

La simulación marítima y su incidencia en seguridad, efectividad, confiabilidad y ahorro de recursos económicos en la operación portuaria.

Guillermo A Gómez Garay – FORCE Technology, Dinamarca

Abstracto

La simulación marítima ha cobrado un auge de significativa relevancia en la operación portuaria. El uso correcto de esta herramienta de ingeniería, contribuye a juntar en una misma mesa, a autoridades marítimas, autoridades portuarias, prácticos, capitanes de puerto, ingenieros y arquitectos navales, y empresas navieras, con la posibilidad de lograr un consenso profesional único. Esta multiplicidad de profesionales, permite vislumbrar un sinnúmero de alternativas en la planificación, renovación y/o modernización de terminales portuarias y vías de navegación, solucionando de esta forma, un problema crítico, cual es el encontrar, en las etapas iniciales del análisis, la respuesta óptima que dotará a la terminal o vía de navegación, con la solución más adecuada y económica para operar de manera eficiente, segura y con alto nivel de profesionalismo. A través de ejemplos concretos de estudios realizados por FORCE Technology, en Europa, Norte y Sudamérica, y el Lejano Oriente, se podrá comprobar el impacto que esta herramienta ha demostrado tener en áreas tan críticas como lo son la seguridad, efectividad, confiabilidad, ahorro de recursos económicos y beneficios económicos en la operación portuaria. Se presentarán un conjunto de casos donde se han utilizado simuladores marinos para validar e incrementar el diseño portuario, a la vez de perfeccionar el acceso y la capacidad de maniobra de estos. Se ilustrará además, como la posibilidad de adaptar diferentes enfoques, permite no sólo resolver los problemas típicos, sino que también, el poder avizorar nuevos horizontes, como ser valorar la posibilidad de uso de barcos de mayor porte realizando una inversión mínima pero manteniendo un elevado nivel de seguridad. Esto brinda nuevas oportunidades de negocios, tanto para el puerto como para las regiones interiores del país. Es por ello que el uso de simuladores marítimos tanto en la etapa de diseño de un puerto como para su evaluación posterior en lo que a tráfico marítimo concierne, se transforma en una herramienta irremplazable, permitiendo que las decisiones correctas se tomen en tiempo entre todas las partes interesadas: navegantes, pilotos, diseñadores y autoridades.

Introducción

Hoy en día se reconoce que el adiestramiento, diseño y evaluación basada en simuladores, es uno de los métodos más eficientes para la obtención de resultados útiles y concretos. El adiestramiento regular reduce el número de accidentes, mientras que los análisis en las etapas de diseño y evaluación permiten avizorar las implicancias que las diferentes trazas tendrán en un futuro, permitiendo de esta forma una correcta decisión.

La construcción de nuevos puertos o modificación de los actuales normalmente incluye la realización de obras de envergadura, como ser rompeolas, dragados, etc. El trazado a su vez responde a una serie de parámetros de variada índole. En este contexto, los requerimientos náuticos cobran una posición destacada, dado que asegurarán tanto eficiencia como seguridad.

El lograr un puerto eficiente implica un esfuerzo interdisciplinario por la cantidad de consideraciones que se deben tener en cuenta. Tradicionalmente la faz náutica está determinada por aspectos definidos por la experiencia más una serie de guías estándar. Este tipo de alternativa se ha mostrado a lo largo del tiempo como muy costosa por sus implicancias.

La calidad de las sesiones en un simulador dependerá de varios factores, entre ellas, la experiencia de los instructores. Para el caso de navegaciones en aguas restringidas, por ejemplo el acceso a un puerto donde factores como construcciones, corrientes, tráfico, meteorología de la zona, etc., es menester que la base de datos sea lo más precisa posible. Es por ello que el correcto trazado se nutrirá de un correcto apoyo de profesionales experimentados. Sin embargo, hoy en día no se ha resuelto el serio problema que representa en la simulación, la reacción de

los buques en aguas poco profundas. Todas las referencias empíricas que existen, refieren a datos en aguas



Fig 1. Simulador del LNG asistido.



Fig 2. Simulador del remolcador

profundas, pero no hay información disponible que permita contrastar los datos empíricos obtenidos en tanques de prueba, tanques de aguas poco profundas y túneles de viento, con lo que sucede en la realidad cuando un buque navega por un canal, maniobra en una dársena, o realiza maniobras de atraque o desatraque en una terminal. Muy pocos centros de investigación hoy en el mundo utilizan recursos para realizar investigaciones en estos aspectos.

FORCE Technology en Dinamarca, ha comenzado a crear una base de datos con información empírica emitida por empresas navieras, con la respuesta que tienen diferentes tipos de embarcaciones cuando se desplazan en aguas poco profundas, lo que le permite a FORCE validar el cálculo de sus modelos matemáticos basados en el modelaje físico, logrando de esta forma un gran realismo en la respuesta de sus modelos.

El estudio basado en simuladores permitirá evaluar varias alternativas, permitiendo encontrar la solución que más se aproxime a la ideal.

Sin embargo es necesario destacar, que el corazón de la simulación está basado pura y exclusivamente en los modelos matemáticos utilizado como así también en la precisión de la base de datos utilizada. La parte visual, que es la que normalmente mira el potencial cliente, no juega en ningún momento, un rol preponderante. Para concretizar, si la base de datos es pobre y, los modelos matemáticos no responden a las respuestas que tienen los navíos en la dársena, estamos usando un juego de computación extremadamente caro, que no llevará a conclusiones valederas.

La presentación les brindará alguno de los proyectos realizados en FORCE Technology – DMI, en Dinamarca. Los ejemplos buscarán demostrar la versatilidad que la simulación ofrece y de qué manera las distintas opciones terminan solucionando el problema planteado por el cliente de manera segura, efectiva, profesional y económica.

A continuación se ofrece una reseña con las diferentes técnicas y métodos utilizados.

Enfoque basado en simuladores para el diseño y evaluación de puertos.

El simulador básicamente provee la parte virtual de este mundo real, con la inobjetable ventaja de permitir crear una serie de escenarios y evaluar a-posteriori sus posibles consecuencias. En un contexto náutico y de maniobras podemos seleccionar una serie de niveles distintos en lo que a simulación y simuladores respecta. Esto dependerá, obviamente, de los requerimientos solicitados.

- Simulador de Misión Completa utilizando consolas con todo el instrumental propio del modelo particular del buque, más la vista externa de puente.
- Simulador basado en PC donde tanto los instrumentos como la vista de puente se presentan en una pantalla de PC.
- Simulador basado en PC donde la posición actual del buque es controlada con una carta electrónica como referencia.

Debe destacarse que en los distintos simuladores desarrollados por el DMI, se utilizan los mismos modelos matemáticos de buques, variando únicamente el instrumental empleado de acuerdo con los requerimientos solicitados. Esto asegura que la modelación siempre responda a la tecnología de punta.

En un puente de simulación completa, tanto oficiales como la tripulación rápidamente quedarán inmersos en el escenario de realidad virtual, independientemente de la experiencia que estos tengan en otros simuladores.

Los simuladores anteriormente detallados operan en “tiempo real”, siendo necesario un navegante para que controle el navío. De igual forma, estos simuladores pueden ser complementados con simuladores de “tiempo acelerado”, también denominados “Fast Time”, donde el barco es controlado por un navegante “numérico”. Esto permite que se realice una gran cantidad de corridas en un muy corto intervalo. Así se puede conseguir información sumamente



Fig. 3. Modelo físico a ser probado en el tanque de pruebas.

valiosa, como por ejemplo riesgos de varado, derrotas máximas, radios de giro, etc.

El modelo matemático es el corazón del simulador. Este comenzó a desarrollarse hace más de 40 años y hoy en día se lo valida con un modelo probado “marinamente”, haciendo particular hincapié en la

velocidad. De esta manera se asegura que la respuesta del modelo en el mundo virtual sea prácticamente igual a la respuesta que brinda el buque en el mundo real. Esto es de capital importancia en las sesiones que se lleven a cabo en el simulador. En particular cuando se deba maniobrar en aguas restringidas, donde la maniobrabilidad del buque es seriamente afectada por su entorno. A continuación se detallan algunas de las características que poseen los modelos matemáticos del DMI:

Modelo de Medio Ambiente:

- Descripción del campo de corrientes (base de datos “Mike 21”)
- Contornos de profundidades
- Descripción del campo de vientos, incluyendo el comportamiento estocástico
- Características y contornos de banco
- Ondas, descripción espectral y dirección
- Defensas
- Tipo de fondo (anclas)

- Descripción visual

Modelo de Fuerza del barco:

- Hidrodinámica de aguas profundas
- Hidrodinámica de aguas poco profundas
- Aerodinámica de superestructuras
- Hidrodinámica de proximidad de bancos
- Fuerza de oleaje de 1er y 2do orden
- Acción barco-barco
- Defensas
- Hidrodinámica de combinación hélice-timón
- Hélices de proa / popa, water jets y pods
- Anclas
- Amarras
- Remolcadores

Modelos Auxiliares:

- Maquinaria de propulsión principal
- Combinador de RPM, hélice, paso variable
- Indicador de RPM
- Sistema de gobierno, piloto automático
- Cabrestantes, freno potencia, cadena
- Cabrestantes controlados por servo o manuales
- Remolcadores, potencia y estela
- Hélices de proa / popa, potencia, rotación y servos
- Controles integrados, joystick, posicionamiento dinámico

Interface Humana:

- Sistema Visual
- Controles sobre el buque
- Ayudas a la navegación, radares, ECDIS, etc.
- Controles para operadores

La influencia en las características en la maniobra del navío, se puede apreciar claramente en las figuras 4 y 5. Se puede observar tanto los efectos de aguas poco profundas como el efecto de banco.

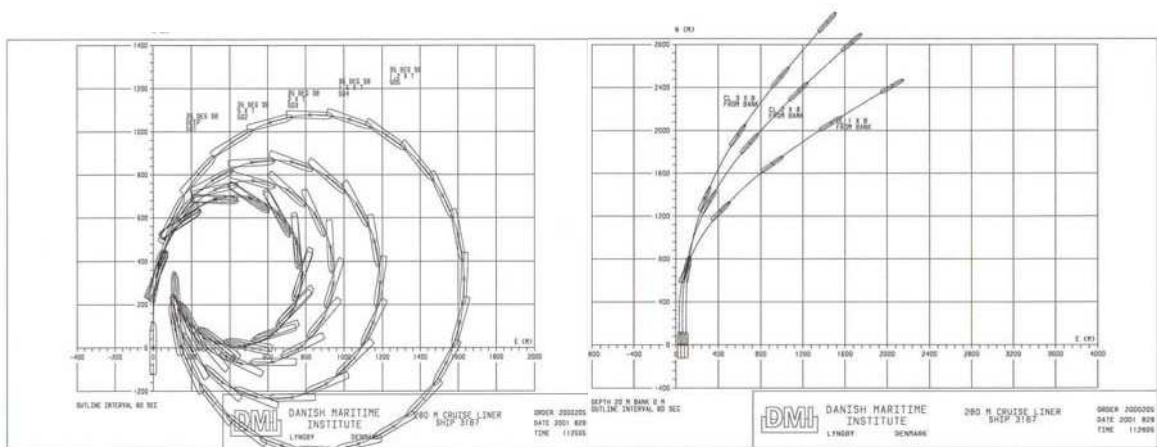


Figura 4 . Efecto de Aguas poco profundas en las características de maniobra de un navío.

Figura 5 . Efecto de “banco” en las características de maniobra de un navío.

Obviamente que si estos efectos no son modelados acorde a la realidad, la respuesta obtenida en el simulador no tendrá ninguna aplicación valedera para el estudio. Aquí se observa una vez más la importancia que conlleva el realizar el modelado con la mayor experiencia posible. Esto se consigue con expertos navegantes, ingenieros navales, arquitectos navales, pilotos y con una gran experiencia acumulada a través de la realización de estudios similares.

De utilizarse la versión en PC, el puerto en cuestión adquiere la facultad de poder desarrollar su propio centro de simulación, pudiendo de esta manera realizar sus propios estudios o programas de entrenamiento. Dada la compatibilidad existente, los modelos pueden transferirse fácilmente de los simuladores en PC a los de simulación completa.

Presentación de Casos Especiales

En el siguiente modulo se pueden apreciar los resultados prácticos obtenidos.

1. Terminal de combustible en el Reino Unido

Este es un caso particular que demuestra de manera muy concreta, la diferencia entre un simple simulador y una verdadera herramienta de ingeniería, como así también las grandes ventajas que brinda la simulación marítima. Aquí se debió investigar las probables causas de un incidente



Fig 6. Terminal de combustibles en el Reino Unido.

marítimo. La terminal está ubicada a lo largo de un extenso canal que tiene en esa zona un ancho aproximado de 700 m. De acuerdo con los procedimientos de la terminal, los buques no deben sobrepasar la terminal con velocidades superiores a los 6 kn, como modo de precaución hacia los buques tanqueros que se encuentran allí amarrados. Un contenedor post-panamax de 65,000 DWT y 295 m de eslora, completamente cargado, pasó la terminal de combustibles y, cuando este se encontraba a unos 1.500 m más adelante, el buque tanque que se hallaba amarrado, se le cortaron las amarras, derivó, se cruzó al canal y varó en la margen opuesta. En ese tiempo (año 2000), los sistemas AIS y ECDIS no estaban implementados, por lo que la verificación de la velocidad a que pasó el contenedor, no podía probarse fácilmente. El capitán del buque aseguró que su buque pasó a una velocidad de entre 5 y 6 kn.

El dictamen final del juicio fue que el buque pasó a más de 6 kn y, como consecuencia, provocó la rotura de las amarras del buque tanque y su posterior deriva, obligando a la naviera a asumir todos los costos del incidente. La empresa naviera, convencida de que su capitán había respetado la velocidad máxima, se acercó a FORCE, para averiguar si existía alguna forma de poder demostrar la velocidad real a la que había pasado el buque. El único objetivo era asegurarse que este problema no ocurría a velocidades inferiores a 6 kn para este tipo de embarcaciones a plena carga. El buque había pasado a una distancia transversal de aproximadamente 260 m del buque amarrado. Las simulaciones revelaron la causa real del incidente. Se demostró que, debido a la curvatura del canal, este buque había creado una serie de ondas que convergían en un punto, que

se hallaba muy cercano al buque amarrado. Esta convergencia motivó que las ondas entrasen en resonancia. A ello se sumó, que el buque desplazaba una masa de agua equivalente a un 30% de su desplazamiento, a unas 3 esloras a popa con una ligeramente inferior a la velocidad del buque. Cuando esta masa de agua llegó a las proximidades del buque tanque amarrado, junto con las ondas creadas durante la aproximación (resonancia), tuvieron un efecto multiplicador que accionó de manera extraordinaria sobre las amarras del buque tanque. La inspección técnica de las amarras luego confirmó que, dado el efecto combinado de ondas y masa de agua, si el buque contenedor hubiese pasado a 5 nudos, las amarras se hubieran roto de igual manera, dado el estado de desgastes que las mismas presentaban. La información de las simulaciones, con todo su fundamento matemático fue usada posteriormente en la segunda parte del juicio, donde la empresa naviera quedó libre de culpa y cargo y la naviera China debió entonces afrontar los costos acumulados del incidente.

2. Terminal de Koege, Dinamarca

La terminal de Koege, al sur de Copenhague, reviste un caso singular en lo que a simulaciones respecta. El puerto realizó un estudio de pre factibilidad para construir una nueva terminal en terrenos cenagosos al norte de la actual terminal. Al mismo tiempo se aprovecharía para expandir la terminal central y se incrementaría el calado general del puerto. Los estudios fueron aprobados y una empresa de ingeniería desarrollo las diferentes etapas de construcción, a fin de afectar de manera mínima las operaciones del puerto durante la etapa de expansión.

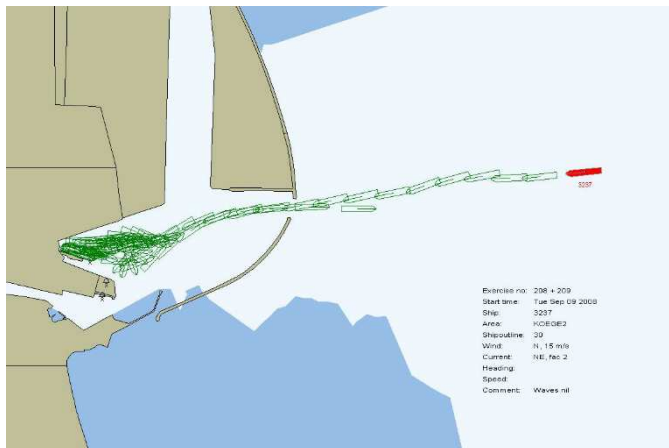


Fig 7. Diseño final puerto de Koege.

Las simulaciones probaron que el proceso de construcción debía revertirse 180°, es decir comenzando con las tareas de modificación que figuraban en las etapas finales del planeamiento, y terminando con las etapas que habían sido programadas en la etapa inicial. Las simulaciones probaron que era significativamente más fácil para los capitanes operar los navíos sin necesidad de tener que maniobrar en aguas restringidas y con marcaciones temporarias, debido a la construcción de la nueva terminal. Es decir, continuar operando en la

terminal en la terminal antigua, pero habiendo removido la escollera interna. Esto motivó un ahorro de aproximadamente 2 millones de Euros con respecto al presupuesto inicial.

3. Proyecto de Northern Gateway Pipelines en Kitimat, Canadá

Northern Gateway realizó evaluaciones socio-económicas y medio ambientales, a fin de asegurar el éxito de la futura terminal de petróleo en Kitimat, que exportará petróleo desde Kitimat en British Columbia hacia los mercados de Asia y los EEUU. Se debía asegurar el trayecto de súper tanques (VLCC), navegando durante más de 15 horas con apoyo de remolcadores de gran porte a lo largo de dos posibles rutas, que debieron ser evaluadas. Se realizaron simulaciones durante 4 años, incluyendo simulaciones en Tiempo Acelerado (Fast Time).



Fig 8. Arribo con muelle sur ocupado

El objetivo principal fue el de asegurar que cuatro diferentes tipos de buques tanques (DWT desde 110,000 hasta 340,000), pudiesen navegar seguros las dos rutas, identificando los riesgos probables e identificando las medidas que reducirían las consecuencias a un nivel aceptable. Entre otras, se llevaron a cabo las siguientes tareas de investigación: el pasaje simultáneo de dos buques en los sectores más estrechos del fiordo, velocidades mínimas y máximas de tránsito, determinar las ayudas a la navegación

necesarias, desarrollo de los criterios operacionales para atraque y desatraque en la terminal de Kitimat, situaciones de emergencia con participación de remolcadores e impacto ambiental para el caso de un accidente mayor.

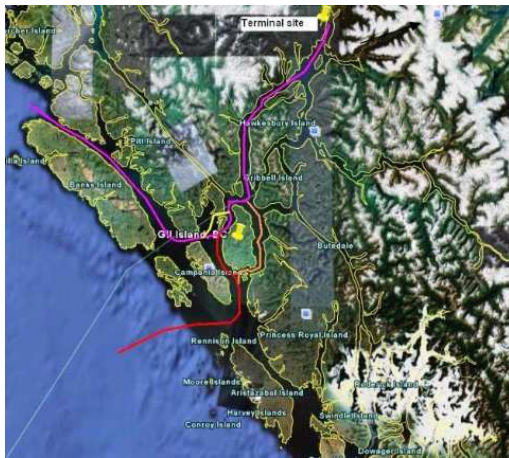


Fig 9. Rutas Norte y Sur a ser evaluadas



Fig 10. Terminal de Kitimat (Simulador FORCE).

Un debate televisado se emitió por más de una semana en la comunidad local, donde los residentes a favor y en contra del proyecto, pudieron seguir el análisis, escuchando las ventajas y desventajas que presentaban tanto opositores como defensores del proyecto. Peritos, técnicos, ecologistas, abogados y autoridades participaron en los debates. Las simulaciones, fueron la herramienta básica que determinó las ventajas y el bajo riesgo ambiental de este proyecto.



Este proyecto es conocido como “Enbridge pipeline” con un presupuesto cercano a los 6,500 millones de dólares. El proyecto incluye 209 condiciones, que se han tornado mandatorios, y que asegurarán un significativo nivel de seguridad ante potenciales accidentes, ya sea con las tuberías transportando el condensado a través del continente, o los buques tanque navegando el

canal Douglas.

Fig 11. Vista aérea de la terminal de Kitimat – British Columbia

4. Nuevo puerto de Veracruz, México

El puerto de Veracruz es el más grande pero también el más viejo de México. Nuevas simulaciones se llevaron a cabo para construir la nueva terminal, ubicada justo al norte de las nuevas instalaciones. El proyecto consta de tres fases, comenzando con la primera en el 2015, y finalizando con la última el 2023.

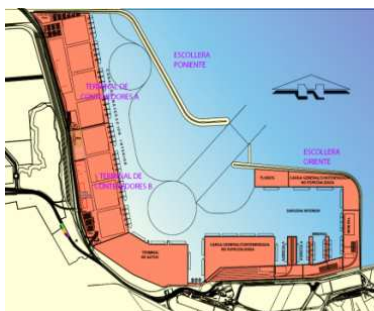


Fig 12. Diseño de las nuevas

Se evaluaron 14 terminales y 32 nuevas posiciones. Se validó la nueva dársena de maniobras. Se desarrollaron las estrategias de apoyo de remolcadores para 4, 3 y 2 remolcadores, hallándose el bollard pull necesario para llevar a cabo con seguridad las maniobras. Se establecieron los procedimientos para hacer firmes los remolcadores a los diferentes tipos de navíos con la presencia de una significativa onda de fondo. Se desarrolló el manual operativo del puerto, encontrando las limitaciones operativas para cada tipo de embarcación. El dato más significativo fue el confirmar que las dimensiones del rompeolas eran exageradas, reduciéndose considerablemente el tamaño de este, con el consiguiente ahorro en la inversión.

Fig 13. Lugar donde se construirá el puerto



Fig 14. Contenedor clase "E" – Maersk Sealand

Por último, se descubrió un potencial riesgo para la operaciones con contenedores de la clase E (Emma Maersk), de la empresa Maersk (LOA=400 m, T=16 m, Br=58 m, Máq. 109.000 HP, 20.000 TEU) estableciéndose una revisión al programa de dragado.

5. Gioia Tauro, Italia

Las simulaciones llevadas a cabo en este puerto ubicado en el extremo sur de la península itálica, permitieron evaluar la operatividad del puerto de acuerdo con las condiciones climáticas típicas de la zona y utilizando los modelos matemáticos correspondientes a los tres portacontenedores más grandes que posee la empresa Maersk y que hacen escala en ese puerto. Entre otras cosas las simulaciones sirvieron para:



Fig 15. Contenedor clase "E" – Maersk Sealand

- Determinar los verdaderos límites operacionales del puerto.
- Disminuir el tiempo de inactividad del puerto de aproximadamente 35 días al año, a 6 días al aunar criterios de maniobras dentro del cuerpo de Pilotos Prácticos.
- Determinar las necesidades de adiestramiento para cada uno de los grupos de Pilotos.
- Producir un Manual Operativo del puerto (ayuda en la toma de decisiones).
- Establecer los nuevos requerimientos de remolcadores para dar seguridad a la maniobra con buques de gran porte.

- Estudiar modalidades de maniobra particulares para las atípicas condiciones climatológicas y portuarias.
- Establecer las estrategias de remolque para situaciones críticas.

Conclusiones

La experiencia nos muestra que un simulador marítimo de alta tecnología, es una herramienta eficiente como para crear un foro que atraiga a su vez a diseñadores portuarios, pilotos y autoridades marítimas, permitiendo de esta manera, ver el contexto general de todo el espectro a ser evaluado.

Con el uso de simuladores de tiempo real y tiempo acelerado, ya sea en la fase de diseño o fases posteriores, se brinda al usuario la incomparable oportunidad de poder elegir entre diferentes propuestas de una manera rápida, concreta y altamente eficaz.



Fig 16. Dos remolcadores y el buque asistido interactuando en tres simuladores.

Por otro lado las simulaciones en tiempo acelerado le brindan al usuario una gran base de datos estadísticos, dando una clara idea de la factibilidad de implementación de las diferentes trazas con respecto a varaduras o pasaje seguro.

El simulador como herramienta de ingeniería es usado en la actualidad por armadores, para validar puertos en términos de seguridad y operatividad.

El factor humano por su lado, juega un rol fundamental en las simulaciones de tiempo real. Estas simulaciones le otorgan al usuario una verdadera comprensión de los problemas que pueden encontrarse cuando se maniobra en condiciones climatológicas extremas o con medios que no necesariamente se ajustan a los requerimientos básicos, impactando en los aspectos psíquicos del Capitán y el Piloto Práctico. Estos parámetros pueden hoy medirse con gran precisión, determinando por ende el factor de riesgo de manera muy precisa.

Los casos aquí presentados ilustran sobre manera, el tremendo impacto que las simulaciones, tanto en tiempo real como acelerado, tienen en las etapas de diseño y composición de un Puerto. Sin embargo, también demuestran que las sesiones de simulación pueden perfectamente ser adaptadas a los requerimientos particulares del cliente, yendo desde evaluaciones rápidas a escala general, hasta programas de elevada complejidad, donde los detalles deben quedar perfectamente definidos juntamente con el adiestramiento a desarrollar a posteriori.

En general, las simulaciones le brindan a las partes interesadas en el diseño y manejo del Puerto, un método confiable para determinar la información específica, como la posterior etapa de toma de decisiones. De todas maneras debe enfatizarse que el resultado de la simulación es enteramente dependiente de los ingredientes que la conforman. Esto no es otra cosa que el producto de una gran experiencia acumulada, juntamente con un acabado conocimiento en modelación, lo que determinará el resultado final.

Referencias

Manoeuvring studies of escorted tankers to and from Kitimat – Real Time Simulations of tankers passing different routes. [FORCE Technology informe N° 108-29930] January 19th, 2010]

PIANC: Approach channels a final report of joint work group PIANC and IAPH, in cooperation with IMPA and IALA supplement to bulleting N° 95 (June 1997)

IALA Guideline 1058: The Use of Simulation as a Tool for Waterway Design and AtoN Planning – June 2011

Investigación de navegaciones en el puerto de Koege. Dos alternativas: fase de construcción y diseño final. [FORCE Technology informe N° 108-26013]

Manoeuvrability and operational study, Veracruz New Port Development, Mexico. [FORCE Technology informe N° 108-21922] July 10th, 2010]

Manoeuvrability and operational study, Port of Gioia Tauro, Italy. [FORCE Technology Confidential report]