

# NUEVO PUERTO EXTERIOR DE CIUTADELLA. ESTUDIOS NÁUTICOS PARA EL PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN Y ENTRADA EN SERVICIO



José Ramón Iribarren<sup>1</sup>, Ismael Verdugo<sup>1</sup>, Carlos Cal<sup>1</sup>,  
José María Berenguer<sup>2</sup>, José Luis Monsó<sup>3</sup>, Guillermo Alomar<sup>4</sup>

## RESUMEN

El **Puerto Interior de Ciutadella (Menorca)** se ubica al fondo de una profunda cala pres-tando un gran abrigo frente a los vientos y oleajes dominantes, lo que le ha convertido en destino de líneas de pasajeros. Sin embargo, presenta dimensiones limitadas para buques comerciales y está sujeto al fenómeno de las “rissagas” (resacas), oscilaciones del nivel del mar que periódicamente provocan daños a las embarcaciones menores. Por otra parte, el oleaje de invierno ha dificultado el acceso al canal, causando retrasos y desvíos de los buques a Mahón. En el año 2004 se planteó la construcción del Puerto Exterior de Ciutadella con el objetivo de dar servicio adecuado al tráfico



Figura 1. Puerto interior de Ciutadella.

---

<sup>1</sup> Siport21.

<sup>2</sup> Berenguer Ingenieros.

<sup>3</sup> Europrincipia.

<sup>4</sup> Balearia.

## INFRAESTRUCTURAS, LOGÍSTICA Y SOSTENIBILIDAD

actual y permitir el acceso de embarcaciones de mayor porte, además de ofrecer el suficiente abrigo a los mismos y evitar el problema asociado de las rissagas. En este trabajo se explica parte del proceso desde los diseños iniciales hasta su final puesta en servicio el pasado mes de Julio de 2011.

### UBICACIÓN E HISTORIA

El Puerto Interior de Ciutadella se localiza en la Bahía de Ciutadella en la costa Oeste de la isla de Menorca, al abrigo del Cabo de Banyos. Se trata de un puerto natural que ofrece abrigo a los vientos y oleajes reinantes en la zona y que permite el acceso de embarcaciones de recreo y de buques de pasaje de hasta 83 m de eslora total (ferry convencional Nura Nova con 78.0 m de eslora total y Fast-ferry monocasco Ramón Llull con 83.35 m de eslora total).



Figura 2. Reviro del fast-ferry "Ramón Llull".

El interés por atraer tráfico de mayores dimensiones a la zona estimuló la idea de la construcción de un nuevo Puerto Exterior en la zona alrededor del año 2004. En junio de 2006 se produjo la rissaga más importante en 20 años, con fuertes oscilaciones del nivel del mar provocaron desperfectos en numerosas embarcaciones. Pese a tratarse de un área muy sensible a la afección ambiental este hecho impulsó aún más la necesidad de un puerto de mayor envergadura para la zona Oeste de la isla. En la siguiente figura se puede observar una la ubicación del puerto interior y del Nuevo Puerto Exterior con su configuración actual.



Figura 3. Localización del Puerto Exterior de Ciutadella.

## EL FENÓMENO DE LA RISSAGA

Entre los meses de junio y septiembre suelen producirse, en algunas bahías y puertos de las islas Baleares y del NE español, oscilaciones del nivel del mar con períodos en torno a los diez minutos y elevaciones entre cresta y seno de alrededor de un metro. Sin embargo, en el puerto de Ciutadella, situado en una bahía alargada y poco profunda en la costa occidental de Menorca, es donde el fenómeno, conocido localmente con el nombre de rissaga, adquiere una mayor intensidad, llegando a superar los dos metros.

Estas fuertes oscilaciones del nivel del mar, en Ciutadella, están generalmente relacionadas con una débil circulación ciclónica en superficie sobre el Mediterráneo occidental y con un fuerte gradiente entre el aire cálido sobre el mar y frío sobre la península Ibérica. Asimismo, la estructura vertical de la atmósfera sobre las islas Baleares presenta, durante las rissagas, unas características especiales que se traducen en unas condiciones idóneas para la generación de ondas gravitatorias en la atmósfera que pueden ser consecuencia de inestabilidades barométricas. En muchos casos, se han podido apreciar simultáneamente a las rissagas en Ciutadella, unas fluctuaciones en la presión atmosférica de pequeño período.



Figura 4. Fotos de la rissaga en el Puerto Interior de Ciutadella.

## INFRAESTRUCTURAS, LOGÍSTICA Y SOSTENIBILIDAD

Pese a todo, la justificación para que se den oscilaciones del nivel del mar de la magnitud que suponen las rissagas está en la configuración física del puerto. El Puerto de Ciutadella ocupa una cala natural de aproximadamente 1 km de longitud, 50 m de anchura y 5 m de profundidad media, y está orientado de suroeste a nordeste, partiendo de la bocana del mismo. Entre la cala y el mar abierto hay un talud donde aumenta rápidamente la profundidad. Esta configuración supone que la oscilación libre del agua en el puerto de Ciutadella tiene un periodo de aproximadamente 10 minutos. Se entiende por periodo de oscilación libre del puerto al tiempo que transcurre entre dos momentos de máxima (o mínima) altura del agua ante algún estímulo recibido en la bocana del mismo.

Un aumento en la presión atmosférica tiende a producir un descenso en el nivel del agua del mar. Las subidas bruscas de presión atmosférica generadas por las ondas gravitatorias producen también este efecto, aunque tiende a verse compensado rápidamente con las bajadas de presión que suceden a continuación, por lo que el nivel del mar apenas sufre variaciones. Sin embargo, si los aumentos cíclicos de la presión atmosférica coinciden con los momentos en los que el agua sobre el puerto está en su mínimo nivel a causa de su oscilación normal, es decir, si hay **resonancia** entre ambas oscilaciones, las variaciones del nivel del agua del puerto pueden ser cada vez de mayor amplitud, pudiendo alcanzar la magnitud extraordinaria característica de las rissagas. Por tanto, para que se dé el fenómeno de la rissaga no es tan importante que haya variaciones grandes de la presión atmosférica sino que estas variaciones se produzcan con una frecuencia similar a la oscilación normal del puerto.

### PUERTO EXTERIOR DE CIUTADELLA

Siport21 ha realizado diferentes estudios de maniobra en las diversas plantas propuestas para el Puerto Exterior de Ciutadella hasta definir la alternativa final, con un diseño original y efectivo frente a temporales. La dársena que configura el puerto está formada por un dique interior de cajones de traza circular que parte de la costa en dirección perpendicular y se cierra en dirección N. A partir de 90 m de la costa, sobre este dique interior se superpone un dique exterior de baja cota de coronación, por lo tanto susceptible de ser rebasado por las olas de los temporales mayores.

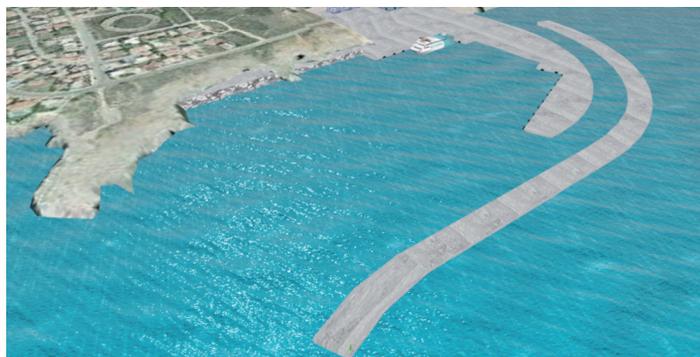


Figura 5. Planta del Puerto Exterior de Ciutadella.

Su traza, en el primer tramo, en el que es paralelo al dique interior, es asimismo circular, pasando a traza recta una vez superado el extremo de éste. Entre ambos se abre un canal de 33 m de anchura para la disipación de la energía de las olas que rebasen.

A la singularidad del diseño de doble dique de

abrigo, con cuenco amortiguador, se añade el diseño de hexágonos disipadores de oleaje sobre el dique exterior y las cámaras disipadoras a nivel del mar en ambos diques (dique interior y dique exterior). Todos estos elementos permiten la rotura del oleaje y disipación de la energía del mismo, reduciendo los rebases y los esfuerzos sobre el dique. Este innovador diseño ha conseguido además minimizar los impactos ambientales derivados de su interferencia con el paisaje gracias a su baja cota de coronación.

El Nuevo Puerto exterior dispone de tres muelles de atraque de 146, 116 y 94 m de longitud para el atraque de ferries, dos de los cuales están preparados para el futuro atraque de cruceros de mayores dimensiones. Los estudios de maniobra se han llevado a cabo mediante el Simulador en Tiempo Real de Siport21.

### **SIMULADOR EN TIEMPO REAL**

El simulador de maniobra de buques en tiempo real de Siport21 (modelo MERMAID 500) ha sido desarrollado por MARIN-MSCN (Holanda)). Este sistema reproduce el comportamiento de un buque específico durante la ejecución de las maniobras de acceso o salida de puerto, sometido a la acción de los agentes ambientales (viento, corriente, oleaje, profundidad limitada, succión de orilla, etc.) y auxiliado, en su caso, por remolcadores.

El Capitán o Práctico usuario del sistema opera en un puente con instrumentación real y radar sintético, percibiendo el movimiento del buque en tiempo real sobre una pantalla de 260° de amplitud horizontal y 12 m de diámetro, así como los sonidos ambientales.

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. 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.



*Figura 6. Simulador en tiempo real.*

# INFRAESTRUCTURAS, LOGÍSTICA Y SOSTENIBILIDAD

El sistema y método de trabajo aplicado 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.

## **Descripción del Equipo**

El trabajo en el simulador supone la realización de una serie de tareas, entre las que destacan:

### ***Construcción del modelo de simulación***

Una vez determinadas las condiciones a simular, se construye un modelo virtual de la zona portuaria, en el que se incluyen los siguientes conceptos:

Disposición del puerto:

El modelo incluye información de la topografía y batimetría de la zona de interés con alto grado de detalle. Se construye un modelo visual de la zona, que permite presentar en tiempo real durante la simulación la topografía del entorno, las estructuras portuarias existentes (diques, muelles, etc.), edificios, tanques y equipos de carga/descarga, así como señalización marítima. En general, todos aquellos elementos y estructuras que supongan una referencia visual relevante para el desarrollo de las maniobras.

Condiciones físicas y meteorológicas:

El modelo construido permite incluir información detallada de las condiciones físicas y meteorológicas específicas de la zona. En particular: Ciclo de marea con el campo de corrientes asociado (velocidad y dirección a lo largo del tiempo); Campos de oleaje, con la distribución de alturas y direcciones locales asociadas a los principales sectores de oleaje incidentes; Campos de viento, con la distribución de velocidad y dirección local asociada a los principales sectores de viento, incluyendo información sobre la variabilidad del viento (rachas).

Buques y remolcadores:

Se emplean modelos hidrodinámicos de los buques objeto de estudio que reproducen adecuadamente el comportamiento de éstos durante la maniobra, navegando en aguas profundas o de calado limitado y sometidos a la acción de las corrientes, el oleaje y el viento.

El modelo puede incluir también la presencia de buques atracados en los muelles próximos, del tipo y dimensiones adecuados, que pueden activarse para navegar durante el desarrollo de la simulación si es necesario.

En el mismo sentido, se incluyen los remolcadores necesarios para la ejecución de las diversas maniobras, teniendo en cuenta sus dimensiones principales, potencia, tiro a punto fijo y características del sistema propulsor.

### ***Simulación de maniobras en tiempo real***

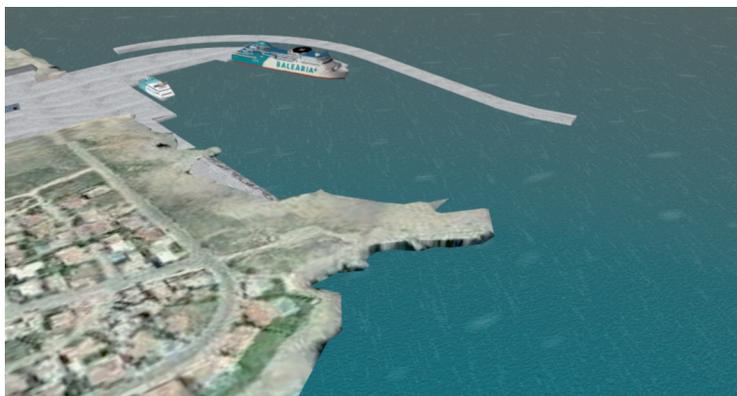
El Capitán o Práctico usuario del sistema opera sobre la reproducción de un puente de mando con instrumentación real y radar sintético, percibiendo visualmente el movimiento del buque en tiempo real, así como los sonidos ambientales (máquina del buque propio, viento, sirenas y bocinas de buques próximos, etc.).

La instrumentación disponible en el puente incluye elementos de control (telégrafo de órdenes a la máquina, timones, hélices auxiliares de maniobra), indicadores (compás, ecosonda, corredera electromagnética, corredera Doppler, velocidad y dirección del viento, indicadores de rpm y ángulo de timón, reloj, etc.) y un sistema de intercomunicación con la terminal, buques próximos y remolcadores.

El radar muestra una imagen sintética del entorno del buque, sincronizada con la simulación, con presentación Norte arriba/proa arriba, alcance variable, anillos de distancia y línea de fe, entre otras utilidades. La señal es sensible a efectos ambientales, como la lluvia, etc.

La imagen del entorno vista desde el puente está generada por ordenador mediante un sistema visual de altas prestaciones, que permite el tratamiento de imágenes sombreadas y texturadas (superposición de fotografías reales en la imagen) con elevada velocidad de refresco. Se presenta sobre una pantalla de 260° de amplitud horizontal, 30° de amplitud vertical y 12 m de diámetro, que permite una correcta percepción visual en el desarrollo de las maniobras de aproximación y una inmersión total en el entorno simulado. El punto de vista puede ser modificado de manera continua en tiempo real, a voluntad del maniobrista, proporcionando visión desde el centro del puente o los alerones, así como en dirección a la proa, traveses o popa, y en general, a cualquier ángulo, lo que resulta de especial utilidad durante el desarrollo del atraque y desatraque. Es posible realizar maniobras en condiciones diversas de iluminación, tanto de día como al amanecer, en el crepúsculo o de noche, con las luces de señalización y culturales adecuadas. Igualmente, pueden fijarse condiciones de visibilidad dependientes de la intensidad de niebla, así como chubascos y nubosidad.

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, por efecto del oleaje, viento,



*Figura 7. Imagen virtual del Puerto Exterior de Ciutadella.*

## INFRAESTRUCTURAS, LOGÍSTICA Y SOSTENIBILIDAD

etc.). Permite reproducir de forma muy flexible buques de tipología variada, con sistemas de propulsión y gobierno diversos (motor/turbina,  $\frac{1}{2}$  hélices propulsoras, paso fijo/variable,  $\frac{1}{2}$  timones, hélices transversales de maniobra, etc.). Su concepción admite el desarrollo de maniobras de aproximación y atraque/desatraque, con o sin remolcadores, así como de fondeo y amarre.

Las características de maniobrabilidad de los buques, recogidas en los **coeficientes hidrodinámicos** (constantes de proporcionalidad entre fuerzas y movimientos y sus derivadas), 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 (círculo de evolución, maniobra de zig-zag, etc.).

El modelo de simulación resuelve las ecuaciones de movimiento del buque, del tipo de **Abkowitz**, considerando los movimientos en el plano (avance, deriva y guiñada). Los efectos de primer orden del oleaje dan lugar a movimientos en la vertical (altea, cabeceo, balance) y guiñada obtenidos básicamente a través de funciones de transferencia entre las series de oleaje utilizadas y los movimientos correspondientes del buque. En la evolución de éste se considera la influencia del viento (campo local con viento racheado), la corriente (campo con definición local variable con el tiempo), el oleaje (fuerzas de primer y segundo orden según la altura, dirección y período locales), la profundidad limitada, efectos de succión de orilla en áreas confinadas, "squat" y fuerzas de colisión (con defensas, estructuras u otros buques).

El puesto de control del sistema de simulación permite actuar sobre gran número de variables durante la ejecución de la maniobra. En particular, provocar averías sobre el buque simulado (pérdida parcial o total de la potencia propulsora, pérdida parcial o total de la capacidad de gobierno, bloqueo del timón, etc.) o errores de funcionamiento o lectura en los instrumentos (bloqueo, deriva, amplificación errónea, etc.). En el mismo sentido, y en cualquier momento de la simulación, es posible alterar las condiciones meteorológicas de referencia (variaciones progresivas en la velocidad y dirección del viento, el oleaje o la corriente), así como la visibilidad (niebla o chubascos de intensidad variable).

La modelización de las fuerzas de remolque es igualmente muy completa. Pueden definirse y visualizarse hasta ocho remolcadores de diferentes tipos (propulsión convencional, Voith- Schneider, azimutales) y dimensiones, para los que se establece con



Figura 8. Puesto de Control del Simulador.

precisión la potencia y tiro a punto fijo. Se definen también diversas formas de trabajo (tirando sobre cabo, carnero, retenida, etc.). En cada caso, se reproduce fielmente el proceso de aproximación al buque remolcado y amarre, y se calcula en cada instante el tiro eficaz, dependiente de gran número de variables (tipo y potencia del remolcador, velocidad de evolución, posición con respecto al buque remolcado, ángulo de tiro, etc.).

Las acciones de los remolcadores se llevan a cabo por un técnico diferente del ejecutor de la maniobra y situado en un local apartado, previa comunicación mediante un interfono. De este modo, se reproducen las eventuales dificultades de comunicación y comprensión de las órdenes.

También es posible provocar averías sobre los remolcadores, como pérdidas de potencia o roturas del cabo de amarre. Desde el puesto de instructor se puede controlar la evolución de hasta 50 buques presentes en el área de simulación, ya sea amarrados, fondeados o navegando. Los modelos de estos buques son igualmente muy completos, y su comportamiento es sensible a la acción del viento, el oleaje y la corriente. Navegan gobernados desde el puesto de control, siguiendo un trayectoria predefinida con velocidad programada en cada punto, si bien estos dos parámetros pueden ser modificados en tiempo real.

### **Análisis de resultados**

El sistema de simulación incorpora aplicaciones para el análisis de las simulaciones específicamente adaptadas a ingeniería portuaria y operaciones náuticas. Tras llevar a cabo una simulación, se producen varios tipos de resultados:

Tablas de valores instantáneos de un gran número de variables (paso, tiempo transcurrido, distancia recorrida, ángulo y velocidad de giro del timón, revoluciones del motor, componentes de velocidad y aceleración del barco, componentes de velocidad y aceleración de la corriente, fuerzas y momentos hidrodinámicos, fuerzas y momentos generados por el viento, fuerzas y momentos debidos al oleaje, órdenes a los remolcadores y fuerzas y momentos resultantes, etc.).

**Gráficos de valores instantáneos.** Un programa auxiliar produce gráficos que recogen la evolución de las diferentes variables mencionadas en función del tiempo o de la distancia recorrida. Permite superponer los valores de diferentes simulaciones o realizar un análisis estadístico que calcule valores medios y desviaciones a lo largo de los diferentes tramos de la maniobra.

**Gráfico de trayectoria.** Es posible elaborar un dibujo en planta que recoge el contorno del puerto y la costa, junto con la posición del buque, los remolcadores y otros buques presentes en la zona a intervalos de tiempo prefijados. Gráfico de campos de viento, oleaje y corrientes. Igualmente, es posible obtener un dibujo en planta con la distribución de vientos, oleaje o corrientes reproducida en la simulación, mediante una representación vectorial superpuesta al contorno del puerto.

**Gráficos de área ocupada.** Agrupando varias simulaciones realizadas en las mismas condiciones, pueden elaborarse gráficos en planta que representen el área barrida

# INFRAESTRUCTURAS, LOGÍSTICA Y SOSTENIBILIDAD

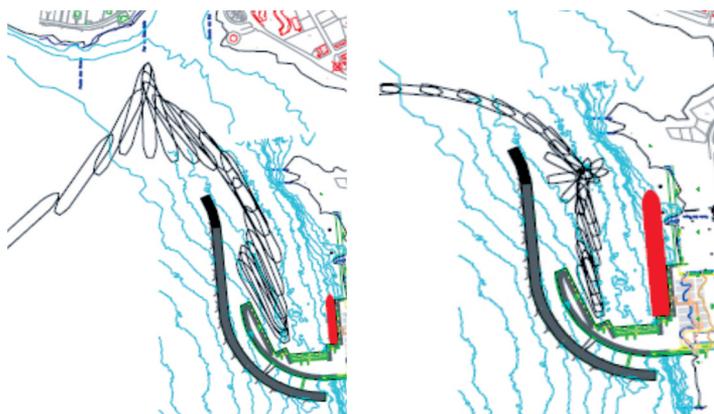


Figura 9. Gráficos de trayectoria de las maniobras de entrada.

por el buque a lo largo de la maniobra, ya sea como envolvente de varias realizaciones o, tras un análisis estadístico, como las áreas ligadas a determinadas probabilidades de excedencia o a intervalos de confianza.

## METODOLOGÍA EMPLEADA

Para calcular el espacio navegable requerido por los diferentes buques en las condiciones meteorológicas analizadas se analiza el área ocupada durante la maniobra que se define a partir de una trayectoria de referencia, sobre la que se marcan distancias recorridas. A su vez, en esta trayectoria se fijan secciones transversales, en cada una de las cuales se define el ancho navegable. El análisis se ha realizado con secciones de cálculo cada 25 m.

Tras cada simulación de una maniobra, se almacenan en disco las posiciones sucesivas del buque. Concretamente, en cada sección de las anteriores se conocen las posiciones del extremo de babor del buque (proa o popa), de su centro geométrico y del extremo de estribor (proa o popa). De este modo, puede calcularse el área ocupada por el buque en su evolución como la envolvente de las diferentes posiciones de sus extremos. Una vez repetida la maniobra varias veces por el mismo barco, puede calcularse el valor medio y la desviación estándar de dichas tres posiciones sobre cada una de las secciones. Con ello se define una distribución normal que explica estadísticamente el área ocupada por el buque (ver figura 10).

Los resultados se presentan en tres gráficos:

- Dos gráficas de Áreas Barridas:
  - Envolvente de todas las simulaciones realizadas.
  - Envolvente-1, obtenida eliminando la maniobra más extrema en cada sección.
- Dos curvas de excedencia para la Distribución Normal:
  - 10%, con las posiciones extremas de los costados del buque asociadas al 10% de excedencia (1 buque de cada 10 sobrepasará los límites de esa zona).

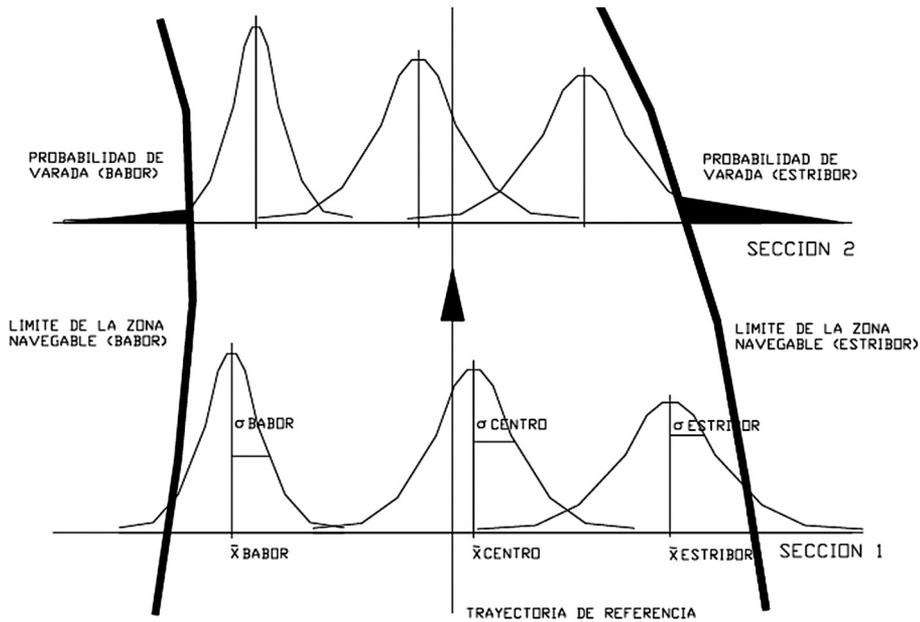


Figura 10. Distribución normal de la posición del centro y extremos del buque.

- 1%, con las posiciones extremas de los costados del buque asociadas al 1% de excedencia (1 buque de cada 100 sobrepasará los límites de esa zona).
- Dos curvas con las Bandas de Confianza:
  - 1%, con las posiciones extremas de los costados del buque asociadas al 1% de excedencia (1 buque de cada 100 sobrepasará los límites de esa zona).
  - con 90%, con las banda de confianza al 90% de las curvas de excedencia anteriores.

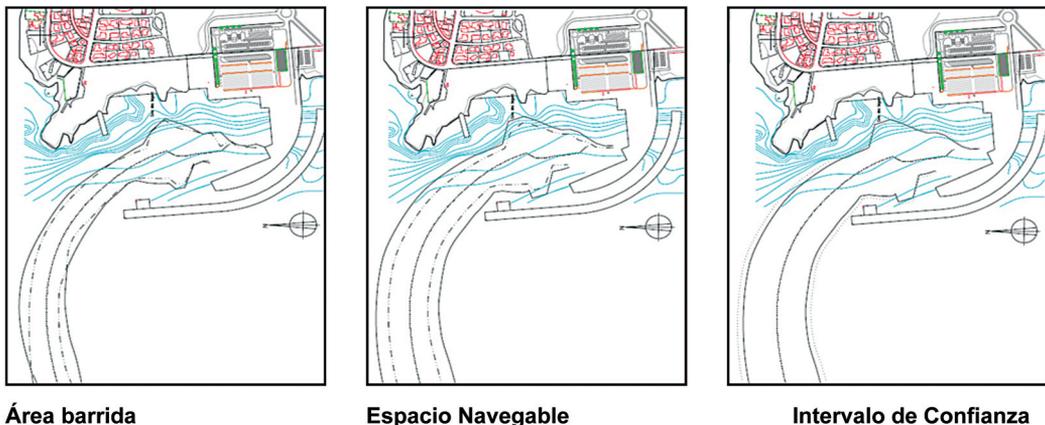


Figura 11. Gráficos para el análisis de resultados.

## INFRAESTRUCTURAS, LOGÍSTICA Y SOSTENIBILIDAD

Estos gráficos permiten apreciar rápidamente las zonas de riesgo en la maniobra y comparar las distintas condiciones meteorológicas.

La probabilidad de colisión o invasión en cada una de las secciones puede calcularse entonces entrando con los límites laterales de la zona navegable en las sucesivas distribuciones normales. La cola inferior (por babor) o la cola superior (por estribor) darán la probabilidad de navegar –en cada sección considerada– por fuera de la zona segura y constituyen un indicador aproximado de cuáles son las zonas de riesgo y en qué medida. En sentido contrario, pueden calcularse las necesidades de espacio asociadas a un determinado nivel de excedencia.

### ESTUDIOS DE MANIOBRA

Siport21 ha estado muy involucrado en el desarrollo del puerto exterior desde su origen, en las fases conceptuales participando en la valoración de los diseños iniciales hasta su desarrollo final. A lo largo de los últimos años ha desarrollado varios estudios de maniobra en los que se ha analizado la operatividad del puerto en función de las condiciones meteorológicas y del tamaño de buque para el que se diseñó el puerto.

Precisamente el **tamaño del buque** ha sido un parámetro crítico en el diseño del puerto. Por un lado, existía la necesidad de acoger buques de mayores dimensiones a los que hasta la fecha accedían al Puerto Interior de Ciutadella (en torno a los 80 m de eslora total). Sin embargo era necesario minimizar el impacto de la obra, tanto desde el punto de vista medioambiental como desde el punto de vista de un incremento descontrolado del turismo. Por estos motivos se partió de un diseño inicial válido para **buques de hasta 130 m de eslora total**. La siguiente figura muestra uno de los diseños preliminares del puerto exterior.

En el estudio “Simulación de Maniobras de Buques. Proyecto Constructivo de Ampliación del Puerto de Ciutadella (Menorca)”, realizado por Siport21 en Febrero de 2007 se analizaron las condiciones de acceso para los buques de diseño iniciales.

En esta fase del estudio y teniendo en cuenta la planta general de la figura anterior (con un pequeño contradique en el lado de costa y un martillo en el muelle de abrigo) se alcanzaron las siguientes conclusiones:

La planta propuesta garantizaba altos niveles de operatividad del puerto (en torno al 97%, unos 354 días al año) para los buques analizados (dos ferries de 100 m y 130 m de eslora total). Se obtuvieron además las siguientes conclusiones:

Se recomendaba no superar los 130 m de eslora total para el buque máximo que realizase las maniobras con reviro en el interior de la dársena del puerto exterior.

Además se fijaron límites operativos para cada uno de los buques estudiados que garantizaban una alta operatividad de la planta propuesta.

Sin embargo, el creciente mercado de cruceros y el aumento de los tamaños de los buques de este tipo, unido a las limitaciones existentes en el Puerto de Mahón (bu-

ques de hasta 220 m de eslora), provoca un interés justificado en atender desde el Puerto de Ciutadella la demanda de este mercado, sin que ello afecte al tráfico de Mahón. Por este motivo se plantea el analizar la viabilidad del acceso de buques de entre **250 y 300 m** de eslora al Puerto Exterior de Ciutadella.

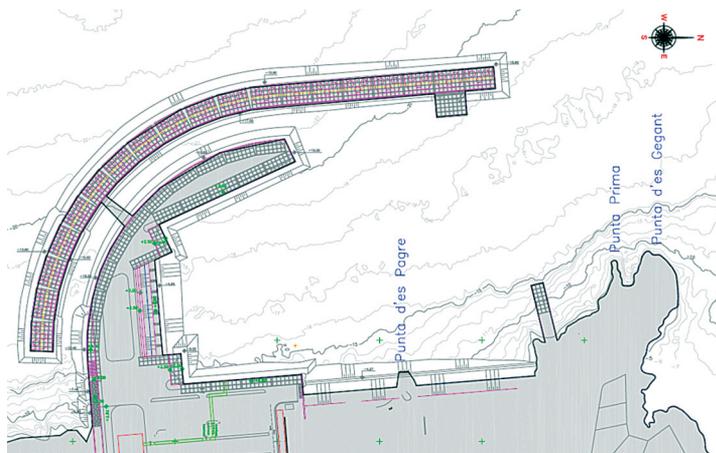


Figura 12. Planta Preliminar del Puerto Exterior de Ciutadella.

Se plantea pues un problema de partida, pues el puerto se concibió inicialmente para buques de menores dimensiones. La nueva necesidad obliga a definir una estrategia de maniobra alternativa, con reviro exterior, a la vez que se analizaron diversas variantes de la planta inicial para mejorar el acceso de estos buques, manteniendo un grado de abrigo suficiente a la dársena del puerto. Finalmente se pudo concluir que el acceso de **buques crucero de 250 m** es viable con los vientos no superiores a 20 nudos de intensidad, supuesta una prolongación del dique de 2 cajones (80 m) con alineación abierta (335°). Por otra parte, se observó que el oleaje debía limitarse a  $H_s=1.5$  m para permitir un buen control del buque en la zona de parada y reviro, reduciendo fuerzas de deriva y movimientos de balance y guiñada. Por otro lado, el acceso del crucero de 300 m se consideró viable con vientos de hasta 15 nudos de intensidad, supuesta una prolongación del dique de 2 cajones (80 m) con alineación abierta.

El tráfico de cruceros en la isla de Menorca se concentra principalmente en los meses de verano, por lo que las condiciones meteorológicas son más moderadas que el resto del año. De este modo, si bien los límites operativos son más exigentes, la operatividad del

	Velocidad / Altura de la ola	Dirección	Operatividad	
			Porcentaje	Días/Año
Ferry 100 m	25 n - 1.0 m	NNE	96.7%	353
	25 n - 2.0 m	WNW		
	20 n - 1.5 m	SW		
Ferry 130 m	25 n - 1.0 m	NNE	98.0%	358
	25 n - 2.0 m	WNW		
	25 n - 2.0 m	SW		

Tabla 1. Límites operativos.

# INFRAESTRUCTURAS, LOGÍSTICA Y SOSTENIBILIDAD

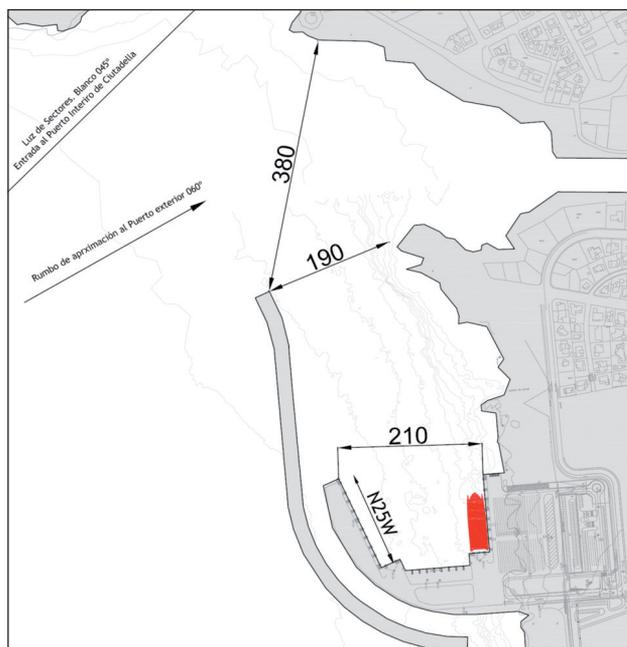


Figura 13. Planta Definitiva del Puerto Exterior de Ciutadella.

puerto sigue siendo considerablemente buena, teniendo en cuenta las características del tráfico analizado.

En la siguiente figura se muestra la planta definitiva del puerto en la que se detallan las dimensiones principales del puerto en los espacios de maniobra disponibles. Se observa que se eliminaron el martillo y contradique aumentando el ancho de la bocana de acceso al puerto.

Una vez concluidos los estudios de maniobrabilidad del Nuevo Puerto Exterior de Ciutadella, surgió un inconveniente adicional. A poco menos de un mes de la inauguración, la compañía Balearia tuvo la necesidad de acreditar convenientemente

el análisis específico de maniobrabilidad del ferry "**Martín i Soler**", de 165 m de eslora total, y del Fast Ferry Catamarán "**Jaume II**" de 81.15 m de eslora total en las nuevas instalaciones. En este caso, las maniobras se debían completar por parte de los propios Capitanes del buque, de manera que el estudio sirviera como proceso de entrenamiento en el simulador mediante el cual se practicasen las diferentes estrategias de maniobra ante las condiciones meteorológicas planteadas. Un punto significativo a destacar es que la Dirección General de la Marina Mercante, con carácter transitorio, mientras no se hubiese designado al Práctico del Puerto, permitió operar a buques tipo ferry en los que sus capitanes tuviesen acreditada experiencia en el mando del buque y hayan acreditado su aptitud para la maniobra en un simulador en tiempo real.

La modelización numérica de ambos buques se completó a partir de la información facilitada por la compañía Balearia (características principales, pruebas de maniobra y planos de disposición general). El primero de ellos es un ferry de 165.3 m de eslora total y 25.6 m de manga con 5.8 m de calado a plena carga. Este buque dispone de dos hélices de maniobra a proa de 1000 kW cada una que, junto con la doble línea de ejes con dos timones, le otorgan muy buenas cualidades de maniobra, pese a su elevada obra muerta. Por otro lado el catamarán dispone de un sistema de propulsión y gobierno compuesto por 4 waterjets orientables y cuchara reversible para gobierno y propulsión.

En el estudio se dedujo que el acceso de ambos buques es viable en las tres condiciones meteorológicas estudiadas con vientos de hasta 25 nudos y hasta 2.0 m de al-

## INFRAESTRUCTURAS, LOGÍSTICA Y SOSTENIBILIDAD



Figura 14. Modelos virtuales de los buques “Martín i Soler” y “Jaume II”

tura de ola, teniendo en cuenta que el ferry de mayores dimensiones debe revirar en la zona exterior del puerto y el catamarán en el interior de la dársena.

Finalmente, ante la inminente puesta en funcionamiento del Puerto Exterior unida a la obligatoriedad de la utilización del servicio de practica, surgió la necesidad de habilitar un Práctico para el Puerto Exterior con carácter de urgencia. Por este motivo, se plantearon varias sesiones de simulación para realizar un proceso de entrenamiento al Capitán de la Marina Mercante y Jefe Técnico de Ports de les Illes Balears en Menorca, D. José Antonio Pérez Lorente, en el que se le facilitó un detallado conocimiento del nuevo puerto y sus condiciones de acceso. Como consecuencia, tras la realización de estas sesiones de simulación, el Capitán añadió a su amplia experiencia un detallado conocimiento del nuevo puerto y sus condiciones de acceso, así como de la respuesta de los diferentes buques, lo que ayudó a acreditar su aptitud para la ejecución de las maniobras de entrada y salida en las mejores condiciones de seguridad para los buques de estudio.



Figura 15. Práctico del Puerto de Ciutadella en el simulador de Siport21.

# INFRAESTRUCTURAS, LOGÍSTICA Y SOSTENIBILIDAD

## CONCLUSIONES

Los estudios de maniobra realizados en el Nuevo Puerto Exterior de Ciutadella han optimizado la fase de diseño conceptual de las nuevas instalaciones. Además se han establecido una serie de recomendaciones que han mejorado el diseño de la planta definitiva así como el acceso de los buques de diseño además de establecer los límites operativos que garantizan la seguridad de las maniobras.

Durante el desarrollo del proyecto, ya en fase constructiva, surgió un interés por analizar el acceso de buques de mayores dimensiones de las planteadas inicialmente. Para analizar la viabilidad de estas maniobras se desarrolló un nuevo estudio en el que se definieron los nuevos límites operativos para estas embarcaciones así como las nuevas estrategias de maniobra recomendadas.

Por otra parte, se realizaron estudios de maniobra adicionales para valorar técnicamente la aptitud de nuevos buques con destino a Ciutadella. Estos estudios sirvieron además como entrenamiento de los capitanes de las navieras en las nuevas instalaciones. Respecto a este punto, se destaca que la Dirección General de la Marina Mercante, con carácter transitorio, mientras no se hubiese designado al Práctico del Puerto, permitió operar a buques tipo ferry en los que sus capitanes tuviesen acreditada experiencia en el mando del buque y hubiesen acreditado su aptitud para la maniobra en un simulador en tiempo real.

Por último, se destaca el hecho de que el la habilitación del nuevo Práctico del Puerto Exterior contó con un proceso de entrenamiento en las instalaciones de Siport21 en el que se impartió detallada información del nuevo puerto y sus condiciones de acceso, así como de la respuesta de los diferentes buques.

## REFERENCIAS

*“FENÓMENOS DE ONDAS LARGAS EN EL PUERTO DE CIUTADELLA (MENORCA)” José Luis Monsó de Prat (INHA) Francisco Javier Escartín García (Europrincia).*

*“PUERTO EXTERIOR DE CIUTADELLA (MENORCA): FINALIZACIÓN DE LAS OBRAS Y FUNCIONAMIENTO DEL DIQUE DURANTE LOS TEMPORALES” J.C Plaza, J.L. Monsó, J.Mª Berenguer, C.Gara, L.Díez, C.Gara, J. López.*