

MODELO DE MANIOBRABILIDAD EN TIEMPO ACELERADO, CASO DE ESTUDIO PUERTO DE MANZANILLO, COL.

°M. en I. Manuel Mendoza Grande, °Ing. Rodolfo Ramírez Xicotencatl, °M. en C. Adriana
Guadalupe Porres López.

e-mail: mmendoza@imt.mx, rramirez@imt.mx, aporres@imt.mx.

RESUMEN

Los modelos de maniobrabilidad en tiempo acelerado, han contribuido para poder reproducir el comportamiento de los barcos en la entrada y salida de los puertos, tomando en cuenta las condiciones meteorológicas y oceanográficas del lugar de estudio. Para calcular la maniobrabilidad de dichos barcos, se utiliza el modelo de Abkowitz (1964), el cual describe las ecuaciones del movimiento del barco.

En base a dichos modelos, se realizó un análisis del comportamiento de entrada de un barco en el puerto de Manzanillo, Colima, el cual se describe en el presente artículo, y para ello se requirió conocer las condiciones batimétricas, de viento, de oleaje y de corrientes que se presentan en dicho puerto, con dicha información nos permite conocer los efectos (oceanográficos y meteorológicos) que se pueden presentar en la maniobrabilidad del barco.

INTRODUCCIÓN

La maniobrabilidad se ha llevado a cabo desde que el hombre empezó a utilizar embarcaciones para poder navegar, generalmente era controlado por remos, el cual producía una fuerza para que dicha embarcación se moviera hacia estribor o hacia babor, y este a través del tiempo ha evolucionado a lo que se conoce como timón, el cual ayuda a controlar los giros de dichas embarcaciones. A la capacidad de poder controlar la trayectoria del buque, la velocidad y aceleración, tomando como apoyo al recurso humano y a los equipos electrónicos y mecánicos, se le conoce como maniobrabilidad.

Los sistemas de simulación de maniobras de embarcaciones han sido desarrollados para evaluar y optimizar el diseño de las áreas de navegación. Los sistemas que incorporan en su modelo matemático el pilotaje del barco en la simulación, se denominan sistemas de simulación en tiempo acelerado, al incluirlos se elimina la intervención humana para el control de un barco durante la simulación, no obstante, se puede incluir algunos aspectos náuticos durante la simulación de las maniobras mediante el aporte de información de los pilotos o capitanes, las principales ventajas de estos sistemas son que su ejecución es rápida, que con ellos es posible realizar una comparación objetiva de escenarios, y que los sistemas permiten evaluar de forma preliminar de los espacios de maniobra.

Actualmente, el puerto de Manzanillo es un puerto importante en el desarrollo portuario, y para ello es necesario conocer el comportamiento de las maniobras en dicho puerto, con este fin se elaboraron bases de datos, donde se incluye información batimétrica, y las condiciones oceanográficas y meteorológicas que generalmente son: viento, oleaje y corrientes.

RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN

Para llevar a cabo las simulaciones es necesario definir la localización geográfica y el área que se integrará en dicha base, esto puede realizarse utilizando portulanos, mapas y planos para lograr definir el área que se integrará en la base de datos. La extensión del área a definir deberá de incluir preferentemente el área de pilotaje, la información antes mencionada se muestra en la figura 1.

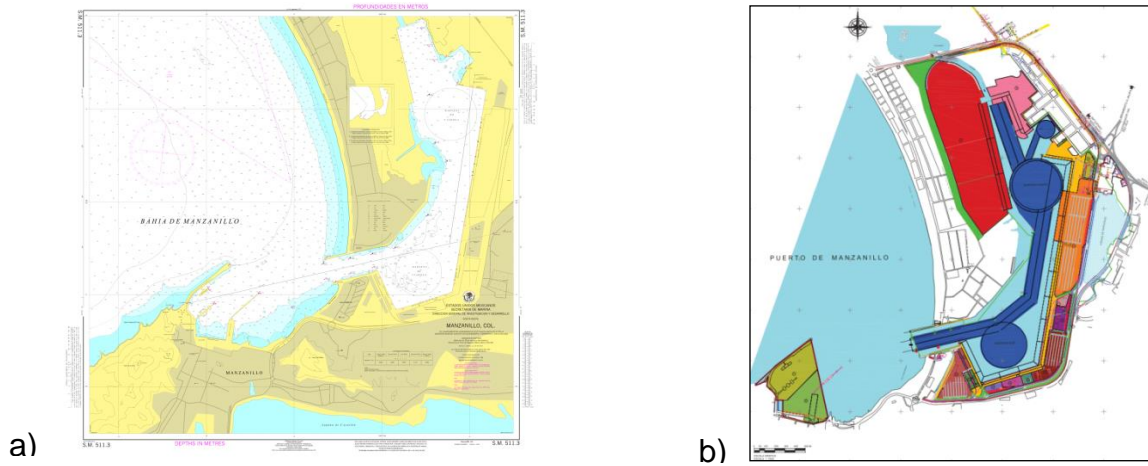


Figura 1. a) Carta náutica para el puerto de Manzanillo, b) Disposición de las áreas de aguas.

En lo que respecta al oleaje del puerto de Manzanillo, se tomó de la información de la Red Nacional de Estaciones Oceanográficas y Meteorológicas (RENEOM) del IMT. 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. Las direcciones que predominan en la zona son: Sur, $S22.5^\circ O$, $S45^\circ O$, $S67.5^\circ O$ y Oeste con un 98.50% del total de los registros obtenidos, lo anterior está representado en la figura 2.

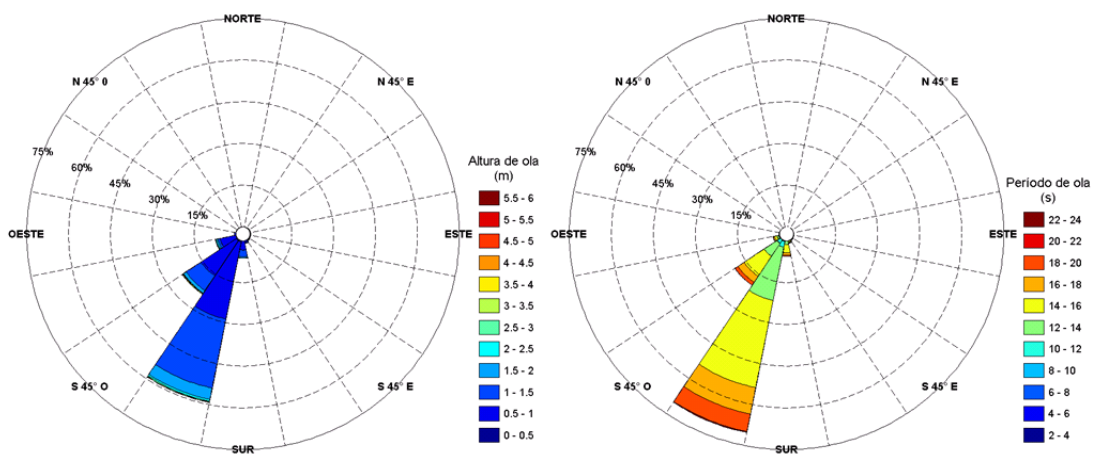


Figura 2 Distribución de alturas y períodos de oleaje – régimen anual, Manzanillo.

En la tabla 1 se muestra valores de altura de ola significativa media y periodo medio resultado de la caracterización del oleaje normal.

Tabla 1 Altura de ola significativa

Dirección	Altura de ola (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

En el caso del oleaje que se propaga al interior del puerto y de las corrientes litorales que se requieren para la base de datos, se analizaron a través de modelos numéricos con el software Mike 21 SW (Spectral Wave) y de MIKE 21 HD del Danish Hydraulic Institute (DHI).

Aplicando los modelos numéricos antes menciona dos, se obtuvieron los resultados, de los cuales lo más representativos se presentan en las figuras 3 y 4.



Figura 3. Propagación de oleaje en la dirección Oeste

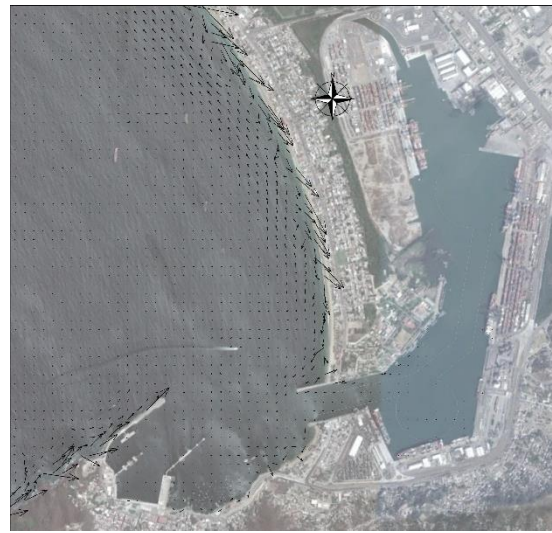


Figura 4. Comportamiento de las corrientes litorales para la dirección Oeste

En el caso del viento, se tomó la información de los registros obtenidos de la Estación Meteorológica Automatizada (EMA), en el puerto de Manzanillo, el cual 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, lo anterior se presenta en las frecuencias cruzadas de la magnitud del viento – dirección – régimen anual, en forma tabular, de la tabla 2.

El modelo de embarcación que se utilizó en las simulaciones corresponde a un barco PANAMAX portacontenedor (ver figura 5). Las características de esta embarcación se muestran en la tabla 3.

Tabla 2 Frecuencias cruzadas de la magnitud del viento-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

Tabla 3 Dimensiones de la embarcación

Tipo de Buque	Toneladas de desplazamiento (T)	Eslora (m)	Manga (m)	Calado (m)
Portacontenedor PANAMAX	39,200	200.0	30.5	10.5

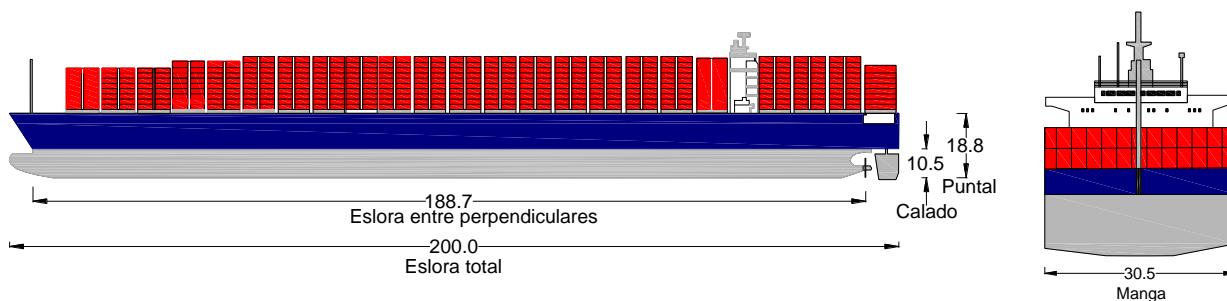


Figura 5 Dimensiones generales del modelo de la embarcación

MODELO NÚMÉRICO

El modelo matemático de maniobrabilidad que se utilizó fue el Ship Manoeuvring (SHIPMA), 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 del timón y las revoluciones por minuto (rpm) de la hélice o propela son parte importante en estas ecuaciones. Lo anterior implica que la maniobrabilidad, 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). En el caso de las simulaciones realizadas el paso de tiempo que se seleccionó fue de 1 segundo.

El diagrama del modelo numérico que utiliza esta herramienta es el que se muestra en la figura 6. 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.

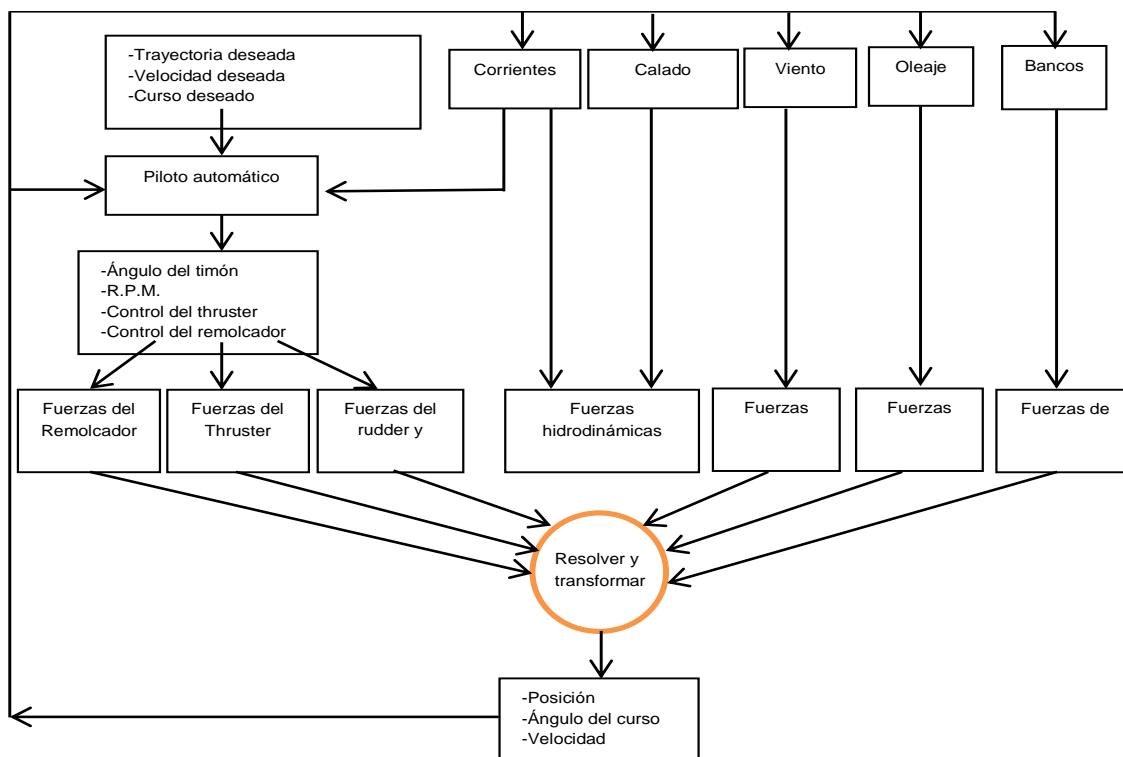


Figura 6. Diagrama del modelo matemático de maniobras del software SHIPMA.

RESULTADOS

La maniobra que se realizó fue una parada forzada (marcha atrás), para lo cual se definió una trayectoria inicial, ver figura 7, que el autopilotaje del algoritmo del modelo SHIPMA intentará seguir, con la trayectoria ordenada a la máquina, se puede controlar la velocidad de giro de la propela (RPM) o la velocidad de la embarcación (nudos).

La estrategia consistió en que la embarcación se aproxima al puerto con el rumbo definido por la trayectoria inicial, la embarcación navega hasta llegar al morro de rompeolas oeste en el cadenamamiento 1+000 donde se inicia el frenado de la embarcación (30 RPM), la embarcación avanza 900 m y nuevamente se cambia la orden (-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.

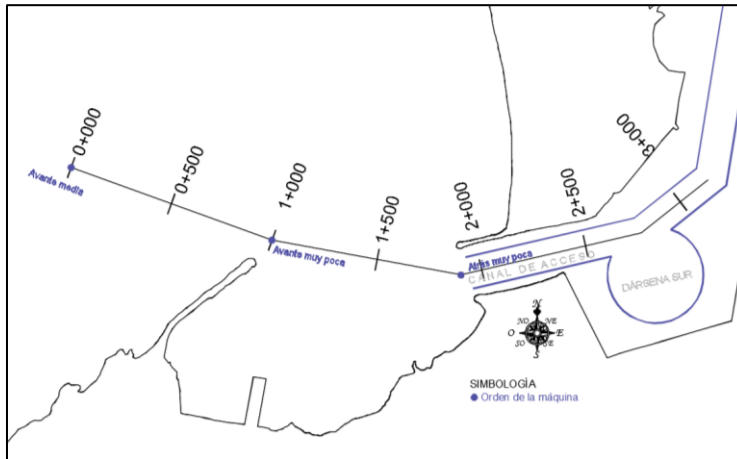


Figura 7 Trayectoria inicial y ordenes de la máquina.

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 4, se consideró de forma independiente la acción del viento, la acción del oleaje y la acción de las corrientes.

Tabla 4. Matriz de escenarios simulados para determinar la distancia de parada para el puerto de Manzanillo.

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						encalló
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	
17		Manzanillo	Entrada - parada forzada	N 67.5° O	45						encalló	
GRUPO 3	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

Los resultados que se obtuvieron se presentan en la figura 8, en el cual se muestra el comportamiento de la maniobra con viento de 10 y de 35 nudos, además se muestra el comportamiento de la maniobra tomando en cuenta el oleaje y las corrientes.

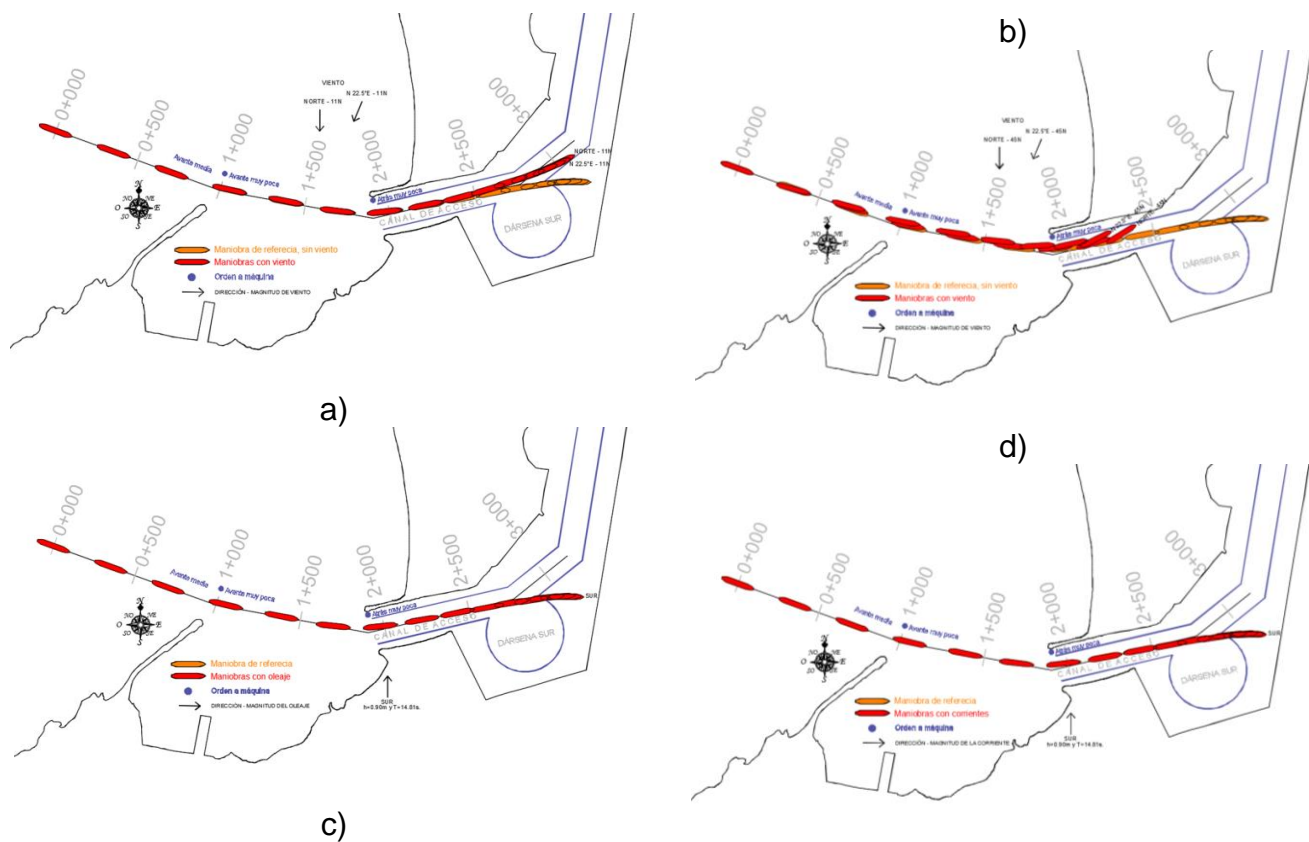


Figura 8 a) Resultados de la trayectoria con velocidad de viento de 10 nudos, b) Trayectoria velocidad de viento de 35 nudos, c) Trayectoria con oleaje, d) Trayectoria con corrientes.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En el desarrollo de la base de datos debe incluir la información de la batimetría, los límites de las áreas de navegación, límites de muelles y posición de los señalamientos marítimos, lo que es conveniente para realizar el procesamiento con la mayor calidad posible.

El efecto de las condiciones oceanográficas y meteorológicas que tuvo más influencia durante las pruebas simulando la maniobra fue el viento. Mientras que el efecto del oleaje se analizó en condiciones medias normales en el régimen anual, sin embargo, se recomienda ampliar el estudio en el efecto del oleaje considerando el periodo de balanceo natural del barco, debido a que puede producir efectos de resonancia. También se debe de ampliar el estudio del efecto del oleaje bajo una amplia gama de diferentes periodos, para el puerto de Manzanillo se presentó oleaje de hasta 25 s. de periodo.

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 al 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.

REFERENCIAS

1. ROM 3.1-99 Proyecto de la configuración marítima de los puertos; canales de acceso y áreas de flotación, 2000, Obras Marítimas Tecnología, Puertos del Estado.
2. Harbour approach channels design guidelines, 2014, REPORT NO. 121-2014. PIANC.
3. User's Guide, 2014, Marin Deltares.
4. Símbolos, Abreviaturas y Términos Usados en las cartas Náuticas, 2013, Secretaría de Marina – Armada de México.