

DESARROLLO DEL PUERTO DE BAHIA BLANCA (ARGENTINA) DISEÑO DE LAS LABORES DE DRAGADO Y ANALISIS DE TRAFICO

Valentín Morán ¹, Juan Linares ¹, Raúl Atienza ², Raúl Redondo ², José R. Iribarren ²,
Rink Groenveld ³

RESUMEN

Este documento se centra en el desarrollo portuario de Bahía Blanca, considerando la maniobrabilidad y el amarre de los buques y los efectos de "passing-ships", finalizando con el estudio de tráfico marítimo, donde los estudios previos de operación proveen las condiciones de contorno necesarias para las simulaciones de tráfico marítimo. El objetivo principal del documento es mostrar la importancia de la combinación de técnicas de simulación avanzadas (maniobrabilidad, amarre, interacción entre buques, simulaciones de tráfico marítimo) para analizar el comportamiento global del puerto, teniendo en cuenta tanto las condiciones climáticas como las instalaciones portuarias, para así obtener a un plan maestro del Puerto de Bahía Blanca. Los resultados de los estudios de maniobra, basados en criterios de seguridad, sirven de base para las normativas de tráfico y estrategias de maniobra, que a su vez se emplean como entrada para el modelo de simulación de tráfico marítimo que analiza la capacidad de la infraestructura portuaria.

1. DESCRIPCIÓN Y CONFIGURACIÓN DEL COMPLEJO PORTUARIO DE BAHÍA BLANCA

El estuario de Bahía Blanca tiene una longitud aproximada de 100 km y una superficie de 2300 km². Está formado por una serie de canales orientados en dirección NW-SE y extensas planicies de marea e islas. El canal de acceso al Puerto presenta notables complicaciones, a la vista de su longitud (98 km), trazado (Canal exterior, Paso del Toro, Canal interior) y anchura (190 m de ancho de solera mínima), así como la presencia de elevadas corrientes de marea (2 nudos) y vientos intensos cruzados al canal (20-25 nudos).

Este complejo canal de navegación, de un único sentido en su mayor parte, está sujeto a numerosas y complicadas reglas de tráfico marítimo, de tal forma que un novedoso sistema VTS controla todo el tráfico marítimo de acceso y salida a Bahía Blanca.

Toda esta compleja normativa de tráfico está condicionada por el reciente tráfico de buques gaseros (LNG) que acceden a la terminal MEGA. Esta nueva terminal entró en servicio en Junio del 2008 introduciendo un nuevo tipo de actividad para el puerto de Bahía Blanca. Como consecuencia, incorporó requerimientos adicionales derivados del tipo de carga y del tamaño de los buques. Este nuevo mercado requirió un análisis en profundidad de las zonas de maniobra y del canal de navegación para tomar las acciones oportunas que garantizaran el acceso seguro a puerto de los buques LNG.

La nueva terminal se encuentra en el canal de navegación interior del puerto, de manera que el buque regasificador (FSRU), atracado en la terminal Mega, está permanentemente expuesto a la influencia de los buques que acceden a Puerto Galván. Este efecto se ve incrementado cuando un buque gasero de suministro se encuentra abarloado al FSRU, puesto que parte del canal interior de navegación se encuentra ocupado por el LNG, y por lo tanto, limita el acceso a Puerto Galván.

En las figuras siguientes se muestra el estuario de Bahía Blanca y el complejo portuario:

¹ Consorcio de Gestión del Puerto de Bahía Blanca, Argentina

² Siport21, España

³ PMSS Port and Maritime Systems Simulation, Países Bajos

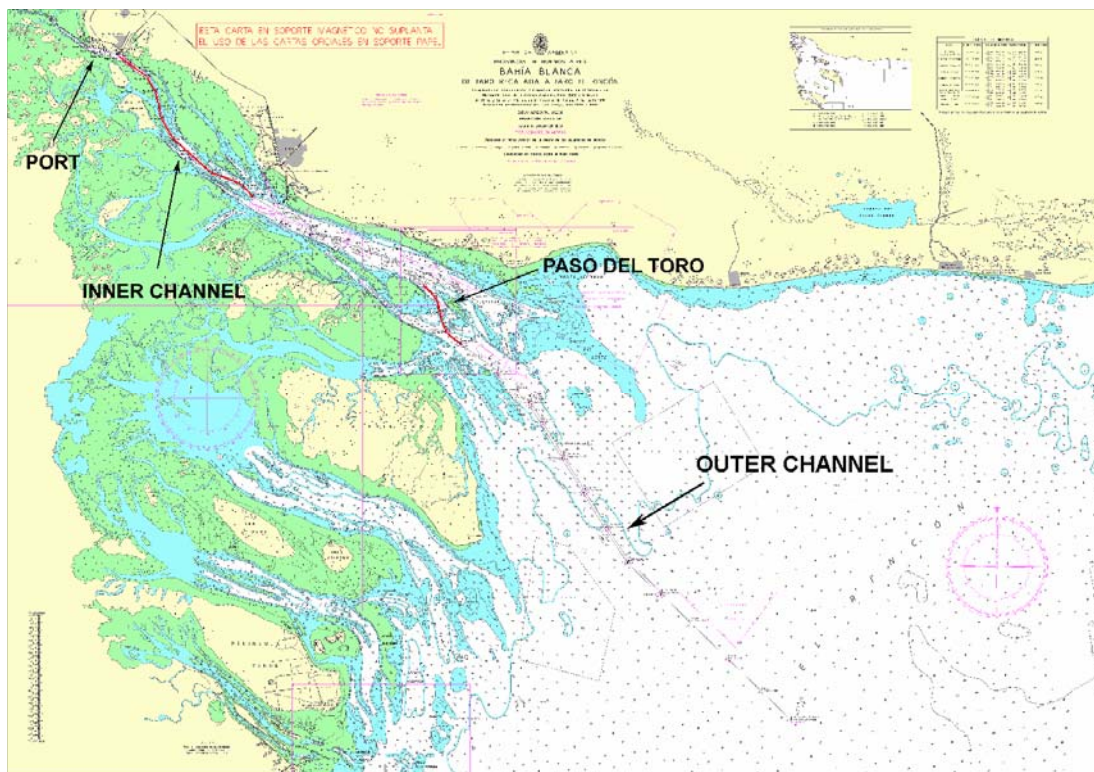


Figura 1. Estuario de Bahía Blanca



Figura 2. Puerto de Bahía Blanca (Puerto Galván e Ingeniero White)

El incremento del tráfico marítimo de los últimos años, junto con las previsiones de crecimiento, ha hecho necesaria la mejora y optimización del canal de navegación y del área portuaria para poder acoger el tráfico que recibirán las nuevas terminales proyectadas.

Encontrar el compromiso óptimo entre coste económico y mejora del canal de navegación, para mejorar la productividad del mismo y reducir los tiempos de acceso al puerto, es crítico.

Para poder cumplir con los objetivos se han empleado diversos modelos de simulación para determinar las condiciones de acceso seguro al puerto. Los métodos de simulación aplicados fueron:

- Maniobra de buques (Simulador en tiempo real y SHIPMA)
- Buque atracado (SHIP-MOORINGS)
- "Passing-ships" (DELPASS)

Los resultados de estas herramientas se emplean para alimentar los modelos de simulación de tráfico marítimo, para así identificar los cuellos de botella del sistema portuario, actuar sobre los mismos y finalmente optimizar las mejoras necesarias para eliminar o reducir las restricciones iniciales.

2. ESTUDIO DE SIMULACIÓN DE MANIOBRA, AMARRE Y "PASSING-SHIPS"

Esta primera fase de simulaciones de maniobra y amarre tiene como objetivo analizar y evaluar las áreas de navegación y maniobra, los requerimientos de remolque, así como la velocidad y distancia de paso de buques en el canal interior del puerto de Bahía Blanca.

Estos análisis sirven para actualizar y mejorar la normativa de tráfico marítimo del puerto de Bahía Blanca, sirviendo como datos de entrada a las simulaciones de tráfico marítimo.

Los objetivos de esta fase de los estudios fueron:

1. Evaluar áreas de navegación y maniobra, considerando la disposición general tanto en planta como en alzado
2. Evaluar límites de operación, tanto para maniobras de entrada como de salida
3. Análisis de estrategias de maniobra y asistencia de remolcadores
4. Análisis de emergencias como base para elaborar planes de contingencia
5. Análisis de distancia segura de paso y velocidad en el canal interior del puerto por el efecto de "passing-ships"
6. Entrenamiento de Pilotos y Capitanes

2.1 ESTUDIOS DE MANIOBRA

En primer lugar se realizaron los estudios de maniobra. Para ello fue necesario analizar en profundidad las condiciones de marea, vientos y corrientes en la zona, recopilando información histórica. Los estudios de maniobra se realizaron empleando dos herramientas de simulación: el simulador de maniobra en tiempo real y el programa de simulación "fast-time" SHIPMA.

2.1.1 SIMULACIONES DE MANIOBRA

Para las simulaciones en tiempo real se construyó en el simulador de Siport21 un modelo virtual de los tramos principales del canal de acceso y del complejo portuario de Bahía Blanca. La figura siguiente muestra parte del modelo virtual de simulación.

Las maniobras de entrada y salida fueron realizadas en el simulador en tiempo real de Siport21, desarrollado por MARIN-MSCN (Países Bajos). Este sistema reproduce el comportamiento de un buque específico durante la ejecución de las maniobras de acceso al puerto, y sujeto a la acción de los agentes externos (viento, corrientes, oleaje, profundidad limitada, succión de orilla, ...), así como la asistencia de remolcadores si fuese necesaria.



Figura 3. Modelo visual del puerto de Bahía Blanca (Terminal MEGA)

Un Capitán o Práctico usuario del sistema opera en un puente completo con instrumentación real, un sistema ECDIS y una pantalla de radar. Los movimientos del buque se visualizan en una amplia pantalla de 260° de apertura y de un diámetro de 12 metros. Además se perciben sonidos (motor, viento, bocinas, ...) para envolver al usuario en la simulación.



Figura 4. Simulador de maniobra en las instalaciones de Siport21

El modelo matemático es de una alta precisión y opera con 6 grados de libertad (movimientos del buque tanto en el plano como en la vertical). Permite reproducir de forma muy flexible buques de tipología variada, con sistemas de propulsión y gobierno diversos (1/2 hélices propulsoras, paso fijo/variable, hélices transversales de maniobra, etc.). Su concepción admite el desarrollo de maniobras de aproximación y atraque, con o sin remolcadores, así como de fondeo y amarre. Dispone de herramientas para la generación detallada de modelos de puertos y escenarios de maniobra con total versatilidad. Además, incorpora aplicaciones para el análisis de las simulaciones específicamente adaptadas a ingeniería portuaria y operaciones náuticas.

El modelo matemático en el sistema de la simulación calcula las fuerzas y momentos que actúan sobre el buque (fuerzas hidrodinámicas, fuerzas de propulsión y gobierno así como las de los agentes externos) y resuelve las ecuaciones del movimiento en los seis grados de libertad.

El modelo matemático de maniobra es capaz de reproducir el comportamiento del buque bajo la acción de las siguientes fuerzas: fuerzas hidrodinámicas sobre el casco, fuerzas de propulsión y gobierno (timón), fuerzas de los propulsores de proa o popa, fuerzas ocasionadas por variaciones de profundidad y efectos de succión, fuerzas ejercidas por los remolcadores y las fuerzas producidas por los agentes externos (viento, oleaje y corriente).

Las características de maniobrabilidad de los buques están recogidas en una serie de coeficientes hidrodinámicos (constantes de proporcionalidad entre fuerzas y movimientos y sus derivadas). Estos se determinan mediante ensayos con modelo físico en canal o extrapolación de datos anteriores y se adquieren como un juego de coeficientes para cada barco. El método de medición es muy riguroso y se contrasta con los tests de maniobrabilidad habituales, tanto en aguas profundas como poco profundas. Los ensayos que comúnmente se realizan son los siguientes:

1. curvas régimen de máquina-velocidad
2. maniobra de giro
3. maniobra de zig-zag
4. maniobra de parada
5. maniobra de aceleración
6. maniobra de espiral

La definición de los buques se completa con ficheros de dimensiones, características de propulsión, equipos auxiliares de maniobra, coeficientes de respuesta al viento (fuerzas y momentos para diversos ángulos de incidencia), coeficientes de respuesta al oleaje (fuerzas, momentos y movimientos verticales para diversos períodos y ángulos de incidencia) y coeficientes de succión de orilla.

El sistema y método de trabajo propuesto incorpora la actuación humana en el desarrollo de las maniobras. Por ello, su utilización permite obtener resultados de gran precisión, integrando gran parte de los factores involucrados en las maniobras reales. Como consecuencia, es especialmente adecuado para el análisis detallado de condiciones de maniobra especialmente complejas, en las que el factor humano resulta más relevante.

En fases posteriores también se analizaron simulaciones nocturnas para evaluar el acceso y salida de los grandes buques gaseros que acceden a la Terminal MEGA en todo momento, al objeto de poder incrementar el tráfico marítimo y el rendimiento portuario.

2.1.2 SIMULACIONES DE EMERGENCIA

El programa de simulación de maniobras cubrió tanto condiciones normales (maniobras de entrada, con dos opciones de reviro, y de salida) como diversas situaciones de emergencia.

Las maniobras en condiciones normales fueron realizadas en el simulador en tiempo real mientras que para las maniobras de emergencia se empleó el programa de simulación de maniobra "fast-time".

La primera fase del estudio se realizó empleando el programa de simulación "fast time" **SHIPMA**, desarrollado por Delft Hydraulics-MARIN (Países Bajos). Este programa calcula la trayectoria y el rumbo del buque, teniendo en cuenta las influencias externas (viento, oleaje, corrientes, succión de orillas y aguas restringidas). El control del timón y la máquina, así como el de los remolcadores, se efectúa con un autopiloto que intenta seguir una trayectoria preestablecida, anticipando la desviación de la trayectoria de referencia y los cambios en la corriente. También permite la entrada de algoritmos de control para hélices de proa y popa.

Las maniobras de emergencia que se tuvieron en consideración en el estudio fueron las siguientes:

1. Pérdida de propulsión en el canal
2. Parada de emergencia en el canal
3. Pérdida de propulsión en el interior
4. Bloqueos de timón

5. Salida de emergencia
 - a. Viento extremo
 - b. Corriente extrema
 - c. Remolque limitado

2.1.3 RESULTADOS DE LAS SIMULACIONES

Durante el periodo de simulaciones se cubrió un total de 85 escenarios con 108 simulaciones realizadas, completando un total de más de 60 horas netas de simulación.

En una primera fase se estableció como dársena de reviro para los buques LNG que accedían a la terminal de MEGA la situada enfrente de Puerto Galván. Tras varias sesiones con Pilotos locales, la dársena de reviro para este tipo de buques se estableció en Ingeniero White, de mayores dimensiones y con mayor nivel de agua, lo que permitía realizar operaciones de forma más continua y holgada. Realizar el reviro en Ingeniero White, por el contrario, supone la complicación de navegar cuando desde la dársena de reviro hasta la terminal.

En las siguientes imágenes se muestran ejemplos de trayectorias de acceso al puerto y de emergencia en el canal:

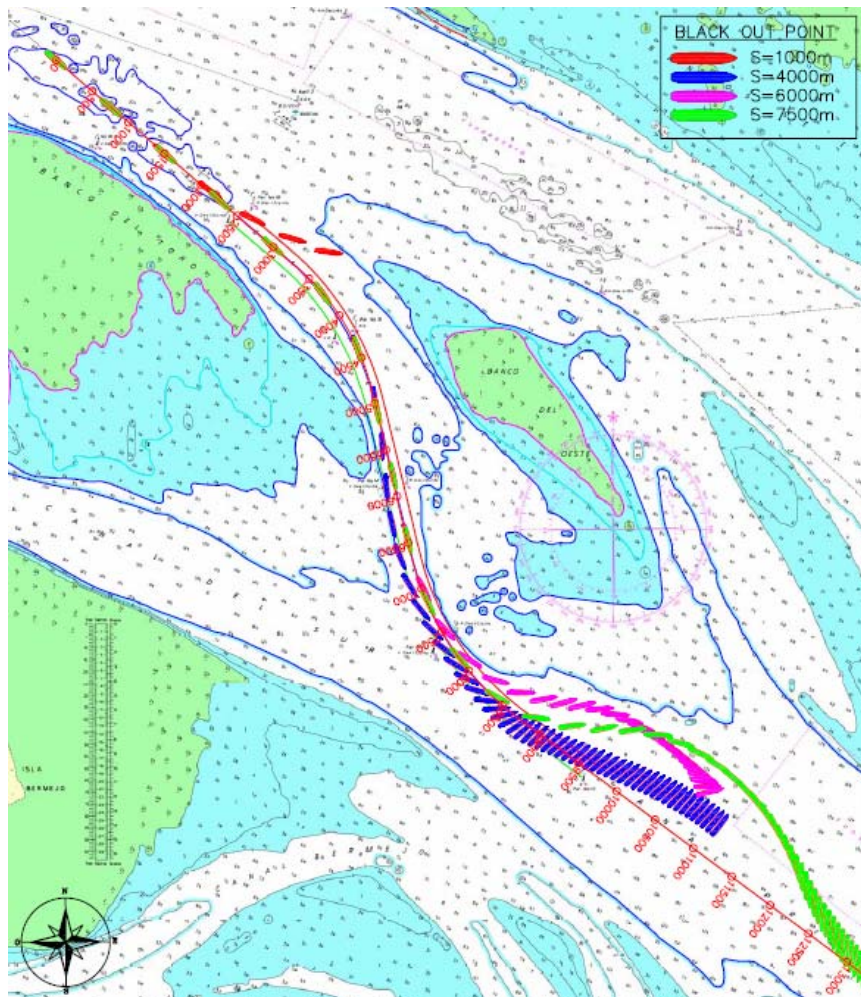


Figura 5. Maniobras de emergencia en Paso del Toro. *Black-out*

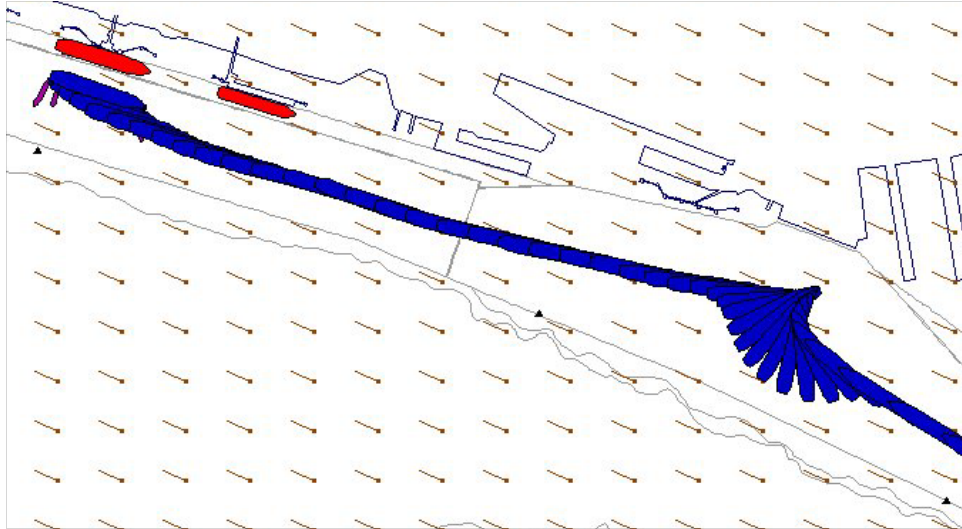


Figura 6. Maniobra de reviro y amarre (Simulador en tiempo real)

2.2 ESTUDIOS DE AMARRE Y "PASSING-SHIPS"

También se realizaron estudios de amarre del FSRU Excelsior, tanto en forma individual, para asegurar la permanencia del buque FSRU bajo condiciones de supervivencia, como con el buque LNG abarloado, para determinar las condiciones de transferencia de carga LNG seguras entre buques, con especial atención a los movimientos relativos en las mangueras de conexión y las cargas sobre el equipo de amarre.

Para el estudio del comportamiento dinámico de buque amarrado se empleó el modelo numérico **SHIP-MOORINGS**, desarrollado por Alkyon-Arcadis (Holanda). Este modelo reproduce el comportamiento dinámico de un buque atracado bajo la acción combinada del viento, el oleaje y la corriente. El sistema resuelve las ecuaciones de movimiento del buque con 6 grados de libertad (vaivén, deriva, guiñada, alzada, cabeceo, balance).

Debido a la localización de la Terminal MEGA, al tipo de mercancía, y al hecho de que los buques se extienden hacia el canal interior cuando hay un buque abarloado, fue necesario realizar estudios de interferencia por "passing-ships" (paso de buques).

Los efectos de "passing-ships" sobre el buque amarrado se deben a la interacción hidrodinámica entre ambos buques. Estas fuerzas de succión están causadas por la modificación del campo de presiones debido a la presencia de dos cascos, especialmente en aguas restringidas. En la figura siguiente se muestra un ejemplo del esquema empleado en las simulaciones de "passing-ships":

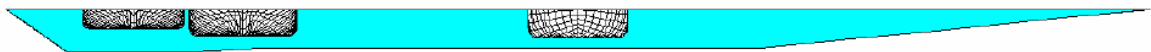


Figura 7. Esquema del modelo empleado en el software DELPASS

Para determinar las fuerzas de succión producidas por el fenómeno de interacción se emplea el modelo del doble cuerpo. Concretamente el programa DELPASS, desarrollado por J.A. Pinkster, Profesor de hidrodinámica marina en la Universidad Técnica de Delft. Este programa calcula las fuerzas de succión sobre un buque amarrado teniendo en cuenta los efectos simultáneos de uno o más buques pasantes y la geometría del canal (profundidad y taludes laterales). El programa ha sido validado comparando resultados de las simulaciones con resultados de modelos físicos realizados por MARIN.

Estas fuerzas de succión típicamente presentan periodos en el rango de minutos y son altamente dependientes de la distancia de paso, ya que se disipan a pocas mangas del buque pasante, y sobre todo de la velocidad.

De esta forma se analizaron las fuerzas de interacción (fuerzas de succión) que los mayores petroleros que acceden al interior del puerto ejercían sobre los buques atracados, con distintas distancias de paso (55-70-100-120 m) y velocidades (4-5-6-7 nudos). En la figura siguiente se muestra un ejemplo de fuerzas de succión, de carácter muy dinámico:

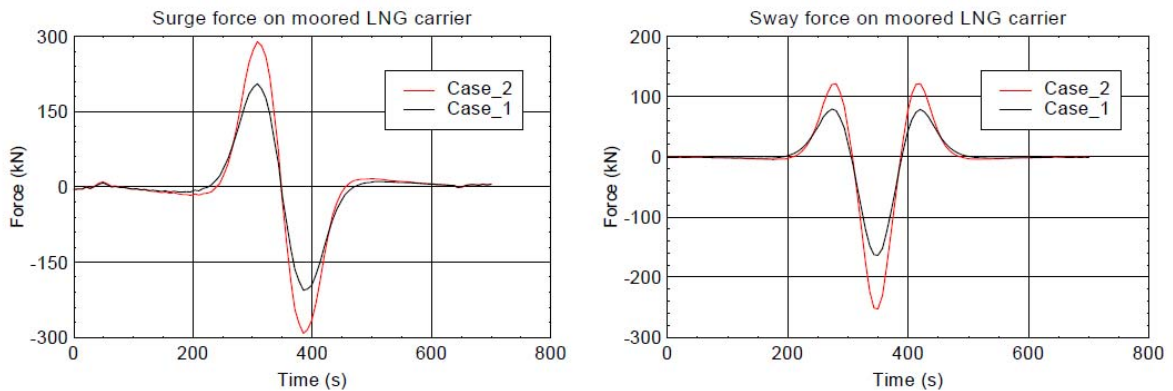


Figura 8. Series temporales de fuerzas de succión para distintas velocidades (vaivén y deriva)

En esta terminal se han estudiado dos casos: el buque FSRU solo y el conjunto FSRU más buque LNG abarloado, bajo la acción de un buque pasante y considerando la transmisión de fuerzas al sistema de amarre.

De este modo fue posible la obtención de curvas límite de velocidad-distancia de paso, basadas en criterios conjuntos de movimientos de buque atracado y de cargas sobre amarros y defensas, como describe la figura siguiente:

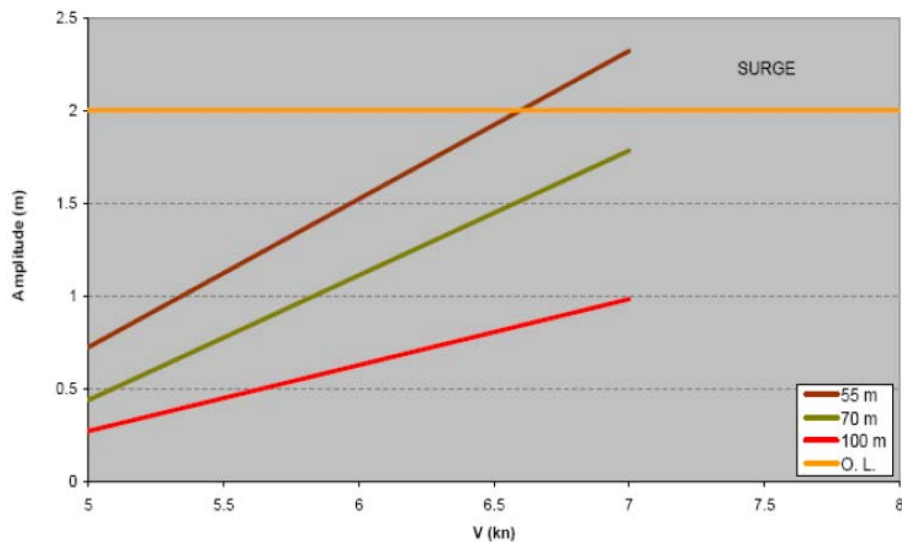


Figura 9. Límites del FSRU-LNG por movimiento longitudinal

Los resultados de los estudios de maniobra y amarre permiten crear, modificar o incorporar normativas de tráfico para los buques que entran y salen del puerto, y por lo tanto se emplean como dato de entrada al modelo de simulación de tráfico marítimo.

3. ESTUDIO DE SIMULACIÓN DE TRÁFICO MARÍTIMO

La última fase de la evaluación del complejo portuario de Bahía Blanca es el estudio de tráfico marítimo. El objetivo de este estudio es identificar los cuellos de botella del sistema mediante el análisis de determinados parámetros (ocupaciones, tiempos de espera, niveles de congestión, uso de medios como remolcadores, etc.). Además, el modelo de simulación de tráfico permite introducir modificaciones en la infraestructura o normativa de operación, para evaluar el nuevo comportamiento del sistema portuario y así poder definir las modificaciones óptimas.

3.1 INTRODUCCIÓN

La capacidad de un sistema portuario depende del nivel de servicio requerido, basado en diferentes parámetros y criterios de seguridad. En todos los puertos los parámetros que controlan el tráfico marítimo son estocásticos y por tanto requieren de técnicas de análisis probabilista.

El complejo portuario de Bahía Blanca cuenta con 3 puertos en sí mismo, un canal de navegación de gran longitud y 5 fondeaderos restringidos por su ocupación, su uso y el tipo de buque, así como 15 terminales y complejas normas de tráfico.

Los resultados de los estudios de maniobra y amarre, basados en criterios de seguridad, aportan estrategias y normas de tráfico que se emplean como dato de entrada del modelo de simulación de tráfico marítimo para así determinar la capacidad portuaria.

El modelo proporciona los siguientes resultados: tiempos de espera, ocupación de muelles y fondeaderos, requerimientos de remolque, etc. basados en: el volumen de tráfico, la longitud de los muelles, los tiempos de navegación, maniobra y carga/descarga, la normativa de tráfico, ...

3.2 DATOS DE ENTRADA AL MODELO

3.2.1 INFRAESTRUCTURA PORTUARIA

La infraestructura portuaria se ha subdividido en 8 tramos con diversas secciones. El esquema siguiente muestra la distribución portuaria establecida en el modelo de simulación. Este esquema muestra las secciones del canal de navegación y del área portuaria, fondeaderos, dársenas de reviro y terminales portuarias, incluyendo las monoboyas y la Base Naval de Puerto Belgrano:

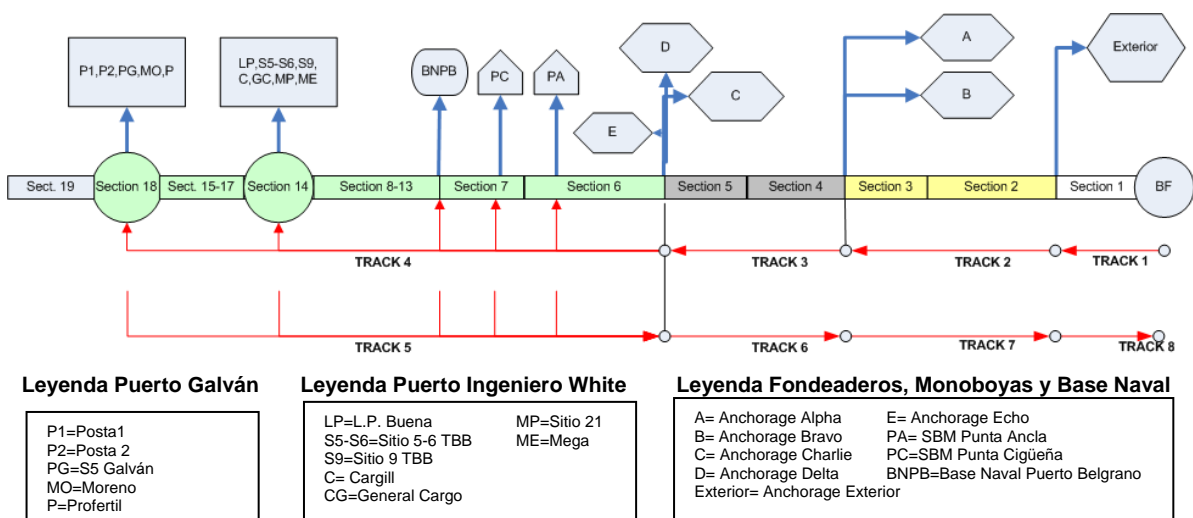


Figura 10. Esquema de la infraestructura portuaria de Bahía Blanca y del canal de aproximación

A modo de ejemplo la tabla siguiente muestra la trayectoria de los buques de la flota con dirección a la Terminal de Luis Piedra Buena, incluyendo la longitud de las secciones de la trayectoria, la velocidad del buque y tiempos de permanencia por sección y las características de navegación. La siguiente figura muestra las localizaciones de las secciones del puerto Ingeniero White

	track 1	track 2			track 3		track 4									
sections	s1	s2	s3	s4	s5	s6	s7	s8	s9	s10	sp1	sp2	sp3	sp4	sp3	sp2
length section	9,84	13,74	4,05	3,87	2	2,98	5,68	2,65	6,42	0,81	0,1	0,32	0,1	turn	0,1	moor
speed section	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	5	5	5	5	5	nr
number section	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	13	12
sail/man	sail	sail	sail	sail	sail	sail	sail	sail	sail	sail	sail	sail	sail	man	sail	man
sail direction	inc	inc	inc	inc	inc	inc	inc	inc	inc	inc	inc	inc	inc	inc	out	out
dwel time section	54	75	22	21	11	16	31	14	35	4	1	4	1	30	1	30
total sail time track	54	97		32		167										
total sail time	320															
		exterior		bravo/alpha		delta/charlie			port entrance							

Tabla 1. Ejemplo de trayectorias y secciones para buques entrantes a la terminal Luis Piedra Buena

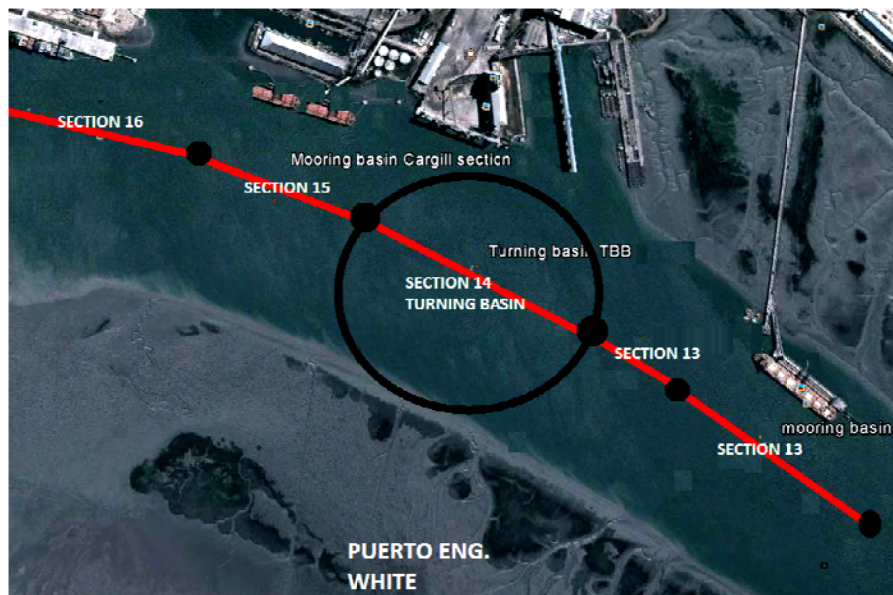


Figura 11. Secciones y dársena de reviro de Ingeniero White

3.2.2 NIVEL DE AGUA Y MAREA

El modelo de simulación incluye componentes de VTS que continuamente comprueban la existencia del nivel de agua requerido (en función del nivel de marea) y las normas de tráfico relativas a secciones de uno o dos sentidos, maniobras de cruce o adelantamiento, dársenas de reviro, áreas de fondeo y de amarre, ...

Para determinar los niveles de agua en cada tramo el modelo de simulación emplea las curvas de marea, incluyendo mareas vivas y muertas para cada una de las secciones en las que se subdivide el canal. En la figura siguiente se muestra un ejemplo de las curvas de marea en cada una de las 3 áreas portuarias en las que se divide el complejo de Bahía Blanca:

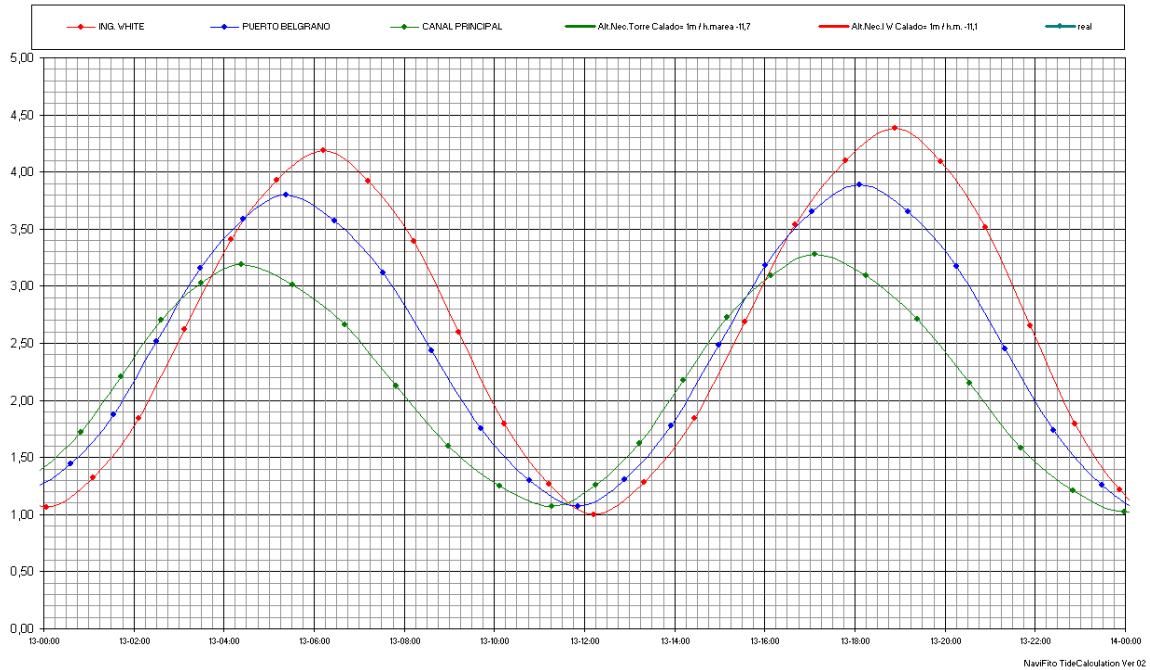


Figura 12. Niveles de marea en diferentes tramos del puerto

3.2.3 VOLÚMENES DE TRÁFICO. DISTRIBUCIÓN DE BUQUES

El modelo de simulación requiere emplear distribuciones estadísticas de entrada de buques, tanto reales como previsiones de futuro, para así poder optimizar y analizar alternativas.

En la tabla siguiente se muestra el número medio de buques por terminal que accedió al puerto en situaciones reales y una previsión a futuro, en la que se incorporan nuevas terminales y se estiman los volúmenes de tráfico esperados. Para el caso analizado se observa cómo el número de accesos de buques esperados, en la situación futura, se incrementa en más de 215 anuales para dar servicio a las nuevas terminales.

Terminales	2011	Futura
SBM Punta Ancla	93	93
SBM Punta Cigüeña	99	99
Base Naval	24	24
Multigrain		70
Noble		70
Vale		60
Luis Piedra Buena	159	40
Toepfer	100	100
Sitio 5-5 TBB	31	31
Sitio 9 TBB	118	118
Cargill	137	137

Terminales	2011	Futura
Sitio 18-20 MMC	35	35
Sitio 21 MMC	61	61
Profertil	37	37
Mega	44	44
Sitio 5 Galván	25	25
Sitio 2-3 Moreno	84	110
LCD Dreyfus		70
Posta 1	111	111
Posta 2	111	111
Posta 3		40
Total	1269	1486

Tabla 2. Volúmenes de tráfico en 2011 y estimados a futuro

3.2.4 NORMATIVA DE TRÁFICO

Además de desarrollar el modelo portuario, incluir condiciones ambientales como las mareas (y corrientes asociadas) y la distribución de buques que acceden al puerto, con origen y destino, es necesario describir e incorporar en el modelo todas las normas de tráfico aplicables.

Estas normas de tráfico tienen gran influencia en la modelización del sistema portuario, pues es donde radica la mayor complejidad del modelo de simulación. El sistema o componente VTS del modelo de simulación, que puede ser único o no, controla y analiza todas estas normas y actúa en consecuencia, permitiendo o no el acceso. Entre todas las normas de tráfico que podrían ser de aplicabilidad destacan las siguientes:

- Maniobras de cruce
- Maniobras de adelantamiento
- Restricciones impuestas por diversos buques o tráficos
- Niveles de agua requeridos
- Nivel de marea (velocidad de la corriente)
- Disponibilidad de remolcadores
- Ocupación de muelles
- Ocupación de fondeaderos
- ...

3.3 DESCRIPCIÓN DEL MODELO DE SIMULACIÓN

El modelo de simulación del complejo portuario de Bahía Blanca cubre desde la llegada a la boya 1, donde se generan los buques que acceden al puerto, hasta el destino dentro del puerto y salida del mismo.

Para ello se emplea un modelo de descripción de procesos. Este modelo incluye una serie de componentes interrelacionados (buques, condiciones climáticas, terminales, VTS, ...). El proceso de cada componente se describe en el módulo correspondiente. La entrada estocástica de datos es relativa a los buques, sus dimensiones, los tiempos entre accesos y los tiempos de carga/descarga requeridos. Los atributos a cada uno de los componentes se generan empleando diversas distribuciones, como pueden ser la Erlang_k, la exponencial negativa, distribuciones estacionales y distribuciones uniformes.

Componente	Módulo	Descripción del proceso
Main	Mainmod	Inicializa los componentes y lee los datos de los mismos
Generator	Genprocess	Generación de buques y asignación de atributos
Ship	Shipprocess	Especifica el proceso buque
Mega ship	Megashipprocess	Especifica el proceso buque de MEGA
Dumship	Dumshipprocess	Especifica el proceso buques fantasma de reserva de espacio
Quay master	Qmasterprocess	Comprueba disponibilidad de muelles y asigna muelles a buques
VTS	Vtsprocess	Comprueba nivel de agua y situación actual de tráfico
Terminal operator	Termprocess	Registra los tiempos de servicio y prepara la salida de los buques
Tug	Tugprocess	Especifica el proceso de los remolcadores
Sectionocc	Occupationsections	Registra la ocupación de las secciones en las que se subdivide el sistema.

Tabla 3. Módulos y componentes del modelo de simulación del Puerto de Bahía Blanca

3.4 RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN

El modelo de simulación de tráfico marítimo permite conocer el comportamiento del sistema portuario a través del análisis de una serie de parámetros, que varían de puerto a puerto, y entre los que principalmente se encuentran los tiempos de espera, la ocupación de las terminales y de los fondeaderos así como el uso de remolcadores.

3.4.1 TIEMPOS DE ESPERA

Los tiempos de espera están causados principalmente por las normativas de tráfico, la ocupación del canal, las restricciones por nivel de marea y las restricciones impuestas por determinados tráficos especiales, así como por la distribución entre accesos de buques y los tiempos de carga/descarga.

Cuando una terminal solo tiene disponibilidad de un muelle, el tiempo de espera se incrementa rápidamente cuando la ocupación excede del 30%.

En el caso de Bahía Blanca, para la situación del 2011 se encontró que los tiempos de espera eran provocados por tres factores principales: la ocupación de los muelles, las restricciones por nivel de agua y las restricciones operativas impuestas por los buques que acceden a la terminal de MEGA.

En la situación futura, la ampliación de calado del canal de navegación y del canal interno del puerto permitió reducir las restricciones impuestas por los buques de MEGA, así como las restricciones por nivel de agua. Estas mejoras produjeron una reducción en el tiempo de espera de los buques, que quedaron principalmente limitadas a la propia ocupación de las terminales.

3.4.2 NÚMERO DE REMOLCADORES EN OPERACIÓN

De los resultados de las simulaciones también se obtuvo el número de horas de trabajo simultáneo de los remolcadores, para analizar si el número de remolcadores existentes es suficiente o si se requeriría ampliar la flota.

En las situaciones analizadas se verificó que el número de remolcadores actuales del puerto de Bahía Blanca es suficiente para el tráfico esperado.

3.4.3 NÚMERO DE BUQUES EN LOS FONDEADEROS

De las simulaciones también se han obtenido resultados para analizar la ocupación de los fondeaderos. En la situación del 2011 se observó una ligera sobreocupación en los fondeaderos Charlie y Delta, excediendo el máximo número de buques admisibles en cada uno de ellos durante cortos periodos de tiempo.

En la situación futura, y a pesar de haber un mayor número de buques accediendo al puerto, este hecho se eliminó al incorporar un nuevo fondeadero (Echo) y eliminar las restricciones causadas por los buques de MEGA, por lo que prácticamente no se excedió la capacidad de los mismos.

Fondeaderos	Exterior		Alpha		Bravo		Charlie		Delta		Echo	
Tiempo excedido [h]	-	-	1	0	0	0	132	0	79	2	-	0
Porcentaje de excedencia (%)	-	-	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5	0.0	0.9	0.0	-	0.0

Tabla 4. Ocupación de Fondeaderos

4. CONCLUSIONES

Las conclusiones derivadas de los estudios de maniobrabilidad, amarre, *passing-ships* y tráfico marítimo para analizar el comportamiento del Puerto de Bahía Blanca son las siguientes:

4.1 MANIOBRABILIDAD

Durante el periodo de simulaciones se cubrió un total de 85 escenarios con 108 simulaciones realizadas, haciendo un total de más de 60 horas netas de simulación. Las conclusiones principales derivadas del estudio fueron:

1. El área disponible para la realización de las maniobras en el puerto se considera suficiente, considerando la evaluación de los límites meteorológicos y el uso de remolcadores. El canal de navegación entre la Rada A y la dársena de reviro de Puerto Galván es suficientemente ancho para permitir el paso de buques y su formación de remolcadores.
2. La distancia de parada, aproximadamente entre la Boya 3 y el lado Oeste de la dársena de reviro, se considera suficiente bajo las exigentes condiciones analizadas, puesto que los buques llegan a la zona de parada y reviro bajo control por sus propios medios y con la ayuda de remolcadores.
3. La zona de reviro se considera suficientemente ancha para revirar y cambiar de rumbo hacia el pantalán, siempre y cuando las estrategias de maniobra se apliquen de forma adecuada. Esta área permite revirar tanto por babor como por estribor, dependiendo de la dirección del viento y otras circunstancias consideradas por los Pilotos.
4. La maniobra de atraque se lleva a cabo con el buque bajo control, y la velocidad de impacto del buque con las defensas se controla con los remolcadores y los propulsores de maniobra.
5. La formación de remolque básica en la fase final de las maniobras de aproximación al puerto fue de 4 remolcadores especiales ASD con un tiro a punto fijo de 50 toneladas cada uno. Para la mayoría de las maniobras, dos remolcadores se colocaron en proa y popa y los otros dos en amura y aleta de estribor.

4.2 AMARRE Y "PASSING-SHIPS"

Las principales conclusiones derivadas de los estudios de amarre y *passing-ships* son las siguientes:

1. Los movimientos del buque amarrado inducidos por las fuerzas hidrodinámicas de succión se incrementan notablemente con la velocidad del buque en movimiento. Cuando la velocidad de paso se incrementa en un 50% las amplitudes son del orden de 2 a 3 veces superiores. Las fuerzas sobre las líneas de amarre y defensas también se incrementan, pero no de forma tan importante, debido a la pretensión.
2. La distancia de paso también tiene gran importancia. Incrementar la separación de 70 a 100 metros reduce los movimientos un 32% y las fuerzas un 10% de media. Un aumento adicional de 70 a 140 metros reduce los movimientos un 40% y las fuerzas un 13% de media. Estas reducciones son más importantes cuanto mayor es la velocidad del buque en movimiento.
3. Si se considera una distancia de paso menor (55 m) las amplitudes de los movimientos muestran un gran incremento. Vaivén, balance y guiñada se incrementan un 45%-50% y la deriva hasta un 60% de media. Las fuerzas sobre las líneas de amarre y las defensas se incrementan en torno a un 25%-30%.
4. La influencia del tamaño del buque en movimiento también es importante. Las fuerzas de succión son claramente menores con un buque más pequeño ($L_{pp}=180$ m $B=31$ m) considerando la misma distancia y velocidad de paso que un buque mayor ($L_{pp}=236$ m $B=42$ m). De media, los movimientos del buque amarrado son un 33% menores. Las fuerzas sobre las líneas de amarre y las defensas también son menores, entre un 90%-94%. La reducción de los movimientos y fuerzas provocados por el buque menor es más importante en condiciones exigentes (alta velocidad y reducida distancia de paso).

4.3 TRÁFICO MARÍTIMO

Las principales conclusiones derivadas de los estudios de tráfico marítimo son las siguientes:

1. Los tiempos de espera viene causados principalmente por la ocupación de las terminales (los tiempos de espera aumentan rápidamente con ocupación de terminales por encima del 30%), las restricciones por nivel de marea y las restricciones operativas impuestas por los buques que acceden a la terminal de MEGA. En la situación futura analizada estos tiempos de espera se ven reducidos debido a la eliminación de las restricciones causadas por los buques de MEGA y la ampliación del canal de navegación, que independiza el acceso de los buques de la marea, eliminando la restricción por nivel de agua.
2. El número de remolcadores disponibles en el puerto de Bahía Blanca es suficiente para dar servicio al número de buques que acceden al puerto, considerando sus respectivos tiempos entre accesos.
3. La capacidad de los fondeaderos se veía un poco limitada en la situación de 2011. Se ha conseguido mejorar esta situación gracias a la definición de un nuevo fondeadero (Echo) y a la reducción de restricciones causadas por los buques de MEGA, que permiten accesos más directos a las Postas de Inflamables empleando menos tiempo en los fondeaderos, a pesar del incremento en el tráfico producido (más de 215 buques anuales).

REFERENCIAS

Groenveld, R. (2009) Service Systems in Ports and Inland Waterways, Delft University of Technology, VSSD, The Netherlands

Gans, de O. (2005) Personal Prosim Reference Manual, Waddinxveen, The Netherlands