



XVIII Jornadas Españolas de Ingeniería de Costas y Puertos
Huelva, 13 y 14 de mayo de 2026

NUEVAS ESTRATEGIAS Y APLICACIONES DE LA MONITORIZACIÓN DE LA RESPUESTA DINÁMICA DE BUQUES Y ARTEFACTOS FLOTANTES EN EL CONTEXTO OPERATIVO. APLICACIÓN EN EL PROYECTO ML-AMAR

Marcos Vázquez^a, Rafael Molina^b, David Rodríguez^a, .

^aDeep Insight S.L, , marcos.vazquez@deep-insight.es; , david.rodriguez@deep-insight.es;

^bUniversidad Politécnica de Madrid. ETSICCyP. CEHINAV. , , rafael.molina@upm.es;

1. Introducción

La operación de un buque está condicionada por su interacción continua con el medio físico: el estado de la mar, el viento y las corrientes modifican su comportamiento dinámico y, con ello, su consumo energético, su confort y la seguridad de la navegación. En fases de alta exigencia operativa, tales como la aproximación, el acceso al puerto, el atraque y la estancia atracado, esta interacción se vuelve especialmente crítica: el buque interactúa con otros buques y con infraestructuras, la exposición a forzamientos climáticos puede ser rápida y la respuesta dinámica del buque se convierte en un indicador directo del nivel de riesgo.

En este contexto, el proyecto ML-AMAR ((Machine Learning Applications in Marine Engineering) impulsa el desarrollo de herramientas avanzadas (basadas en aprendizaje máquina) orientadas a optimizar el diseño, el mantenimiento y la explotación de buques, incluyendo el análisis del comportamiento en la mar y su integración con información meteo-oceánica. La monitorización continua de la respuesta dinámica constituye una pieza clave para cerrar el ciclo entre predicción y operación real, permitiendo calibrar modelos, identificar relaciones entre forzamientos y respuesta, y generar indicadores trazables para el apoyo a la decisión.

Esta comunicación presenta el caso del buque Ro-Pax como demostrador de nuevas estrategias de monitorización en condiciones operativas reales. El estudio se centra en el análisis integrado de las fases de navegación, acceso al puerto, atraque y periodo atracado, mostrando cómo, a partir de la respuesta dinámica del buque, es posible interpretar no solo aspectos de eficiencia operativa, seguridad y confort, sino también señales útiles para relacionar su comportamiento con la evolución de la salud estructural y, por tanto, con la fiabilidad durante la explotación.

2. Metodología

La metodología se basa en la instrumentación del buque Ro-Pax mediante el sistema **DeepMOTION-RTK**, concebido para la monitorización continua de la **respuesta dinámica** (IMU) y la **posición** (GNSS-RTK_PPK) de buques y artefactos flotantes en condiciones operativas reales. La campaña de monitorización abarca **14 meses**, cubriendo de forma representativa las fases de **navegación, aproximación y acceso al puerto, maniobras de atraque y periodos de estancia atracado**.

El sistema integra medidas inerciales y de navegación, registrando **posición, velocidad, rumbo, movimientos angulares y aceleraciones a 2 Hz**, lo que permite caracterizar tanto el comportamiento global del buque como eventos transitorios de interés operativo (p. ej., cambios bruscos de forzamiento, ajustes de maniobra o episodios de mayor sollicitación por acción climática o por interacción con las obras de atraque y amarre). La consolidación y visualización en tiempo real permite la explotación analítica y la generación de indicadores operativos (calidad y seguridad de las operaciones), vinculados con la eficiencia (retro análisis del meteorouting o del consumo) o vinculados con la eficiencia durante las maniobras o durante la fase de carga y descarga.

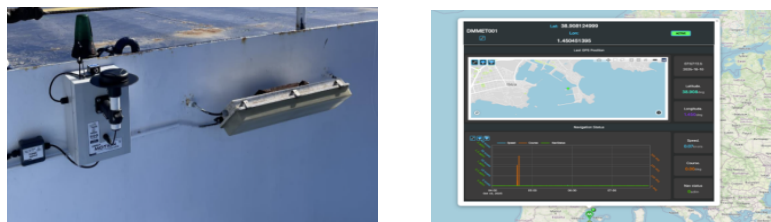


Fig. 1 A la izquierda Sensor DeepMotion instalado en el buque. A la derecha dashboard DEEPIVIEW para la visualización en tiempo real de los datos de posición y respuesta dinámica del buque.. Fuente:Proyecto ML-AMAR Deep Insight

Las señales GNSS/IMU se complementan con información océano-meteorológica externa (principalmente **viento y oleaje**) publicada por **Puertos del Estado y/o Copernicus**, alineada temporal y espacialmente con la trayectoria del buque. Esta integración proporciona una base objetiva para relacionar **forzamientos ambientales y respuesta dinámica** en cada fase operativa, permitiendo derivar métricas trazables vinculadas a **eficiencia, seguridad y confort**, así como explorar señales de interés para el seguimiento de la **fiabilidad** a través de la evolución del comportamiento dinámico durante la explotación.

3. Conclusiones

La campaña de monitorización del buque Ro-Pax confirma el valor de la **respuesta dinámica medida** como variable integradora para interpretar el desempeño del buque en condiciones reales y, en particular, en fases de alta exigencia operativa como la **aproximación, el acceso al puerto, el atraque y la estancia atracado**. La integración de datos GNSS/IMU con información meteo-oceánica permite caracterizar episodios de mayor sollicitación y derivar indicadores trazables que ayudan a cuantificar **eficiencia operativa, seguridad y confort**, además de aportar señales útiles para explorar la evolución de la **fiabilidad** durante la explotación.

Sobre esta base se ha desarrollado la interfaz web de usuario **DEEVIEW**, orientada a estructurar la información por fases operativas y a generar métricas como **tiempos dedicados a cada fase, tiempos de espera, estabilidad de trayectoria en aproximación, aceleraciones durante el atraque y el amarre, detección de eventos extremos o tiempos de exposición a condiciones desfavorables**. En la presentación se mostrará el **esquema completo de monitorización e integración de datos** (sensor, plataforma de adquisición y fuentes meteo-oceánicas), así como una selección de los **resultados obtenidos durante la campaña del proyecto** y su potencial aplicación como herramienta de apoyo a la decisión en la gestión operativa portuaria.

4. Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado parcialmente por el **Ministerio de Ciencia e Innovación** (Proyectos de Generación de Conocimiento 2021) en el marco del proyecto PID2021-126561OB-C31. Subproyecto 3.

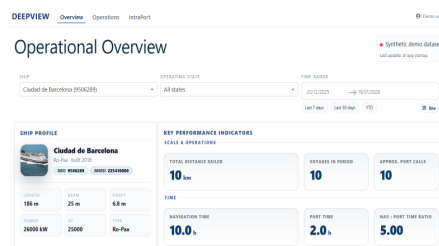


Fig. 2 Resumen operacional de la herramienta DEEVIEW.