59	56.91
N 22.5° E	3.02	29.29
N 45° E	4.07	29.35
N 67.5° E	4.15	29.23
ESTE	4.55	29.29
S 67.5° E	3.78	28.52
S 45° E	4.47	31.37
S 22.5° E	3.86	29.76
SUR	5.25	38.56
S 22.5° O	5.38	50.08
S 45° O	5.41	56.91
S 67.5° O	5.92	56.44
OESTE	5.49	58.46
N 67.5° O	4.22	58.10
N 45° O	4.05	58.04
N 22.5° O	3.43	56.91
NORTE	3.59	56.91
N 22.5° E	3.02	29.29

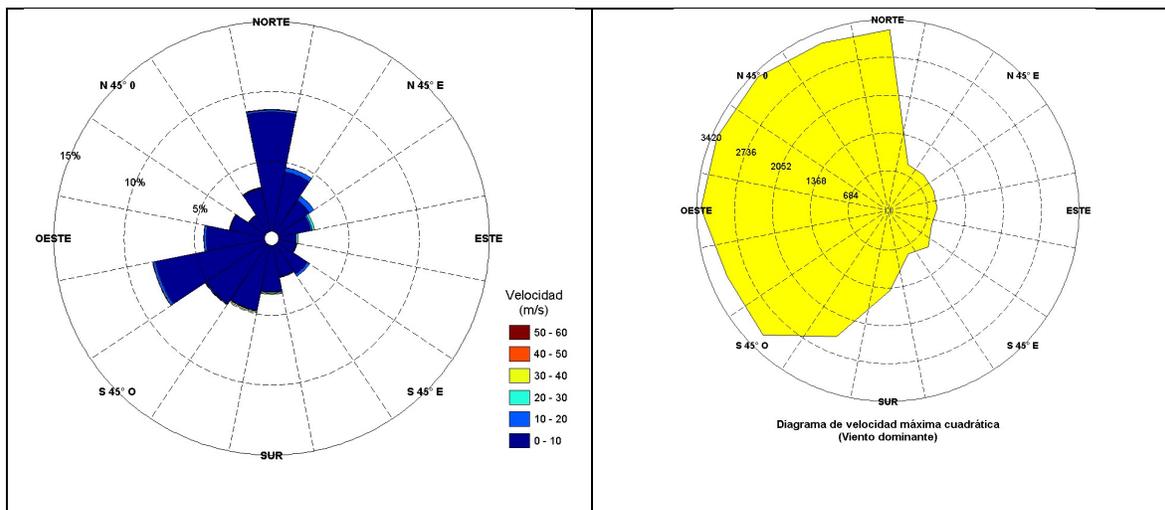


Figura 1.12 Graficas del viento reinante (mayor frecuencia) y del viento dominante (mayor intensidad) por dirección-Régimen Anual

Tabla 1.9 Frecuencias cruzadas de la magnitud del viento – dirección régimen anual

Dirección	v e l o c i d a d (m/s)													Total	%
	<2,00	2,00	4,00	6,00	8,00	10,00	12,00	14,00	16,00	18,00	20,00	40,00	>50,0		
NORTE	2140	1803	1036	281	209	80	1	1			10	3	17	5581	14,04
N 22.5° E	1214	1460	128	41	3	24	111	55	1		5			3042	7,65
N 45° E	774	926	98	38	38	15	6	48	107	53	7			2110	5,31
N 67.5° E	664	789	136	12		2				75	96			1774	4,46
ESTE	333	367	99	17	8	4	1				84			913	2,30
S 67.5° E	263	350	155	47	17	5	5	2	1		20			865	2,18
S 45° E	282	747	481	127	66	41	38	34	7		6			1829	4,60
S 22.5° E	325	629	387	133	42	20	6	3			9			1554	3,91
SUR	273	769	826	242	50	14	5	3	2	2	93			2279	5,73
S 22.5° O	200	806	1280	771	132	8	2	3	1		55		1	3259	8,20
S 45° O	187	670	1348	904	235	30	1				15	3		3394	8,54
S 67.5° O	190	851	1804	1743	709	107	7				4	4	4	5423	13,65
OESTE	275	711	805	659	306	94	9				1	8	8	2876	7,24
N 67.5° O	432	536	520	179	44	10	4				2	7	9	1743	4,39
N 45° O	426	465	80	9	1						5	6	24	1016	2,56
N 22.5° O	961	948	104	14	1			1	1		6	14	32	2082	5,24
Total	8939	12827	9287	5217	1861	454	196	150	120	130	418	45	96	39740	
%	22,49	32,28	23,37	13,13	4,68	1,14	0,49	0,38	0,30	0,33	1,05	0,11	0,24		

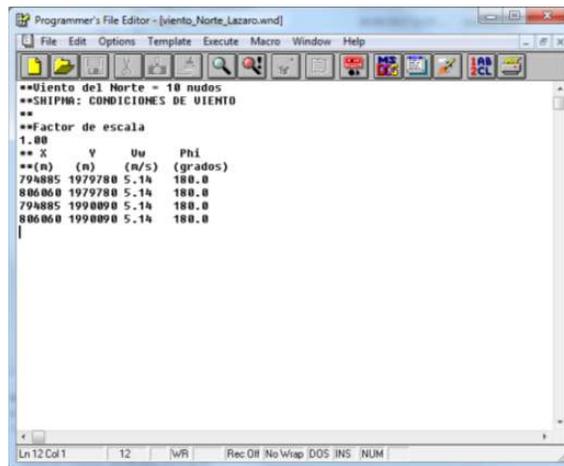


Figura 1.13 Archivo de la base de datos con información de viento promedio

1.10 Información de viento del puerto de Manzanillo

La EMA para el puerto de Manzanillo se encuentra localizada sobre el edificio de la Capitanía de puerto al del canal de acceso al recinto, el periodo de registros de medición abarca de noviembre de 2007 a marzo de 2015.

El resumen estadístico de la incidencia de viento en la zona del puerto se presenta en la Tabla 1.11, los registros se agruparon en forma anual y en forma estacional, las tablas de frecuencias cruzadas de la dirección de incidencia – magnitud del viento y tablas de la velocidad promedio y la velocidad máxima se encuentran en el anexo 3.

Con base en los registros obtenidos de la EMA en el puerto de Manzanillo existe una tendencia de incidencia de los vientos de los cuadrantes al Norte (del sector Norte al sector N 45° E) con un 30.95 % de frecuencia y de los cuadrantes al Oeste (del sector S 67.5° E al sector Oeste) con un 32.92% de frecuencia. Las mayores velocidades de viento se registraron en los sectores Norte, S 67.5° E, S 67.5° O, N 67.5° O, N 45° O (ver grafica de viento dominante en la figura 15).

En la base de datos se incorpora la información de la velocidad promedio y velocidad máxima registrada para los 16 sectores en los que se discretizó los registros de viento obtenidos de la EMA.

Tabla 1.10 Magnitud promedio y máxima del viento por dirección – régimen anual

Dirección	Velocidad promedio (m/s)	Velocidad máxima (m/s)
NORTE	1.76	30.27
N 22.5° E	2.32	7.48
N 45° E	2.18	10.37
N 67.5° E	1.85	12.1
ESTE	2.69	10.72
S 67.5° E	3.22	29.93
S 45° E	3.68	12.4
S 22.5° E	3.83	10.58
SUR	3.81	9.36
S 22.5° O	3.96	11.43
S 45° O	3.43	10.99
S 67.5° O	5.8	41.41
OESTE	4.65	14.09
N 67.5° O	3.01	39.79
N 45° O	3.94	29.93
N 22.5° O	2.81	11.35
NORTE	1.76	30.27
N 22.5° E	2.32	7.48

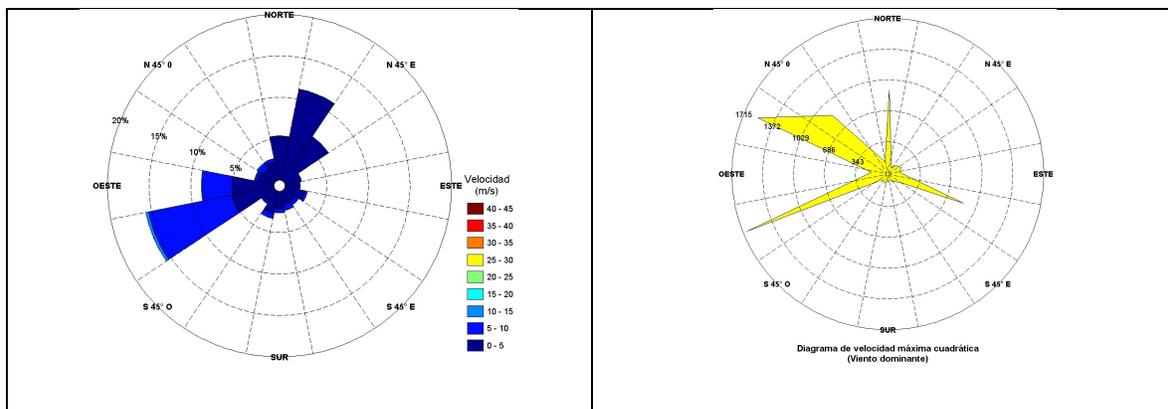


Figura 1.14 Graficas del viento reinante (mayor frecuencia) y del viento dominante (mayor intensidad) por dirección- Régimen Anual

Tabla 1.11 Frecuencias cruzadas de la magnitud del viento – dirección régimen anual

Dirección	v e l o c i d a d (m/s)												Total	%	
	<2,00	2,00	4,00	6,00	8,00	10,00	12,00	14,00	16,00	18,00	20,00	40,00			>50,0
NORTE	2756	3119	138	20	9	1							1	6044	7,20
N 22.5° E	4223	8098	350	22										12693	15,12
N 45° E	2952	4171	136	1		1								7261	8,65
N 67.5° E	1354	890	37	1	1	1	1							2285	2,72
ESTE	797	888	289	72	9	4								2059	2,45
S 67.5° E	608	1744	591	127	36	4							2	3112	3,71
S 45° E	431	1043	606	242	47	18	3							2390	2,85
S 22.5° E	427	959	1042	256	10	1								2695	3,21
SUR	338	1174	1326	108	9									2955	3,52
S 22.5° O	330	1352	2027	95	11	1								3816	4,55
S 45° O	416	1082	595	118	20	5								2236	2,66
S 67.5° O	742	2630	5888	6066	2073	345	12					1		17757	21,15
OESTE	1070	2834	3464	1845	561	101	4	1						9880	11,77
N 67.5° O	924	1139	506	116	19	16	13	1	1				3	2738	3,26
N 45° O	1011	883	349	363	247	91	42	5	1				1	2993	3,57
N 22.5° O	1315	1096	312	216	75	16								3030	3,61
Total	19694	33102	17656	9668	3127	605	75	7	2	0	7	1	0	83944	
%	23,46	39,43	21,03	11,52	3,73	0,72	0,09	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00		

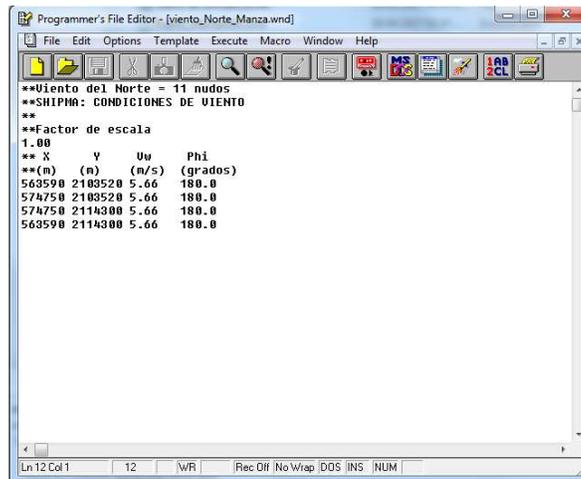


Figura 1.15 Archivo de la base de datos con información de viento promedio

1.11 Información de marea astronómica

Para caracterizar el tipo de marea, esta se relaciona fundamentalmente con el período de ocurrencia de los niveles altos (pleamares) y de los niveles bajos (bajamares), definiéndose en general los siguientes tipos de marea astronómica:

- a) Marea diurna, se presenta una pleamar y una bajamar por ciclo en un período de 24 h y 50 min (valor promedio).
- b) Marea semidiurna, se presentan dos pleamares y dos bajamares durante dos ciclos sucesivos, con período de 12 h y 25 min cada uno (valor promedio); las amplitudes de ambas son sensiblemente semejantes.

- c) Marea mixta, se presentan dos pleamares y dos bajamares durante dos ciclos sucesivos, con período de 12 h y 25 min cada uno (valor promedio); las amplitudes de ambas presentan diferencias notorias.

La caracterización del tipo de marea se utilizaron las amplitudes de las constantes armónicas, se realiza con variables como son: como base las componentes de marea diurnas (K_1 y O_1) y semidiurnas (M_2 y S_2), y se expresa de la siguiente manera

$$R = \frac{A(K_1)+A(O_1)}{A(M_2)+A(S_2)}$$

Donde: $A(K_1)$, $A(O_1)$, $A(M_2)$ y $A(S_2)$ representan las amplitudes de las componentes de marea K_1 , O_1 , M_2 y S_2 , respectivamente.

El tipo de marea representativa del sitio de estudio, se deriva de acuerdo con el valor resultante de la ecuación anterior, como sigue:

Si $R > 1.50$ el tipo de marea es diurna,

Si $R < 0.25$ el tipo de marea es semidiurna,

Si $0.25 \leq R \leq 1.50$ el tipo de marea es mixta.

Se tomó en cuenta la ecuación anterior, se calculó y se definió el tipo de marea que se presentan en los puertos de Lázaro Cárdenas y Manzanillo.

Para el caso del Puerto de Lázaro Cárdenas, se obtuvieron los valores de las componentes armónicas K_1 , O_1 , M_2 y S_2 , estos valores se encuentran en "Tablas de 1993 predicción de mareas", del Instituto de Geofísica de la UNAM, los cuales sus valores son los siguientes:

Componente	K_1	O_1	M_2	S_2
	0.163 m.	0.119 m.	0.145 m.	0.168 m.

Con los valores de las componentes se determinó el valor de la variable R , siendo esta igual 0.90, y de acuerdo con los rangos del valor de R , el tipo de marea que se presenta en Lázaro Cárdenas es mixta.

Por otro lado, en el caso del Puerto Manzanillo, se obtuvieron los valores de las componentes armónicas K_1 , O_1 , M_2 y S_2 , estos valores se encuentran en "Tablas de 1993 predicción de mareas", del Instituto de Geofísica de la UNAM, los cuales sus valores son los siguientes:

Componente	K_1	O_1	M_2	S_2
	0.137 m.	0.107 m.	0.091 m.	0.112 m.

Con los valores de las componentes se determinó el valor de la variable R , siendo esta igual 1.20, y de acuerdo con los rangos del valor de R , el tipo de marea que se presenta en Manzanillo es mixta.

Los niveles de referencia que se consideraron son los que se indican en las cartas náuticas, los valores se muestran en las tablas 1.12 y 1.13.

Tabla 1.12 Niveles de mareas para el puerto de Lázaro Cárdenas

Nivel de pleamar media superior	0.509 m.
Nivel de pleamar media	0.462 m.
Nivel medio del mar	0.286 m.
Nivel de bajamar media	0.121 m.
Nivel de bajamar media inferior	0.000 m.

Tabla 1.13 Niveles de mareas para el puerto de Manzanillo

Nivel de pleamar media superior	0.663 m.
Nivel de pleamar media	0.605 m.
Nivel medio del mar	0.359 m.
Nivel de bajamar media	0.127 m.
Nivel de bajamar media inferior	0.000 m.

En la base de datos la información de la marea astronómica se incorpora en el renglón siguiente al campo identificado como “water level (m)” en los archivos con extensión.CUR que correspondientes a los archivos con información de las corrientes. El valor de la marea astronómica en este campo modifica junto con los valores de la profundidad del fondo modifica el tirante de agua existente en la simulación, no es posible durante la simulación realizar una variación de este parámetro, pero se pueden generar archivos con diferentes valores de elevación de marea para su análisis. El nivel de referencia que se incorporó en la base de datos para los puertos de Manzanillo y Lázaro Cárdenas es el Nivel de bajamar media inferior con elevación 0.0 m.

1.12 Información de la embarcación

El modelo que se utilizó en las simulaciones corresponde a un barco PANAMAX portacontenedor. Los detalles del modelo de este buque se muestran en la tabla a continuación:

Tipo de Buque	Nombre del modelo	Toneladas de desplazamiento (T)	Longitud LOA (m)	Manga (m)	Calado Proa (m)	Calado Popa (m)
Portacontenedor PANAMAX	Con009g1	39200	200.0	30.5	10.5	10.5

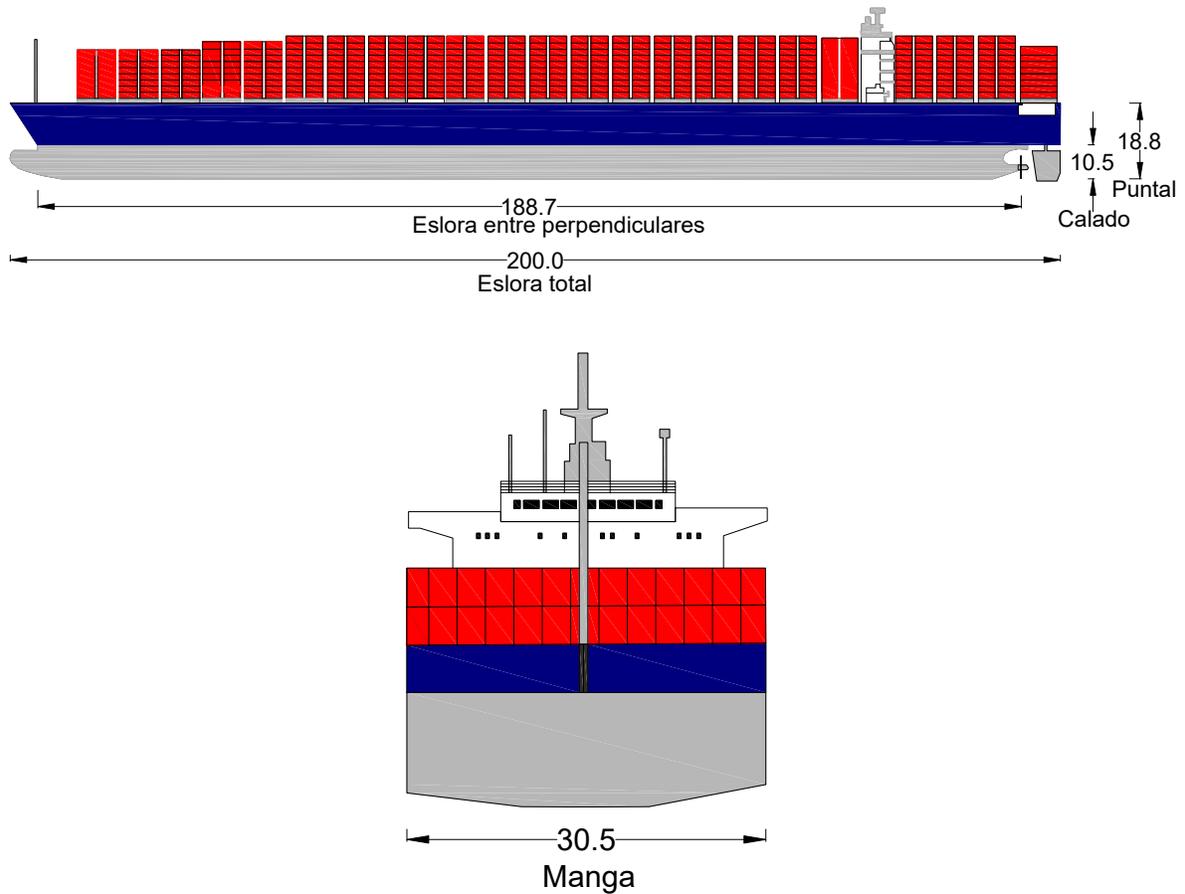


Figura 1.16 Dimensiones generales del modelo de la embarcación

Tabla 1.14 Datos y dimensiones del modelo de la embarcación

Eslora	200.00 (m)	Potencia	13250 (kW)
Eslora entre perpendiculares	188.70 (m)	Número de revoluciones	98 (rpm)
Manga	30.50 (m)	Velocidad de servicio	18.8 (kn)
Calado + francobordo	18.80 (m)	Número de propelas	1
Calado a la mitad	10.50 (m)	Diámetro de propela	6.60 (m)
Calado en la proa	10.50 (m)	Relación del pitch	0.70
Calado en la popa	10.50 (m)	Número de timones	1
Desplazamiento	39200 (T)	Área frontal expuesta al viento	885 (m ²)
Toneladas de peso muerto (completamente cargado)	33090 (T)	Área lateral expuesta al viento	3960 (m ²)
Calado máximo (completamente cargado)	12.00 (m)	Hélice de proa (thruster)	-----
Tipo de maquina	Diesel-Eléctrico	Hélice de popa (thruster)	-----

1.13 Representación matemática del buque

El modelo matemático de maniobrabilidad de un barco consiste en un conjunto de ecuaciones que constituyen una relación entre la posición y las velocidades del barco en dos puntos posteriores en el tiempo, El ángulo de timón y las revoluciones por minuto (rpm) de la hélice o propela tienen una parte importante en estas ecuaciones.

Lo anterior implica que la maniobrabilidad de un barco, el cual es un sistema dinámico, se desarrolla como una serie de estados del sistema al siguiente paso de tiempo (en este caso la posición, el rumbo y velocidades del barco). Cuanto más pequeño sea el intervalo de tiempo entre dos pasos de tiempo, más se asemeja el modelo al sistema real (continuo). Un equilibrio entre la precisión y la velocidad computacional tiene que resultar en una elección razonable para el paso del tiempo. En el caso de las simulaciones realizadas el paso de tiempo que se seleccionó fue de 1 segundo.

La dinámica de la maniobrabilidad del barco se describe por el cambio del estado del sistema en cualquier momento, el cual está en función de: de la trayectoria objetivo, el timón y de las revoluciones de la hélice, además de la influencia de condiciones externas como la corriente, viento y oleaje. Esta función se puede encontrar mediante la aplicación de la conocida segunda ley de Newton:

La fuerza aplicada a un cuerpo = a la masa por su aceleración (1)

Como es más conveniente expresar los modelos de maniobrabilidad en términos de las direcciones de movimiento que se observan desde el barco (en particular, el vaivén (surge), deriva (sway) y la guiñada (yaw)).

Las tres direcciones horizontales del movimiento son las pertinentes para la maniobrabilidad del buque, en algunos casos los otros movimientos pueden llegar a ser importantes ya que influyen en el comportamiento del buque en el plano horizontal, sin embargo, estos casos se limitan a barcos muy rápidos. Para los cuerpos delgados y simétricos (como suelen ser la mayoría de los barcos mercantes), las ecuaciones generales de movimiento en las tres direcciones del plano horizontal pueden simplificarse como sigue:

$$\begin{aligned} X &= m\{\dot{u} - rv - xgr^2\} \\ Y &= m\{\dot{v} - ru + xg\dot{r}\} \\ \hat{A}N &= I_{zz}r + mxg\{\dot{v} + ru\} \end{aligned} \quad (2)$$

Donde:

X = Es la fuerza longitudinal total que actúa sobre el barco (N)

Y = Es la fuerza transversal total que actúa sobre el barco (N)

N = Es el momento total de la guiñada (yaw) que actúa sobre el barco (Nm)

m = Es la masa del barco (kg)

I_{zz} = Es el momento de inercia del barco alrededor del eje vertical (Kgm²)

u = Es la velocidad de avance del barco (m/s)

v = Es la deriva (sway) del barco (m/s)

r = Es la guiñada (yaw) del barco (°/s)

xg = Es la posición del centro de gravedad del barco, y

\hat{A} = Es la derivada en el tiempo.

Cuando el origen del sistema coordenado coincide con el centro de gravedad del barco, se puede sustituir la ecuación 2 con $xg = 0$, el cual se simplifica considerablemente, el cual quedara de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} u(t + \delta t) &\approx u(t) + \delta t \cdot \dot{u}(t) \\ v(t + \delta t) &\approx v(t) + \delta t \cdot \dot{v}(t) \\ r(t + \delta t) &\approx r(t) + \delta t \cdot \dot{r}(t) \end{aligned} \quad (3)$$

Por lo tanto, la aproximación se convierte en igualdad cuando el tiempo se aproxime a cero. Las ecuaciones (3) representan el mecanismo que se utiliza para calcular la velocidad después de cada paso de tiempo. Además,

también se obtiene la posición y el rumbo del barco. Entonces, las ecuaciones anteriores se pueden representar de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} u(t + \delta t) &\approx u(t) + \delta t \cdot \{u(t) \cos(\psi(t)) - v(t) \sin(\psi(t))\} \\ v(t + \delta t) &\approx v(t) + \delta t \cdot \{u(t) \sin(\psi(t)) + v(t) \cos(\psi(t))\} \\ \psi(t + \delta t) &\approx \psi(t) + \delta t \cdot \dot{r}(t) \end{aligned} \quad (4)$$

Hay que notar que las ecuaciones (4) del lado derecho contienen cantidades conocidas como: u , v y r son parte del estado del sistema. Por lo contrario, los lados derechos de las ecuaciones (3) tienen cantidades no conocidas como: $u(t)$, $v(t)$ y $r(t)$.

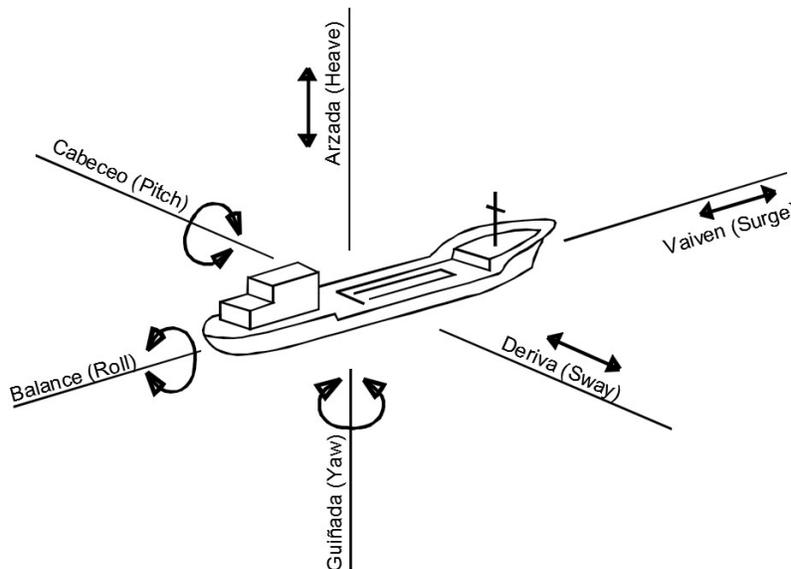


Figura 1.17 Grados de libertad de una embarcación

1.14 Información de los remolcadores

En los puertos los remolcadores ofrecen escolta y asistencia durante el tránsito de las embarcaciones regularmente la asistencia y la escolta se realiza desde la estación de pilotaje y hasta el atraque en muelle (y viceversa). Los remolcadores se utilizan para asistir a las embarcaciones en las maniobras de atraque, desatraque, ayudan a las embarcaciones a realizar giros en áreas limitadas, proporcionar el apoyo necesario para contrarrestar la acción del viento, del oleaje o de las corrientes y ayudan a frenar a la embarcación.

Los remolcadores son embarcaciones especiales en su diseño y equipamiento, regularmente los remolcadores de puerto tienen una

eslora comprendida entre 20 y 30 m. con un calado entre 3.0 y 4.5 m. y pueden mantener velocidades entre 5 y 13 nudos.

Los remolcadores por su sistema de propulsión pueden ser convencionales, ASD o Voith-Schneider. La tendencia en los puertos para la asistencia de embarcaciones es utilizar remolcadores con propulsión ASD o que su sistema propulsor este ubicado en la parte de proa (remolcador tipo tractor), lo anterior es debido a estos remolcadores tienen una gran maniobrabilidad, potencia y facilidad para desplazarse de forma lateral (walking).

En el software SHIPMA se puede establecer la forma en que los barcos remolcadores asiste a la maniobra de un barco el cual indica lo siguiente:

- Posición en la que el remolcador estará firme al barco,
- Tipo de remolcador (convencional, ASD o Voith-Schneider),
- Acción del remolcador sobre la embarcación (empujar o jalar)
- Fuerza que proveerá el remolcador.

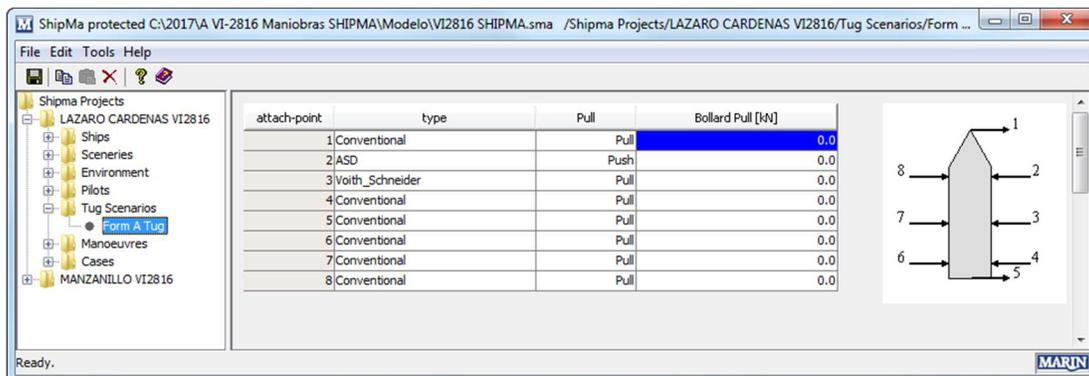


Figura 1.18 Posibles puntos de asistencia a la embarcación de los remolcadores en el software

En la base de datos no se incluye la información de la asistencia de los barcos remolcadores debido a que esta información es parte de una estrategia durante la maniobra, en las maniobras realizadas en el presente estudio no se consideró la asistencia de barcos remolcadores.

2. Integración y validación de la base de datos con la simulación

La integración de la información referente a las condiciones físicas, las condiciones océano – meteorológicas en la base de datos se realizó con la ayuda de varios archivos con estructura jerárquica que maneja el sistema del software, lo anterior con la finalidad de identificar los archivos que se pudieran utilizar en una simulación numérica.

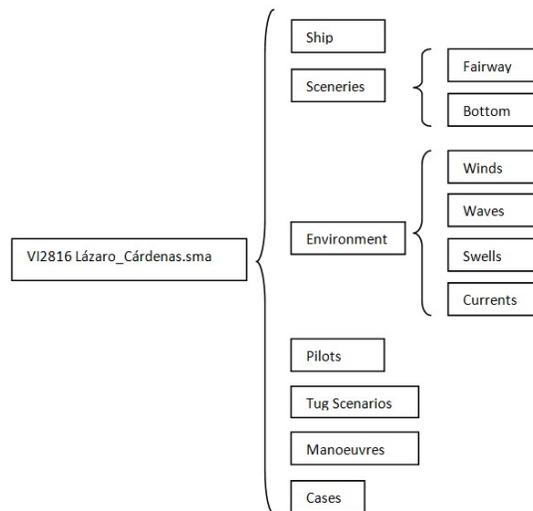


Figura 2.1 Organización de los archivos de la base de datos

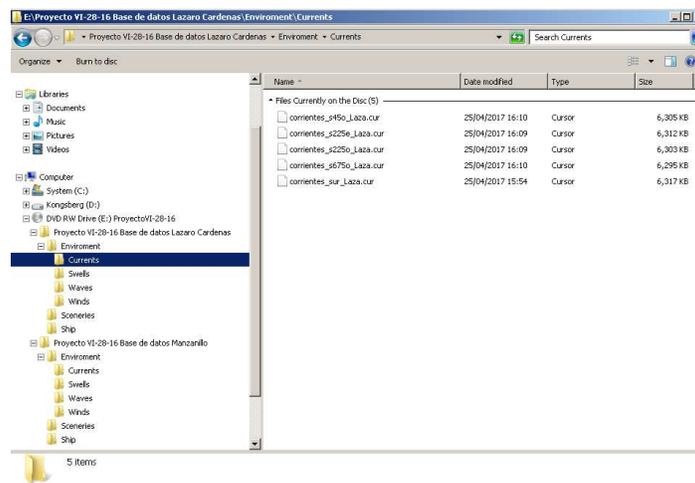


Figura 2.2 Archivos de la base de datos

Para validar que los datos contenidos en la base de datos, se realizó una serie de pruebas para determinar las condiciones náuticas que permitan determinar la distancia de frenado de la embarcación sin la ayuda de remolcadores.

Con objeto de identificar claramente el efecto de las condiciones náuticas (condiciones océano – meteorológicas) se realizaron las siguientes simulaciones:

1. Simulaciones con viento dominante,
2. Simulaciones con viento reinante,
3. Simulaciones con oleaje, y
4. Simulaciones con corrientes.

2.1 Procedimiento de parada y distancia real de parada de una embarcación

La aproximación de una embarcación al interior del puerto consta de cuatro zonas principales:

- Zona exterior
- Entrada el puerto o bocana
- Canal interior
- Dársena de maniobra

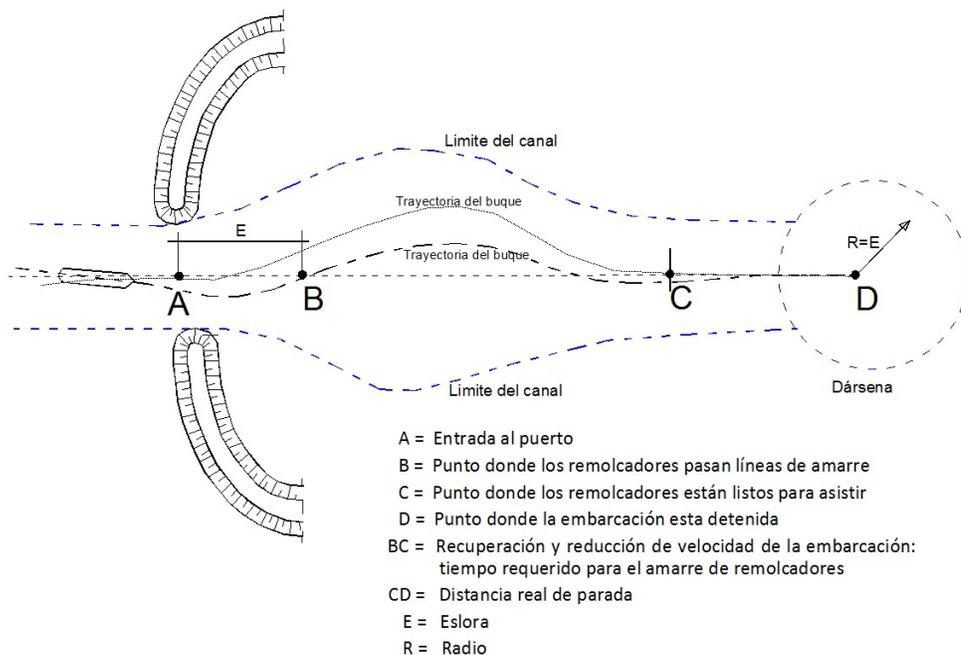


Figura 2.3 Esquema del procedimiento de parada de una embarcación

La embarcación se prepara desde que se aproxima desde la zona exterior y empieza con una reducción de la velocidad hasta el área de la dársena de maniobra.

Las maniobras de embarcaciones pequeñas o medianas generalmente no tienen problemas por el dimensionamiento de la infraestructura portuaria, las longitudes de parada requeridas por estas embarcaciones son reducidas y normalmente pueden adaptarse en canales y espacios de maniobra tradicionalmente dimensionados. La capacidad de maniobra de estos buques es generalmente buena y al entrar en el puerto, a menudo realizan maniobras y logran frenarse con sus propios medios.

Sin embargo, para embarcaciones grandes (50,000 DWT o mayores) la situación es diferente, debido a que su distancia de parada es mucho más grande y pierden el control del rumbo durante una maniobra de frenado, las embarcaciones grandes generalmente no se detienen sin ayuda en áreas restringidas, por lo que, siempre y cuando no se disponga de una estrategia y técnicas eficaces del uso los remolcadores, las embarcaciones de grandes dimensiones deben mantener una velocidad mínima para asegurar un control suficiente del timón, el cual requiere todo momento de la asistencia de remolcadores en áreas restringidas.

En zonas protegidas con poca influencia de corrientes, las maniobras de acceso y de frenado dentro de los límites de las áreas de navegación están determinadas por los siguientes factores:

- Velocidad de entrada de la embarcación
- El tiempo necesario para amarrar remolcadores y colocarse en posición de maniobra.
- Distancia real de parada de la embarcación

El tiempo necesario para conectar remolcadores (sección BC en la figura 2.3) depende de la experiencia de la tripulación y de las condiciones ambientales. En circunstancias normales esto puede tomar de 5 a 20 minutos. Si un buque se mueve demasiado rápido o si el oleaje es grande, los remolcadores no pueden conectarse al barco y mantienen una seguridad aceptable. La velocidad límite del buque para lograr la conexión con los remolcadores es regularmente es de 5 a 6 nudos. La altura de ola que limita las operaciones de los remolcadores está en el intervalo de $H_s = 1.5$ a 3.0 m., el cual depende del tipo de remolcador, la habilidad de la tripulación y la posibilidad moverse al lado de sotavento del buque.

Idealmente los remolcadores hacen lo más rápido posible la maniobra de aproximación al buque y el pase de los cabos ya que la embarcación está donde los remolcadores puedan trabajar, o dentro de aguas protegidas, o

en la entrada del puerto, esto por supuesto, reduce considerablemente la longitud de parada requerida dentro del puerto. Sin embargo y muy frecuentemente los remolcadores tienen que esperar hasta que la embarcación esté a una distancia considerable dentro del puerto donde las condiciones sean aceptables para aproximarse al buque con seguridad.

La distancia real de parada (sección CD en la figura 2.3) es relativamente corta, las embarcaciones grandes dan marcha atrás en el momento en que los remolcadores pueden controlar el rumbo hasta lograr la detención.

2.2 Caso de estudio puerto de Lázaro Cárdenas

La maniobra que se realizó para el caso de estudio fue una parada forzada (la parada se realiza dando marcha atrás), para lo cual se definió una trayectoria inicial, trayectoria que el autopilotaje del algoritmo del modelo SHIPMA intentará seguir, el autipilotaje del software controlará de forma automática el timón durante las pruebas y se definieron las ordenes a la máquina en esa trayectoria, con la orden a la máquina, en el software, se puede controlar la velocidad de giro de la propela (RPM) o la velocidad de la embarcación (nudos).

La estrategia de la maniobra de parada forzada consistió en lo siguiente: la embarcación se aproxima al puerto con el rumbo definido por la trayectoria inicial, la embarcación navega con su máquina en Avante media (60 RPM) que mantiene hasta llegar a la bocana (cadenamiento 3+500) en este punto se inicia el frenado de la embarcación por sus propios medios con el cambio a la orden a la maquina Avante muy poca (30 RPM), la embarcación avanza 500 m. y nuevamente se cambia la orden a la máquina, la orden es Atrás muy poca (-30 RPM), en este momento la propela de la embarcación empieza a detenerse totalmente y empieza a girar en sentido contrario para dar marcha atrás (cuando la propela está en marcha atrás se pierde la eficiencia del timón), la maniobra termina cuando la embarcación se detiene.

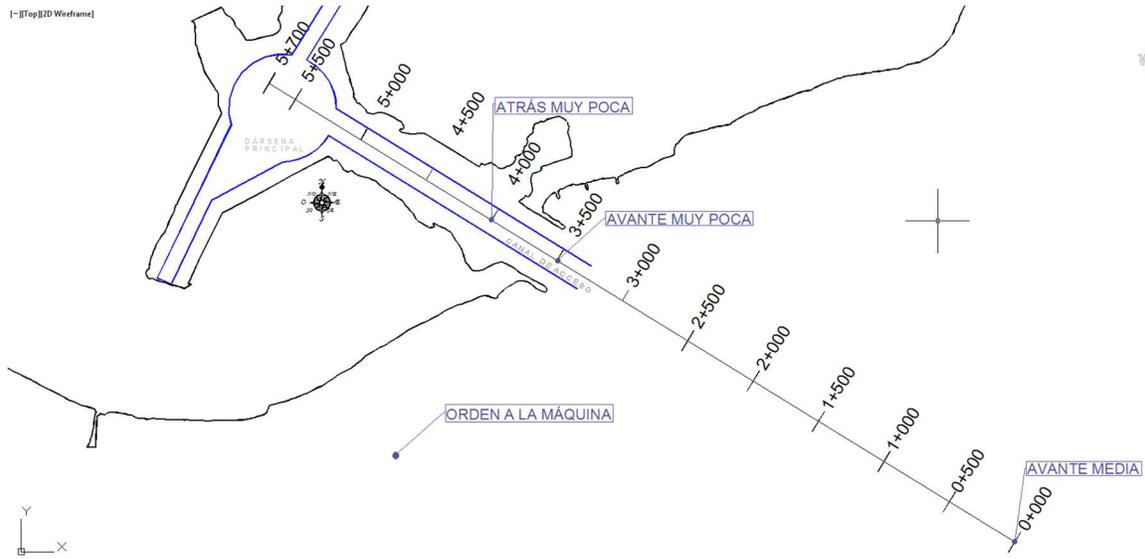


Figura 2.4 Trayectoria inicial y órdenes a la máquina



Figura 2.5 Coordenadas UTM de la trayectoria inicial en la interface del software



Figura 2.6 Órdenes a la máquina en la interface del software

Para determinar la distancia de parada que recorrió la embarcación bajo diferentes condiciones se realizó la siguiente matriz de pruebas, en la que se consideró de forma separada la acción del viento, la acción del oleaje y la acción de las corrientes.

En la primera prueba no se consideró la acción del viento oleaje y corrientes, esta prueba se utilizó como maniobra de referencia, en simulaciones posteriores se consideraron cuatro grupos de pruebas. En el primer y segundo grupo de pruebas de la matriz, se consideró la acción del viento en ocho direcciones, en el primer grupo se consideró la mayor velocidad promedio 10 nudos, viento dominante, y en el segundo se consideró el viento reinante, la mayor velocidad registrada 35 nudos.

En el tercer grupo de pruebas se consideró la acción del oleaje en cinco direcciones, la altura de ola significativa media y periodo medio resultado de la caracterización del oleaje normal. En el cuarto grupo de pruebas se consideró la acción de las corrientes que fueron modeladas numéricamente.

Tabla 2.1 Matriz de escenarios simulados para determinar la distancia de parada

	Prueba No.	Puerto	Maniobra	Viento		Oleaje			Corriente			Distancia de Parada (m)
				Dirección	Vel (Nudos)	Dirección	Altura (m)	Periodo (s)	Dirección	Vel (m/s)	Dir (grados)	
REF	1	Lázaro Cárdenas	Entrada - parada forzada	-	-							1,927.80
GRUPO 1	2	Lázaro Cárdenas	Entrada - parada forzada	N 22.5° O	10							1,777.80
	3	Lázaro Cárdenas	Entrada - parada forzada	NORTE	10							1,776.70
	4	Lázaro Cárdenas	Entrada - parada forzada	N 67.5° E	10							1,928.20
	5	Lázaro Cárdenas	Entrada - parada forzada	ESTE	10							1,959.40
	6	Lázaro Cárdenas	Entrada - parada forzada	S 22.5° E	10							1,971.50
	7	Lázaro Cárdenas	Entrada - parada forzada	SUR	10							1,944.40
	8	Lázaro Cárdenas	Entrada - parada forzada	S 67.5° O	10							1,815.40
	9	Lázaro Cárdenas	Entrada - parada forzada	OESTE	10							1,799.60
	GRUPO 2	10	Lázaro Cárdenas	Entrada - parada forzada	N 22.5° O	35						
11		Lázaro Cárdenas	Entrada - parada forzada	NORTE	35							encalló
12		Lázaro Cárdenas	Entrada - parada forzada	N 67.5° E	35							encalló
13		Lázaro Cárdenas	Entrada - parada forzada	ESTE	35							encalló
14		Lázaro Cárdenas	Entrada - parada forzada	S 22.5° E	35							encalló
15		Lázaro Cárdenas	Entrada - parada forzada	SUR	35							encalló
16		Lázaro Cárdenas	Entrada - parada forzada	S 67.5° O	35							encalló
17		Lázaro Cárdenas	Entrada - parada forzada	OESTE	35							encalló
GRUPO 3	18	Lázaro Cárdenas	Entrada - parada forzada			S 22.5° E	1.59	9.07				1,945.30
	19	Lázaro Cárdenas	Entrada - parada forzada			Sur	1.21	13.31				1,936.50
	20	Lázaro Cárdenas	Entrada - parada forzada			S 22.5° O	1.23	14.26				1,937.00
	21	Lázaro Cárdenas	Entrada - parada forzada			S 45° O	1.15	13.72				1,930.40
	22	Lázaro Cárdenas	Entrada - parada forzada			S 67.5° O	1.09	12.69				1,929.30
GRUPO 4	23	Lázaro Cárdenas	Entrada - parada forzada						S 22.5° E	0.045	137.5	1,942.30
	24	Lázaro Cárdenas	Entrada - parada forzada						Sur	0.036	131.8	1,921.50
	25	Lázaro Cárdenas	Entrada - parada forzada						S 22.5° O	0.039	126.1	1,922.30
	26	Lázaro Cárdenas	Entrada - parada forzada						S 45° O	0.029	135.8	1,924.70
	27	Lázaro Cárdenas	Entrada - parada forzada						S 67.5° O	0.02	140.4	1,926.70

2.2.1 Resultados de las pruebas

Pruebas con viento

De las pruebas definidas en la matriz se determinaron las distancias recorrida por la maniobra de parada forzada. La distancia recorrida por la embarcación en la maniobra de referencia fue de 1927m.

En el primer grupo de pruebas, donde la dirección del viento es de 10 nudos para las diferentes direcciones consideradas, la distancia menor que la embarcación navegó fue de 1776 m., cuando el viento viene de la dirección Norte y ayuda al frenado (ver la figura 2.7), sin embargo la embarcación sale de los límites del canal de acceso aproximadamente en el cadenamiento 5+000.

Cuando la acción del viento proviene de las direcciones N67.5°E-10N y Este-10N, el comportamiento de la trayectoria de la embarcación se mantiene en los límites de las áreas de maniobra (ver la figura 2.8). En las figuras 2.7 y 2.8 se observa que la acción del viento que actúa sobre el lado babor la embarcación, situación que hace que derive la embarcación dentro de los límites de las áreas de maniobra.

Cuando se considera la magnitud del viento en 35 nudos, la embarcación sale de los límites del canal de acceso por la deriva inducida por el viento, ver las figuras 2.11 a 2.14.

Pruebas con oleaje

En el tercer grupo de pruebas, donde la acción del oleaje es considerada, la distancia que la embarcación navegó fue de mayor que la prueba de referencia en 18 m, (ver figura 2.15), en las diferentes pruebas con la acción del oleaje sobre la embarcación se mantiene la trayectoria de referencia por lo que el oleaje no influye de forma significativa en la maniobrabilidad de la embarcación, en el anexo 9, se encuentran las gráficas de estas pruebas realizadas.

Hay que tomar en cuenta que las pruebas realizadas se consideró la acción del oleaje propagado y se consideró únicamente la altura promedio y periodo asociado.

Pruebas con corrientes

En el cuarto grupo de pruebas, donde la acción de las corrientes es considerado, la distancia que la embarcación navegó fue de menor que la prueba de referencia en 6 m., en las diferentes pruebas con la acción las corrientes que actúan en la embarcación y se mantiene la trayectoria de referencia por lo que las corrientes no influye de forma significativa en la maniobrabilidad de la embarcación debido a que la acción de las corrientes modeladas numéricamente tiene mayor influencia en la zona de la bocana. En la proximidad de la bocana los efectos de las corrientes hacen que en relación a la maniobra de referencia se tenga un desplazamiento de 15 m. y la deriva de 1°.

En el anexo 10, se encuentran las gráficas de estas pruebas realizadas.

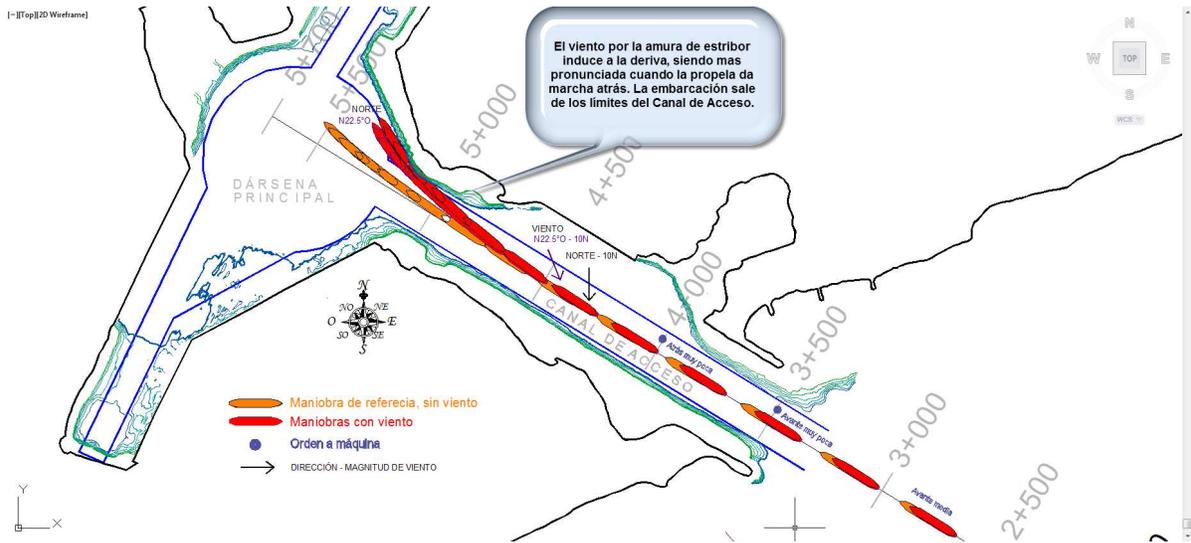


Figura 2.7 Trayectoria de la embarcación con una maniobra de parada forzada, Viento N22.5°O - 10 kt y Norte - 10 kt

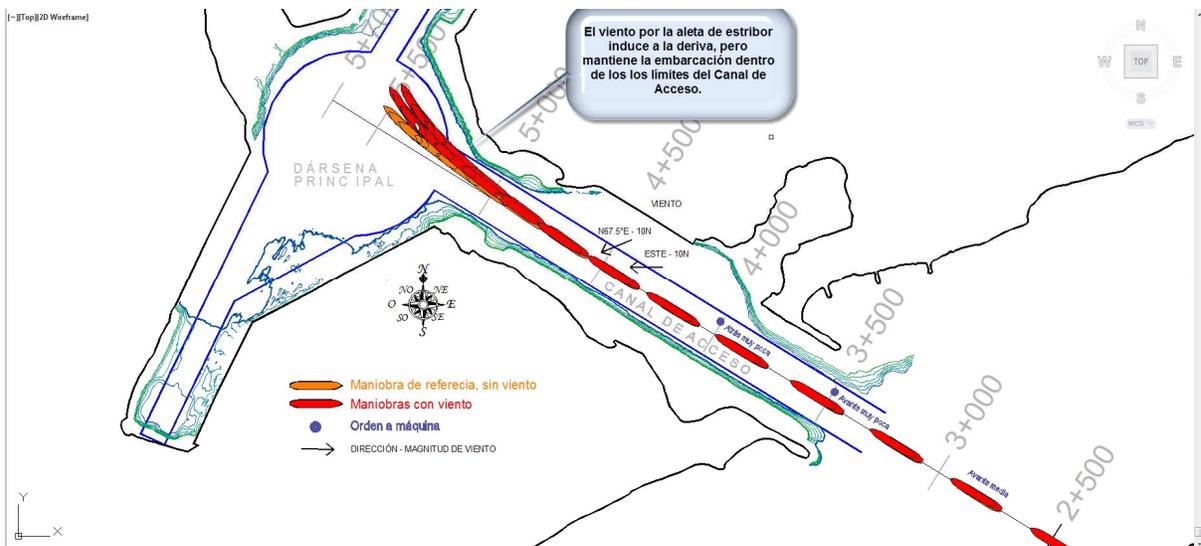


Figura 2.8 Trayectoria de la embarcación con una maniobra de parada forzada, Viento N67.5°E - 10 N y Este - 10 N

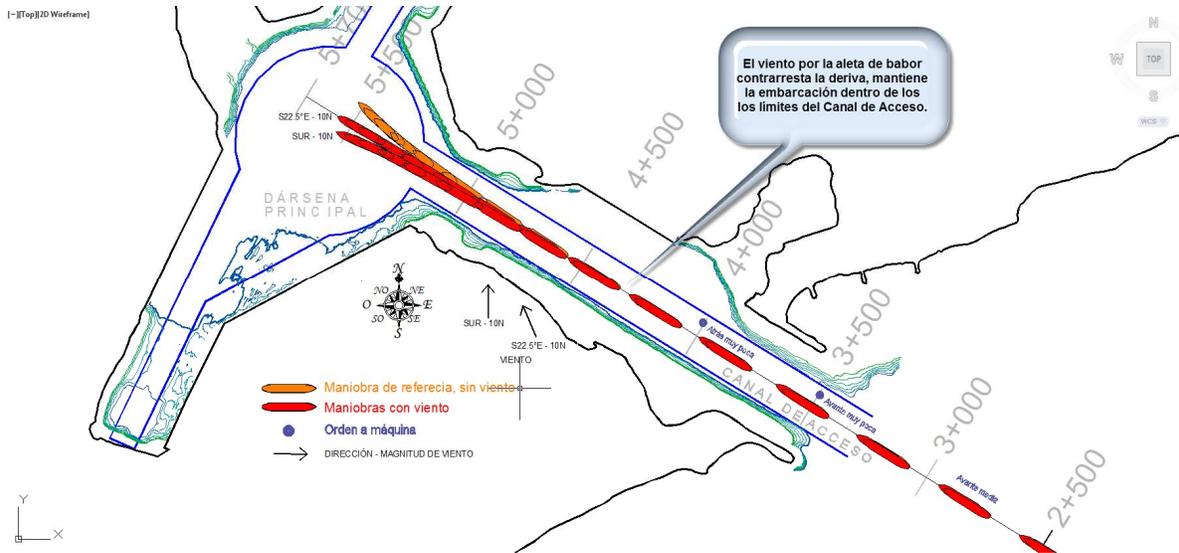


Figura 2.9 Trayectoria de la embarcación con una maniobra de parada forzada, Viento S22.5°E - 10 N y Sur - 10 N

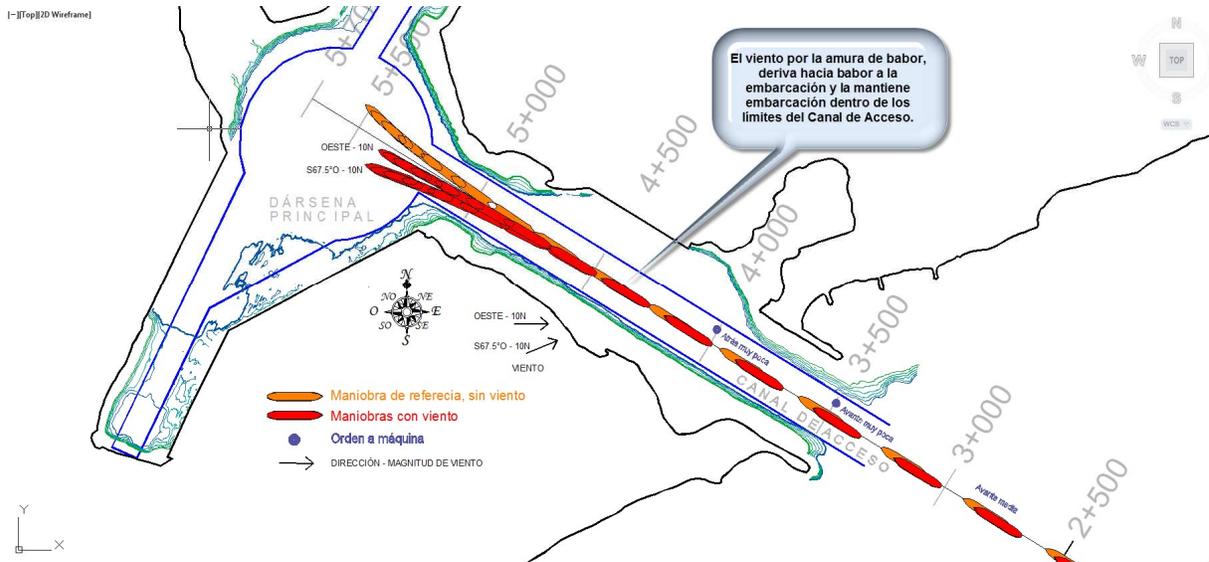


Figura 2.10 Trayectoria de la embarcación con una maniobra de parada forzada, Viento S67.5°O - 10 N y Oeste - 10 N

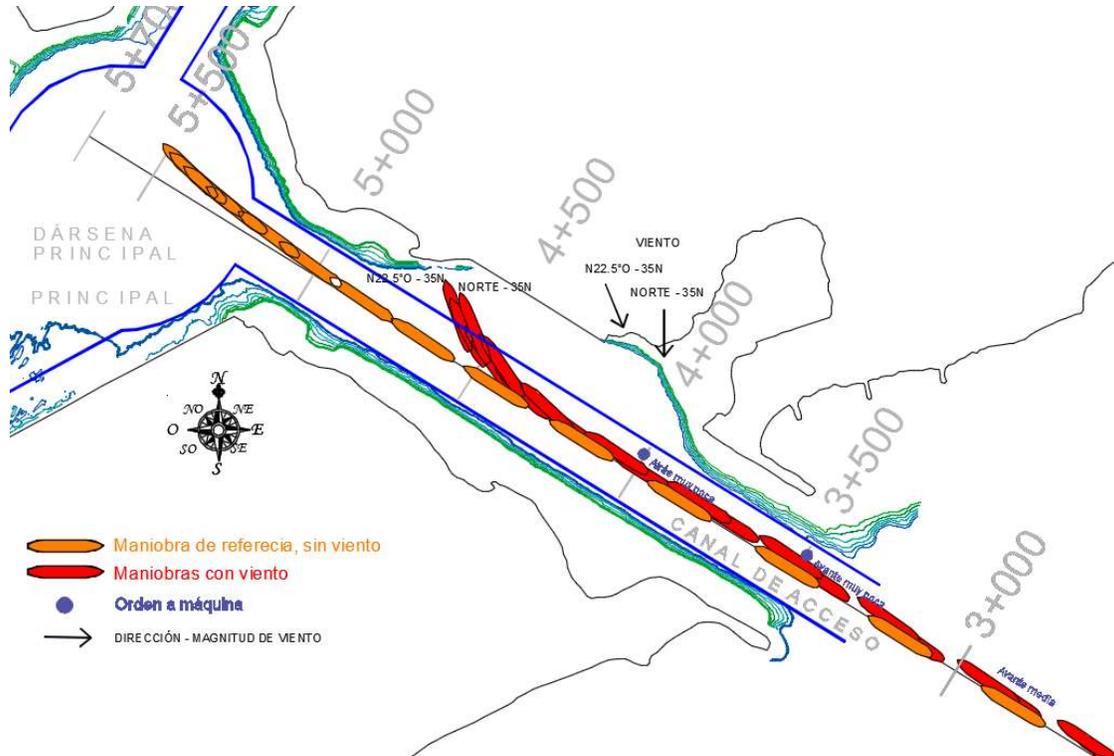


Figura 2.11 Trayectoria de la embarcación con una maniobra de parada forzada, Viento N22.5°O – 35 N y Norte – 35 N

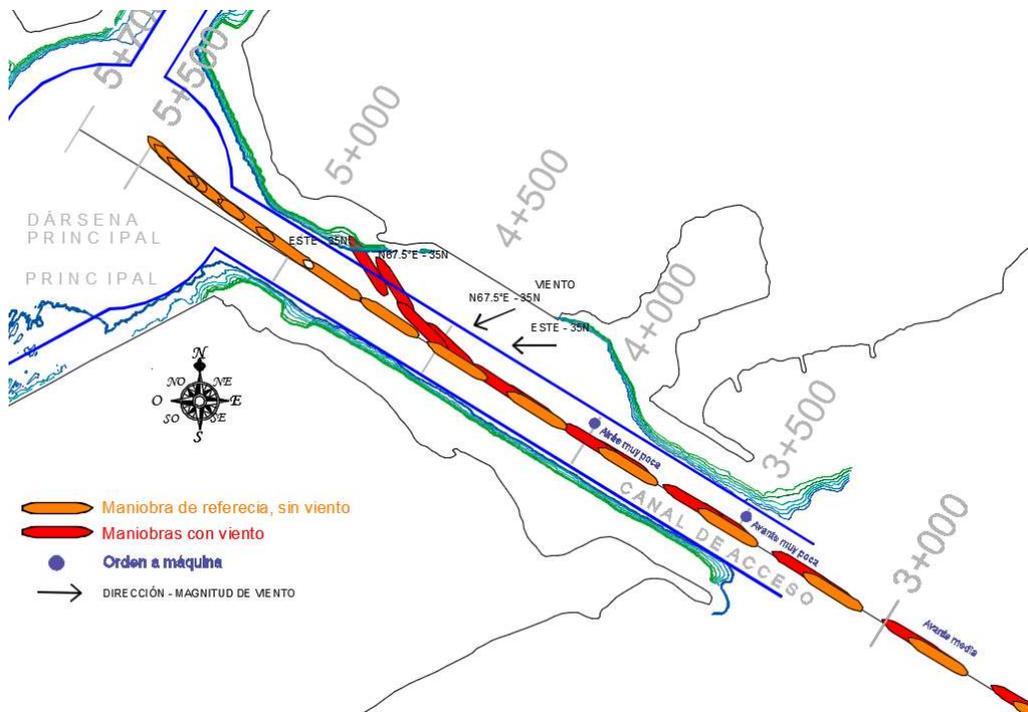


Figura 2.12 Trayectoria de la embarcación con una maniobra de parada forzada, Viento S67.5°E – 35 N y Este – 35 N

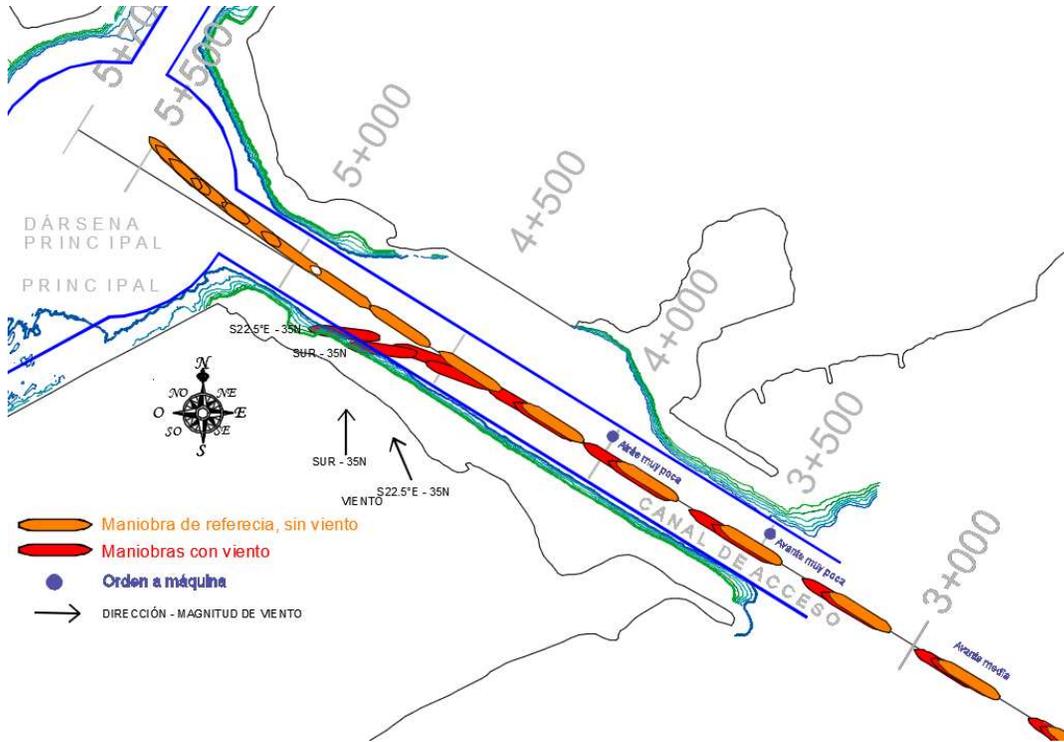


Figura 2.13 Trayectoria de la embarcación con una maniobra de parada forzada, Viento S22.5°E - 35 N y Sur - 35 N

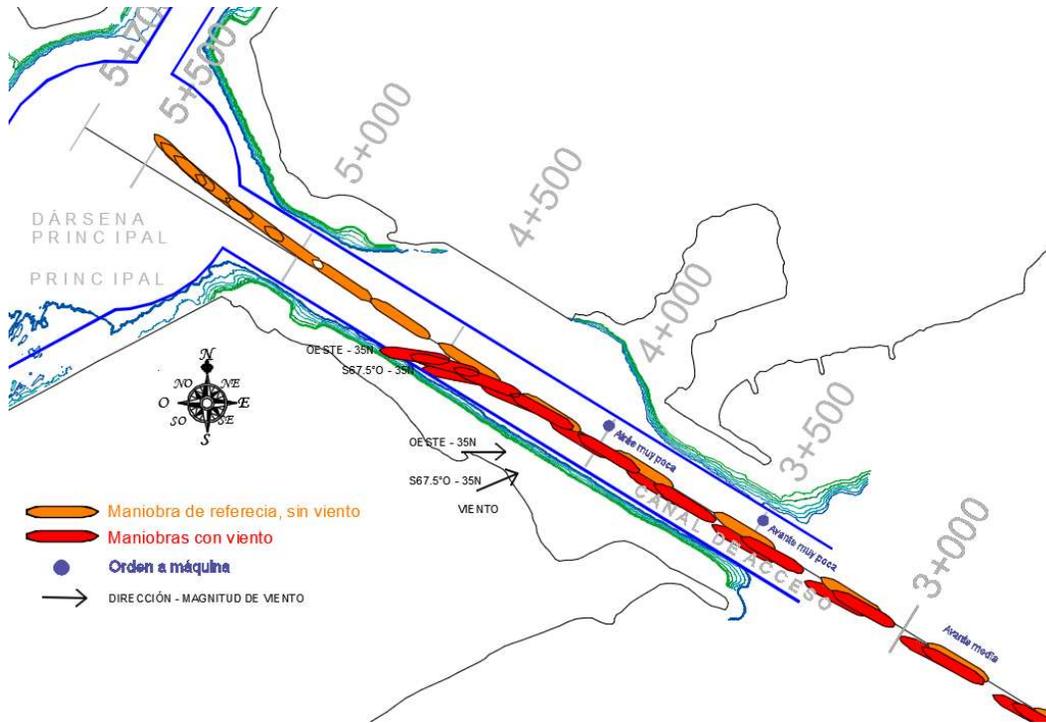


Figura 2.14 Trayectoria de la embarcación con una maniobra de parada forzada, Viento S67.5°O - 35 N y Oeste - 35 N

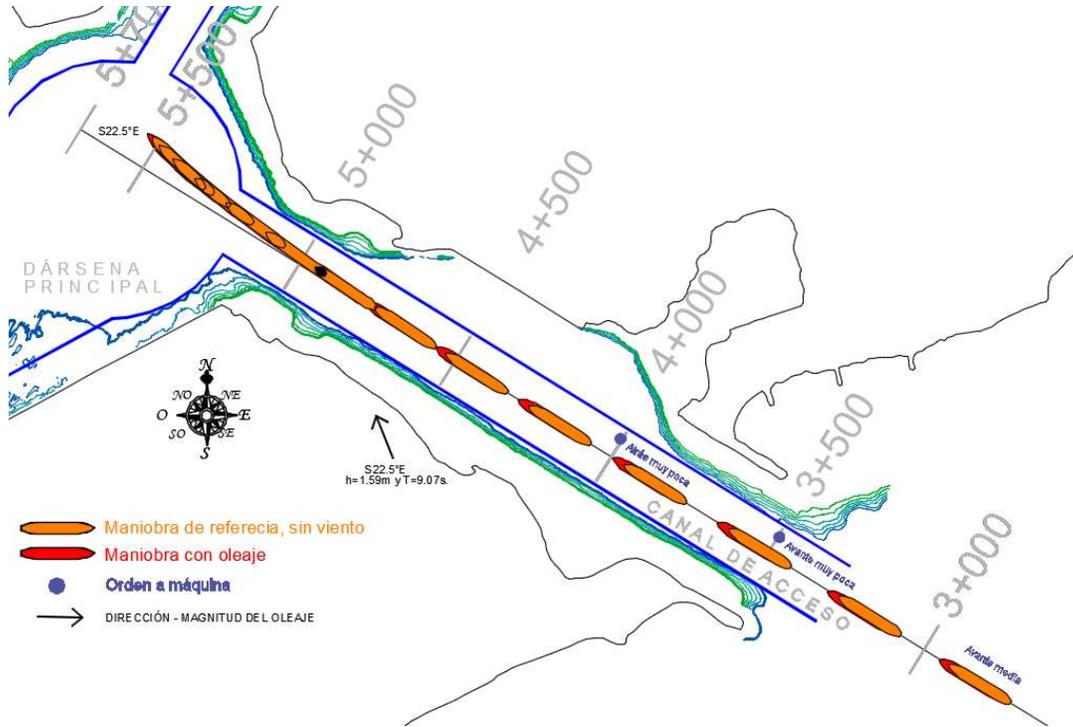


Figura 2.15 Trayectoria de la embarcación con una maniobra de parada forzada, Oleaje S22.5°E

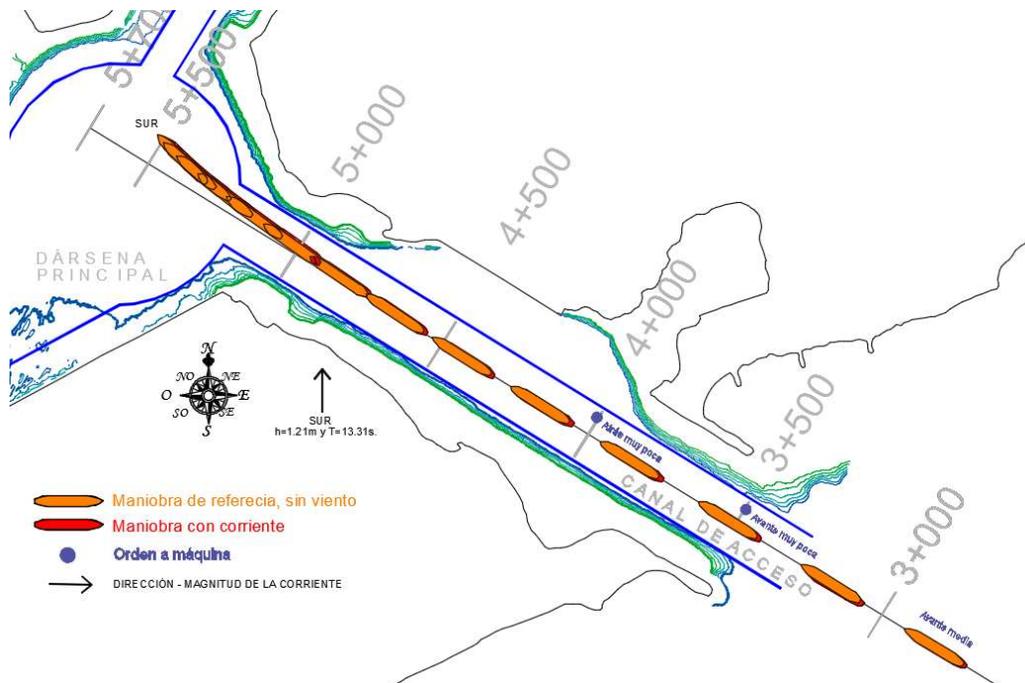


Figura 2.16 Trayectoria de la embarcación con una maniobra de parada forzada, corrientes del sur

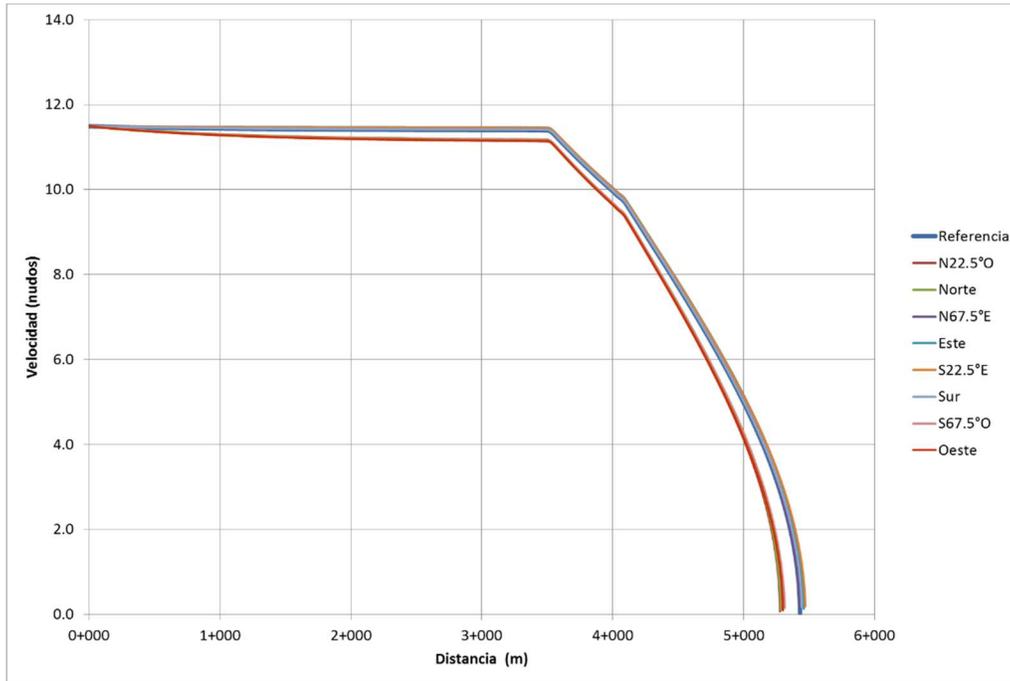


Figura 2.17 Velocidad de la embarcación durante su trayectoria, viento 10 nudos

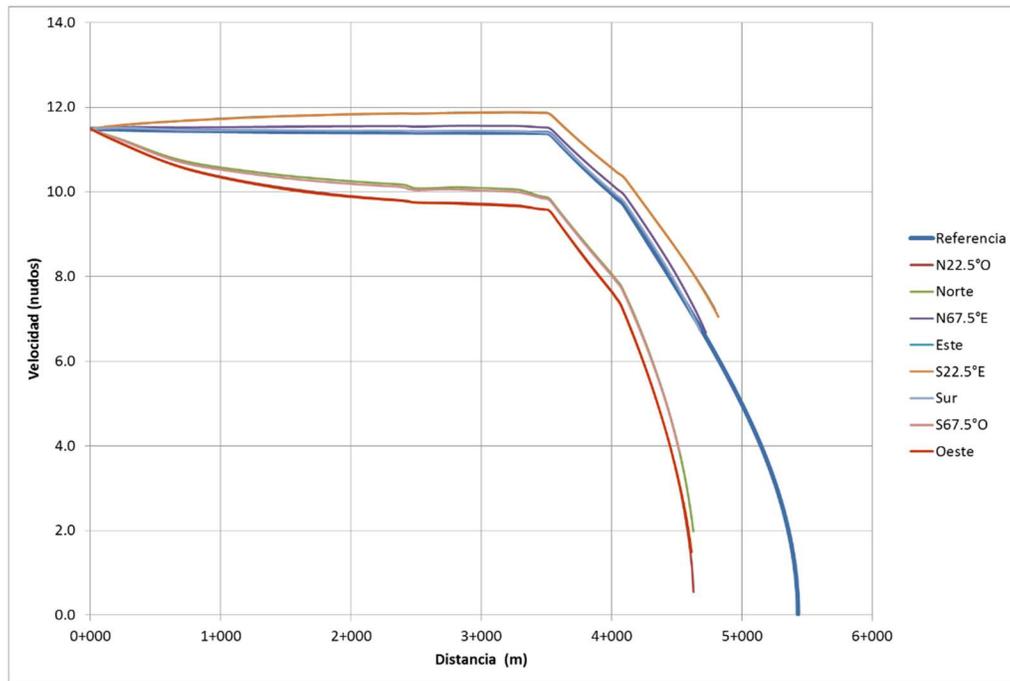


Figura 2.18 Velocidad de la embarcación durante su trayectoria, viento 35 nudos

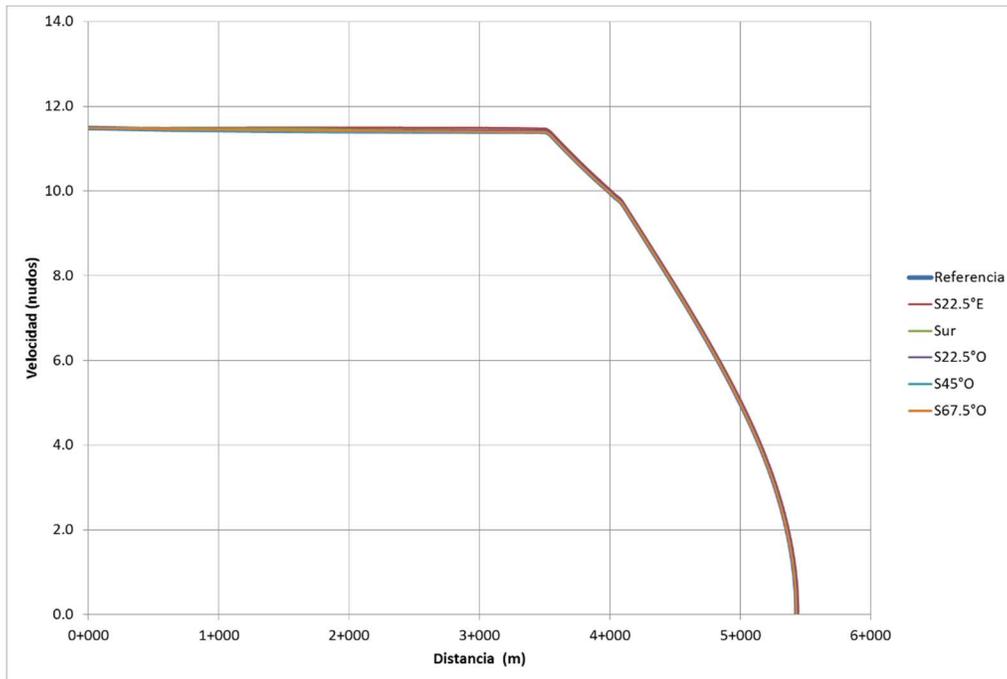


Figura 2.19 Velocidad de la embarcación durante su trayectoria con oleaje

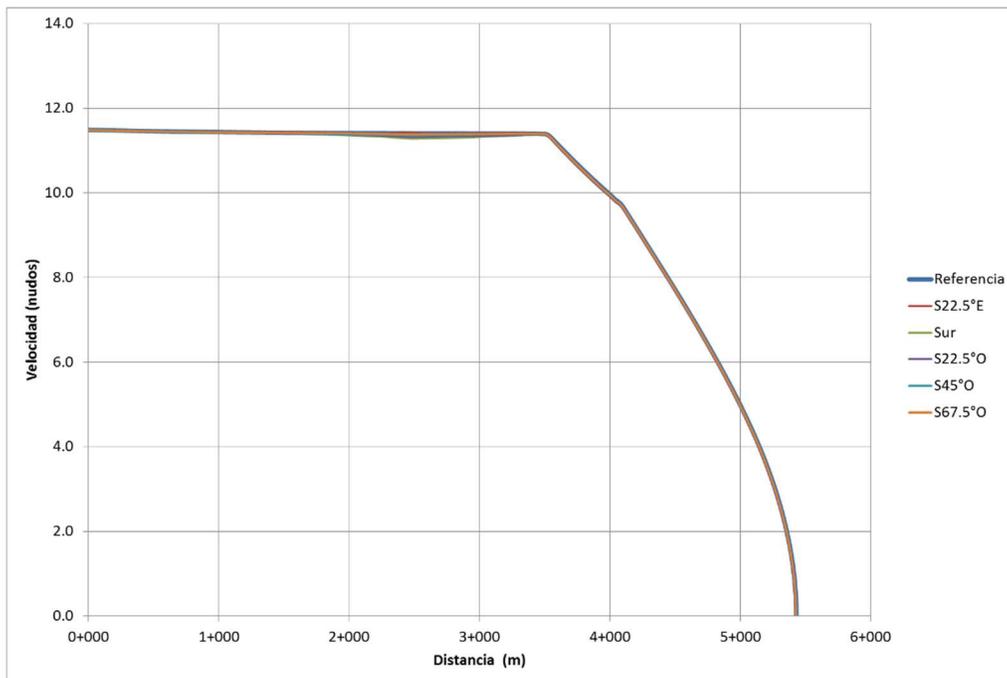


Figura 2.20 Velocidad de la embarcación durante su trayectoria con corriente litoral

2.3 Caso de estudio puerto de Manzanillo

Para el caso de Manzanillo, de forma similar, también se realizó el estudio de una parada forzada, se definió la trayectoria inicial, y se definieron las órdenes a la máquina en esa trayectoria.

La estrategia de la maniobra de parada forzada consistió en lo siguiente: La embarcación se aproxima al puerto con el rumbo definido por la trayectoria inicial, la embarcación navega con su máquina en Avante media (60 RPM) que mantiene hasta llegar al morro de rompeolas oeste en el cadenamamiento 1+000 donde se inicia el frenado de la embarcación por sus propios medios, la orden a la maquina cambia reduciéndose a Avante muy poca (30 RPM), la embarcación avanza 900 m. y nuevamente se cambia la orden a la maquina a Atrás muy poca (-30 RPM) en el cadenamamiento 1+900, en este momento la propela de la embarcación empieza detenerse totalmente y empieza a girar en sentido contrario para dar marcha atrás, la maniobra termina cuando la embarcación se detiene.

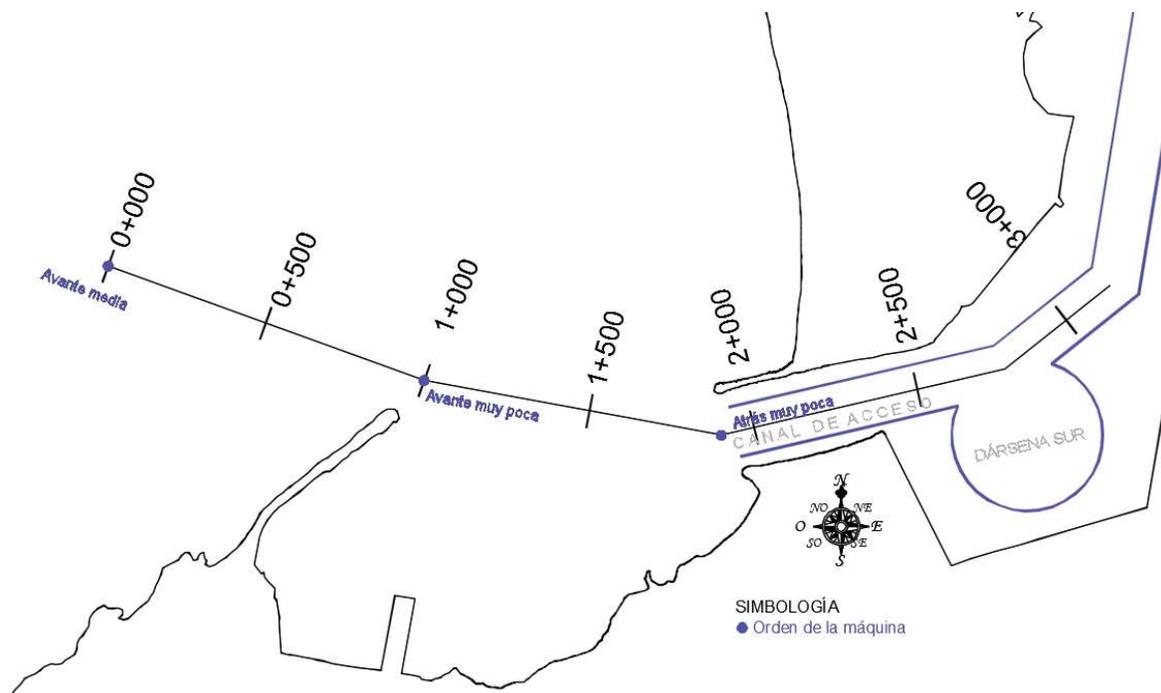
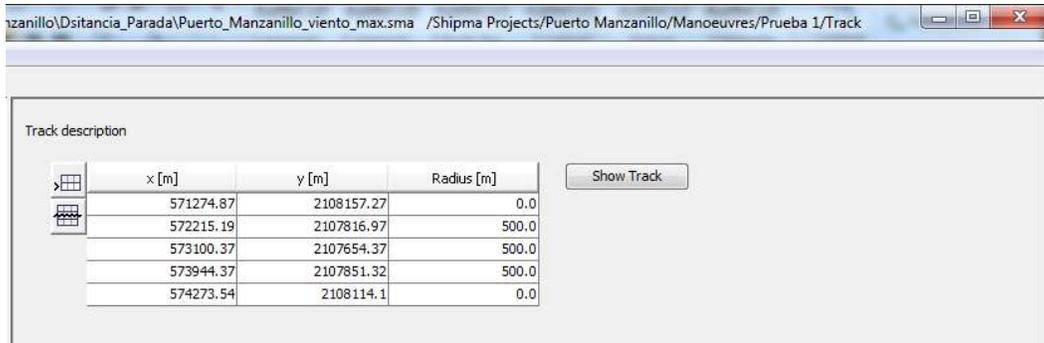
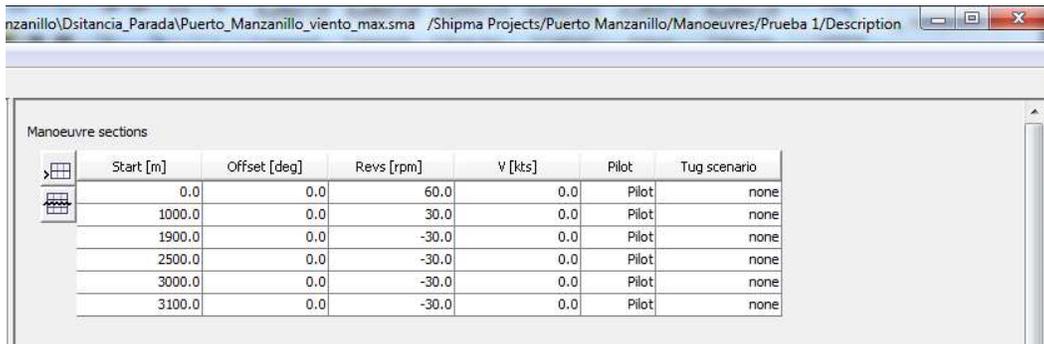


Figura 2.21 Trayectoria inicial y órdenes a la máquina, Puerto de Manzanillo



x [m]	y [m]	Radius [m]
571274.87	2108157.27	0.0
572215.19	2107816.97	500.0
573100.37	2107654.37	500.0
573944.37	2107851.32	500.0
574273.54	2108114.1	0.0

Figura 2.22 Coordenadas de la trayectoria inicial en la interface del software, puerto de Manzanillo



Start [m]	Offset [deg]	Revs [rpm]	V [kts]	Pilot	Tug scenario
0.0	0.0	60.0	0.0	Pilot	none
1000.0	0.0	30.0	0.0	Pilot	none
1900.0	0.0	-30.0	0.0	Pilot	none
2500.0	0.0	-30.0	0.0	Pilot	none
3000.0	0.0	-30.0	0.0	Pilot	none
3100.0	0.0	-30.0	0.0	Pilot	none

Figura 2.23 Órdenes a la máquina en la interface del software, puerto de Manzanillo

Para determinar la distancia de parada que recorrió la embarcación bajo diferentes condiciones de viento oleaje y corrientes se elaboró la matriz de pruebas que se muestra en la tabla 16, se consideró de forma independiente la acción del viento, la acción del oleaje y la acción de las corrientes.

En la primera prueba no se consideró la acción del viento oleaje y corrientes, esta prueba es la maniobra de referencia, en simulaciones posteriores se consideraron los diferentes efectos en cuatro grupos de pruebas. En el primer y segundo grupo de pruebas en la matriz, se consideró la acción del viento en ocho direcciones, en el primer grupo se consideró la mayor velocidad de viento reinante 11 nudos y en el segundo grupo se consideró la mayor velocidad de viento dominante registrado 45 nudos.

En el tercer grupo de pruebas se consideró la acción del oleaje en cinco direcciones, la altura de ola significativa media y periodo medio que fue el resultado de la caracterización del oleaje normal. En el cuarto grupo de pruebas se consideró la acción de las corrientes que fueron modeladas numéricamente.

Tabla 2.2 Matriz de escenarios simulados para determinar la distancia de parada

Prueba No.	Puerto	Maniobra	Viento		Oleaje			Corriente			Distancia de Parada (m)	
			Dirección	Vel (Nudos)	Dirección	Altura (m)	Periodo (s)	Dirección	Vel (m/s)	Dir (grados)		
REF	1	Manzanillo	Entrada - parada forzada	-	-							2,009.6
GRUPO 1	2	Manzanillo	Entrada - parada forzada	NORTE	11							2,021.8
	3	Manzanillo	Entrada - parada forzada	N 22.5° E	11							1,986.7
	4	Manzanillo	Entrada - parada forzada	N 45° E	11							1,930.4
	5	Manzanillo	Entrada - parada forzada	S 67.5° E	11							1,871.9
	6	Manzanillo	Entrada - parada forzada	S 45° E	11							1,849.5
	7	Manzanillo	Entrada - parada forzada	S 67.5° O	11							2,032.2
	8	Manzanillo	Entrada - parada forzada	OESTE	11							2,045.9
	9	Manzanillo	Entrada - parada forzada	N 67.5° O	11							2,063.6
	GRUPO 2	10	Manzanillo	Entrada - parada forzada	NORTE	45						
11		Manzanillo	Entrada - parada forzada	N 22.5° E	45							encalló
12		Manzanillo	Entrada - parada forzada	N 45° E	45							encalló
13		Manzanillo	Entrada - parada forzada	S 67.5° E	45							encalló
14		Manzanillo	Entrada - parada forzada	S 45° E	45							encalló
15		Manzanillo	Entrada - parada forzada	S 67.5° O	45							encalló
16		Manzanillo	Entrada - parada forzada	OESTE	45							encalló
GRUPO 3	17	Manzanillo	Entrada - parada forzada	N 67.5° O	45							encalló
	18	Manzanillo	Entrada - parada forzada			Sur	0.9	14.81				2,009.9
	19	Manzanillo	Entrada - parada forzada			S 22.5° O	1.03	14.14				2,010.7
	20	Manzanillo	Entrada - parada forzada			S 45° O	1.04	13.98				2,011.8
	21	Manzanillo	Entrada - parada forzada			S 67.5° O	0.93	13.31				2,013.5
22	Manzanillo	Entrada - parada forzada			Oeste	0.89	14.01				2,012.8	
GRUPO 4	23	Manzanillo	Entrada - parada forzada						Sur	0.002	249.2	2,008.2
	24	Manzanillo	Entrada - parada forzada						S 22.5° O	0.004	237.8	2,009.3
	25	Manzanillo	Entrada - parada forzada						S 45° O	0.005	244.1	2,007.7
	26	Manzanillo	Entrada - parada forzada						S 67.5° O	0.006	272.7	2,010.1
	27	Manzanillo	Entrada - parada forzada						Oeste	0.018	276.2	2,009.9

2.3.1 Resultados de las pruebas

Pruebas con viento

De las pruebas definidas en la matriz se determinaron las distancias recorrida por la maniobra de parada forzada. La distancia recorrida por la embarcación en la maniobra de referencia fue de 2,009 m.

En el primer grupo de pruebas, donde la dirección del viento es de 11 nudos para las diferentes direcciones consideradas, la distancia menor que la embarcación navegó fue de 1, 849 m, cuando el viento viene de la dirección S 67.5° E y ayuda al frenado (ver la figura 2.25), sin embargo la embarcación sale de los límites de la dársena sur.

Cuando la acción del viento proviene de la dirección Norte – 11N el comportamiento de la trayectoria de la embarcación se mantiene en los límites de las áreas de maniobra (ver la figura 2.24). Cuando del viento con magnitud de 11 nudos actuando viene de las direcciones N45°E, S67.5°E, S67.5°O, N67.5° y Oeste tiene como resultado que la embarcación sale de los límites de la Dársena Sur, ver las figuras 2.25 a 2.27.

Cuando se considera la magnitud del viento en 45 nudos, la embarcación sale de los límites del canal de acceso por la deriva inducida por el viento, ver las figuras 2.25 a 2.27.

Pruebas con oleaje

En el tercer grupo de pruebas, donde la acción del oleaje es considerada, la distancia que la embarcación navegó fue de mayor que la prueba de referencia en 4 m., (ver figura 2.32), en las diferentes pruebas con la acción del oleaje sobre la embarcación se mantiene la trayectoria de referencia por lo que el oleaje no influye de forma significativa en la maniobrabilidad de la embarcación, en el anexo 11, se encuentran las gráficas de estas pruebas realizadas.

Hay que tomar en cuenta que las pruebas realizadas se consideró la acción del oleaje propagado y se consideró únicamente la altura promedio y periodo asociado.

Pruebas con corrientes

En el cuarto grupo de pruebas, donde la acción de las corrientes es considerada, la distancia que la embarcación navegó fue de mayor que la prueba de referencia en 1 m., en las diferentes pruebas con la acción las corrientes que actuó en la embarcación se mantiene la trayectoria de referencia por lo que las corrientes no influye de forma significativa en la maniobrabilidad de la embarcación debido a que la acción de las corrientes modeladas.

En el anexo 12, se encuentran las gráficas de estas pruebas realizadas.

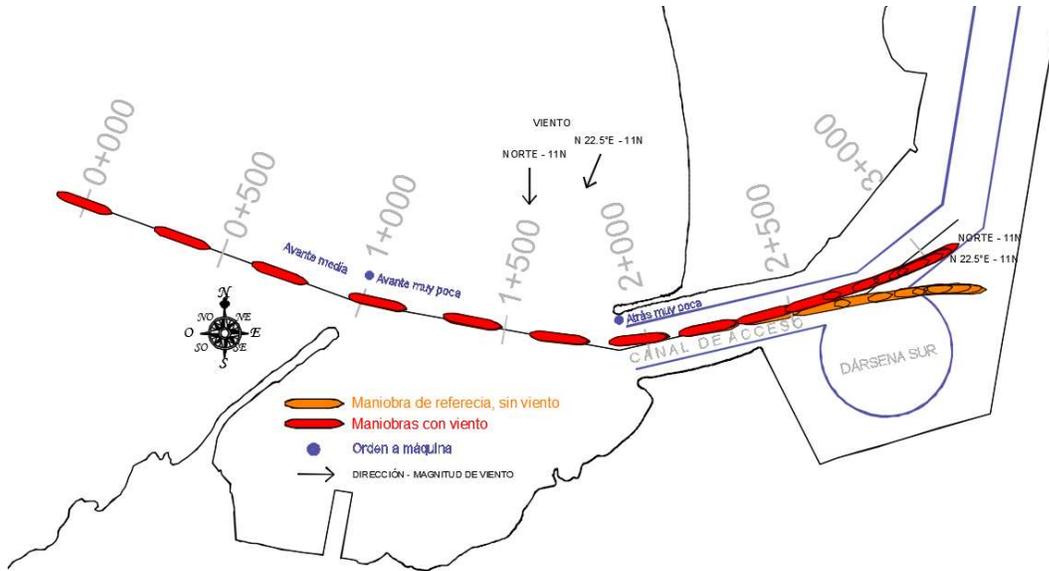


Figura 2.24 Trayectoria de la embarcación con una maniobra de parada forzada, Viento Norte - 11 N y N22.5° E - 11 N

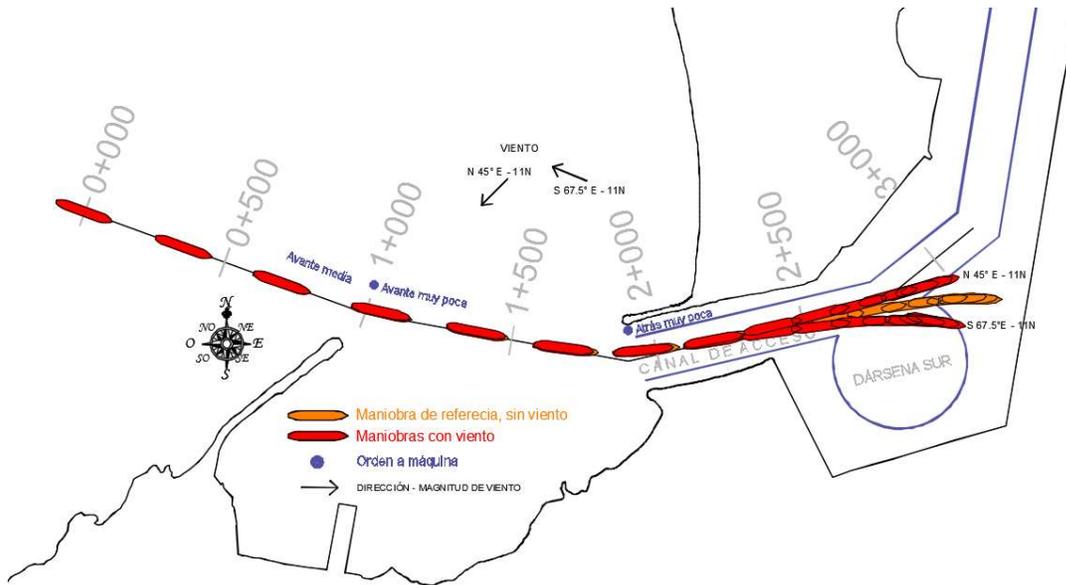


Figura 2.25 Trayectoria de la embarcación con una maniobra de parada forzada, Viento N 45° E - 11 N y S 67.5° E - 11 N

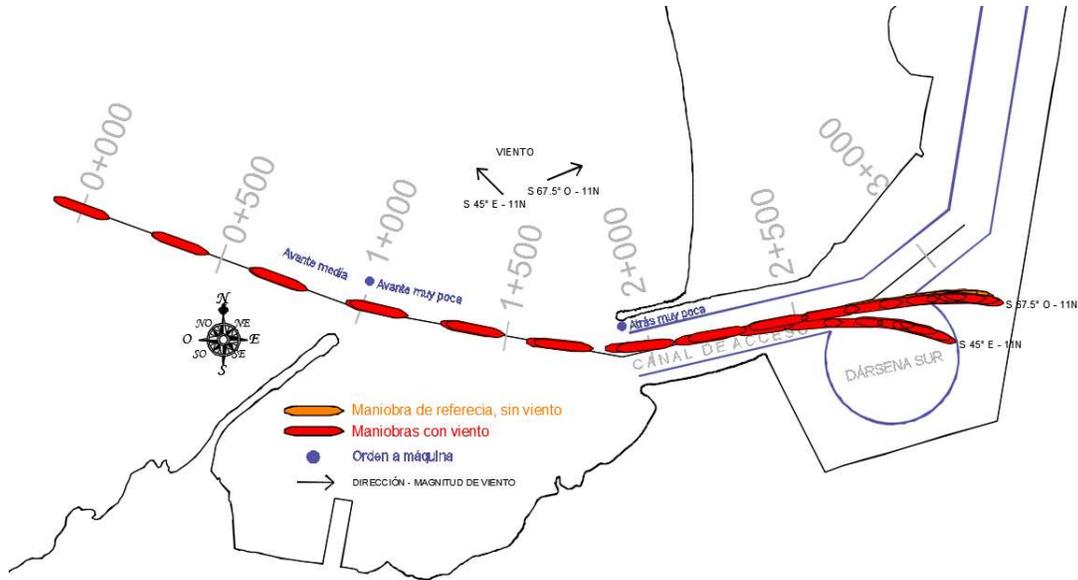


Figura 2.26 Trayectoria de la embarcación con una maniobra de parada forzada, Viento S 45°E - 11 N y S67.5°O - 11 N

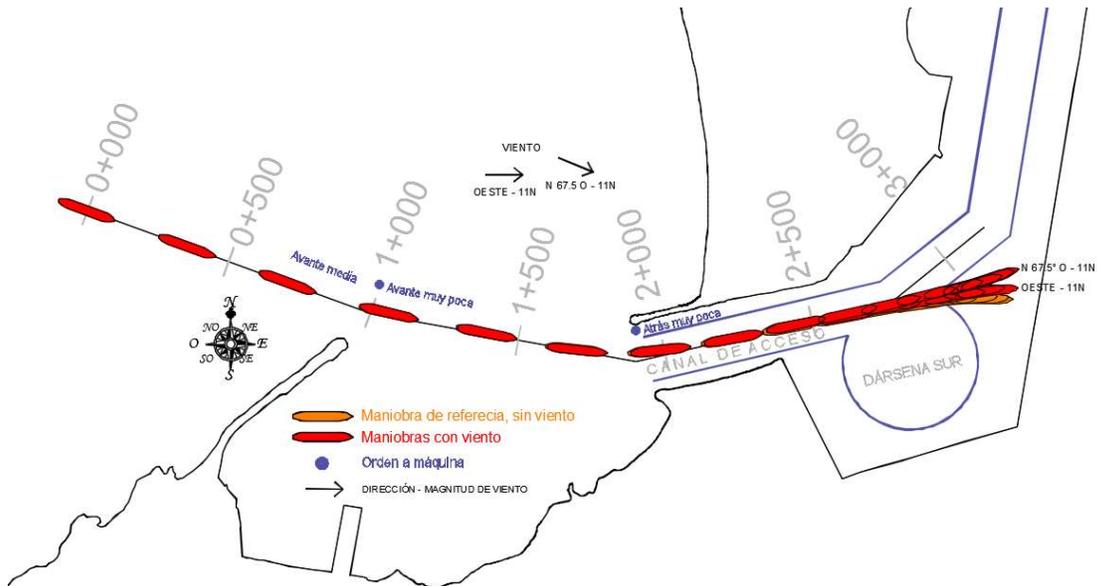


Figura 2.27 Trayectoria de la embarcación con una maniobra de parada forzada, Viento Oeste - 11 N y N67.5°O - 11 N

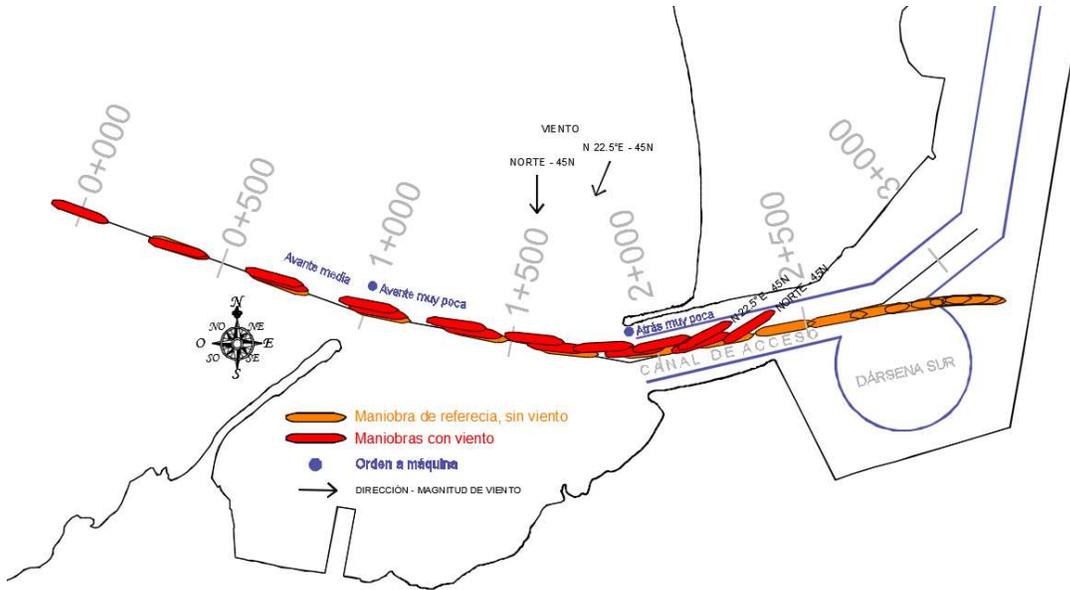


Figura 2.28 Trayectoria de la embarcación con una maniobra de parada forzada, Viento Norte - 45 N y N22.5°E - 45 N

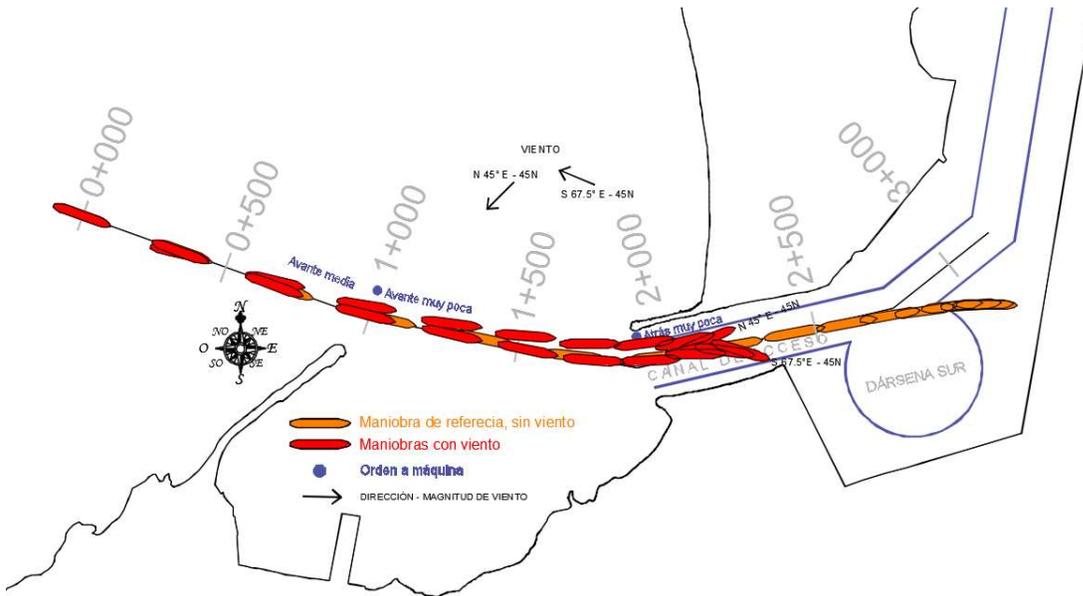


Figura 2.29 Trayectoria de la embarcación con una maniobra de parada forzada, Viento N45°E - 45 N y S67.5°E - 45 N

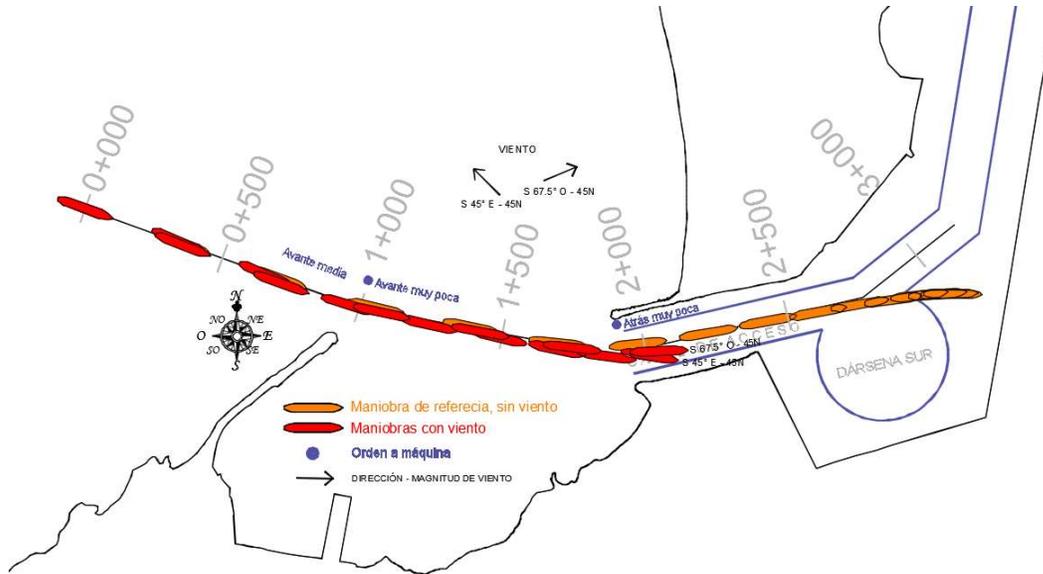


Figura 2.30 Trayectoria de la embarcación con una maniobra de parada forzada, Viento S45°E – 45 N y S67.5°O – 45 N

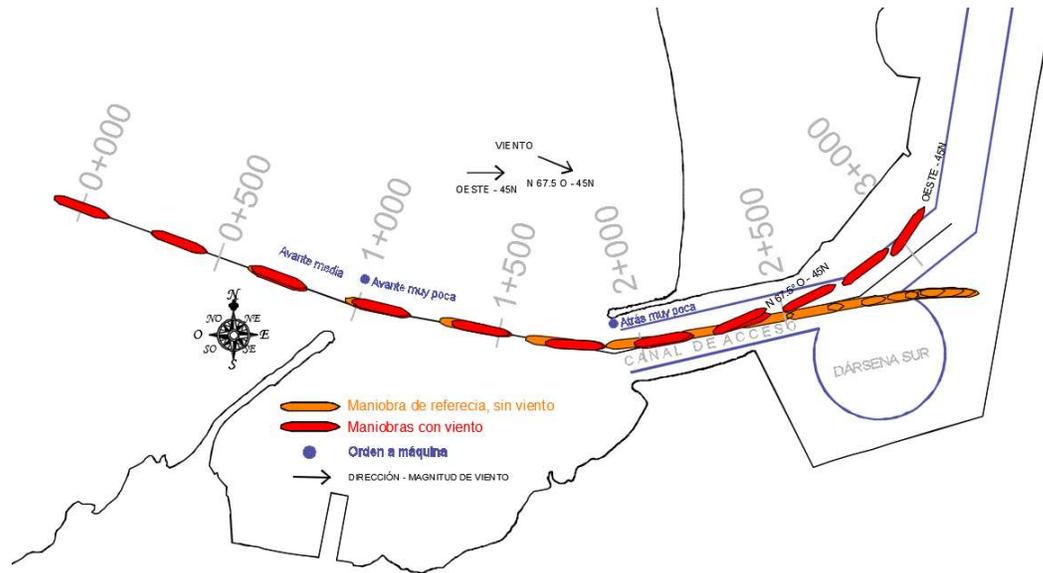


Figura 2.31 Trayectoria de la embarcación con una maniobra de parada forzada, Viento Oeste – 45 N y N67.5°O – 45 N

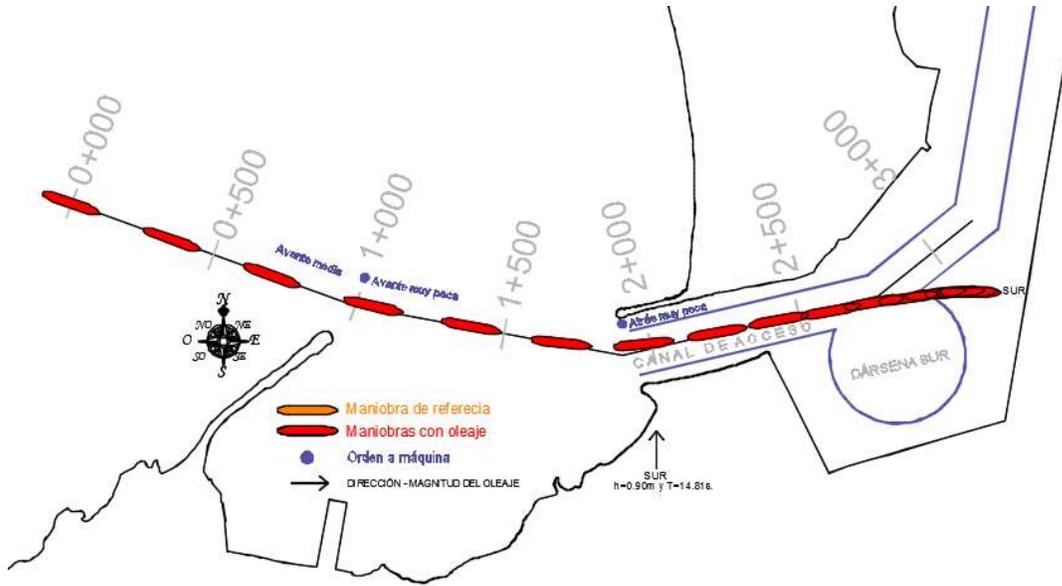


Figura 2.32 Trayectoria de la embarcación con una maniobra de parada forzada, Oleaje Sur

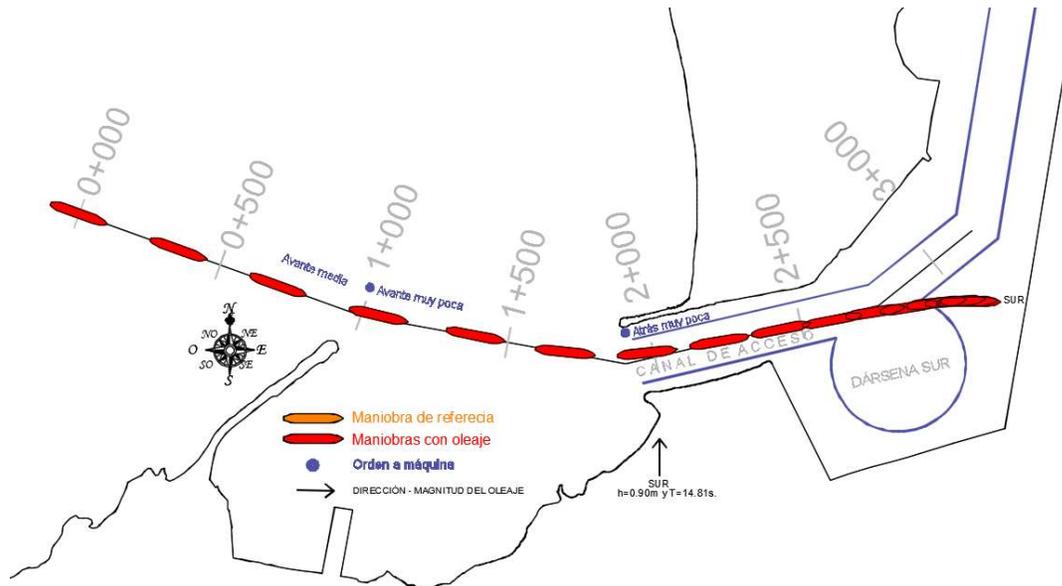


Figura 2.33 Trayectoria de la embarcación con una maniobra de parada forzada, corrientes del sur

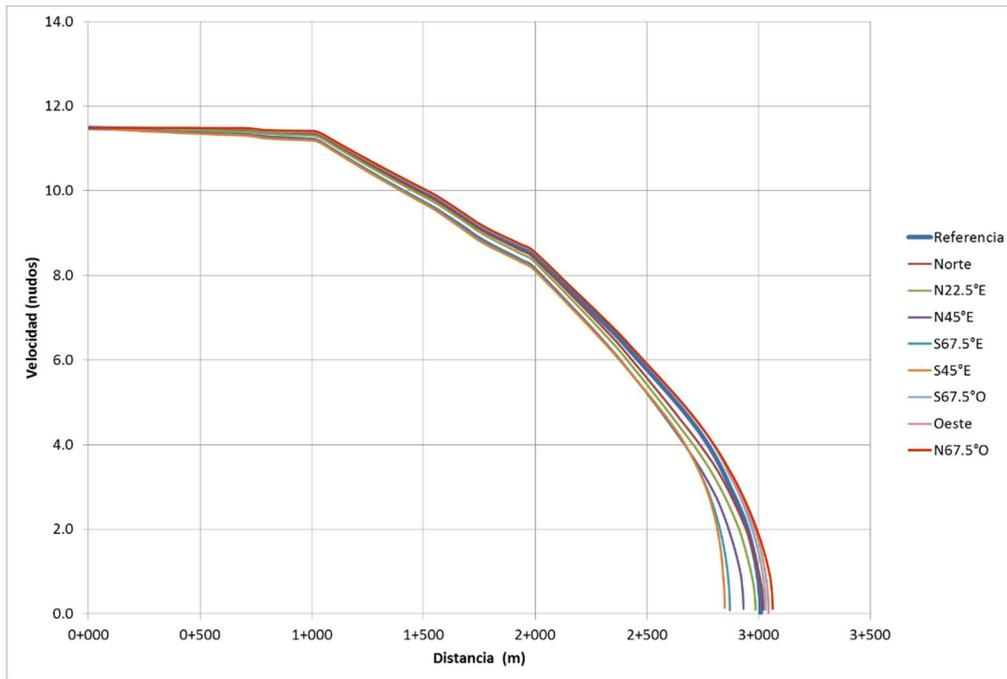


Figura 2.34 Velocidad de la embarcación durante su trayectoria, viento 11 nudos

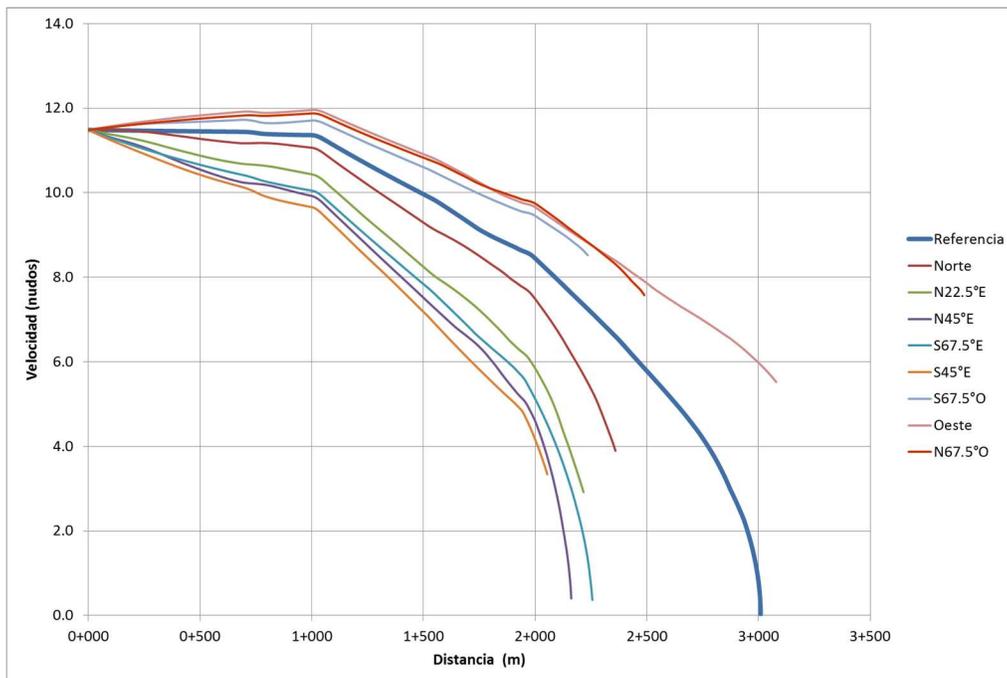


Figura 2.35 Velocidad de la embarcación durante su trayectoria, viento 45 nudos

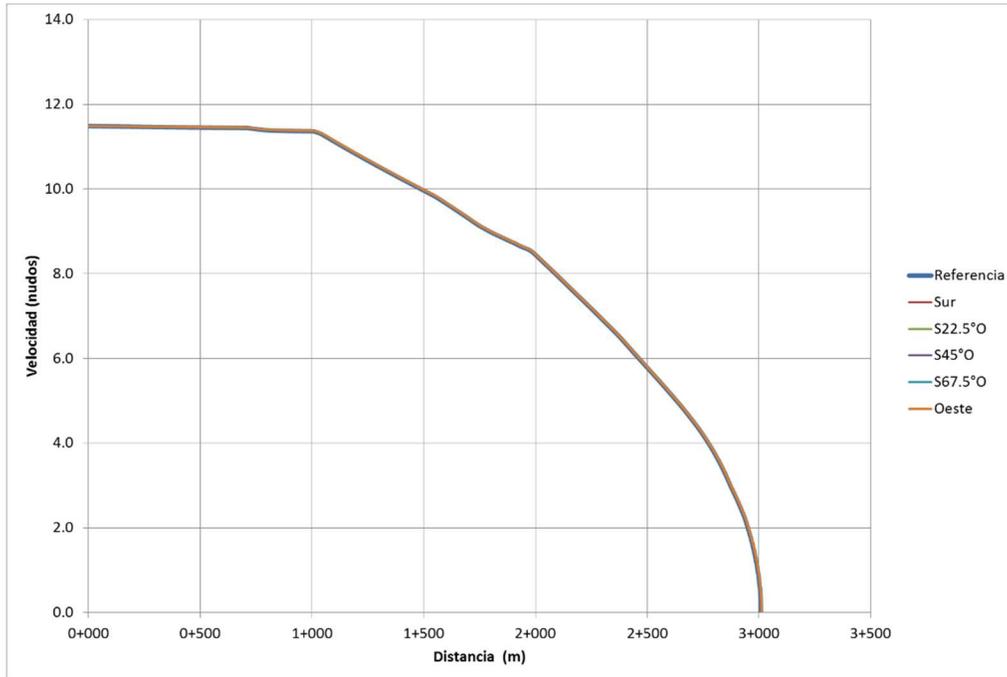


Figura 2.36 Velocidad de la embarcación durante su trayectoria con oleaje

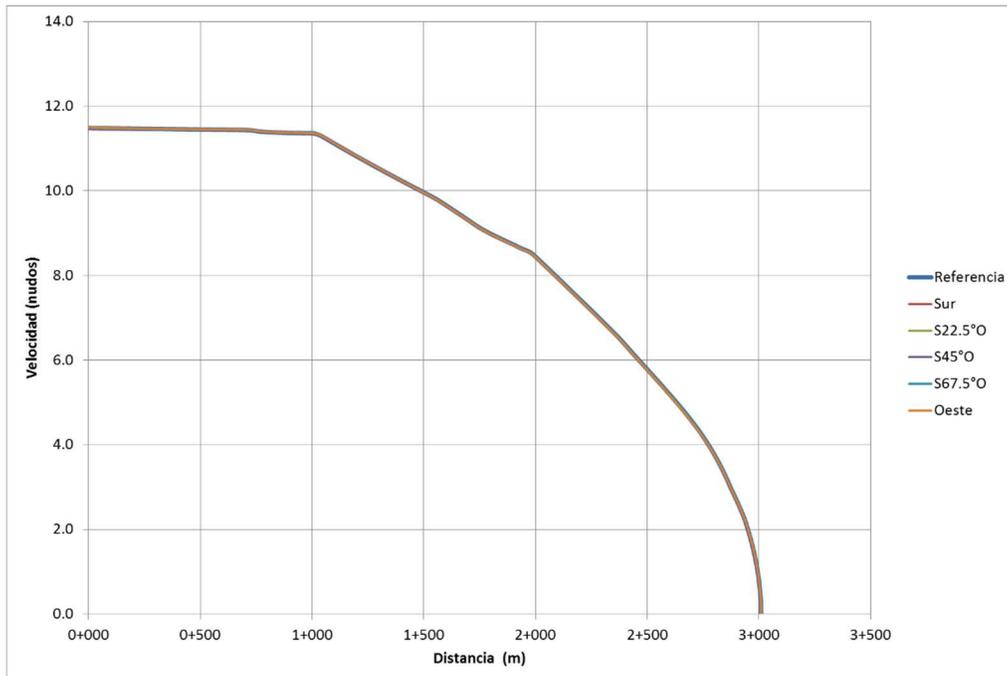


Figura 2.37 Velocidad de la embarcación durante su trayectoria con corriente litoral

Conclusiones

En relación al desarrollo de la base de datos, la utilización de mapas a escala grande es muy conveniente, en el caso de Lázaro Cárdenas se complementó la zona interior del puerto con archivos CAD, por lo que la batimetría en la zona de muelles como los límites del canal de acceso se realizó al mayor detalle posible. Las fotografías satelitales georeferenciadas pueden proporcionar información útil para estos fines.

El procesamiento de los datos para integrar una base de datos para incluir la información de la batimetría, los límites de las áreas de navegación, límites de muelles y posición de los señalamientos marítimos, es similar cuando se realiza una base de datos para un sistema en tiempo real, por lo que es conveniente realizar el procesamiento con la mayor calidad posible ya que se puede utilizar para ambos sistemas.

El efecto de las condiciones oceanográficas y meteorológicas que tuvo más influencia durante las pruebas simuladas de la maniobra fue el viento.

El efecto del oleaje que se analizó fue limitado únicamente a las condiciones medias normales en el régimen anual, sin embargo, se debe de ampliar el estudio del efecto del oleaje se consideró el periodo de balanceo natural del barco, debido a que puede producir efectos de resonancia que pueden incrementar los movimientos de un barco. También se debe de ampliar el estudio del efecto del oleaje bajo una amplia gama de diferentes periodos, para el puerto de Lázaro Cárdenas se registraron mediciones de oleaje con periodos de hasta 28 s. y para Manzanillo se presentó oleaje de hasta 25 s. de periodo (ver figuras 1.4 y 1.7).

El efecto de las corrientes analizado en este proyecto se consideró las corrientes producidas por el efecto del oleaje y se utilizó como datos de entrada los resultados de la propagación del oleaje normal, es recomendable estudiar las corrientes de las zonas de estudio y complementar la información de este rubro en las bases de datos.

En relación a las simulaciones de la maniobra de parada, es evidente que el timón pierde eficiencia para controlar la trayectoria de la embarcación cuando la propela da marcha atrás, por lo que es evidente que realizar una maniobra de este tipo involucra un grado de riesgo. En los estudios de maniobras las órdenes a la máquina deben de ser establecidas con base a

un conocimiento náutico, debido a que esto está relacionado directamente con la velocidad de la embarcación y su comportamiento.

La distancia recorrida de la embarcación para una maniobra de parada forzada con las condiciones del puerto de Lázaro Cárdenas determinada fue de 1971 m y para el puerto de Manzanillo fue de 2063 m.

Bibliografía

- Abkowitz, M. (1962). *Lectures on Ship Hydrodynamics, Steering and Manoeuvrability, Hydro – and Aerodynamics Laboratory*. Rep No. HY-5, Copenhagen, Demarrk.
- Administración del Sistema Portuario Nacional Lázaro Cárdenas [ASIPONA Lázaro Cárdenas]. (2022). *Infraestructura*. [Consulta en línea]. <https://www.puertolazarocardenas.com.mx/>
- Administración del Sistema Portuario Nacional Lázaro Cárdenas [ASIPONA Lázaro Cárdenas]. (2022). *Programa Maestro de Desarrollo Portuario puerto Lázaro Cárdenas 2020-2025*. México.
- Administración del Sistema Portuario Nacional Manzanillo [ASIPONA Manzanillo]. (2022). *Infraestructura*. [Consulta en línea]. <https://www.puertomanzanillo.com.mx/>
- Administración del Sistema Portuario Nacional Manzanillo [ASIPONA Manzanillo]. (2021). *Programa Maestro de Desarrollo Portuario de los puertos de Manzanillo y Laguna de Cuyutlán 2021-2026*. México.
- Amante, C. y Eakins, B. (2009). *ETOPO1 1 Arc-Minute Global Relief Model: procedures, data sources and analysis*. NOAA Technical Memorandum NESDIS NGDC-24. <http://doi.org/10.7289/V5C8276M>
- Danish Hydraulics Institute [DHI]. (2007). *Mike 21 Flow Model. Tsunami Modelling*. Step-by-step training example.
- National Centers for Environmental Information. (2022): *ETOPO 2022 15 Arc-Second Global Relief Model*. USA. <http://doi.org/10.25921/fd45-gt74>
- Maritime Research Institute Netherlands (2019). *Fast-Time simulation program for ship manoeuvring SHIPMA*. Neterlands [consulta en línea]. <https://mods.marin.nl/plugins/servlet/secsignid?returnUrl=%2Fpages%2Fviewpage.action%3FpageId%3D20974853>

Anexo 1 Información de oleaje – puerto Lázaro Cárdenas

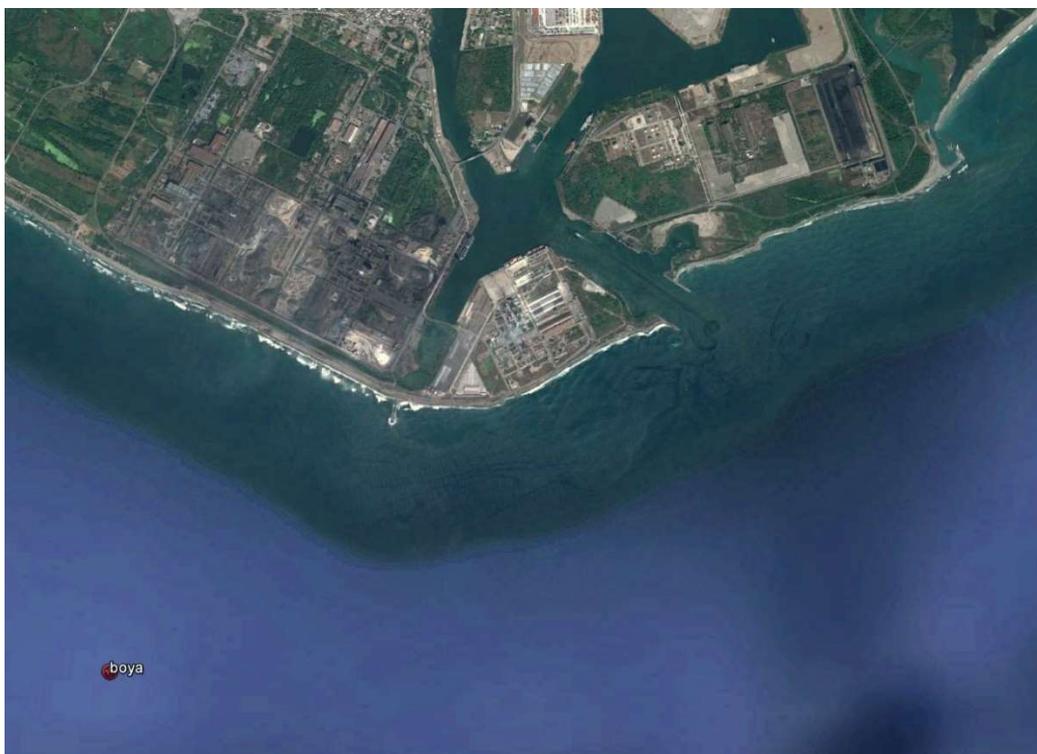


Figura A1.1 Localización geográfica de la boya medidora en las proximidades del puerto de Lázaro Cárdenas, los datos registrados son desde enero de 2008 a octubre de 2014

Tabla A1.1 Resumen estadístico por dirección del oleaje

Dirección	ANUAL			PRIMAVERA			VERANO			OTOÑO			INVIERNO		
	H (m)	T (s)	% acc.	H (m)	T (s)	% acc.	H (m)	T (s)	% acc.	H (m)	T (s)	% acc.	H (m)	T (s)	% acc.
NORTE	3,26	23,34	0,01							3,26	23,34	0,01			
N 22.5° E	3,12	24,84	0,01							3,12	24,84	0,01			
N 45° E	3,60	25,02	0,02				4,96	25,00	0,00	3,57	25,22	0,02	1,85	22,21	0,00
N 67.5° E	3,27	24,89	0,02				2,56	22,50	0,00	3,34	24,69	0,01	3,37	28,57	0,00
ESTE	3,47	24,58	0,01	0,91	12,50	0,00	3,12	25,00	0,00	3,62	25,71	0,01	3,12	25,00	0,00
S 67.5° E	3,55	20,85	0,02				1,74	10,28	0,00	3,77	25,07	0,01			
S 45° E	2,02	8,55	0,18	1,15	10,23	0,00	2,05	7,09	0,07	2,34	9,38	0,06	1,47	9,79	0,04
S 22.5° E	1,59	9,07	2,14	1,11	10,40	0,20	1,89	9,06	0,55	1,71	8,82	0,97	0,96	9,01	0,40
SUR	1,21	13,31	26,86	1,18	14,15	9,81	1,46	13,11	5,87	1,22	12,53	6,55	0,87	12,86	4,62
S 22.5° O	1,23	14,26	57,77	1,21	14,61	18,59	1,55	14,38	11,22	1,28	14,09	11,81	0,92	13,90	16,14
S 45° O	1,15	13,72	10,59	1,06	14,20	2,07	1,69	12,97	1,66	1,40	12,49	1,71	0,86	14,19	5,14
S 67.5° O	1,09	12,69	1,52	0,96	11,61	0,18	1,77	9,14	0,15	1,98	10,99	0,16	0,83	13,71	1,01
OESTE	1,47	7,30	0,71	1,34	7,43	0,22	1,83	8,22	0,03	2,70	14,31	0,04	1,01	6,39	0,41
N 67.5° O	2,93	11,34	0,04	1,25	7,08	0,01	1,34	15,38	0,00	3,93	22,69	0,01	0,90	6,80	0,01
N 45° O	3,62	23,31	0,02				4,40	23,60	0,00	3,55	24,24	0,01	0,53	12,50	0,00
N 22.5° O	3,18	23,85	0,01				3,61	25,00	0,00	3,20	24,47	0,01	0,50	16,67	0,00

Tabla A1.2 Frecuencias cruzadas de altura de ola – períodos de ola – régimen anual

Hs (m)	Períodos (s)																Total	%
	<3,0	3,0 4,0	4,0 5,0	5,0 6,0	6,0 7,0	7,0 8,0	8,0 9,0	9,0 10,0	10,0 11,0	11,0 12,0	12,0 13,0	13,0 14,0	14,0 15,0	15,0 16,0	16,0 17,0	>17,0		
<=0,5								15	13	19	22	23	13	10			115	0,17
0,5 1,0		7	18	56	166	515	248	248	919	3300	4100	5305	4433	2997	1833	903	25048	37,77
1,0 1,5			22	88	158	746	667	350	1015	1502	2521	5474	7239	6238	3186	1810	31016	46,77
1,5 2,0				60	139	290	458	375	332	299	229	505	1222	1747	1446	877	7979	12,03
2,0 2,5				3	38	81	120	277	206	37	2	14	78	237	383	138	1614	2,43
2,5 3,0					1	14	21	68	52	13	1	2	11	17	14	72	286	0,43
3,0 3,5						1	1	10	32	18				5	8	40	115	0,17
3,5 4,0								1	21	16				1		44	88	0,13
4,0 4,5											1					40	42	0,06
4,5 5,0																17	17	0,03
5,0 5,5																	0	0,00
5,5 6,0																	0	0,00
6,0 6,5																	0	0,00
>6,5																	0	0,00
Total	0	7	40	207	502	1647	1515	1329	2593	5198	6878	11322	13006	11255	6880	3941	66320	
%	0,00	0,01	0,06	0,31	0,76	2,48	2,28	2,00	3,91	7,84	10,37	17,07	19,61	16,97	10,37	5,94		

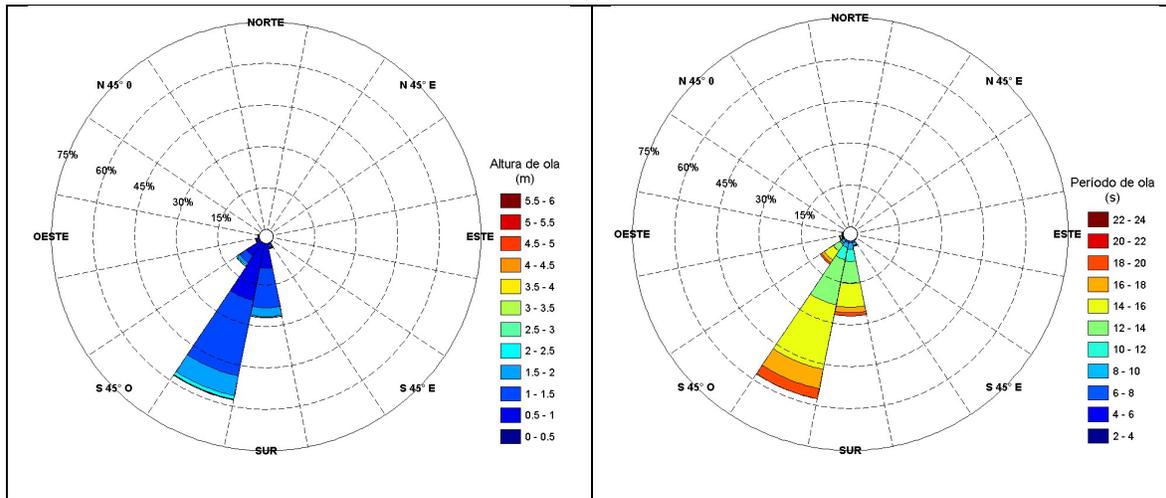


Figura A1.2 Distribución de alturas y período de oleaje - régimen anual

Tabla A1.3 Frecuencias cruzadas de altura de ola – dirección de incidencia – régimen anual

Dirección	Alturas (m)																Total	%
	<=0,5	0,5 1,0	1,0 1,5	1,5 2,0	2,0 2,5	2,5 3,0	3,0 3,5	3,5 4,0	4,0 4,5	4,5 5,0	5,0 5,5	5,5 6,0	6,0 6,5	>6,5				
NORTE				4		1	3	1	2	1							12	0,02
N 22.5° E				2		3	1		2	1							8	0,01
N 45° E				4	1	1		3	6	1							16	0,02
N 67.5° E				4	1	1	1	5	3	1							17	0,03
ESTE		1		3			2	3	3	1							13	0,02
S 67.5° E			1	4	1		2	2	2	2							14	0,02
S 45° E			20	46	27	3		3		1							122	0,18
S 22.5° E		1	385	571	224	157	49	20	12	2	2						1423	2,15
SUR		8	5936	9497	2032	262	44	21	18	2							17820	26,87
S 22.5° O		38	13921	18452	4810	884	133	48	20	7	2						38315	57,77
S 45° O		58	3925	2013	706	263	42	8	6	3	1						7025	10,59
S 67.5° O		8	690	209	77	13	3	6	2	2	1						1011	1,52
OESTE		1	163	237	60	2	2	1	5	1							472	0,71
N 67.5° O			5	14	2				2	2	2						27	0,04
N 45° O			1			1	2	2	3	3	2						14	0,02
N 22.5° O		1		1	2	2		3	2								11	0,02
Total	115	25048	31016	7979	1614	286	115	88	42	17	0	0	0	0	0	0	66320	
%	0,17	37,77	46,77	12,03	2,43	0,43	0,17	0,13	0,06	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		

Tabla A1.4 Frecuencias cruzadas de períodos de ola – dirección de incidencia – régimen anual

Dirección	Períodos (s)																Total	%	
	<3,0	3,0 4,0	4,0 5,0	5,0 6,0	6,0 7,0	7,0 8,0	8,0 9,0	9,0 10,0	10,0 11,0	11,0 12,0	12,0 13,0	13,0 14,0	14,0 15,0	15,0 16,0	16,0 17,0	>17,0			
NORTE														1			11	12	0,02
N 22.5° E																	8	8	0,01
N 45° E																	16	16	0,02
N 67.5° E																	17	17	0,03
ESTE											1						12	13	0,02
S 67.5° E				3													11	14	0,02
S 45° E				16	28	39	17	9	1	1		1				2	8	122	0,18
S 22.5° E				32	137	341	273	206	231	88	21	17	28	20	13	16	1423	2,15	
SUR				7	95	395	381	421	1408	2183	2097	3108	3224	2417	1325	759	17820	26,87	
S 22.5° O				4	25	414	415	425	722	2571	4064	6843	8102	7535	4655	2540	38315	57,77	
S 45° O				2	31	271	336	210	181	342	659	1187	1410	1131	800	465	7025	10,59	
S 67.5° O			2	14	67	93	56	39	33	13	34	162	232	144	85	37	1011	1,52	
OESTE	7	36	124	112	91	37	19	17			1	3	9	4	1	11	472	0,71	
N 67.5° O			2	5	7	3										7	27	0,04	
N 45° O												1				13	14	0,02	
N 22.5° O																1	10	0,02	
Total	0	7	40	207	502	1647	1515	1329	2593	5198	6878	11322	13006	11255	6880	3941	66320		
%	0,00	0,01	0,06	0,31	0,76	2,48	2,28	2,00	3,91	7,84	10,37	17,07	19,61	16,97	10,37	5,94			

Tabla A1.5 Frecuencias cruzadas de altura de ola – períodos de ola – régimen primavera

Hs (m)	Períodos (s)																Total	%	
	<3,0	3,0 4,0	4,0 5,0	5,0 6,0	6,0 7,0	7,0 8,0	8,0 9,0	9,0 10,0	10,0 11,0	11,0 12,0	12,0 13,0	13,0 14,0	14,0 15,0	15,0 16,0	16,0 17,0	>17,0			
<=0,5																		0	0,00
0,5 1,0				2	3	20	24	91	202	684	1017	1374	1178	779	369	187	5930	28,74	
1,0 1,5			5	24	25	51	74	62	223	472	1151	2391	3193	2696	1429	916	12712	61,62	
1,5 2,0				10	8	21	20	4	21	2	23	104	294	471	547	331	1856	8,100	
2,0 2,5						1	3						3	27	76	21	131	0,63	
2,5 3,0															1		1	0,00	
3,0 3,5																	0	0,00	
3,5 4,0																	0	0,00	
4,0 4,5																	0	0,00	
4,5 5,0																	0	0,00	
5,0 5,5																	0	0,00	
5,5 6,0																	0	0,00	
6,0 6,5																	0	0,00	
>6,5																	0	0,00	
Total	0	0	5	36	36	93	121	157	446	1158	2191	3869	4668	3973	2422	1455	20630		
%	0,00	0,00	0,02	0,17	0,17	0,45	0,59	0,76	2,16	5,61	10,62	18,75	22,63	19,26	11,74	7,05			

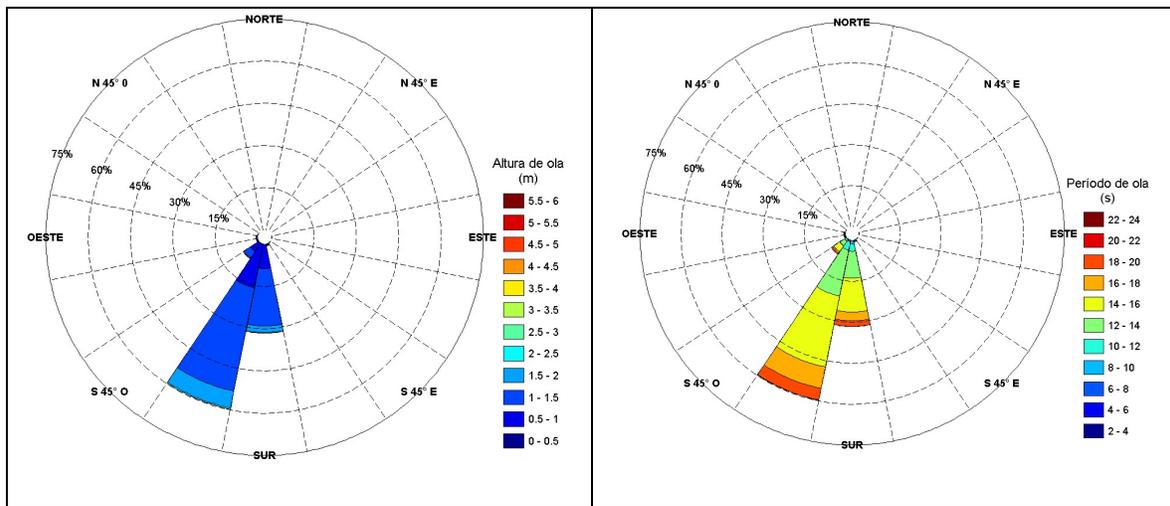


Figura A1.3 Distribución de alturas y período de oleaje - régimen primavera

Tabla A1.6 Frecuencias cruzadas de altura de ola – dirección de incidencia – régimen primavera

Dirección	A l t u r a s (m)														Total	%
	<=0,5	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	>6,5		
NORTE															0	0,00
N 22.5° E															0	0,00
N 45° E															0	0,00
N 67.5° E															0	0,00
ESTE		1													1	0,00
S 67.5° E															0	0,00
S 45° E		1	1												2	0,01
S 22.5° E		53	71	11											135	0,65
SUR		1792	4193	479	41	1									6506	31,54
S 22.5° O		3263	7709	1273	85										12330	59,77
S 45° O		746	568	58	5										1377	6,67
S 67.5° O		69	52	1											122	0,59
OESTE		5	109	33											147	0,71
N 67.5° O			9	1											10	0,05
N 45° O															0	0,00
N 22.5° O															0	0,00
Total	0	5930	12712	1856	131	1	0	0	0	0	0	0	0	0	20630	
%	0,00	28,74	61,62	8,100	0,63	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	

Tabla A1.7 Frecuencias cruzadas de períodos de ola – dirección de incidencia – régimen primavera

Dirección	P e r i o d o s (s)															Total	%	
	<3,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0	11,0	12,0	13,0	14,0	15,0	16,0			>17,0
NORTE																	0	0,00
N 22.5° E																	0	0,00
N 45° E																	0	0,00
N 67.5° E																	0	0,00
ESTE										1							1	0,00
S 67.5° E																	0	0,00
S 45° E							1					1					2	0,01
S 22.5° E							8	24	30	39	7	6	15	4	2		135	0,65
SUR					1	15	19	73	284	427	725	1296	1497	1080	652	437	6506	31,54
S 22.5° O					1	15	32	23	89	598	1276	2272	2832	2633	1647	912	12330	59,77
S 45° O						7	10	3	17	129	169	268	302	248	117	106	1377	6,67
S 67.5° O			1	1	1	14	13	13	6	4	12	24	21	8	4		122	0,59
OESTE			3	34	27	31	23	15	11		1	1	1				147	0,71
N 67.5° O			1	1	5	2											10	0,05
N 45° O																	0	0,00
N 22.5° O																	0	0,00
Total	0	0	5	36	36	93	121	157	446	1158	2191	3869	4668	3973	2422	1455	20630	
%	0,00	0,00	0,02	0,17	0,17	0,45	0,59	0,76	2,16	5,61	10,62	18,75	22,63	19,26	11,74	7,05		

Tabla A1.8 Frecuencias cruzadas de altura de ola – períodos de ola – régimen verano

Hs (m)	P e r i o d o s (s)															Total	%			
	<3,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0	11,0	12,0	13,0	14,0	15,0	16,0			>17,0		
<=0,5																	0	0,00		
0,5 1,0																	9	379	2,91	
1,0 1,5					4	27	172	184	119	456	466	491	1203	1663	1386	550	379	7100	54,59	
1,5 2,0					37	97	165	289	181	214	195	163	316	722	964	655	367	4365	33,56	
2,0 2,5					2	25	54	46	107	149	26	8	38	141	230	85	191	911	7,00	
2,5 3,0							12	17	38	26	8	1	2	14	10	25	154	1,18		
3,0 3,5							1	1	7	19	8				5	8	9	58	0,45	
3,5 4,0									1	17	7						6	32	0,25	
4,0 4,5																		5	6	0,05
4,5 5,0																		2	2	0,02
5,0 5,5																			0	0,00
5,5 6,0																			0	0,00
6,0 6,5																			0	0,00
>6,5																			0	0,00
Total	0	0	0	43	149	411	540	455	904	767	731	1629	2491	2534	1466	887	13007			
%	0,00	0,00	0,00	0,33	1,15	3,16	4,15	3,50	6,95	5,90	5,62	12,52	19,15	19,48	11,27	6,82				

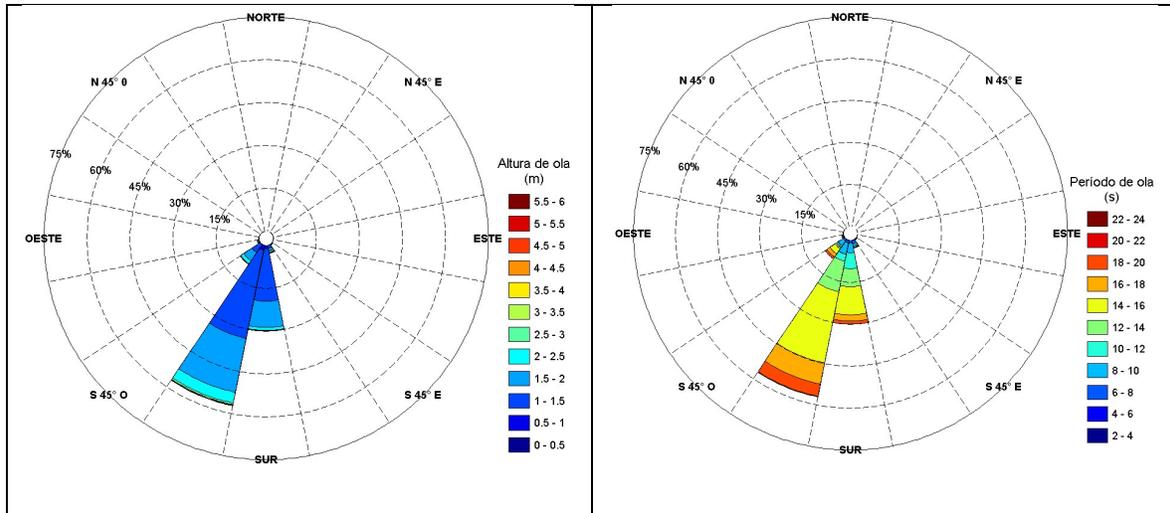


Figura A1.4 Distribución de alturas y período de oleaje - régimen verano

Tabla A1.9 Frecuencias cruzadas de altura de ola – dirección de incidencia – régimen verano

Dirección	A l t u r a s (m)													Total	%		
	<=0,5	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0			>6,5	
NORTE																0	0,00
N 22.5° E																0	0,00
N 45° E										1						1	0,01
N 67.5° E					1	1										2	0,02
ESTE							1									1	0,01
S 67.5° E			1	2	1											4	0,03
S 45° E			2	21	24		3									50	0,38
S 22.5° E								12	5							370	2,84
SUR		136	2400	1191	140	17	10	4								3898	29,97
S 22.5° O		231	4085	2502	503	75	27	18		4						7445	57,24
S 45° O		8	448	451	159	29	5	4								1104	8,49
S 67.5° O			32	56	12	1	3	1								105	0,81
OESTE			1	18	1	2										22	0,17
N 67.5° O			1													1	0,01
N 45° O									1	1						2	0,02
N 22.5° O					1				1							2	0,02
Total	0	379	7100	4365	911	154	58	32	6	2	0	0	0	0	0	13007	
%	0,00	2,91	54,59	33,56	7,00	1,18	0,45	0,25	0,05	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		

Tabla A1.10 Frecuencias cruzadas de períodos de ola – dirección de incidencia – régimen verano

Dirección	P e r í o d o s (s)															Total	%	
	<3,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0	11,0	12,0	13,0	14,0	15,0	16,0			>17,0
NORTE																	0	0,00
N 22.5° E																	0	0,00
N 45° E																1	1	0,01
N 67.5° E																2	2	0,02
ESTE																1	1	0,01
S 67.5° E				3												1	4	0,03
S 45° E				12	14	14	7	2						1			50	0,38
S 22.5° E				9	58	99	47	24		62	35	3	4	10	7	2	370	2,84
SUR				4	37	70	107	139	501	458	294	540	720	590	291	147	3898	29,97
S 22.5° O				4	9	118	235	184	202	242	421	1027	1632	1751	1001	619	7445	57,24
S 45° O					4	93	124	91	122	30	13	57	124	173	166	107	1104	8,49
S 67.5° O					5	18	17	18	15	17	2		3	5	1	3	105	0,81
OESTE					6	9		2					2	3			22	0,17
N 67.5° O														1			1	0,01
N 45° O																2	2	0,02
N 22.5° O																2	2	0,02
Total	0	0	0	43	149	411	540	455	904	767	731	1629	2491	2534	1466	887	13007	
%	0,00	0,00	0,00	0,33	1,15	3,16	4,15	3,50	6,95	5,90	5,62	12,52	19,15	19,48	11,27	6,82		

Tabla A1.11 Frecuencias cruzadas de altura de ola – períodos de ola – régimen otoño

Hs (m)	Períodos (s)																Total	%
	<3,0	3,0 4,0	4,0 5,0	5,0 6,0	6,0 7,0	7,0 8,0	8,0 9,0	9,0 10,0	10,0 11,0	11,0 12,0	12,0 13,0	13,0 14,0	14,0 15,0	15,0 16,0	16,0 17,0	>17,0		
<=0,5																	0	0,00
0,5 1,0				3	46	243	68	33	144	505	699	901	622	532	276	122	4194	29,46
1,0 1,5			4	16	73	448	397	136	238	444	611	1273	1489	1348	776	325	7578	53,23
1,5 2,0				11	32	104	149	190	97	102	42	82	189	258	192	162	1610	11,31
2,0 2,5				1	13	26	71	170	57	11	2	6	37	64	74	31	563	3,95
2,5 3,0						1	2	4	30	26	5				3	47	131	0,92
3,0 3,5									3	13	10					30	56	0,39
3,5 4,0																37	55	0,39
4,0 4,5									4	9						35	36	0,25
4,5 5,0																14	14	0,10
5,0 5,5																		0,00
5,5 6,0																		0,00
6,0 6,5																		0,00
>6,5																		0,00
Total	0	0	4	31	165	823	689	562	579	1086	1360	2263	2346	2205	1321	803	14237	
%	0,00	0,00	0,03	0,22	1,16	5,78	4,84	3,95	4,07	7,63	9,55	15,90	16,48	15,49	9,28	5,64		

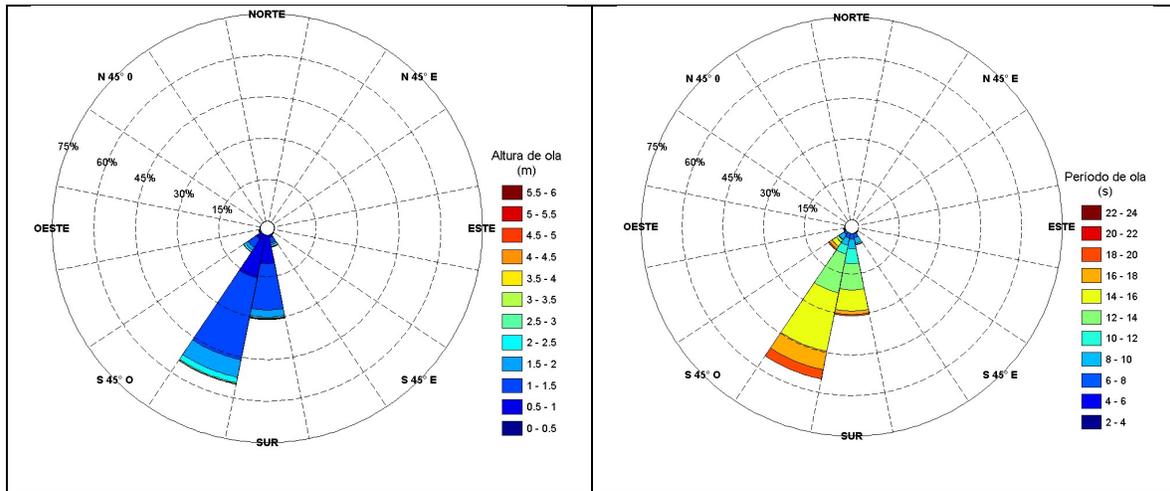


Figura A1.5 Distribución de alturas y período de oleaje - régimen otoño

Tabla A1.12 Frecuencias cruzadas de altura de ola – dirección de incidencia – régimen otoño

Dirección	Alturas (m)															Total	%
	<=0,5	0,5 1,0	1,0 1,5	1,5 2,0	2,0 2,5	2,5 3,0	3,0 3,5	3,5 4,0	4,0 4,5	4,5 5,0	5,0 5,5	5,5 6,0	6,0 6,5	>6,5			
NORTE				4		1	3	1	2	1						12	0,08
N 22.5° E				2		3	1		2							8	0,06
N 45° E				3	1	1		3	6							14	0,10
N 67.5° E				4			1	5	3							13	0,09
ESTE				3				3	3	1						10	0,07
S 67.5° E				2			2	2	2	2						10	0,07
S 45° E						3		2		1						42	0,30
S 22.5° E						88	88	23	8	7	2	2				647	4,54
SUR				1469	2383	362	81	26	11	14	2					4348	30,54
S 22.5° O				2254	4294	912	287	58	21	2	3	2				7833	55,02
S 45° O				312	524	178	99	13	3	2	3	1				1135	7,97
S 67.5° O				20	60	19	1	2	3	1	2	1				109	0,77
OESTE				3	13	6	1		1	5	1					30	0,21
N 67.5° O						1			2	2	2	2				7	0,05
N 45° O						1		2	2	3	2	1				11	0,08
N 22.5° O						1	1	2		3	1					8	0,06
Total	0	4194	7578	1610	563	131	56	55	36	14	0	0	0	0	0	14237	
%	0,00	29,46	53,23	11,31	3,95	0,92	0,39	0,39	0,25	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		

Tabla A1.13 Frecuencias cruzadas de períodos de ola – dirección de incidencia – régimen otoño

Dirección	Períodos (s)															Total	%		
	<3,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0	11,0	12,0	13,0	14,0	15,0	16,0			>17,0	
NORTE														1			11	12	0,08
N 22,5° E																	8	8	0,06
N 45° E																	14	14	0,10
N 67,5° E																	13	13	0,09
ESTE																	10	10	0,07
S 67,5° E																	10	10	0,07
S 45° E				4	14	13	4				1					1	5	42	0,30
S 22,5° E			21	67	156	153	108	63	46	10	6	3	4	1		9	647	4,54	
SUR				49	256	194	146	330	628	580	795	648	464	178		80	4348	30,54	
S 22,5° O				11	237	123	182	159	399	727	1355	1573	1582	977		508	7833	55,02	
S 45° O				8	136	193	113	18	12	43	102	116	145	164		85	1135	7,97	
S 67,5° O			4	13	25	22	10	5			4	3	9	1		13	109	0,77	
OESTE			4	2	3			3	4			1	2			11	30	0,21	
N 67,5° O																7	7	0,05	
N 45° O																11	11	0,08	
N 22,5° O																8	8	0,06	
Total	0	0	4	31	165	823	689	562	579	1086	1360	2263	2346	2205	1321	803	14237		
%	0,00	0,00	0,03	0,22	1,16	5,78	4,84	3,95	4,07	7,63	9,55	15,90	16,48	15,49	9,28	5,64			

Tabla A1.14 Frecuencias cruzadas de altura de ola – períodos de ola – régimen invierno

Hs (m)	Períodos (s)															Total	%	
	<3,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0	11,0	12,0	13,0	14,0	15,0	16,0			>17,0
<=0,5										15	13	19	22	23	13	10	115	0,62
0,5 1,0		7	18	51	117	245	153	122	551	2054	2308	2929	2567	1663	1175	585	14545	78,85
1,0 1,5			13	44	33	75	12	33	98	120	268	607	894	808	431	190	3626	19,66
1,5 2,0				2	2						1	3	17	54	52	17	148	0,80
2,0 2,5														5	3	1	9	0,05
2,5 3,0																	0	0,00
3,0 3,5																1	1	0,01
3,5 4,0																1	1	0,01
4,0 4,5																	0	0,00
4,5 5,0																1	1	0,01
5,0 5,5																	0	0,00
5,5 6,0																	0	0,00
6,0 6,5																	0	0,00
>6,5																	0	0,00
Total	0	7	31	97	152	320	165	155	664	2187	2596	3561	3501	2543	1671	796	18446	
%	0,00	0,04	0,17	0,53	0,82	1,73	0,89	0,84	3,60	11,86	14,07	19,30	18,98	13,79	9,06	4,32		

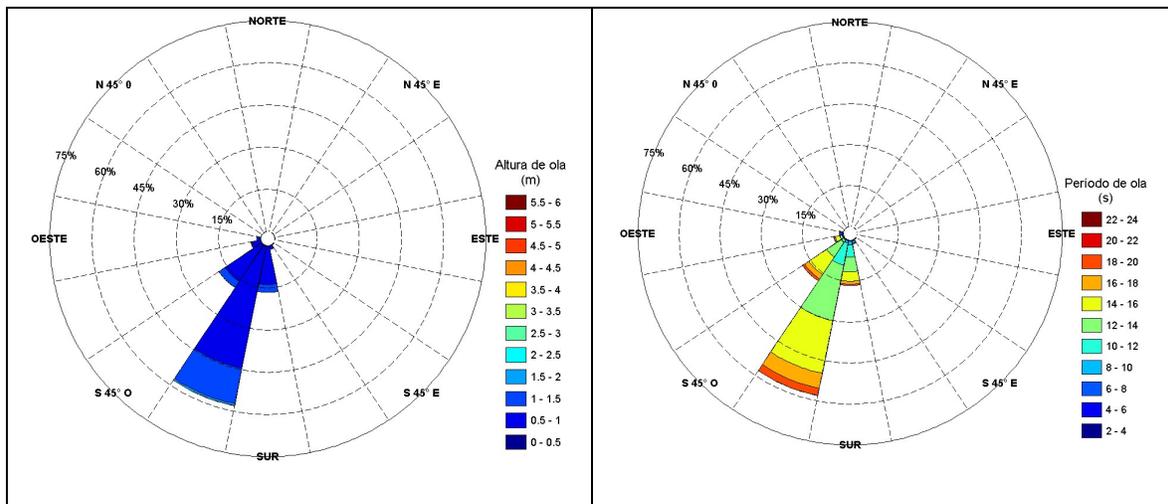


Figura A1.6 Distribución de alturas y período de oleaje - régimen invierno

Tabla A1.15 Frecuencias cruzadas de altura de ola – dirección de incidencia – régimen invierno

Dirección	A l t u r a s (m)														Total	%	
	<=0,5	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	>6,5			
NORTE																0	0,00
N 22.5° E																0	0,00
N 45° E															1	1	0,01
N 67.5° E			1		1								1		2	2	0,01
ESTE								1							1	1	0,01
S 67.5° E															0	0	0,00
S 45° E			19		8					1					28	28	0,15
S 22.5° E		1	192		77										271	271	1,47
SUR		8	2539		521										3068	3068	16,63
S 22.5° O		38	8173		2364		123		9						10707	10707	58,05
S 45° O		58	2859		473		19								3409	3409	18,48
S 67.5° O		8	601		65		1								675	675	3,66
OESTE		1	155		114		3								273	273	1,48
N 67.5° O			5		4										9	9	0,05
N 45° O			1												1	1	0,01
N 22.5° O		1													1	1	0,01
Total	115	14545	3626	148	9	0	1	1	0	1	0	0	0	0	18446		
%	0,62	78,85	19,66	0,80	0,05	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00			

Tabla A1.16 Frecuencias cruzadas de períodos de ola – dirección de incidencia – régimen invierno

Dirección	P e r í o d o s (s)																Total	%		
	<3,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0	11,0	12,0	13,0	14,0	15,0	16,0	>17,0				
NORTE																		0	0,00	
N 22.5° E																		0	0,00	
N 45° E																	1	1	0,01	
N 67.5° E																	2	2	0,01	
ESTE																	1	1	0,01	
S 67.5° E																	0	0	0,00	
S 45° E							11	6	7	1							3	28	0,15	
S 22.5° E					2	12	78	49	44	67	7	1	1		2	3	5	271	1,47	
SUR					3	8	54	61	63	293	670	498	477	359	283	204	95	3068	16,63	
S 22.5° O						4	44	25	36	272	1332	1640	2189	2065	1569	1030	501	10707	58,05	
S 45° O						2	18	35	9	3	24	171	434	760	868	565	353	167	3409	18,48
S 67.5° O					1	4	35	37	3	1	5	7	22	133	205	122	79	21	675	3,66
OESTE			7	29	82	73	60	12	1	2				1	4	1	1	273	1,48	
N 67.5° O				1	4	2	1									1		9	0,05	
N 45° O														1				1	0,01	
N 22.5° O															1			1	0,01	
Total	0	7	31	97	152	320	165	155	664	2187	2596	3561	3501	2543	1671	796	18446			
%	0,00	0,04	0,17	0,53	0,82	1,73	0,89	0,84	3,60	11,86	14,07	19,30	18,98	13,79	9,06	4,32				

Anexo 2 Información de viento – puerto Lázaro Cárdenas, Mich.



Figura A2.1 Localización geográfica de la estación meteorológica en las proximidades del puerto de Lázaro Cárdenas, los datos registrados son desde noviembre de 2007 a julio de 2015

Tabla A2.1 Frecuencias cruzadas de la magnitud del viento – dirección – régimen anual

Dirección	v e l o c i d a d (m/s)														Total	%
	<2,00	2,00 4,00	4,00 6,00	6,00 8,00	8,00 10,00	10,00 12,00	12,00 14,00	14,00 16,00	16,00 18,00	18,00 20,00	20,00 40,00	40,00 50,00	>50,0			
NORTE	2140	1803	1036	281	209	80	1	1			10	3	17	5581	14,04	
N 22.5° E	1214	1460	128	41	3	24	111	55	1	5				3042	7,65	
N 45° E	774	926	98	38	38	15	6	48	107	53	7			2110	5,31	
N 67.5° E	664	789	136	12		2				75	96			1774	4,46	
ESTE	333	367	99	17	8	4	1				84			913	2,30	
S 67.5° E	263	350	155	47	17	5	5	2	1		20			865	2,18	
S 45° E	282	747	481	127	66	41	38	34	7		6			1829	4,60	
S 22.5° E	325	629	387	133	42	20	6	3			9			1554	3,91	
SUR	273	769	826	242	50	14	5	3	2	2	93			2279	5,73	
S 22.5° O	200	806	1280	771	132	8	2	3	1		55		1	3259	8,20	
S 45° O	187	670	1348	904	235	30	1				15	3	1	3394	8,54	
S 67.5° O	190	851	1804	1743	709	107	7				4	4	4	5423	13,65	
OESTE	275	711	805	659	306	94	9				1	8	8	2876	7,24	
N 67.5° O	432	536	520	179	44	10	4				2	7	9	1743	4,39	
N 45° O	426	465	80	9	1						5	6	24	1016	2,56	
N 22.5° O	961	948	104	14	1			1	1		6	14	32	2082	5,24	
Total	8939	12827	9287	5217	1861	454	196	150	120	130	418	45	96	39740		
%	22,49	32,28	23,37	13,13	4,68	1,14	0,49	0,38	0,30	0,33	1,05	0,11	0,24			

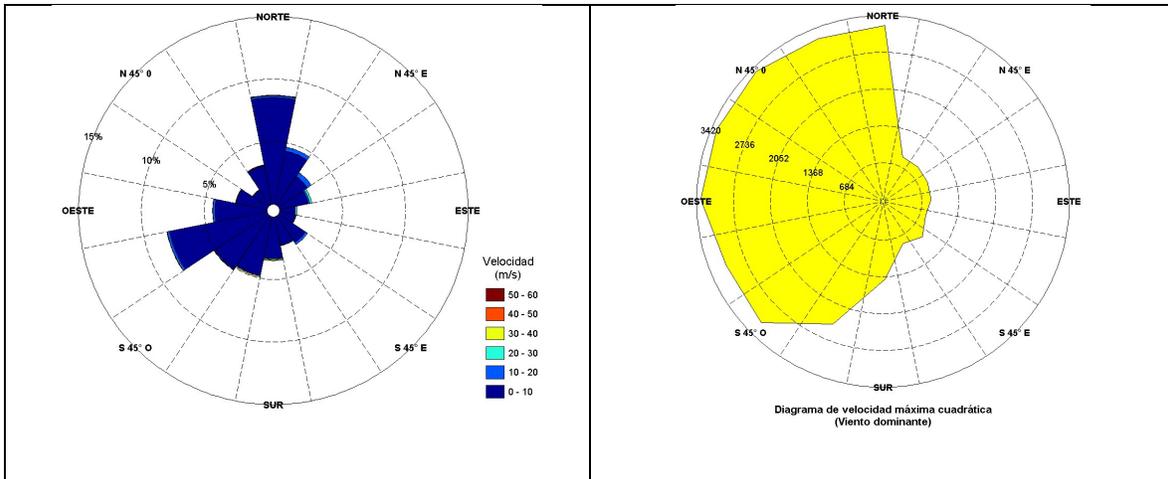


Figura A2.2 Distribución de velocidades por direcciones del viento y del viento dominante - régimen anual

Tabla A2.2 Frecuencias cruzadas de la magnitud del viento – dirección – régimen primavera

Dirección	v e l o c i d a d (m/s)													Total	%
	<2,00	2,00	4,00	6,00	8,00	10,00	12,00	14,00	16,00	18,00	20,00	40,00	>50,0		
NORTE	747	1049	646	158	126	49	1	1			8	3	15	2803	13,22
N 22.5° E	588	880	63	25	3	17	73	38	1		5			1693	7,99
N 45° E	457	593	79	25	28	13	4	23	74	38	7			1341	6,33
N 67.5° E	425	568	102	8		1				44	61			1209	5,70
ESTE	189	233	53	9	7	1	1				52			545	2,57
S 67.5° E	154	187	79	16	4						6			446	2,10
S 45° E	163	366	254	35	6	1	4	3			1			833	3,93
S 22.5° E	180	306	164	35	8	4		1			3			701	3,31
SUR	155	343	405	137	22	4	2	1	1	1	56			1127	5,32
S 22.5° O	130	451	755	525	83	7		1			36		1	1989	9,38
S 45° O	110	355	675	522	154	13	1				13	2	1	1846	8,71
S 67.5° O	87	472	991	1058	443	65	4				3	4	4	3131	14,77
OESTE	106	263	488	467	221	75	5				1	7	5	1638	7,73
N 67.5° O	139	245	311	128	27	7	2				1	5	7	872	4,11
N 45° O	147	216	51	4							4	4	18	444	2,09
N 22.5° O	187	304	49	4	1			1			6	9	22	583	2,75
Total	3964	6831	5165	3156	1133	257	97	69	76	83	263	34	73	21201	
%	18,70	32,22	24,36	14,89	5,34	1,21	0,46	0,33	0,36	0,39	1,24	0,16	0,34		

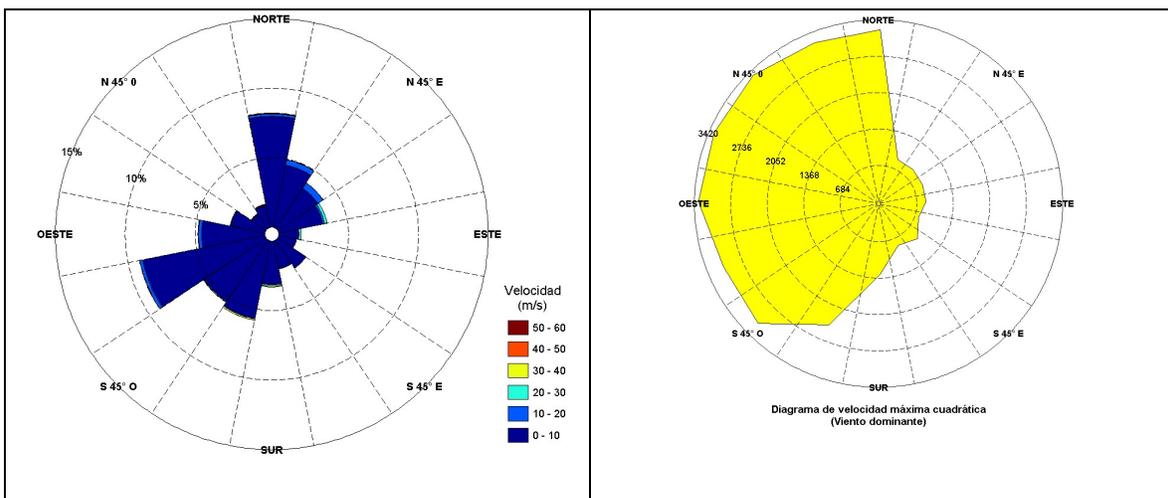


Figura A2.3 Distribución de velocidades por direcciones del viento y del viento dominante - régimen primavera

Tabla A2.3 Frecuencias cruzadas de la magnitud del viento – dirección - régimen verano

Dirección	v e l o c i d a d (m/s)														Total	%
	<2,00	2,00 4,00	4,00 6,00	6,00 8,00	8,00 10,00	10,00 12,00	12,00 14,00	14,00 16,00	16,00 18,00	18,00 20,00	20,00 40,00	40,00 50,00	>50,0			
NORTE	548	644	314	100	63	21								1	1691	14,43
N 22.5° E	248	523	63	15		5	24	7							885	7,55
N 45° E	222	297	19	11	7			13	17	10				596	5,09	
N 67.5° E	190	210	34	4		1				20	25			484	4,13	
ESTE	106	117	46	8	1	3					23			304	2,59	
S 67.5° E	84	124	73	31	13	5	5	2	1		13			351	2,100	
S 45° E	83	245	214	92	60	40	34	31	7		4			810	6,91	
S 22.5° E	70	134	155	98	34	16	6	2			1			516	4,40	
SUR	58	155	191	100	27	9	2	1	1		10			554	4,73	
S 22.5° O	42	248	387	227	49	1	2	2	1		9			968	8,26	
S 45° O	47	187	355	314	73	16					1			993	8,48	
S 67.5° O	59	244	524	562	233	42	3				1			1668	14,24	
OESTE	56	146	205	171	74	19	4						1	676	5,77	
N 67.5° O	80	158	203	48	14	3	2						1	509	4,34	
N 45° O	94	153	25	5	1								1	279	2,38	
N 22.5° O	101	264	54	10						1			1	432	3,69	
Total	2088	3849	2862	1796	649	181	82	58	28	30	88	2	3	11716		
%	17,82	32,85	24,43	15,33	5,54	1,54	0,70	0,50	0,24	0,26	0,75	0,02	0,03			

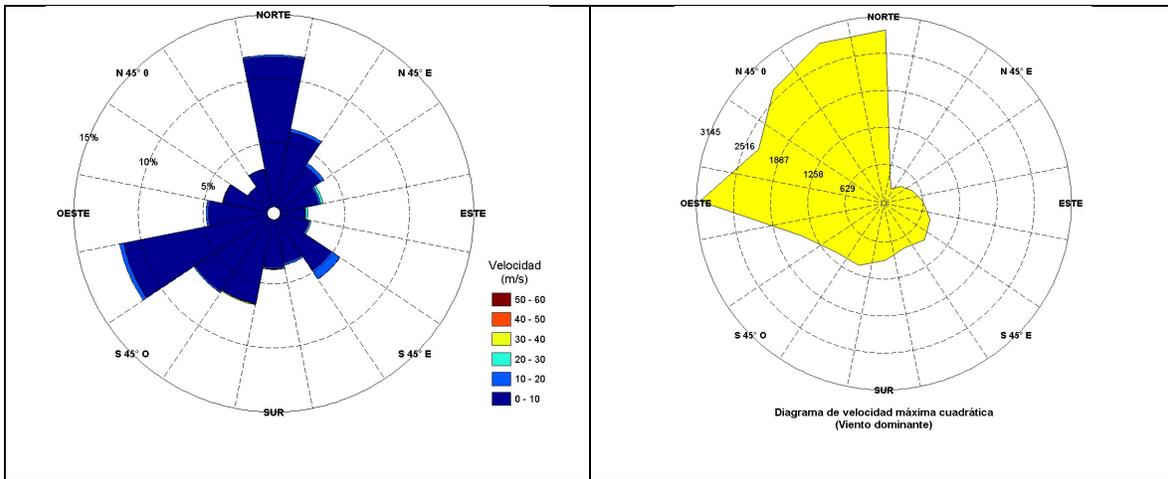


Figura A2.4 Distribución de velocidades por direcciones del viento y del viento dominante - régimen verano

Tabla A2.4 Frecuencias cruzadas de la magnitud del viento – dirección - régimen otoño

Dirección	v e l o c i d a d (m/s)														Total	%
	<2,00	2,00 4,00	4,00 6,00	6,00 8,00	8,00 10,00	10,00 12,00	12,00 14,00	14,00 16,00	16,00 18,00	18,00 20,00	20,00 40,00	40,00 50,00	>50,0			
NORTE															0	0,00
N 22.5° E															0	0,00
N 45° E															0	0,00
N 67.5° E															0	0,00
ESTE															0	0,00
S 67.5° E															0	0,00
S 45° E															0	0,00
S 22.5° E															0	0,00
SUR			3												3	23,08
S 22.5° O			1												1	7,69
S 45° O															0	0,00
S 67.5° O	1														1	7,69
OESTE	1														1	7,69
N 67.5° O	4														4	30,77
N 45° O	1														1	7,69
N 22.5° O	2														2	15,38
Total	9	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13	
%	69,23	0,00	30,77	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		

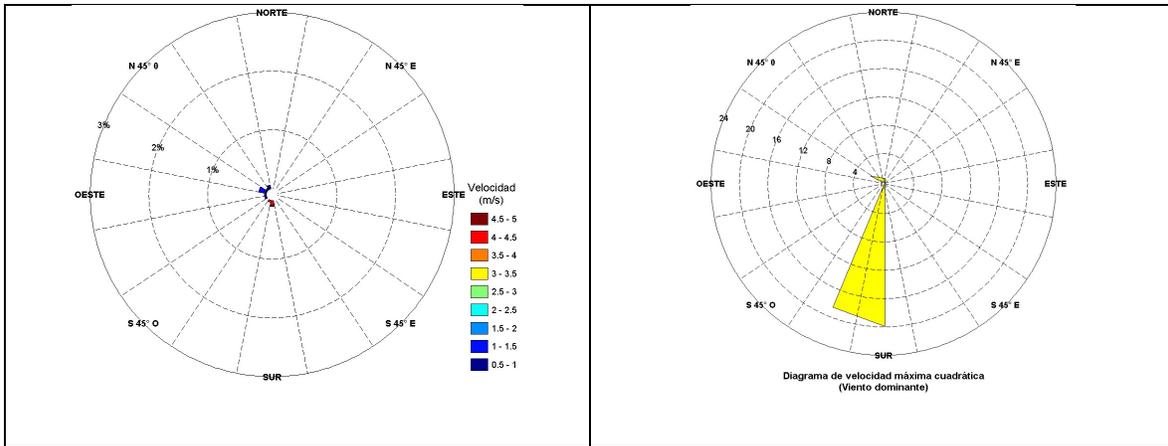


Figura A2.5 Distribución de velocidades por direcciones del viento y del viento dominante - régimen otoño

Tabla A2.5 Frecuencias cruzadas de la magnitud del viento - dirección - régimen invierno

Dirección	v e l o c i d a d (m/s)											Total	%		
	<2,00	2,00	4,00	6,00	8,00	10,00	12,00	14,00	16,00	18,00	20,00			40,00	>50,0
NORTE	845	110	76	23	20	10						1	2	1087	15,96
N 22,5° E	378	57	2	1		2	14	10						464	6,81
N 45° E	95	36		2	3	2	2	12	16	5				173	2,54
N 67,5° E	49	11								11	10			81	1,19
ESTE	38	17									9			64	0,94
S 67,5° E	25	39	3								1			68	0,100
S 45° E	36	136	13								1			186	2,73
S 22,5° E	75	189	68								5			337	4,95
SUR	60	271	227	5	1	1	1	1			1	27		595	8,74
S 22,5° O	28	107	137	19							10			301	4,42
S 45° O	30	128	318	68	8	1					1	1		555	8,15
S 67,5° O	43	135	289	123	33									623	9,15
OESTE	112	302	112	21	11								1	561	8,24
N 67,5° O	209	133	6	3	3						1	1	2	358	5,26
N 45° O	184	96	4								1	2	5	292	4,29
N 22,5° O	671	380	1									4	9	1065	15,64
Total	2878	2147	1256	265	79	16	17	23	16	17	67	9	20	6810	
%	42,26	31,53	18,44	3,89	1,16	0,23	0,25	0,34	0,23	0,25	0,98	0,13	0,29		

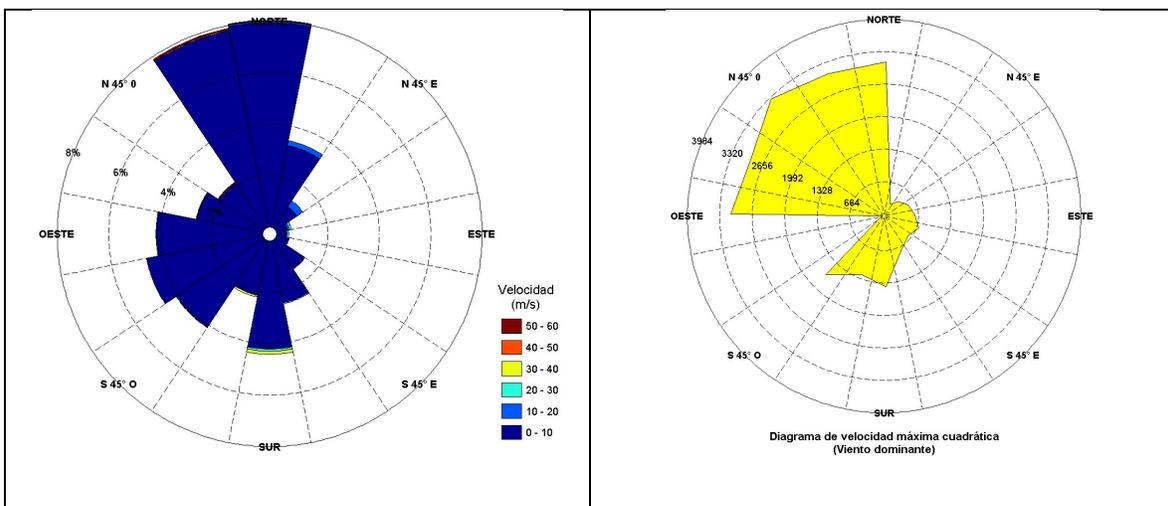


Figura A2.6 Distribución de velocidades por direcciones del viento y del viento dominante - régimen invierno

Tabla A2.6 Velocidad promedio y máxima de viento – régimen anual

Dirección	n	Vmed	nVmed	Vmax	Vmax2
NORTE	5581	3.59	20027.08	56.91	3238.75
N 22.5° E	3042	3.02	9191.49	29.29	857.90
N 45° E	2110	4.07	8579.50	29.35	861.42
N 67.5° E	1774	4.15	7355.66	29.23	854.39
ESTE	913	4.55	4152.64	29.29	857.90
S 67.5° E	865	3.78	3273.56	28.52	813.39
S 45° E	1829	4.47	8169.73	31.37	984.08
S 22.5° E	1554	3.86	6001.30	29.76	885.66
SUR	2279	5.25	11973.30	38.56	1486.87
S 22.5° O	3259	5.38	17533.20	50.08	2508.01
S 45° O	3394	5.41	18375.43	56.91	3238.75
S 67.5° O	5423	5.92	32101.82	56.44	3185.47
OESTE	2876	5.49	15792.61	58.46	3417.57
N 67.5° O	1743	4.22	7357.15	58.10	3375.61
N 45° O	1016	4.05	4110.18	58.04	3368.64
N 22.5° O	2082	3.43	7146.99	56.91	3238.75

Tabla A2.7 Velocidad promedio y máxima de viento – régimen primavera

Dirección	n	Vmed	nVmed	Vmax	Vmax2
NORTE	2803	4.35	12204.72	56.91	3238.75
N 22.5° E	1693	3.27	5533.72	29.29	857.90
N 45° E	1341	4.28	5738.35	29.35	861.42
N 67.5° E	1209	4.05	4894.53	29.23	854.39
ESTE	545	4.64	2528.89	29.29	857.90
S 67.5° E	446	3.21	1429.51	27.86	776.18
S 45° E	833	3.58	2982.32	31.37	984.08
S 22.5° E	701	3.41	2391.27	29.76	885.66
SUR	1127	5.47	6164.32	36.89	1360.87
S 22.5° O	1989	5.51	10958.52	50.08	2508.01
S 45° O	1846	5.60	10333.81	56.91	3238.75
S 67.5° O	3131	6.10	19098.46	56.44	3185.47
OESTE	1638	6.17	10104.97	58.46	3417.57
N 67.5° O	872	4.98	4342.81	58.10	3375.61
N 45° O	444	5.45	2421.82	58.04	3368.64
N 22.5° O	583	5.57	3245.96	56.91	3238.75

Tabla A2.8 Velocidad promedio y máxima de viento – régimen verano

Dirección	n	Vmed	nVmed	Vmax	Vmax2
NORTE	1691	3.31	5595.80	54.00	2916.00
N 22.5° E	885	3.04	2686.51	14.97	224.10
N 45° E	596	3.37	2006.26	19.01	361.38
N 67.5° E	484	4.05	1961.40	22.10	488.41
ESTE	304	4.39	1333.36	25.19	634.54
S 67.5° E	351	4.73	1660.85	28.52	813.39
S 45° E	810	5.74	4651.68	30.42	925.38
S 22.5° E	516	4.90	2526.14	29.11	847.39
SUR	554	5.19	2877.89	31.61	999.19
S 22.5° O	968	5.24	5076.12	34.34	1179.24
S 45° O	993	5.49	5447.23	34.81	1211.74
S 67.5° O	1668	5.97	9960.51	39.27	1542.13
OESTE	676	5.48	3705.41	56.08	3144.97
N 67.5° O	509	4.19	2130.75	48.24	2327.10
N 45° O	279	2.77	774.10	51.81	2684.28
N 22.5° O	432	3.12	1346.43	54.00	2916.00

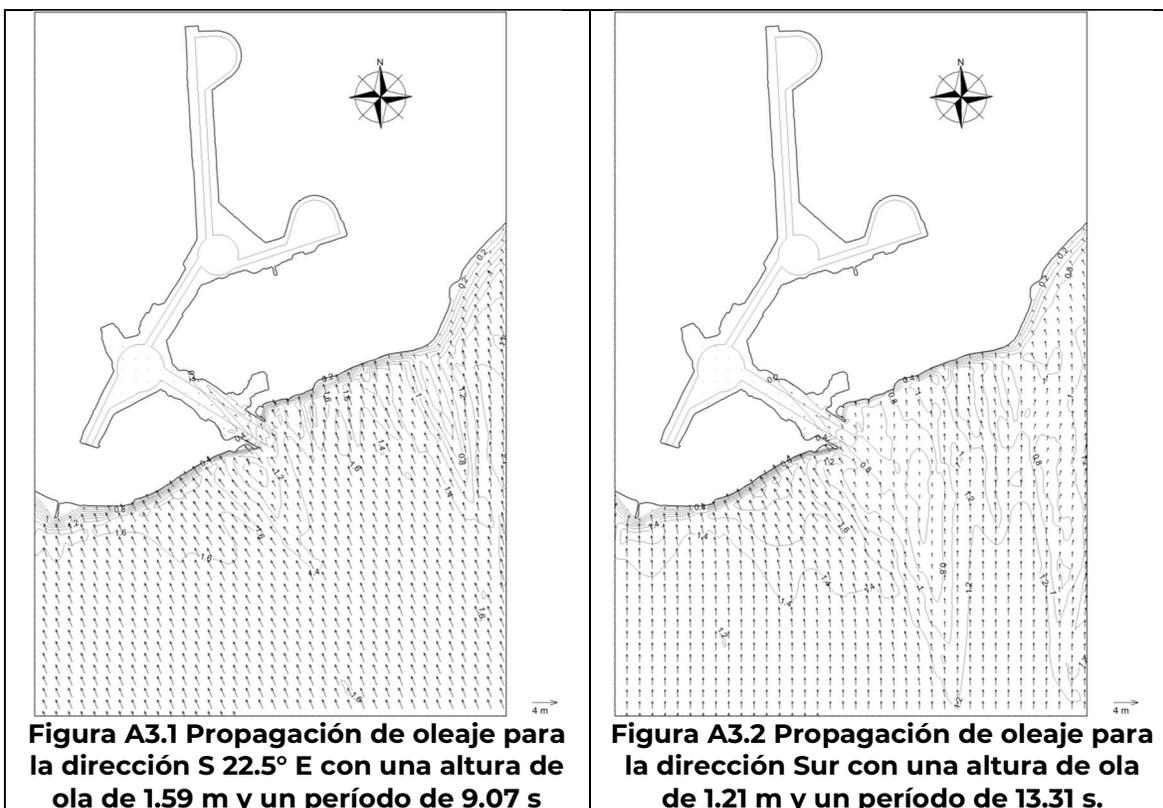
Tabla A2.9 Velocidad promedio y máxima de viento – régimen otoño

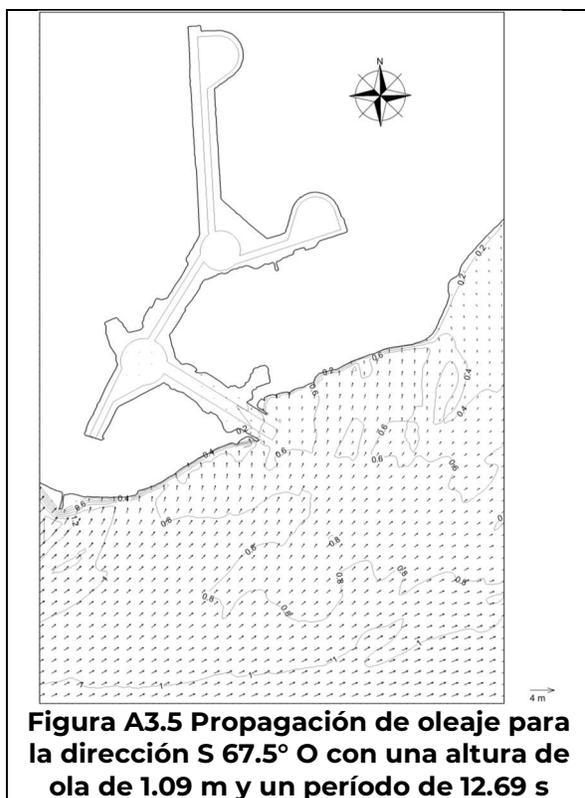
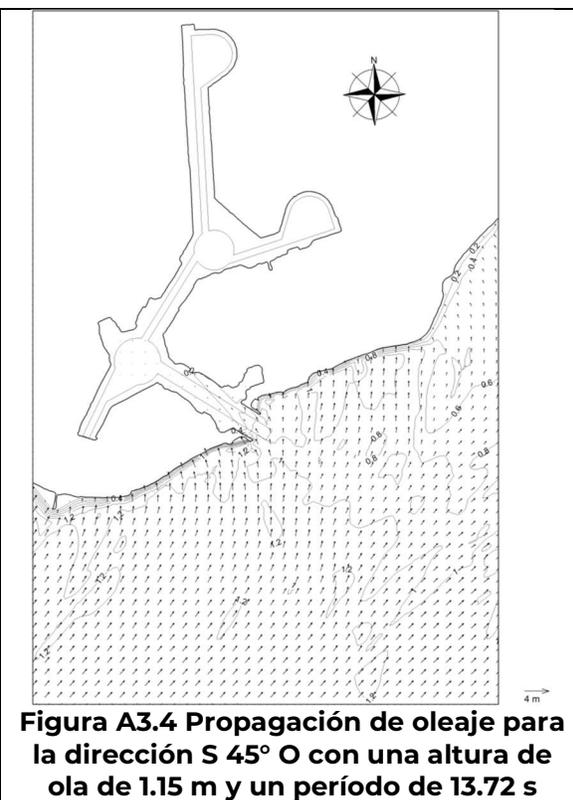
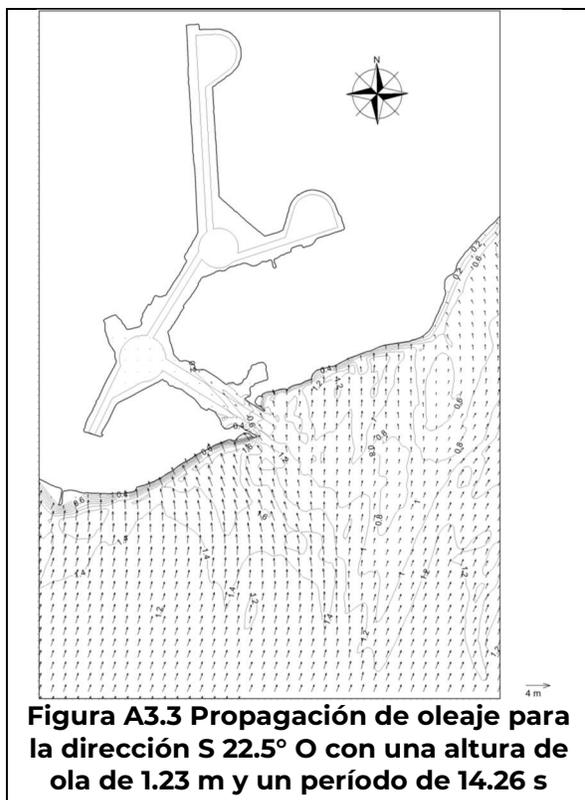
Dirección	n	Vmed	nVmed	Vmax	Vmax2
NORTE	0	0.71	0.00	0.71	0.50
N 22.5° E	0	0.00	0.00	0.00	0.00
N 45° E	0	0.00	0.00	0.00	0.00
N 67.5° E	0	0.00	0.00	0.00	0.00
ESTE	0	0.00	0.00	0.00	0.00
S 67.5° E	0	0.00	0.00	0.00	0.00
S 45° E	0	0.00	0.00	0.00	0.00
S 22.5° E	0	0.00	0.00	0.00	0.00
SUR	3	4.34	13.02	4.52	20.43
S 22.5° O	1	4.38	4.38	4.38	19.18
S 45° O	0	0.00	0.00	0.00	0.00
S 67.5° O	1	0.71	0.71	0.71	0.50
OESTE	1	0.71	0.71	0.71	0.50
N 67.5° O	4	1.13	4.52	1.49	2.22
N 45° O	1	0.95	0.95	0.95	0.90
N 22.5° O	2	0.71	1.42	0.71	0.50

Tabla A2.10 Velocidad promedio y máxima de viento – régimen invierno

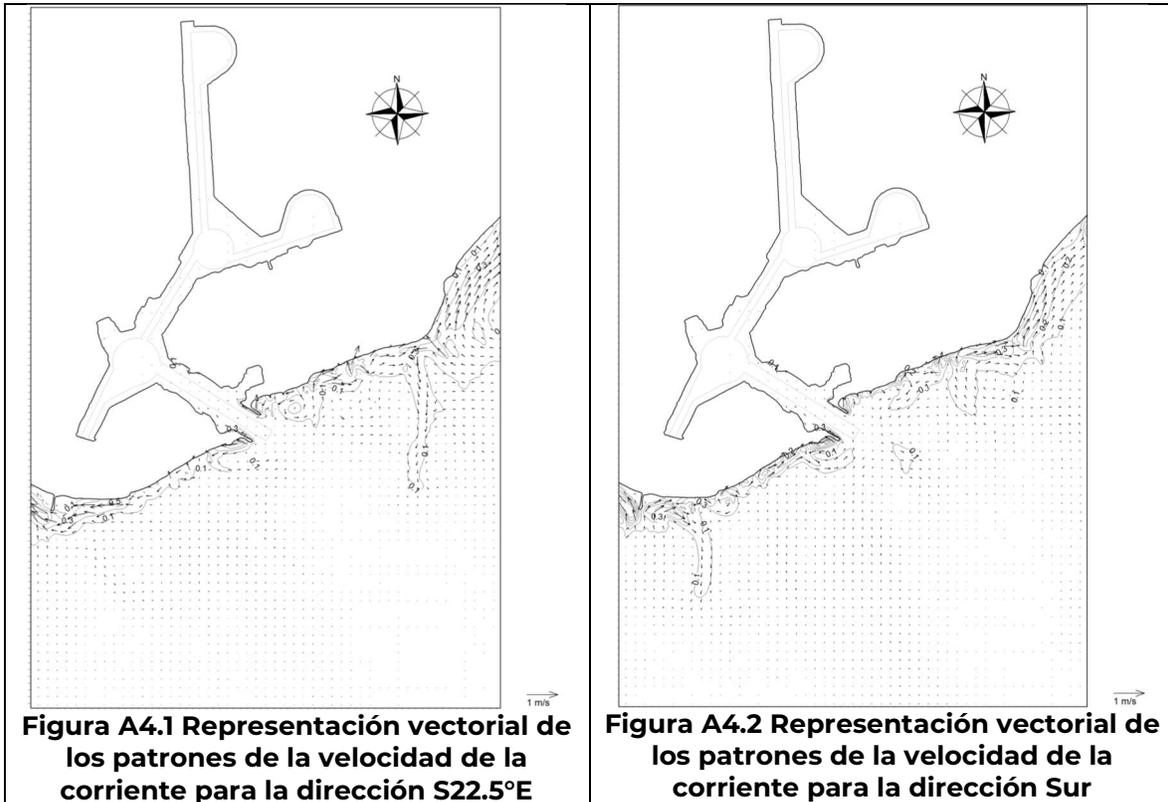
Dirección	n	Vmed	nVmed	Vmax	Vmax2
NORTE	1087	2.54	2757.90	55.73	3105.83
N 22.5° E	464	2.09	971.26	14.85	220.52
N 45° E	173	4.83	834.89	18.89	356.83
N 67.5° E	81	6.17	499.73	22.16	491.07
ESTE	64	4.54	290.39	24.00	576.00
S 67.5° E	68	2.69	183.20	26.91	724.15
S 45° E	186	2.88	535.73	25.13	631.52
S 22.5° E	337	3.22	1083.89	28.52	813.39
SUR	595	4.90	2918.07	38.56	1486.87
S 22.5° O	301	4.96	1494.18	36.54	1335.17
S 45° O	555	4.67	2594.39	41.77	1744.73
S 67.5° O	623	4.88	3042.14	9.62	92.54
OESTE	561	3.53	1981.52	56.32	3171.94
N 67.5° O	358	2.46	879.07	54.66	2987.72
N 45° O	292	3.13	913.31	57.63	3321.22
N 22.5° O	1065	2.40	2553.18	55.73	3105.83

Anexo 3 Propagación de oleaje – puerto Lázaro Cárdenas, Mich.





Anexo 4 Corrientes litorales – puerto Lázaro Cárdenas, Mich.



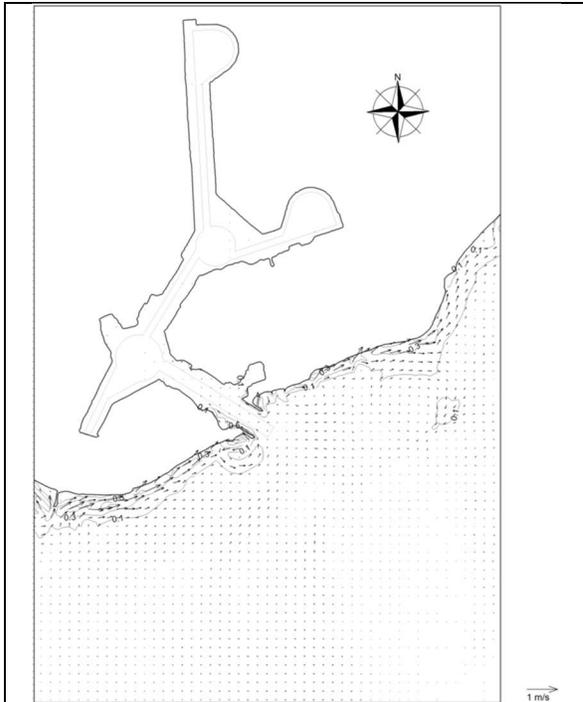


Figura A4.3 Representación vectorial de los patrones de la velocidad de la corriente para la dirección S22.5°O

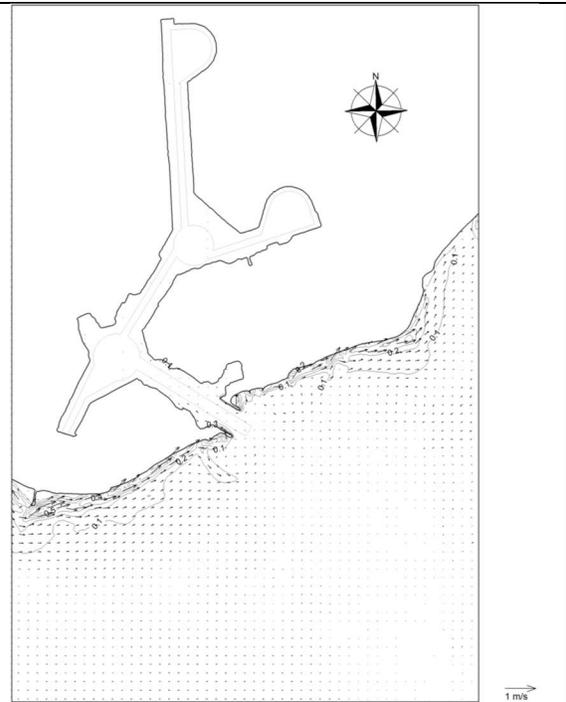


Figura A4.4 Representación vectorial de los patrones de la velocidad de la corriente para la dirección S45°O

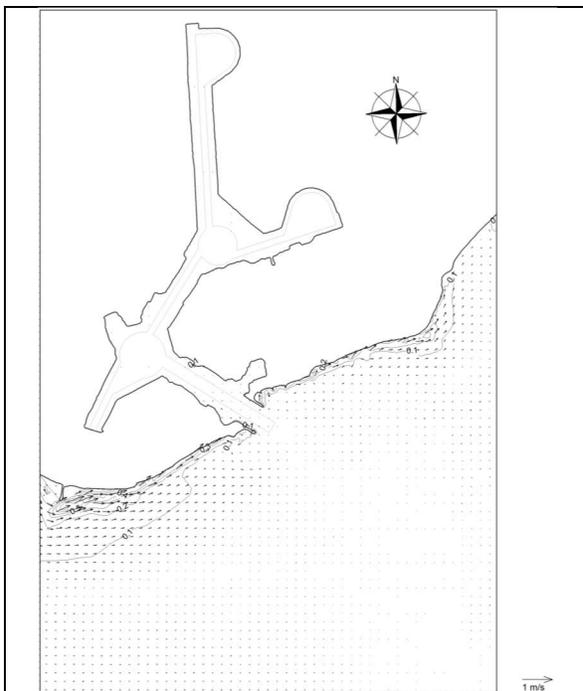


Figura A4.5 Representación vectorial de los patrones de la velocidad de la corriente para la dirección S67.5°O

Anexo 5 Información de oleaje – puerto de Manzanillo, Col

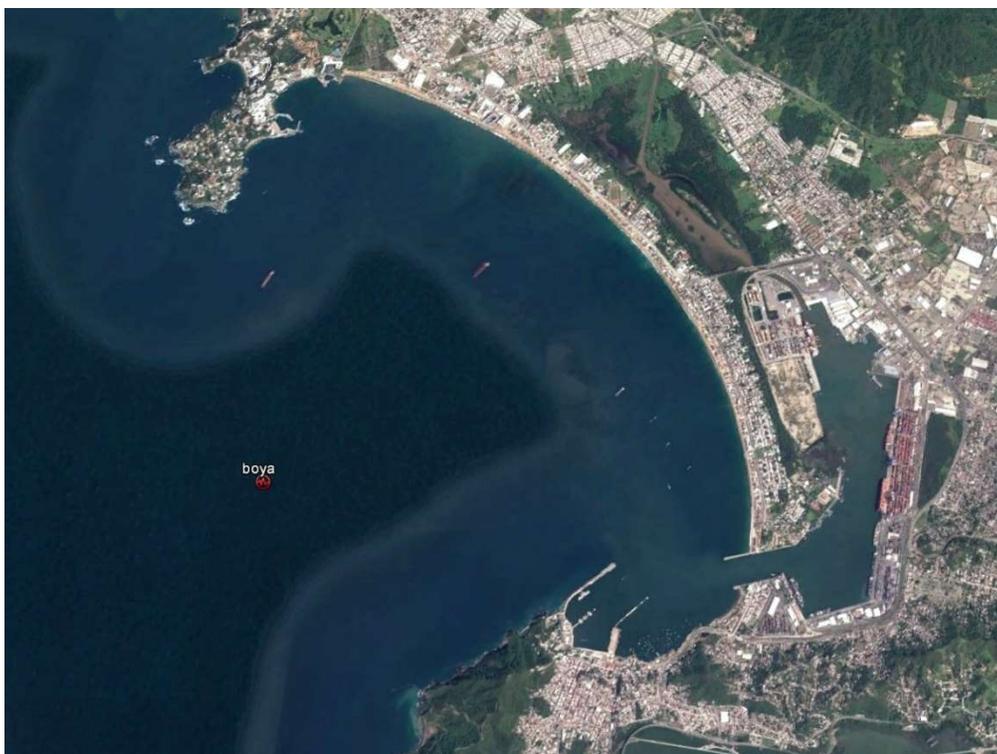


Figura A5.1 Localización geográfica de la boya medidora en las proximidades del puerto de Manzanillo, los datos registrados son de marzo de 2008 hasta julio de 2015

Tabla A5.1 Resumen estadístico por dirección del oleaje

Dirección	ANUAL			PRIMAVERA			VERANO			OTOÑO			INVIERNO		
	H (m)	T (s)	% acc.	H (m)	T (s)	% acc.	H (m)	T (s)	% acc.	H (m)	T (s)	% acc.	H (m)	T (s)	% acc.
NORTE	0,84	16,65	0,05	0,98	14,28	0,00	0,86	15,95	0,00	0,84	14,59	0,01	0,82	17,88	0,03
N 22.5° E	0,80	16,11	0,05	1,01	14,28	0,00	0,93	15,43	0,01	0,75	14,55	0,01	0,76	17,24	0,02
N 45° E	0,94	16,32	0,07	2,08	25,00	0,00	0,98	16,73	0,02	0,72	14,90	0,02	0,67	16,15	0,02
N 67.5° E	0,99	15,74	0,12	0,99	15,01	0,00	1,05	16,21	0,08	0,83	14,99	0,02	0,67	14,12	0,01
ESTE	0,91	15,52	0,13	0,92	14,38	0,01	1,08	16,36	0,05	0,75	15,18	0,03	0,66	14,71	0,03
S 67.5° E	0,92	16,02	0,15	0,96	13,95	0,01	1,06	16,66	0,07	0,76	15,65	0,02	0,70	15,75	0,04
S 45° E	0,89	15,83	0,20	1,05	14,36	0,01	1,07	15,89	0,06	0,78	15,82	0,08	0,70	16,22	0,03
S 22.5° E	0,87	15,28	0,37	0,94	14,10	0,04	1,03	15,28	0,09	0,84	15,67	0,14	0,67	15,21	0,09
SUR	0,90	14,81	1,65	0,96	14,30	0,26	1,06	14,62	0,37	0,89	14,91	0,68	0,68	15,24	0,33
S 22.5° O	1,03	14,14	45,20	1,05	14,68	10,62	1,16	13,71	11,44	1,03	14,11	15,54	0,75	14,09	7,58
S 45° O	1,04	13,98	41,94	1,07	14,72	8,37	1,23	13,59	10,11	1,08	14,00	11,56	0,75	13,78	11,88
S 67.5° O	0,93	13,31	8,05	0,90	14,15	0,82	1,52	9,61	0,95	1,10	11,36	1,13	0,80	14,30	5,14
OESTE	0,89	14,01	1,66	1,03	9,81	0,18	1,33	10,89	0,02	1,16	11,79	0,14	0,84	14,93	1,29
N 67.5° O	0,82	17,35	0,20				1,00	15,01	0,00	0,69	14,94	0,01	0,82	17,67	0,17
N 45° O	0,82	16,27	0,06							0,81	14,90	0,02	0,83	16,91	0,04
N 22.5° O	0,84	17,40	0,03	0,87	15,38	0,00	1,02	16,67	0,00	0,77	15,01	0,00	0,83	18,64	0,02

Tabla A5.2 Frecuencias cruzadas de altura de ola – períodos de ola – régimen anual

Hs (m)	Períodos (s)															Total	%	
	<3,0	3,0 4,0	4,0 5,0	5,0 6,0	6,0 7,0	7,0 8,0	8,0 9,0	9,0 10,0	10,0 11,0	11,0 12,0	12,0 13,0	13,0 14,0	14,0 15,0	15,0 16,0	16,0 17,0			>17,0
<=0,5					8	60	19	53	87	176	161	147	79	20	3	12	825	2,19
0,5 1,0		3	14	8	14	186	100	43	345	1896	3132	5090	4782	3410	2046	1380	22449	59,66
1,0 1,5			2	14	49	386	434	382	206	269	496	1457	2744	2835	1647	877	11798	31,35
1,5 2,0				6	4	56	120	272	273	83	14	21	124	391	453	307	2124	5,64
2,0 2,5							5	38	157	33	1	1	4	30	37	55	361	0,96
2,5 3,0							1	7	30	20	1	1			1	2	63	0,17
3,0 3,5									4	4						1	9	0,02
3,5 4,0										1	1						2	0,01
4,0 4,5																	0	0,00
4,5 5,0																	0	0,00
5,0 5,5																	0	0,00
5,5 6,0																	0	0,00
6,0 6,5																	0	0,00
>6,5																	0	0,00
Total	0	3	16	28	75	688	679	795	1103	2482	3805	6717	7733	6686	4187	2634	37631	
%	0,00	0,01	0,04	0,07	0,20	1,83	1,80	2,11	2,93	6,60	10,11	17,85	20,55	17,77	11,13	6,100		

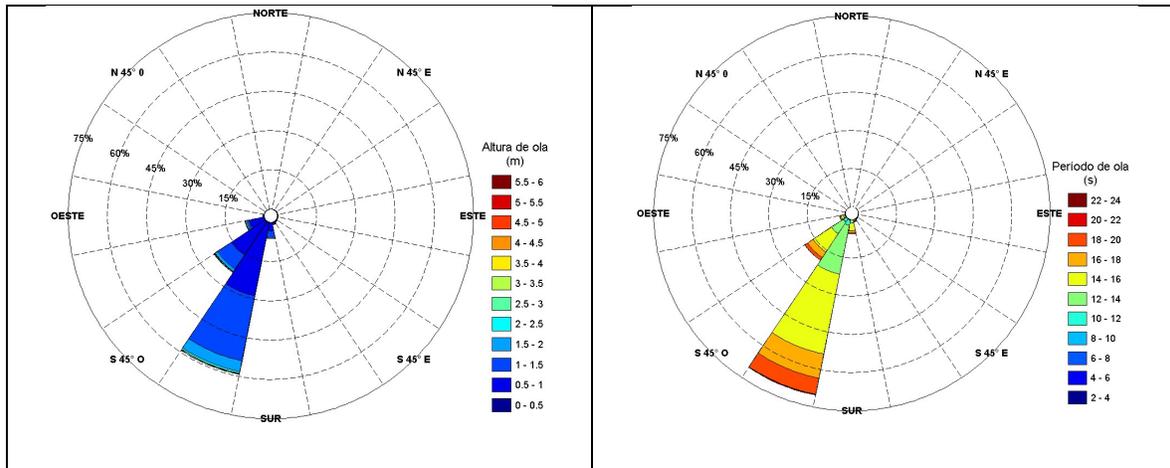


Figura A5.2 Distribución de alturas y período de oleaje - régimen anual

Tabla A5.3 Frecuencias cruzadas de altura de ola – dirección de incidencia – régimen anual

Dirección	Alturas (m)															Total	%	
	<=0,5	0,5 1,0	1,0 1,5	1,5 2,0	2,0 2,5	2,5 3,0	3,0 3,5	3,5 4,0	4,0 4,5	4,5 5,0	5,0 5,5	5,5 6,0	6,0 6,5	>6,5				
NORTE																	21	0,06
N 22.5° E		18	2														21	0,06
N 45° E		19	2														27	0,07
N 67.5° E		22	4		1												46	0,12
ESTE	1	30	14	1													50	0,13
S 67.5° E		38	10	2													60	0,16
S 45° E		39	21														77	0,20
S 22.5° E		58	16	3													142	0,38
SUR	2	111	28	1													623	1,66
S 22.5° O	4	455	149	14	1												17010	45,20
S 45° O	228	9830	5949	856	121	17	7	2									15783	41,94
S 67.5° O	413	9247	4874	987	214	46	2										3032	8,06
OESTE	150	2039	580	240	23												625	1,66
N 67.5° O	22	444	138	20	1												76	0,20
N 45° O	2	66	8														25	0,07
N 22.5° O	2	21	2														13	0,03
Total	12	1															37631	
%	825	22449	11798	2124	361	63	9	2	0	0	0	0	0	0	0	0	37631	
	2,19	59,66	31,35	5,64	0,96	0,17	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		

Tabla A5.4 Frecuencias cruzadas de períodos de ola – dirección de incidencia – régimen anual

Dirección	Períodos (s)															Total	%		
	<3,0	3,0 4,0	4,0 5,0	5,0 6,0	6,0 7,0	7,0 8,0	8,0 9,0	9,0 10,0	10,0 11,0	11,0 12,0	12,0 13,0	13,0 14,0	14,0 15,0	15,0 16,0	16,0 17,0			>17,0	
NORTE																			
N 22.5° E										1	1	3	6	3	1	8	21	0,06	
N 45° E											1	2	6	6	6	27	0,07		
N 67.5° E											1	11	14	12	7	46	0,12		
ESTE										2	2	14	15	10	7	50	0,13		
S 67.5° E										2	2	8	19	12	15	60	0,16		
S 45° E											1	6	18	16	23	77	0,20		
S 22.5° E											6	19	29	40	24	142	0,38		
SUR				2				1	1	3	24	56	109	138	133	93	623	1,66	
S 22.5° O				4	23	222	247	243	404	1169	1896	3085	3529	3041	2023	1124	17010	45,20	
S 45° O					21	348	301	383	455	1035	1525	2876	3349	2844	1630	1016	15783	41,94	
S 67.5° O			2	12	18	95	116	152	216	223	281	521	509	430	267	190	3032	8,06	
OESTE		3	14	10	13	23	14	16	25	23	30	77	97	100	71	109	625	1,66	
N 67.5° O											3	6	9	10	9	39	76	0,20	
N 45° O											1	4	5	5	3	7	25	0,07	
N 22.5° O												1	2	3	2	5	13	0,03	
Total	0	3	16	28	75	688	679	795	1103	2482	3805	6717	7733	6686	4187	2634	37631		
%	0,00	0,01	0,04	0,07	0,20	1,83	1,80	2,11	2,93	6,60	10,11	17,85	20,55	17,77	11,13	6,100			

Tabla A5.5 Frecuencias cruzadas de altura de ola – períodos de ola – régimen primavera

Hs (m)	Períodos (s)															Total	%		
	<3,0	3,0 4,0	4,0 5,0	5,0 6,0	6,0 7,0	7,0 8,0	8,0 9,0	9,0 10,0	10,0 11,0	11,0 12,0	12,0 13,0	13,0 14,0	14,0 15,0	15,0 16,0	16,0 17,0			>17,0	
<=0,5																	0	0,00	
0,5 1,0							7		1	17	281	605	1051	1036	688	307	148	4141	54,01
1,0 1,5			2	6	13	20		6	4	2	43	117	418	826	898	558	343	3256	42,47
1,5 2,0													2	14	67	105	77	265	3,46
2,0 2,5															1	2	2	5	0,07
2,5 3,0																		0	0,00
3,0 3,5																		0	0,00
3,5 4,0																		0	0,00
4,0 4,5																		0	0,00
4,5 5,0																		0	0,00
5,0 5,5																		0	0,00
5,5 6,0																		0	0,00
6,0 6,5																		0	0,00
>6,5																		0	0,00
Total	0	0	2	6	13	27	6	5	19	324	722	1471	1876	1654	972	570	7667		
%	0,00	0,00	0,03	0,08	0,17	0,35	0,08	0,07	0,25	4,23	9,42	19,19	24,47	21,57	12,68	7,43			

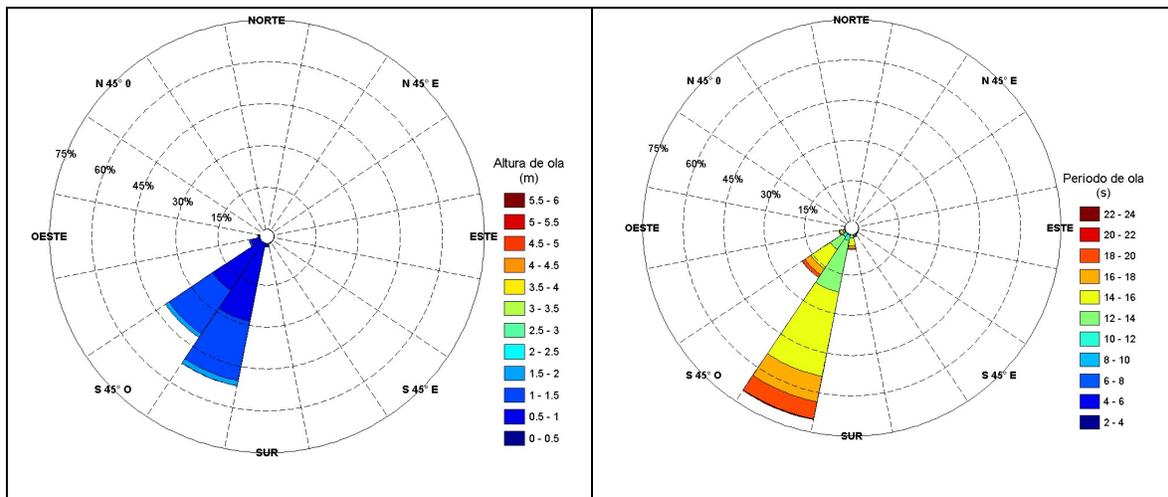


Figura A5.3 Distribución de alturas y período de oleaje - régimen primavera

Tabla A5.6 Frecuencias cruzadas de altura de ola – dirección de incidencia – régimen primavera

Dirección	A l t u r a s (m)														Total	%	
	<=0,5	0,5 1,0	1,0 1,5	1,5 2,0	2,0 2,5	2,5 3,0	3,0 3,5	3,5 4,0	4,0 4,5	4,5 5,0	5,0 5,5	5,5 6,0	6,0 6,5	>6,5			
NORTE		1														1	0,01
N 22.5° E			1													1	0,01
N 45° E					1											1	0,01
N 67.5° E		2	1													3	0,04
ESTE		2	2													4	0,05
S 67.5° E		3	2													5	0,07
S 45° E		1	4													5	0,07
S 22.5° E		11	5													16	0,21
SUR		66	32	2												100	1,30
S 22.5° O	2184	1666	145	4												3999	52,16
S 45° O	1596	1437	118													3151	41,10
S 67.5° O	248	61														309	4,03
OESTE		26	45													71	0,93
N 67.5° O																0	0,00
N 45° O																0	0,00
N 22.5° O		1														1	0,01
Total	0	4141	3256	265	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7667	
%	0,00	54,01	42,47	3,46	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		

Tabla A5.7 Frecuencias cruzadas de períodos de ola – dirección de incidencia – régimen primavera

Dirección	P e r i o d o s (s)																Total	%	
	<3,0	3,0 4,0	4,0 5,0	5,0 6,0	6,0 7,0	7,0 8,0	8,0 9,0	9,0 10,0	10,0 11,0	11,0 12,0	12,0 13,0	13,0 14,0	14,0 15,0	15,0 16,0	16,0 17,0	>17,0			
NORTE																	1	0,01	
N 22.5° E																	1	0,01	
N 45° E																1	1	0,01	
N 67.5° E																	3	0,04	
ESTE																	4	0,05	
S 67.5° E																	5	0,07	
S 45° E																	5	0,07	
S 22.5° E																	16	0,21	
SUR																	100	1,30	
S 22.5° O																	311	3999	52,16
S 45° O																	238	3151	41,10
S 67.5° O																	14	309	4,03
OESTE																	1	71	0,93
N 67.5° O																		0	0,00
N 45° O																		0	0,00
N 22.5° O																		1	0,01
Total	0	0	2	6	13	27	6	5	19	324	722	1471	1876	1654	972	570	7667		
%	0,00	0,00	0,03	0,08	0,17	0,35	0,08	0,07	0,25	4,23	9,42	19,19	24,47	21,57	12,68	7,43			

Tabla A5.8 Frecuencias cruzadas de altura de ola – períodos de ola – régimen verano

Hs (m)	P e r i o d o s (s)																Total	%		
	<3,0	3,0 4,0	4,0 5,0	5,0 6,0	6,0 7,0	7,0 8,0	8,0 9,0	9,0 10,0	10,0 11,0	11,0 12,0	12,0 13,0	13,0 14,0	14,0 15,0	15,0 16,0	16,0 17,0	>17,0				
<=0,5																		0	0,00	
0,5 1,0																		157	3236	36,81
1,0 1,5																		269	4313	49,06
1,5 2,0																		122	982	11,17
2,0 2,5																		27	189	2,15
2,5 3,0																		2	60	0,68
3,0 3,5																		1	9	0,10
3,5 4,0																			2	0,02
4,0 4,5																			0	0,00
4,5 5,0																			0	0,00
5,0 5,5																			0	0,00
5,5 6,0																			0	0,00
6,0 6,5																			0	0,00
>6,5																			0	0,00
Total	0	0	0	13	32	345	425	422	434	493	712	1307	1628	1473	929	578	8791			
%	0,00	0,00	0,00	0,15	0,36	3,92	4,83	4,80	4,94	5,61	8,10	14,87	18,52	16,76	10,57	6,57				

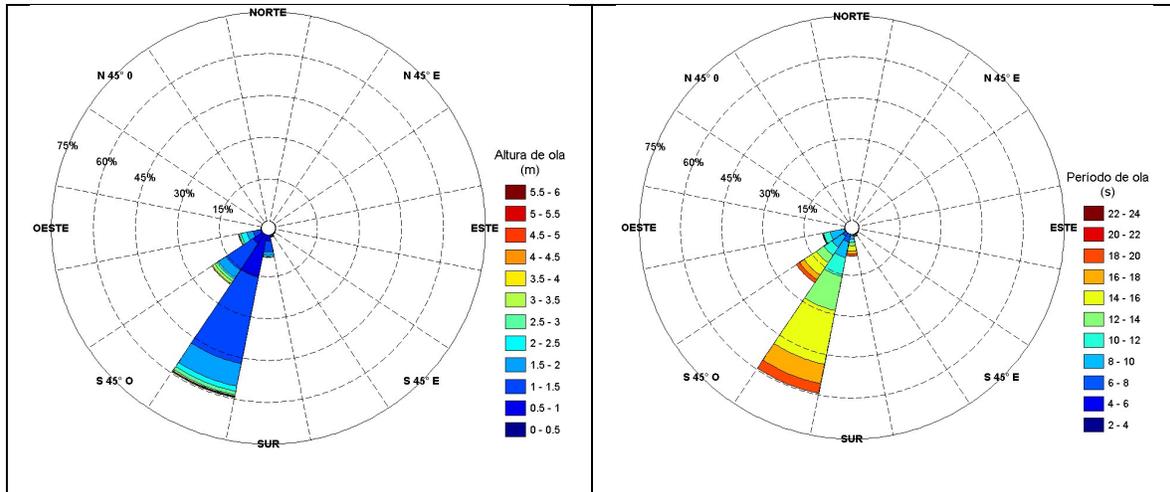


Figura A5.4 Distribución de alturas y período de oleaje - régimen verano

Tabla A5.9 Frecuencias cruzadas de altura de ola – dirección de incidencia – régimen verano

Dirección	A l t u r a s (m)															Total	%
	<=0,5	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	>6,5			
NORTE			2	1												3	0,03
N 22.5° E			3	1												4	0,05
N 45° E			6	4												10	0,11
N 67.5° E			17	13	1											31	0,35
ESTE			12	8	2											22	0,25
S 67.5° E			11	18												29	0,33
S 45° E			13	9	3											25	0,28
S 22.5° E			23	13	1											37	0,42
SUR			63	70	8											141	1,60
S 22.5° O		1639	2267	328	49	15	7	2								4307	48,99
S 45° O		1422	1737	478	123	45	2									3807	43,31
S 67.5° O		21	164	159	16											360	4,10
OESTE		3	5	2	1											11	0,13
N 67.5° O		1	2													3	0,03
N 45° O																0	0,00
N 22.5° O				1												1	0,01
Total	0	3236	4313	982	189	60	9	2	0	0	0	0	0	0	0	8791	
%	0,00	36,81	49,06	11,17	2,15	0,68	0,10	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		

Tabla A5.10 Frecuencias cruzadas de períodos de ola – dirección de incidencia – régimen verano

Dirección	P e r í o d o s (s)																Total	%	
	<3,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0	11,0	12,0	13,0	14,0	15,0	16,0	>17,0			
NORTE														1	1		1	3	0,03
N 22.5° E														1	2	1		4	0,05
N 45° E														1	4	2	3	10	0,11
N 67.5° E														6	8	10	7	31	0,35
ESTE														4	6	5	7	22	0,25
S 67.5° E															12	8	9	29	0,33
S 45° E															9	3	7	25	0,28
S 22.5° E															5	6	5	37	0,42
SUR				2											21	33	32	141	1,60
S 22.5° O		3	13	138	175	130	151	257	430	699	874	733	450	254	254	4307	48,99		
S 45° O			10	167	184	200	196	188	270	577	681	642	417	275	3807	43,31			
S 67.5° O			8	9	38	64	90	82	40	1	10	12	1	1	360	4,10			
OESTE						2	1	1	3					1	2		11	0,13	
N 67.5° O														1	2		3	0,03	
N 45° O																	0	0,00	
N 22.5° O																1	0	0,01	
Total	0	0	0	13	32	345	425	422	434	493	712	1307	1628	1473	929	578	8791		
%	0,00	0,00	0,00	0,15	0,36	3,92	4,83	4,80	4,94	5,61	8,10	14,87	18,52	16,76	10,57	6,57			

Tabla A5.11 Frecuencias cruzadas de altura de ola – períodos de ola – régimen otoño

Hs (m)	Períodos (s)																Total	%
	<3,0	3,0 4,0	4,0 5,0	5,0 6,0	6,0 7,0	7,0 8,0	8,0 9,0	9,0 10,0	10,0 11,0	11,0 12,0	12,0 13,0	13,0 14,0	14,0 15,0	15,0 16,0	16,0 17,0	>17,0		
<=0,5										1	4	8				3	16	0,14
0,5 1,0				1	5	103	47	14	121	520	897	1481	1429	1067	629	387	6701	60,41
1,0 1,5					8	99	119	152	89	79	118	419	837	798	443	169	3330	30,02
1,5 2,0					28	49	108	141	17	4	11	58	173	178	108	875	7,89	
2,0 2,5							3	28	61	3			1	25	20	26	167	1,51
2,5 3,0									1	2							3	0,03
3,0 3,5																	0	0,00
3,5 4,0																	0	0,00
4,0 4,5																	0	0,00
4,5 5,0																	0	0,00
5,0 5,5																	0	0,00
5,5 6,0																	0	0,00
6,0 6,5																	0	0,00
>6,5																	0	0,00
Total	0	0	0	1	13	230	218	303	414	620	1023	1919	2325	2063	1270	693	11092	
%	0,00	0,00	0,00	0,01	0,12	2,07	1,97	2,73	3,73	5,59	9,22	17,30	20,96	18,60	11,45	6,25		

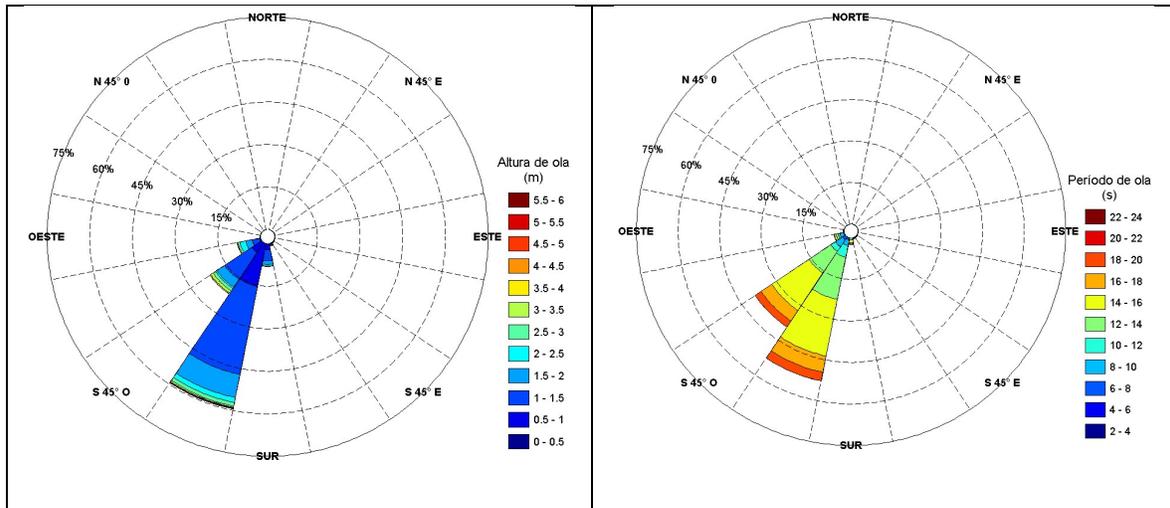


Figura A5.5 Distribución de alturas y período de oleaje - régimen otoño

Tabla A5.12 Frecuencias cruzadas de altura de ola – dirección de incidencia – régimen otoño

Dirección	Alturas (m)														Total	%	
	<=0,5	0,5 1,0	1,0 1,5	1,5 2,0	2,0 2,5	2,5 3,0	3,0 3,5	3,5 4,0	4,0 4,5	4,5 5,0	5,0 5,5	5,5 6,0	6,0 6,5	>6,5			
NORTE		5														5	0,05
N 22,5° E		5														5	0,05
N 45° E		8														8	0,07
N 67,5° E		8														8	0,07
ESTE		12														12	0,11
S 67,5° E		9	1													10	0,09
S 45° E		30	2													32	0,29
S 22,5° E		47	8													55	0,50
SUR	1	208	43	4	1											257	2,32
S 22,5° O	5	3609	1784	382	68	2										5850	52,74
S 45° O	8	2487	1375	390	91	1										4352	39,24
S 67,5° O	2	228	109	81	7											427	3,85
OESTE		28	8	18												54	0,49
N 67,5° O		6														6	0,05
N 45° O		8														8	0,07
N 22,5° O		3														3	0,03
Total	16	6701	3330	875	167	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11092	
%	0,14	60,41	30,02	7,89	1,51	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		

Tabla A5.15 Frecuencias cruzadas de altura de ola – dirección de incidencia – régimen invierno

Dirección	A l t u r a s (m)														Total	%	
	<=0,5	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	>6,5			
NORTE	1	10	1													12	0,12
N 22.5° E		11														11	0,11
N 45° E		8														8	0,08
N 67.5° E	1	3														4	0,04
ESTE		12														12	0,12
S 67.5° E		16														16	0,16
S 45° E		14	1													15	0,15
S 22.5° E	2	30	2													34	0,34
SUR	3	118	4													125	1,24
S 22.5° O	223	2398	232	1												2854	28,31
S 45° O	405	3742	325	1												4473	44,37
S 67.5° O	148	1542	246													1936	19,20
OESTE	22	387	80													489	4,85
N 67.5° O	2	59	6													67	0,66
N 45° O	2	13	2													17	0,17
N 22.5° O		8														8	0,08
Total	809	8371	899	2	0	10081											
%	8,02	83,04	8,92	0,02	0,00												

Tabla A5.16 Frecuencias cruzadas de períodos de ola – dirección de incidencia – régimen invierno

Dirección	P e r í o d o s (s)																Total	%	
	<3,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0	11,0	12,0	13,0	14,0	15,0	16,0	>17,0			
NORTE												1	3	1		7	12	0,12	
N 22.5° E											1	1	1	1	2	5	11	0,11	
N 45° E											1	1	1	1	2	8	8	0,08	
N 67.5° E											1	1	1	1	1	4	4	0,04	
ESTE											1	1	4	5	1	12	12	0,12	
S 67.5° E											2	1	1	1	5	2	4	0,16	
S 45° E												3	2	1	4	5	15	0,15	
S 22.5° E											2	1	5	9	4	9	34	0,34	
SUR											1	5	11	16	28	19	23	125	1,24
S 22.5° O						14	10	43	59	338	385	544	498	412	346	205	2854	28,31	
S 45° O					10	46	9	16	140	535	687	975	892	620	332	211	4473	44,37	
S 67.5° O			2	1	5	24	6	6	33	141	228	399	371	330	220	170	1936	19,20	
OESTE		3	12	7	2	2	5		3	20	28	64	85	84	67	107	489	4,85	
N 67.5° O											3	4	7	7	7	39	67	0,66	
N 45° O											1	3	1	4	1	7	17	0,17	
N 22.5° O												1	1		1	5	8	0,08	
Total	0	3	14	8	17	86	30	65	236	1045	1348	2020	1904	1496	1016	793	10081		
%	0,00	0,03	0,14	0,08	0,17	0,85	0,30	0,64	2,34	10,37	13,37	20,04	18,89	14,84	10,08	7,87			

Anexo 6 Información de viento – puerto de Manzanillo, Col.

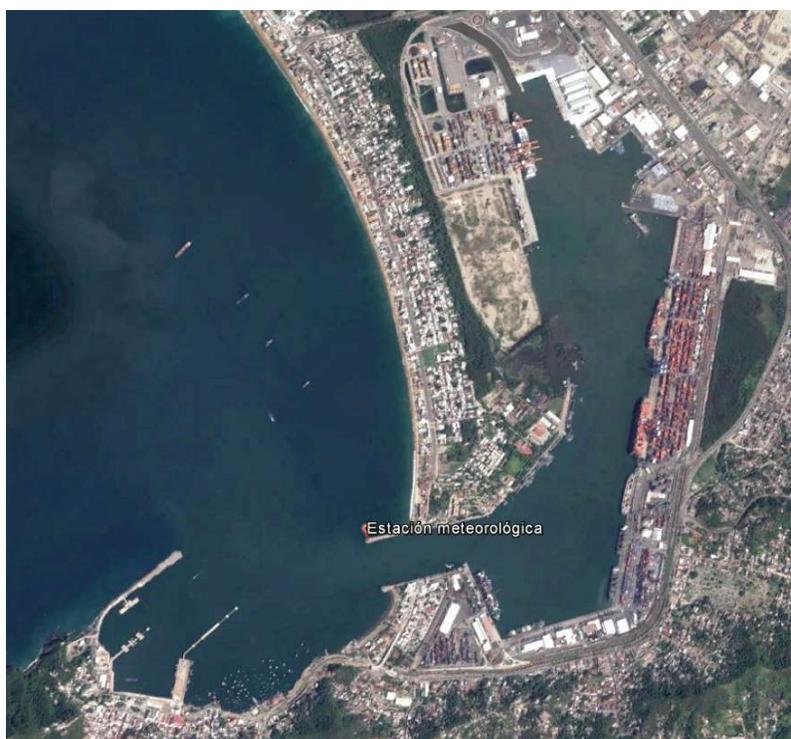


Figura A6.1 Localización geográfica de la estación meteorológica en las proximidades del puerto de Manzanillo, los datos registrados son de noviembre de 2007 a marzo de 2014

Tabla A6.1 Frecuencias cruzadas de la magnitud del viento – dirección – régimen anual

Dirección	v e l o c i d a d (m/s)													Total	%
	<2,00	2,00	4,00	6,00	8,00	10,00	12,00	14,00	16,00	18,00	20,00	40,00	>50,0		
NORTE	2756	3119	138	20	9	1						1		6044	7,20
N 22.5° E	4223	8098	350	22										12693	15,12
N 45° E	2952	4171	136	1		1								7261	8,65
N 67.5° E	1354	890	37	1	1	1	1							2285	2,72
ESTE	797	888	289	72	9	4								2059	2,45
S 67.5° E	608	1744	591	127	36	4						2		3112	3,71
S 45° E	431	1043	606	242	47	18	3							2390	2,85
S 22.5° E	427	959	1042	256	10	1								2695	3,21
SUR	338	1174	1326	108	9									2955	3,52
S 22.5° O	330	1352	2027	95	11	1								3816	4,55
S 45° O	416	1082	595	118	20	5								2236	2,66
S 67.5° O	742	2630	5888	6066	2073	345	12						1	17757	21,15
OESTE	1070	2834	3464	1845	561	101	4	1						9880	11,77
N 67.5° O	924	1139	506	116	19	16	13	1	1				3	2738	3,26
N 45° O	1011	883	349	363	247	91	42	5	1				1	2993	3,57
N 22.5° O	1315	1096	312	216	75	16								3030	3,61
Total	19694	33102	17656	9668	3127	605	75	7	2	0	7	1	0	83944	
%	23,46	39,43	21,03	11,52	3,73	0,72	0,09	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00		

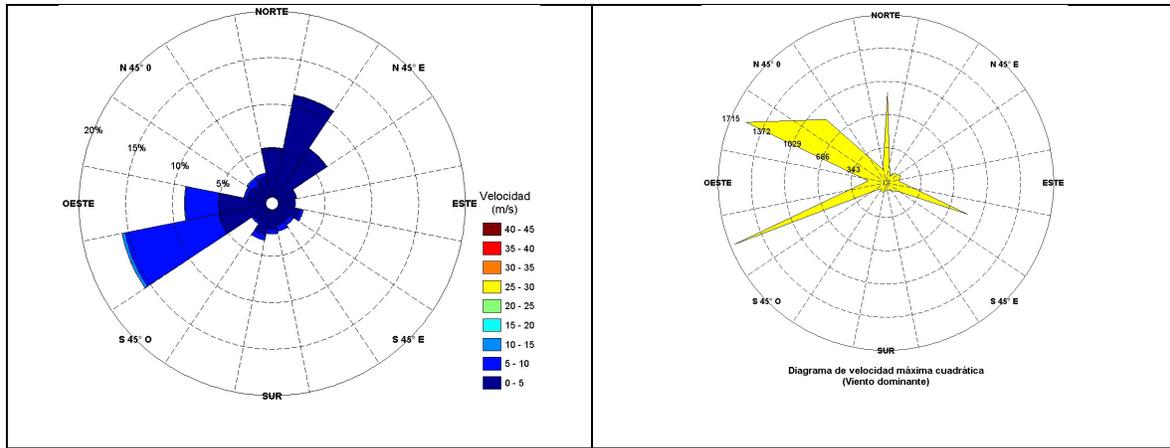


Figura A6.2 Distribución de velocidades por direcciones del viento y del viento dominante - régimen anual

Tabla A6.2 Frecuencias cruzadas de la magnitud del viento – dirección – régimen primavera

Dirección	v e l o c i d a d (m/s)											Total	%		
	<2,00	2,00	4,00	6,00	8,00	10,00	12,00	14,00	16,00	18,00	20,00			40,00	>50,0
NORTE	1439	1250	14	2	3									2708	7,07
N 22.5° E	2028	2836	45											4909	12,82
N 45° E	1315	1170	33											2518	6,57
N 67.5° E	648	228	6											882	2,30
ESTE	396	383	33											812	2,12
S 67.5° E	321	873	172	8										1374	3,59
S 45° E	233	393	229	59	3									917	2,39
S 22.5° E	239	376	349	139	3	1								1107	2,89
SUR	171	489	749	83	5									1497	3,91
S 22.5° O	159	607	1061	47	7	1								1882	4,91
S 45° O	228	467	290	57	15	5								1062	2,77
S 67.5° O	403	1417	3017	3432	1121	194	7				1			9592	25,04
OESTE	560	1328	1728	973	231	48								4868	12,71
N 67.5° O	490	481	134	21	6	14	13	1	1		1			1162	3,03
N 45° O	540	375	103	195	170	78	42	5	1					1509	3,94
N 22.5° O	730	458	111	138	61	9								1507	3,93
Total	9900	13131	8074	5154	1625	350	62	6	2	0	1	1	0	38306	
%	25,84	34,28	21,08	13,45	4,24	0,91	0,16	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00		

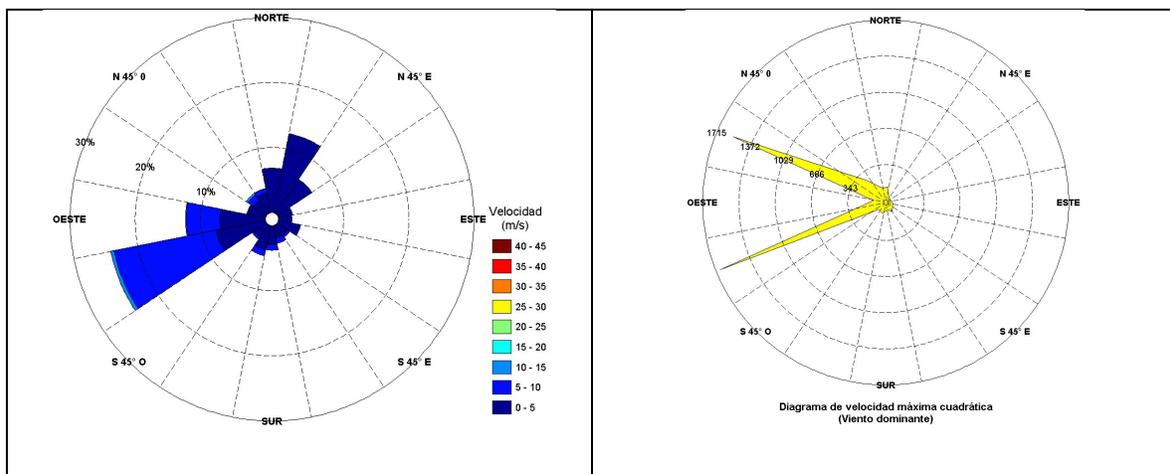


Figura A6.3 Distribución de velocidades por direcciones del viento y del viento dominante - régimen primavera

Tabla A6.3 Frecuencias cruzadas de la magnitud del viento – dirección – régimen verano

Dirección	v e l o c i d a d (m/s)													Total	%	
	<2,00	2,00	4,00	6,00	8,00	10,00	12,00	14,00	16,00	18,00	20,00	40,00	>50,0			
NORTE	431	850	62	7	2	1									1353	6,94
N 22.5° E	667	2093	116	12											2888	14,82
N 45° E	407	823	15	1			1								1247	6,40
N 67.5° E	157	218	21				1	1							398	2,04
ESTE	123	270	130	21		1	2								547	2,81
S 67.5° E	119	505	226	64		11					2				927	4,76
S 45° E	77	387	211	145		30		13							865	4,44
S 22.5° E	87	333	443	86		3									952	4,89
SUR	81	317	275	11		1									685	3,52
S 22.5° O	80	275	443	5											803	4,12
S 45° O	73	271	140	24		1									509	2,61
S 67.5° O	164	556	1189	1351	620		101	3							3984	20,45
OESTE	219	729	704	519	240		36								2447	12,56
N 67.5° O	172	315	145	41		6									679	3,48
N 45° O	226	270	67	7		1						1			572	2,94
N 22.5° O	187	356	77	8											628	3,22
Total	3270	8568	4264	2302	916	155	6	0	0	0	0	3	0	0	19484	
%	16,78	43,97	21,88	11,81	4,70	0,80	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00		

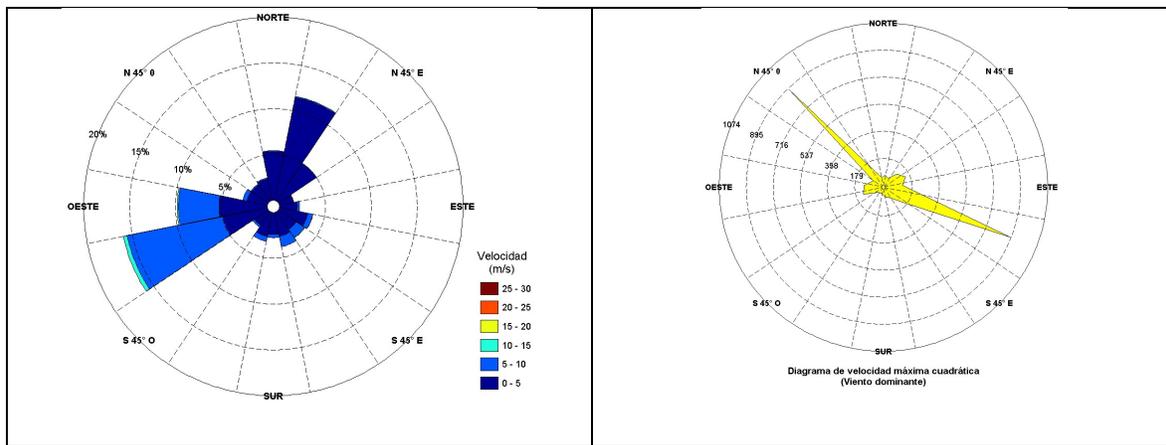


Figura A6.4 Distribución de velocidades por direcciones del viento y del viento dominante - régimen verano

Tabla A6.4 Frecuencias cruzadas de la magnitud del viento – dirección – régimen otoño

Dirección	v e l o c i d a d (m/s)													Total	%	
	<2,00	2,00	4,00	6,00	8,00	10,00	12,00	14,00	16,00	18,00	20,00	40,00	>50,0			
NORTE	19	114	7			1									141	5,28
N 22.5° E	43	351	12	1											407	15,25
N 45° E	42	162	5												209	7,83
N 67.5° E	26	54	2			1									83	3,11
ESTE	17	62	72	40		6		2							199	7,46
S 67.5° E	4	103	97	44	24		4								276	10,34
S 45° E	13	55	49	21	12		5	1							156	5,84
S 22.5° E	4	42	8	1	1										56	2,10
SUR	5	35	12	2											54	2,02
S 22.5° O	6	42	58	3											109	4,08
S 45° O	2	48	19	3											72	2,70
S 67.5° O	8	55	104	75	24		3	2							271	10,15
OESTE	13	95	111	50	20		2	4	1						296	11,09
N 67.5° O	20	59	76	5	1							2			163	6,11
N 45° O	11	47	18	1											77	2,88
N 22.5° O	11	70	19												100	3,75
Total	244	1394	669	246	90	16	7	1	0	0	0	2	0	0	2669	
%	9,14	52,23	25,07	9,22	3,37	0,60	0,26	0,04	0,00	0,00	0,00	0,07	0,00	0,00		

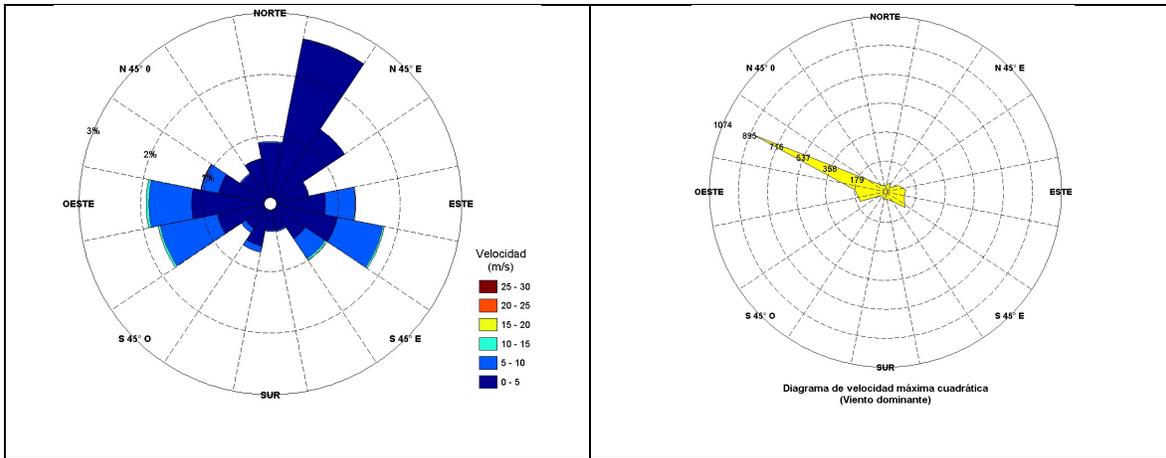


Figura A6.5 Distribución de velocidades por direcciones del viento y del viento dominante - régimen otoño

Tabla A6.5 Frecuencias cruzadas de la magnitud del viento – dirección – régimen invierno

Dirección	v e l o c i d a d (m/s)													Total	%
	<2,00	2,00 4,00	4,00 6,00	6,00 8,00	8,00 10,00	10,00 12,00	12,00 14,00	14,00 16,00	16,00 18,00	18,00 20,00	20,00 40,00	40,00 50,00	>50,0		
NORTE	867	905	55	11	3						1			1842	7,84
N 22.5° E	1485	2818	177	9										4489	19,11
N 45° E	1188	2016	83											3287	13,100
N 67.5° E	523	390	8	1										922	3,93
ESTE	261	173	54	11	2									501	2,13
S 67.5° E	164	263	96	11	1									535	2,28
S 45° E	108	208	117	17	2									452	1,92
S 22.5° E	97	208	242	30	3									580	2,47
SUR	81	333	290	12	3									719	3,06
S 22.5° O	85	428	465	40	4									1022	4,35
S 45° O	113	296	146	34	4									593	2,53
S 67.5° O	167	602	1578	1208	308	47								3910	16,65
OESTE	278	682	921	303	70	15								2269	9,66
N 67.5° O	242	284	151	49	6	2								734	3,13
N 45° O	234	191	161	160	76	13								835	3,56
N 22.5° O	387	212	105	70	14	7								795	3,39
Total	6280	10009	4649	1966	496	84	0	0	0	0	1	0	0	23485	
%	26,74	42,62	19,80	8,37	2,11	0,36	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		

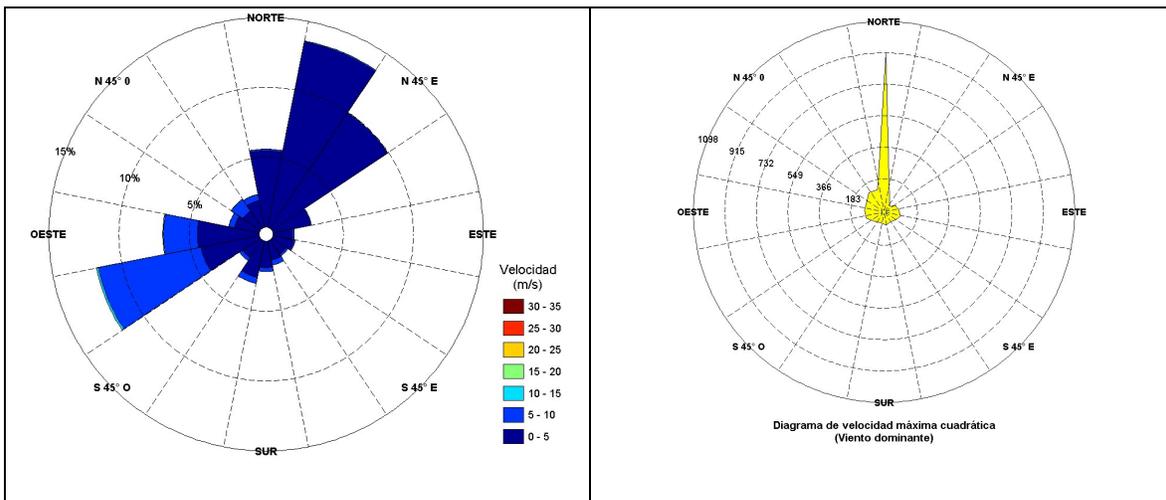


Figura A6.6 Distribución de velocidades por direcciones del viento y del viento dominante - régimen invierno

Tabla A6.6 Velocidad promedio y máxima de viento – régimen anual

Dirección	n	Vmed	nVmed	Vmax	Vmax2
NORTE	9937	1.76	17523.86	30.27	916.27
N 22.5° E	12693	2.32	29488.95	7.48	55.95
N 45° E	7261	2.18	15842.51	10.37	107.54
N 67.5° E	2285	1.85	4224.47	12.10	146.41
ESTE	2059	2.69	5530.77	10.72	114.92
S 67.5° E	3112	3.22	10017.40	29.93	895.80
S 45° E	2390	3.68	8800.78	12.40	153.76
S 22.5° E	2695	3.83	10318.72	10.58	111.94
SUR	2955	3.81	11264.10	9.36	87.61
S 22.5° O	3816	3.96	15120.03	11.43	130.64
S 45° O	2236	3.43	7679.08	10.99	120.78
S 67.5° O	17757	5.80	102931.49	41.41	1714.79
OESTE	9880	4.65	45907.86	14.09	198.53
N 67.5° O	2738	3.01	8234.28	39.79	1583.24
N 45° O	2993	3.94	11779.27	29.93	895.80
N 22.5° O	3030	2.81	8520.69	11.35	128.82

Tabla A6.7 Velocidad promedio y máxima de viento – régimen primavera

Dirección	n	Vmed	nVmed	Vmax	Vmax2
NORTE	6601	1.38	9136.37	11.35	128.82
N 22.5° E	4909	2.10	10331.56	5.87	34.46
N 45° E	2518	1.96	4939.83	5.22	27.25
N 67.5° E	882	1.56	1376.09	4.91	24.11
ESTE	812	2.08	1692.44	5.87	34.46
S 67.5° E	1374	2.76	3796.99	7.31	53.44
S 45° E	917	3.20	2938.88	8.28	68.56
S 22.5° E	1107	3.69	4089.07	10.58	111.94
SUR	1497	3.98	5961.37	9.36	87.61
S 22.5° O	1882	4.03	7592.38	11.43	130.64
S 45° O	1062	3.44	3650.14	10.99	120.78
S 67.5° O	9592	5.83	55938.13	41.41	1714.79
OESTE	4868	4.62	22493.96	11.62	135.02
N 67.5° O	1162	2.71	3152.93	39.79	1583.24
N 45° O	1509	4.33	6535.56	16.49	271.92
N 22.5° O	1507	2.82	4250.36	11.35	128.82

Tabla A6.8 Velocidad promedio y máxima de viento – régimen verano

Dirección	n	Vmed	nVmed	Vmax	Vmax2
NORTE	1353	2.53	3427.73	8.30	68.89
N 22.5° E	2888	2.54	7344.52	7.27	52.85
N 45° E	1247	2.30	2863.55	10.37	107.54
N 67.5° E	398	2.31	917.41	12.10	146.41
ESTE	547	3.20	1747.71	10.72	114.92
S 67.5° E	927	3.60	3334.81	29.93	895.80
S 45° E	865	4.26	3687.74	12.40	153.76
S 22.5° E	952	4.12	3921.44	9.42	88.74
SUR	685	3.63	2483.20	8.71	75.86
S 22.5° O	803	3.87	3105.69	7.60	57.76
S 45° O	509	3.43	1744.37	8.18	66.91
S 67.5° O	3984	6.01	23958.03	12.43	154.50
OESTE	2447	4.94	12083.56	11.86	140.66
N 67.5° O	679	3.17	2152.81	9.12	83.17
N 45° O	572	2.52	1439.72	29.93	895.80
N 22.5° O	628	2.67	1675.58	7.36	54.17

Tabla A6.9 Velocidad promedio y máxima de viento – régimen otoño

Dirección	n	Vmed	nVmed	Vmax	Vmax2
NORTE	141	2.91	410.65	5.70	32.49
N 22.5° E	407	2.75	1117.88	6.79	46.10
N 45° E	209	2.43	507.57	4.62	21.34
N 67.5° E	83	2.36	195.77	8.71	75.86
ESTE	199	4.55	905.33	10.72	114.92
S 67.5° E	276	4.97	1371.32	10.66	113.64
S 45° E	156	4.82	752.55	12.34	152.28
S 22.5° E	56	3.25	182.23	8.53	72.76
SUR	54	3.43	185.15	7.66	58.68
S 22.5° O	109	3.99	434.75	7.71	59.44
S 45° O	72	3.67	264.49	7.02	49.28
S 67.5° O	271	5.42	1470.03	13.43	180.36
OESTE	296	4.94	1463.21	14.09	198.53
N 67.5° O	163	4.11	670.62	29.93	895.80
N 45° O	77	3.26	251.29	6.33	40.07
N 22.5° O	100	3.10	309.65	5.36	28.73

Tabla A6.10 Velocidad promedio y máxima de viento – régimen invierno

Dirección	n	Vmed	nVmed	Vmax	Vmax2
NORTE	1842	2.41	4439.00	30.27	916.27
N 22.5° E	4489	2.38	10694.99	7.48	55.95
N 45° E	3287	2.29	7531.56	5.60	31.36
N 67.5° E	922	1.88	1735.20	7.89	62.25
ESTE	501	2.37	1185.29	8.71	75.86
S 67.5° E	535	2.83	1514.28	9.59	91.97
S 45° E	452	3.15	1421.61	8.89	79.03
S 22.5° E	580	3.67	2125.98	8.53	72.76
SUR	719	3.66	2634.38	9.36	87.61
S 22.5° O	1022	3.90	3987.21	9.05	81.90
S 45° O	593	3.41	2020.08	9.65	93.12
S 67.5° O	3910	5.52	21565.30	11.14	124.10
OESTE	2269	4.35	9867.13	11.14	124.10
N 67.5° O	734	3.08	2257.92	10.96	120.12
N 45° O	835	4.25	3552.70	11.97	143.28
N 22.5° O	795	2.87	2285.10	11.35	128.82



Anexo 8 Corrientes litorales – puerto de Manzanillo, Col.

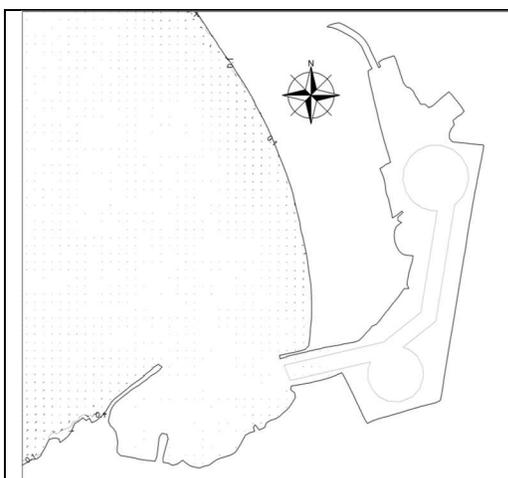


Figura A8.1 Representación vectorial de los patrones de velocidad de la corriente para la dirección Sur

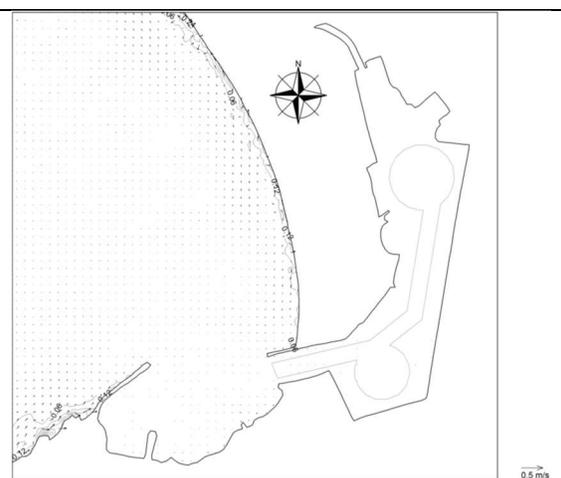


Figura A8.2 Representación vectorial de los patrones de velocidad de la corriente para la dirección S 22.5°

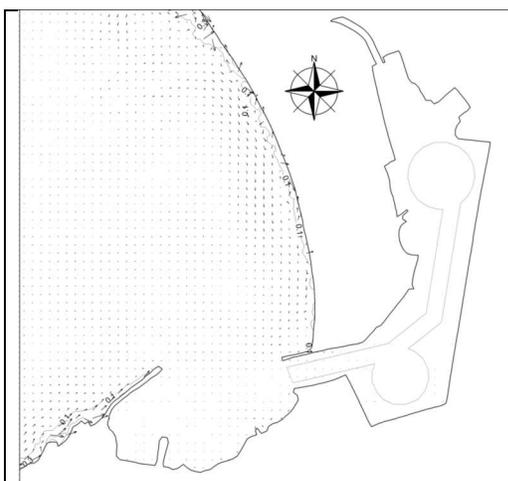


Figura A8.3 Representación vectorial de los patrones de velocidad de la corriente para la dirección S 45°

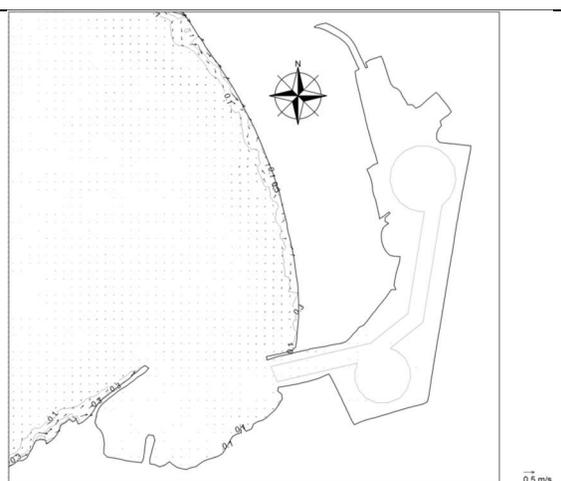


Figura A8.4 Representación vectorial de los patrones de velocidad de la corriente para la dirección S 67.5°



Anexo 9 Trayectoria de la embarcación, oleaje – puerto Lázaro Cárdenas, Mich.

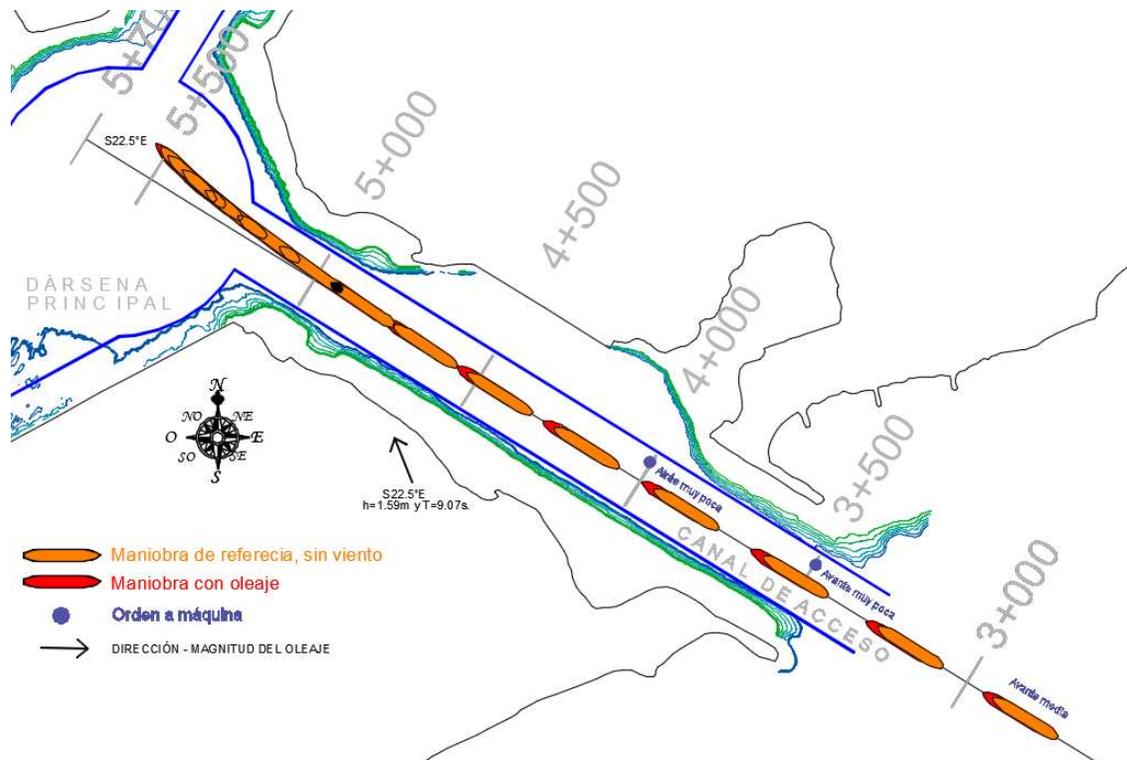


Figura A9.1 Trayectoria de la embarcación con una maniobra de parada forzada (Oleaje S22.5°E)

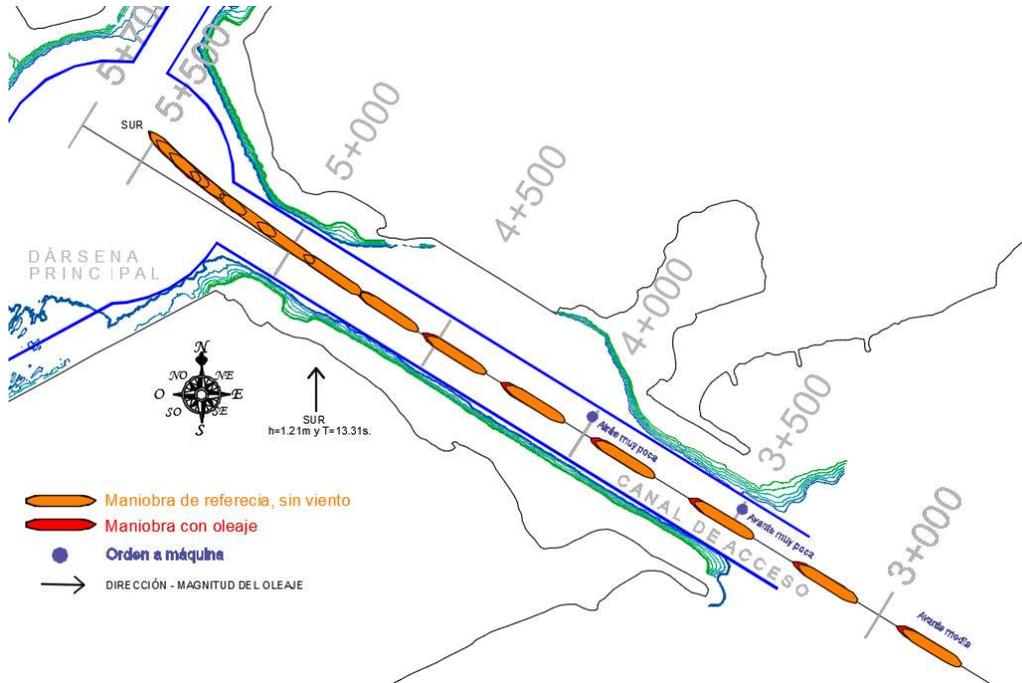


Figura A9.2 Trayectoria de la embarcación con una maniobra de parada forzada (Oleaje Sur)

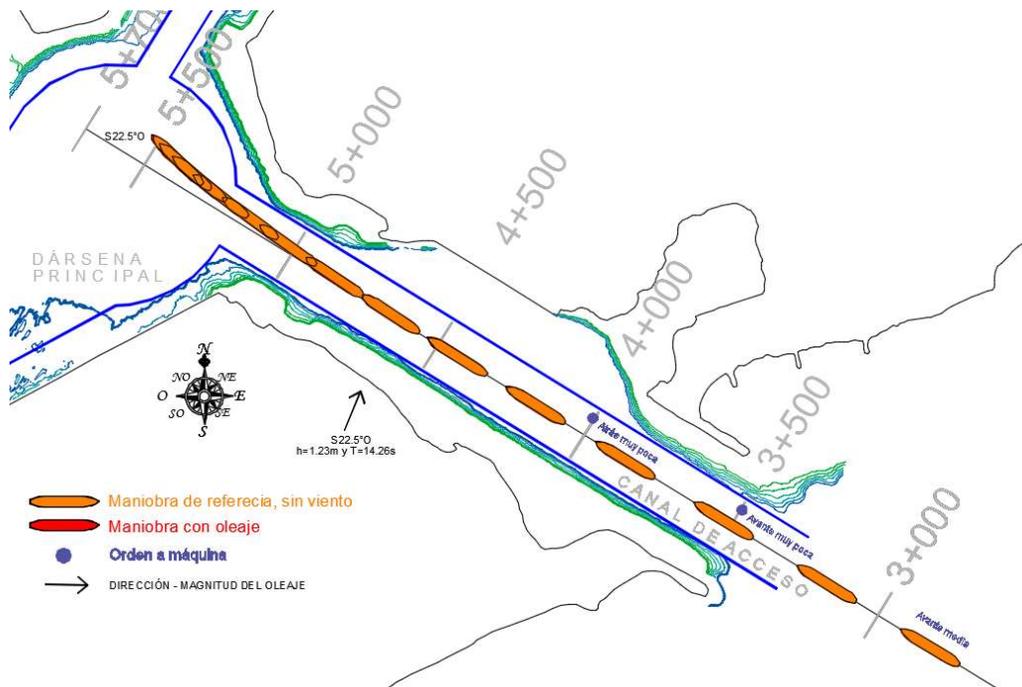


Figura A9.3 Trayectoria de la embarcación con una maniobra de parada forzada (Oleaje S22.5°O)

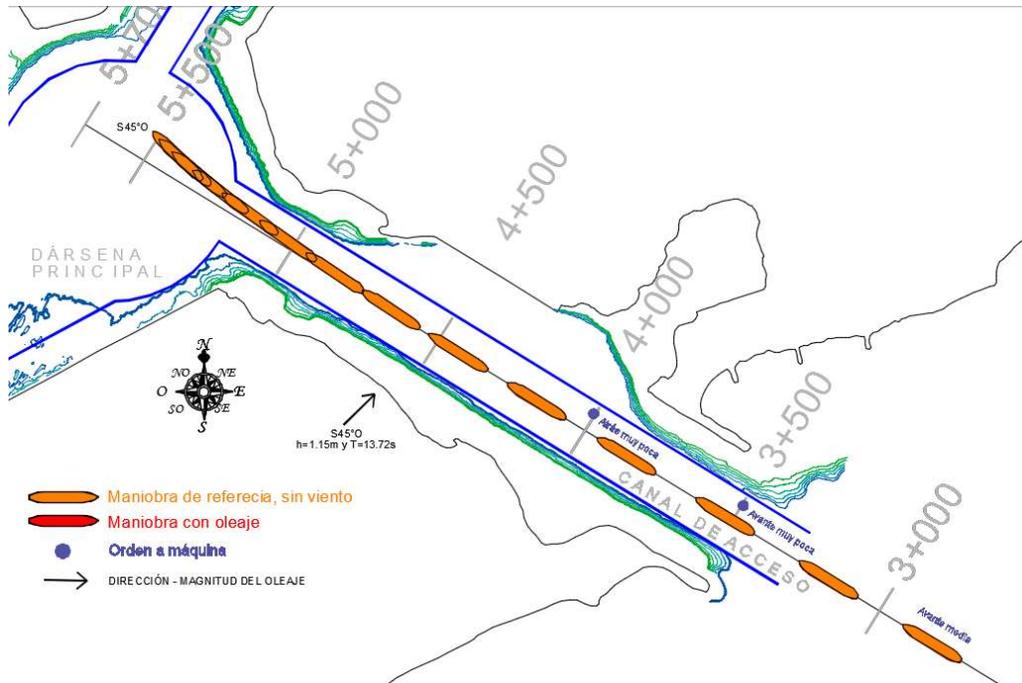


Figura A9.4 Trayectoria de la embarcación con una maniobra de parada forzada (Oleaje $S45^{\circ}O$)

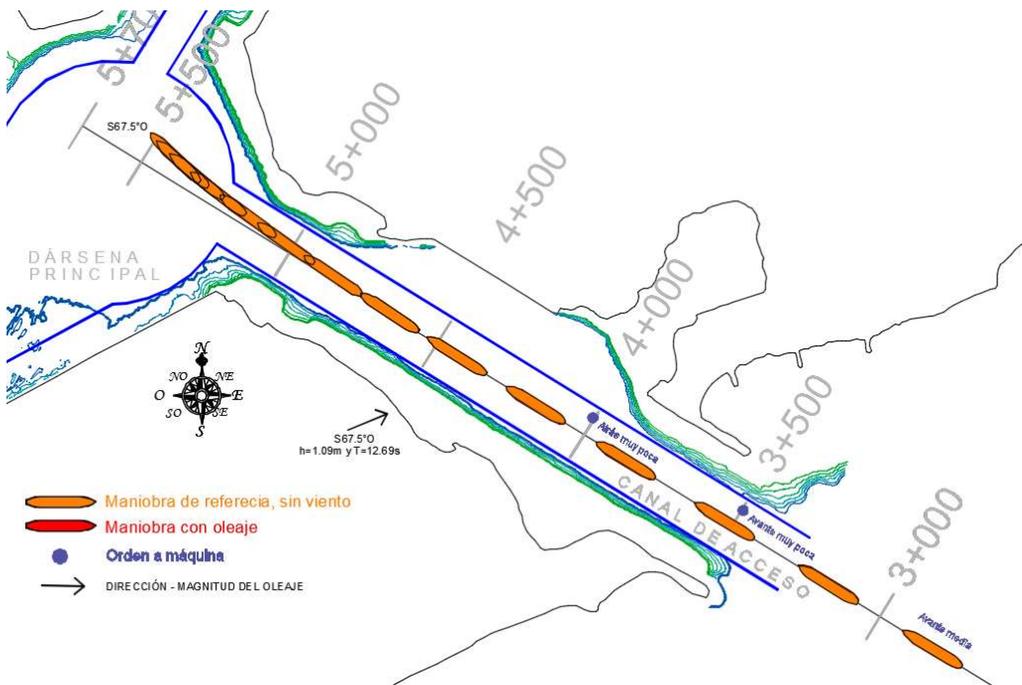


Figura A9.5 Trayectoria de la embarcación con una maniobra de parada forzada (Oleaje $S67.5^{\circ}O$)

Anexo 10 Trayectoria de la embarcación, corrientes – puerto de Lázaro Cárdenas, Mich.

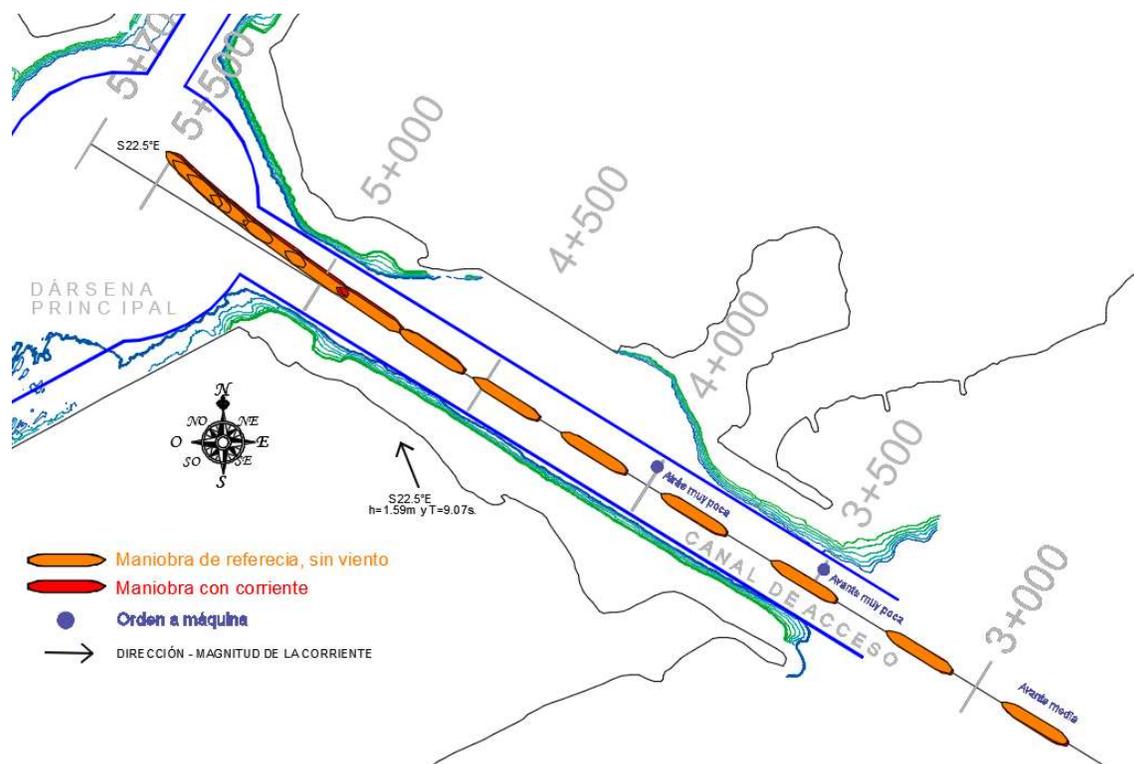


Figura A10.1 Trayectoria de la embarcación con una maniobra de parada forzada (Corriente S22.5°E)

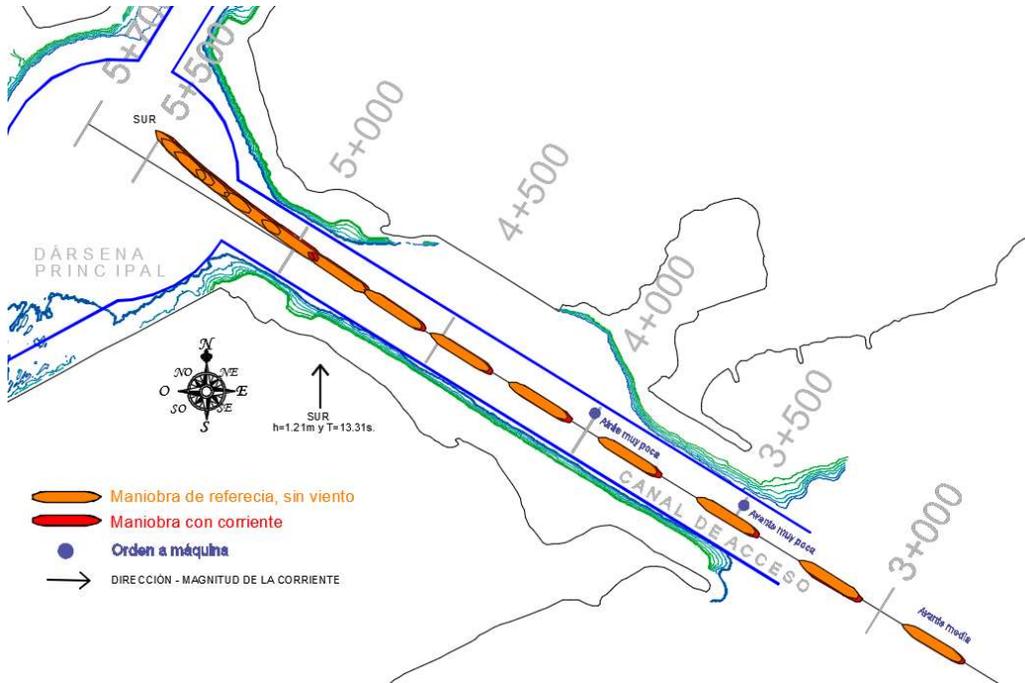


Figura A10.2 Trayectoria de la embarcación con una maniobra de parada forzada (Corriente Sur)

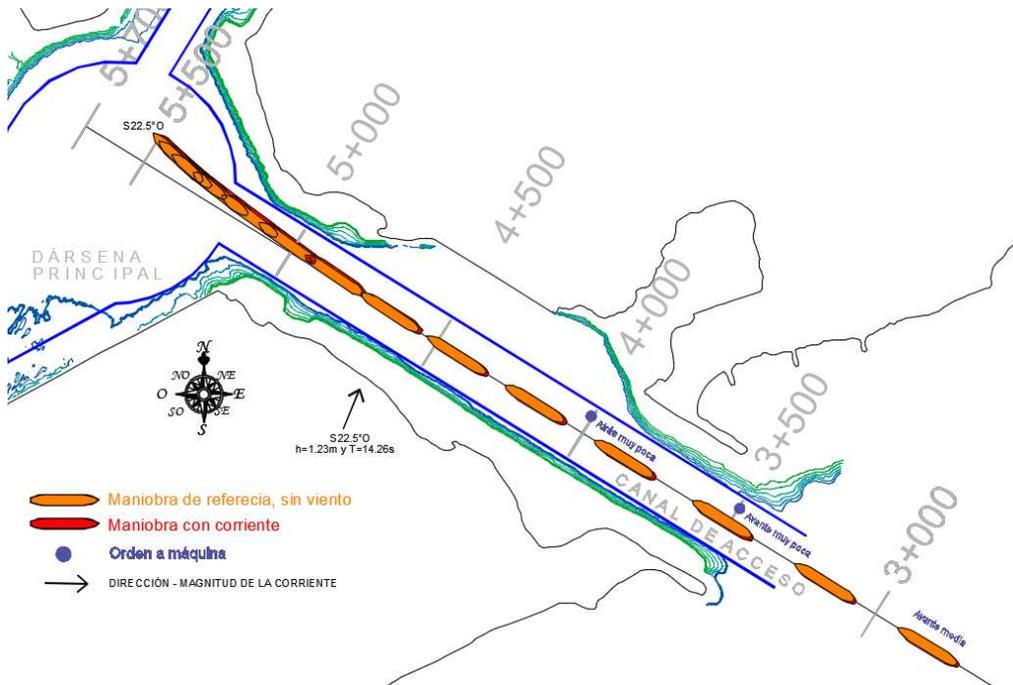


Figura A10.3 Trayectoria de la embarcación con una maniobra de parada forzada (Corriente S22.5°O)

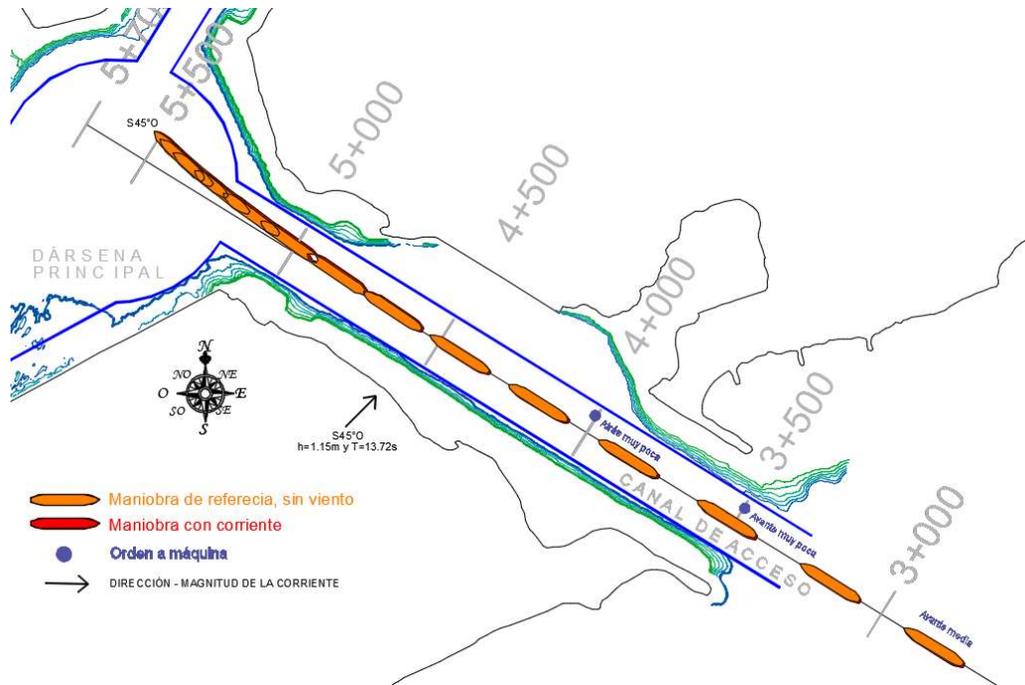


Figura A10.4 Trayectoria de la embarcación con una maniobra de parada forzada (Corriente S45°O)

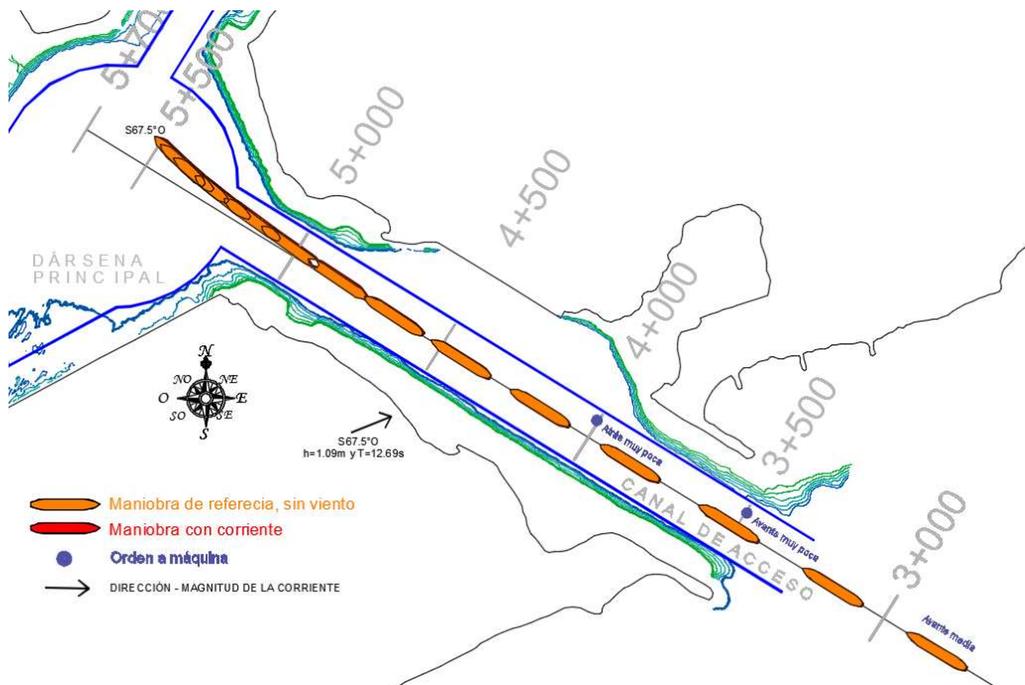


Figura A10.5 Trayectoria de la embarcación con una maniobra de parada forzada (Corriente S67.5°O)

Anexo 11 Trayectoria de la embarcación, oleaje – puerto de Manzanillo, Col.

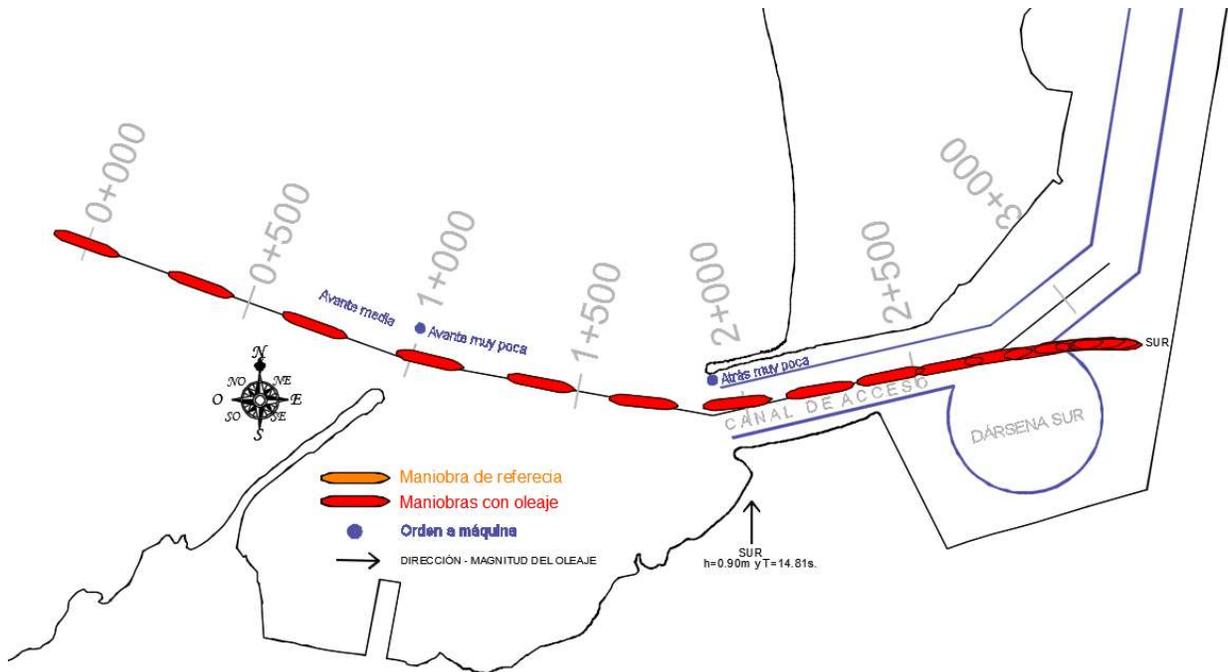


Figura A11.1 Trayectoria de la embarcación con una maniobra de parada forzada (Oleaje Sur)

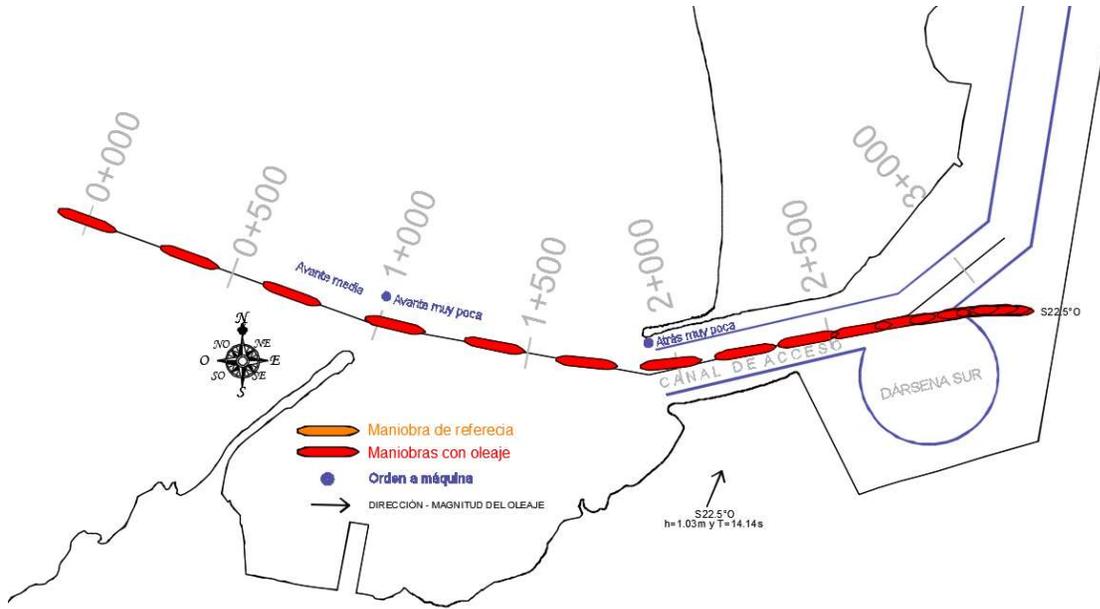


Figura A11.2 Trayectoria de la embarcación con una maniobra de parada forzada (Oleaje S 22.5° O)

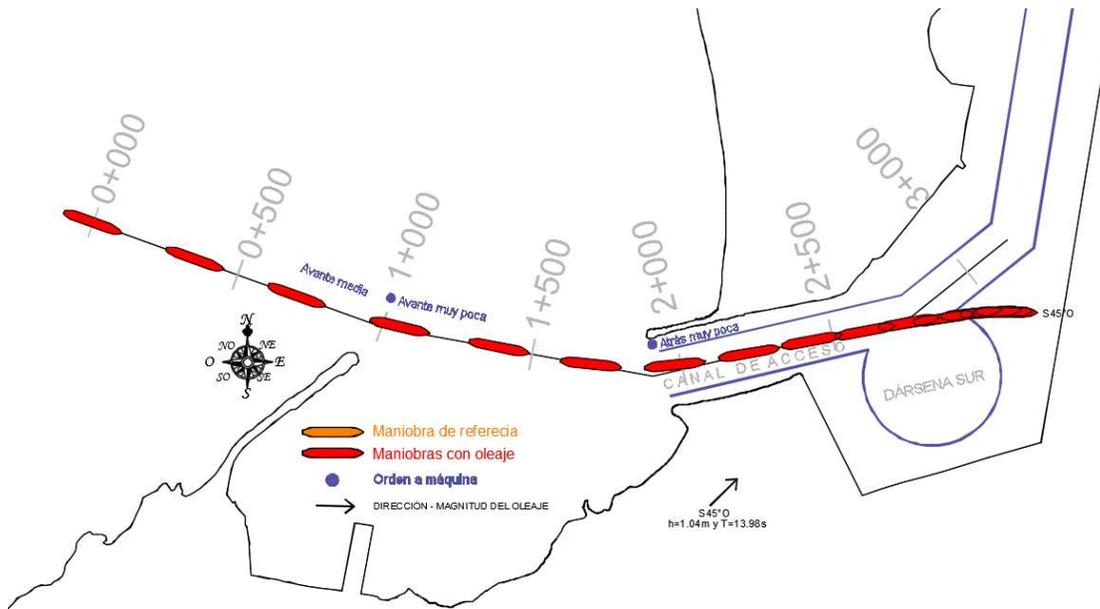


Figura A11.3 Trayectoria de la embarcación con una maniobra de parada forzada (Oleaje S 45° O)

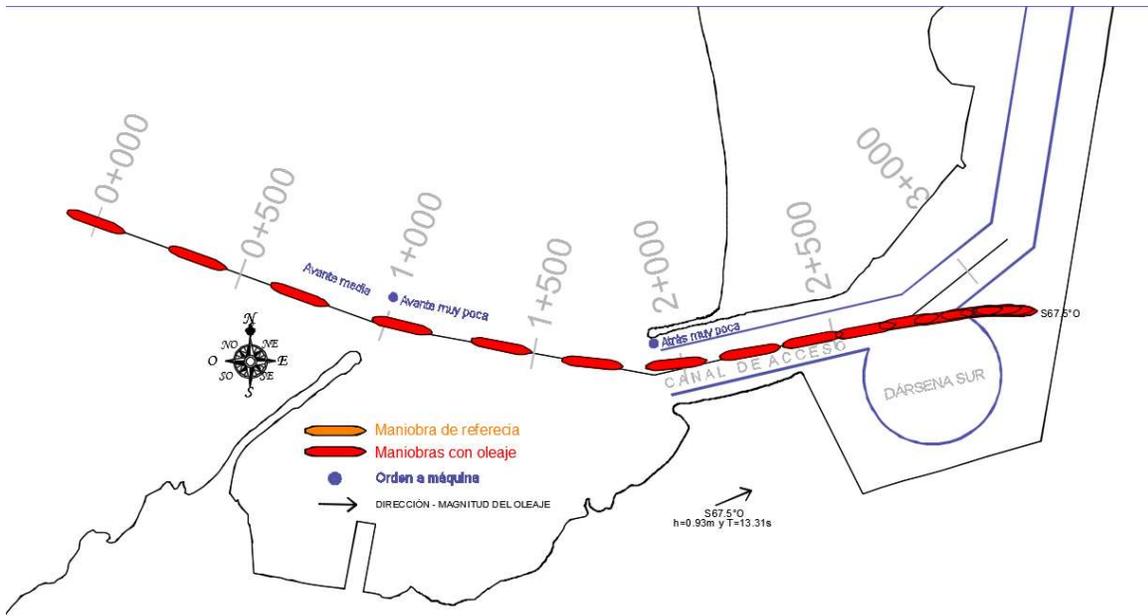


Figura A11.4 Trayectoria de la embarcación con una maniobra de parada forzada (Oleaje S 67.5° O)

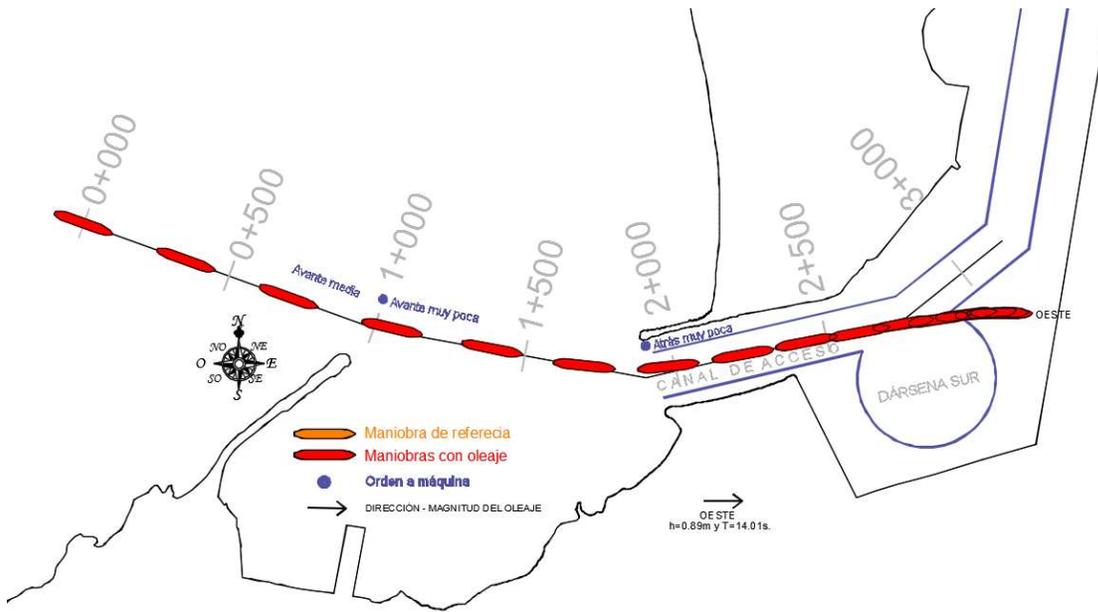


Figura A11.5 Trayectoria de la embarcación con una maniobra de parada forzada (Oleaje Oeste)

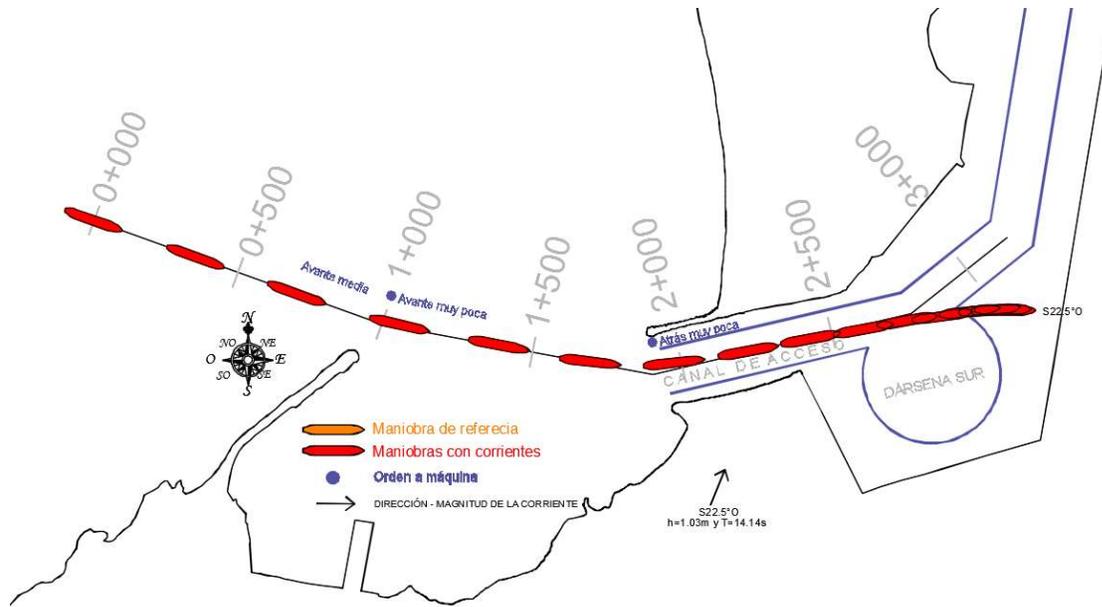


Figura A12.2 Trayectoria de la embarcación con una maniobra de parada forzada (Corriente S 22.5° O)

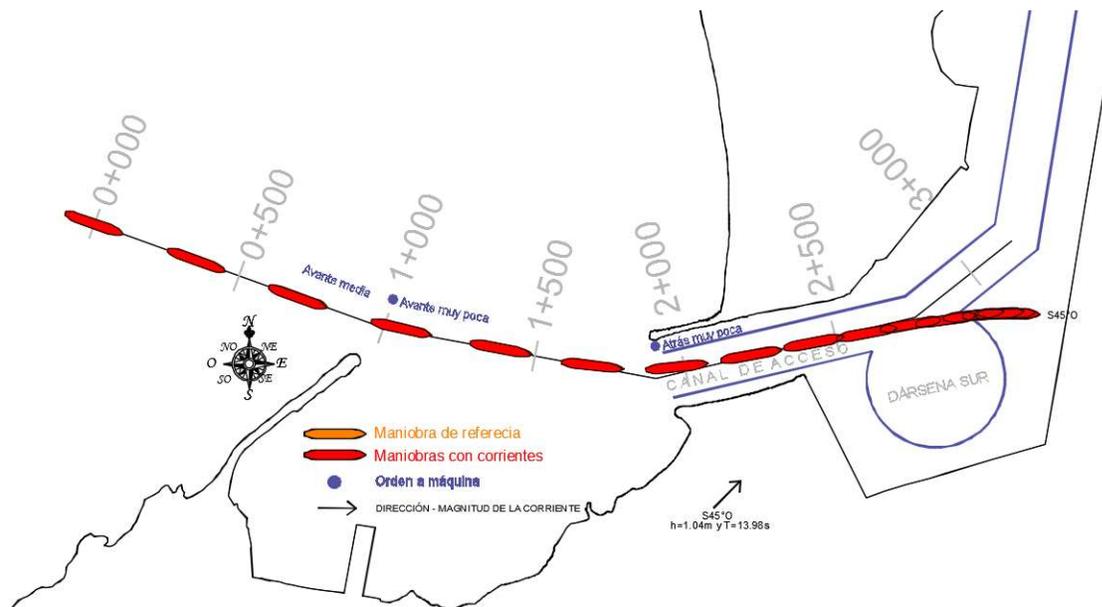


Figura A12.3 Trayectoria de la embarcación con una maniobra de parada forzada (Corriente S 45° O), puerto de Manzanillo

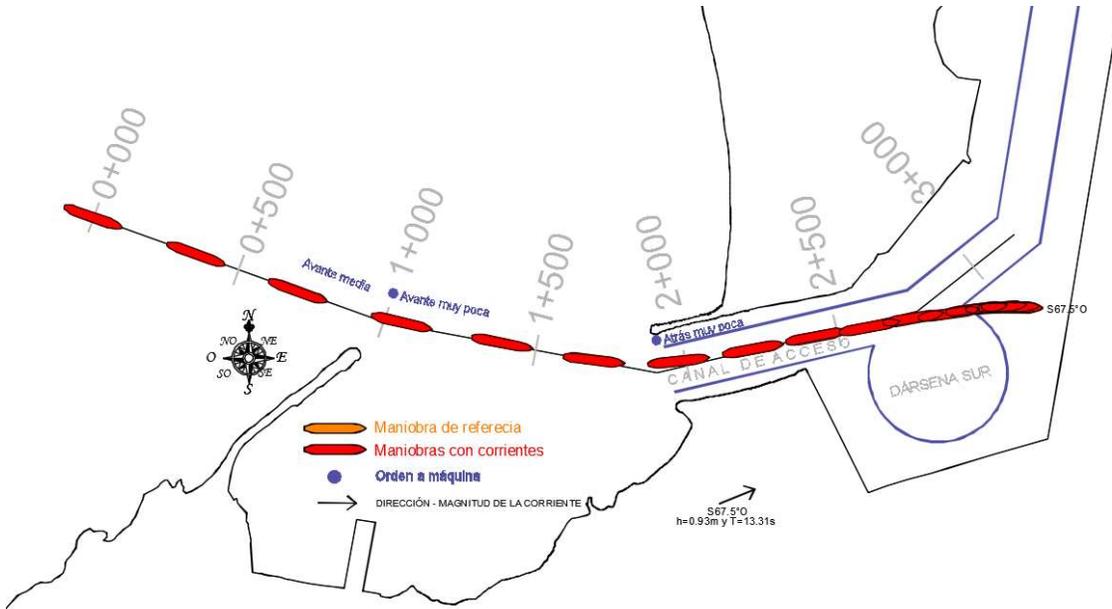


Figura A12.4 Trayectoria de la embarcación con una maniobra de parada forzada (Corriente S 67.5° O)

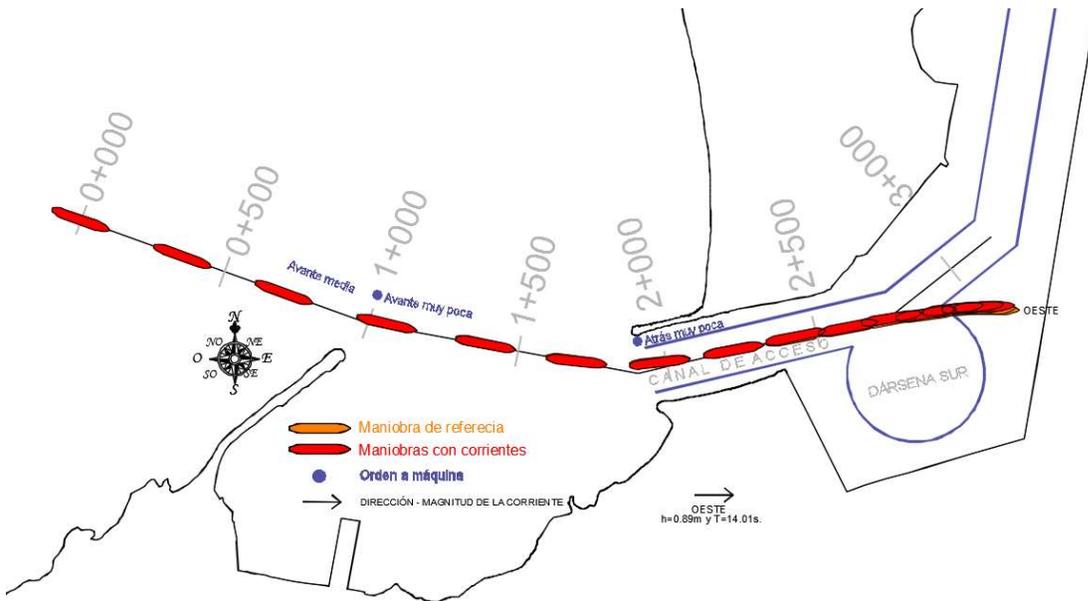


Figura A12.5 Trayectoria de la embarcación con una maniobra de parada forzada (Corriente Oeste)



COMUNICACIONES

SECRETARÍA DE INFRAESTRUCTURA, COMUNICACIONES Y TRANSPORTES



Km 12+000 Carretera Estatal 431 "El Colorado-Galindo"
San Fandila, Pedro Escobedo
C.P. 76703
Querétaro, México
Tel: +52 442 216 97 77 ext. 2610

publicaciones@imt.mx

<http://www.imt.mx/>