



Sistemas de monitoreo estructural en buques petroleros

En la década de los '90, la *International Maritime Organization (IMO)* recomendó la instalación de sistemas de monitoreo estructural en buques graneleros de gran porte y, a partir de entonces, su uso se extendió principalmente a los buques petroleros.

Desde 1991 varios sistemas se han instalado sobre todo en aquellos buques que operan en la ruta *Trans-Alaska Pipeline Service (TAPS)*, donde las condiciones del mar son muy severas, principalmente en el invierno.

Estos sistemas permiten minimizar los riesgos o posibilidades de daño, brindando al capitán del buque información sobre el comportamiento estructural de la nave para que pueda tomar decisiones en cuanto a cambios de rumbo y velocidad.



Por el **Ing. Claudio Fassardi**,
BMT Scientific Marine Services, Inc.

En respuesta al gran número de pérdidas de buques graneleros en la década de los '90, la *International Maritime Organization (IMO)* recomendó la instalación de sistemas de monitoreo estructural en buques graneleros de gran porte. A partir de entonces, el uso de estos sistemas se extendió principalmente a buques petroleros y, en menor escala, a buques portacontenedores y navales.

BMT Scientific Marine Services, Inc. (BMT SMS) instaló su primer sistema de monitoreo estructural en el petrolero "Thompson Pass", de la Clase Atigun Pass (165.000 DWT), charteado por BP Oil Shipping Company (BP) en noviembre de 1991. Desde entonces, varios sistemas han sido instalados en buques charteados por BP, incluyendo petroleros de las clases San Diego (190.000 DWT), Ecology (120.000 DWT) y San Clemente (90.000 DWT). Estos petroleros operan en la ruta *Trans-Alaska Pipeline Service (TAPS)* transportando petróleo de Valdez, Alaska a la costa Oeste de los Estados Unidos y Hawaii.

Las condiciones del mar en la ruta *TAPS* son muy severas en el invierno, cuando las tormentas en el Pacífico Norte generan un oleaje con una altura significativa promedio de 10 metros (máxima 15 m) y períodos de aproximadamente 15 segundos. Estas condiciones se acentúan para los buques petroleros afectados a dicha ruta, ya que navegan hacia Alaska en situación de lastre (poco calado) y recibiendo el oleaje por la proa.

La combinación de oleaje severo y poco calado conduce a una condición de navegación en la cual ocasionalmente, dependiendo de la velocidad del buque y el rumbo relativo al oleaje, la proa del buque emerge totalmente y se sumerge produciendo golpes de mar (*slamming*) que pueden causar daño estructural. Las consecuencias de *slamming* en el buque son diversas; la más obvia, la deformación local y permanente del casco. No tan obvia, pero igualmente significativa, es la acumulación de fatiga en la estructura del buque debido a las vibraciones de largo período inducidas por el oleaje y las de corto período provocadas por *slamming* (*whipping*). Con el tiempo y luego de la repetida exposición del buque a un clima de oleaje severo y *slamming*, su resistencia estructural disminuye, generándose rajaduras y debilitamiento de los principales elementos estructurales.

Las consecuencias de no monitorear el deterioro estructural del buque y las condiciones que lo producen son de

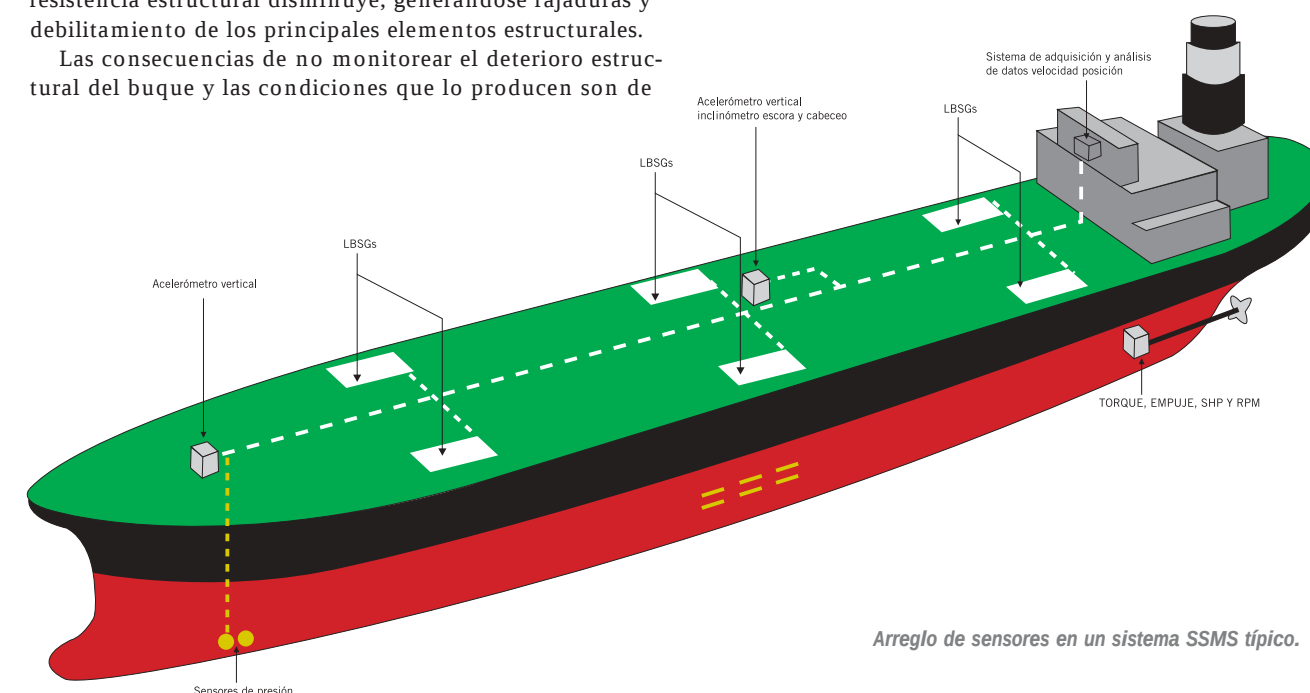


Una ola golpea la proa del buque.

gravedad diversa e incluyen reparaciones no programadas, accidentes e incluso sacar el buque de servicio antes de lo planeado. Los sistemas de monitoreo estructural permiten minimizar estas consecuencias y tienen dos objetivos. El primero es brindar al capitán del buque información sobre el comportamiento estructural del navío en el mar para que pueda tomar decisiones inteligentes en cuanto a cambios de rumbo y velocidad y así minimizar las posibilidades de daño. El segundo objetivo es el de recolectar datos para un posterior análisis con fines tales como planear el mantenimiento y optimizar el diseño.

Descripción del sistema

El sistema de monitoreo estructural de buques (*Ship Structural Monitoring System - SSMS*) incluye sensores y un sistema de adquisición de datos y análisis. Un sistema típico incluye los siguientes sensores:



Arreglo de sensores en un sistema SSMS típico.

- Seis sensores de deformación instalados en la cubierta (*Long Base Strain Gage-LBSG*)
- Un acelerómetro vertical en la proa
- En el medio del buque:
 - un acelerómetro vertical
 - un giroscopio de estado sólido
 - un inclinómetro biaxial para ángulos de escora y cabeceo
- Dos sensores de presión en el fondo del pique de proa.

En general, otros sensores disponibles en el buque pueden conectarse también al SSMS para proveer información simultánea a las mediciones del sistema como velocidad, posición, torque, empuje, SHP, RPM, etc.

Una parte importante del sistema es el “libro de bitácora” computarizado que permite el ingreso, por parte de la tripulación, de información como calado, asiento, altura, período y dirección del oleaje, dirección y velocidad del viento, etc.

Las deformaciones medidas en diferentes puntos a lo largo de la cubierta del buque junto al módulo de elasticidad del acero usado en la construcción permiten el cálculo de las tensiones (Ley de Hooke). Estas tensiones, a su vez, se utilizan junto al módulo resistente de las secciones correspondientes para el cálculo del momento flexor en diferentes secciones a lo largo del buque. Los acelerómetros, inclinómetros y sensores de presión se utilizan para la predicción del oleaje, movimientos y *slamming*. Es a partir del estado de tensiones del buque que el capitán puede evaluar probabilidades de daño y realizar las acciones correctivas relativas al rumbo y la velocidad.

Aplicación al diseño

En la anticipación a la necesidad de nuevos buques para la ruta TAPS en 2000, BP llevó a cabo una serie de estudios con el objeto de mejorar el diseño de sus nuevos buques. Los datos estructurales y ambientales registrados por el SSMS en todos sus buques demostraron ser un recurso invaluable que los ingenieros navales utilizaron para evaluar y optimizar el diseño.

BMT SMS realizó estudios para definir las condiciones que podrían causar *slamming* y la relación entre *slamming* y calado en proa. El estudio también se propuso



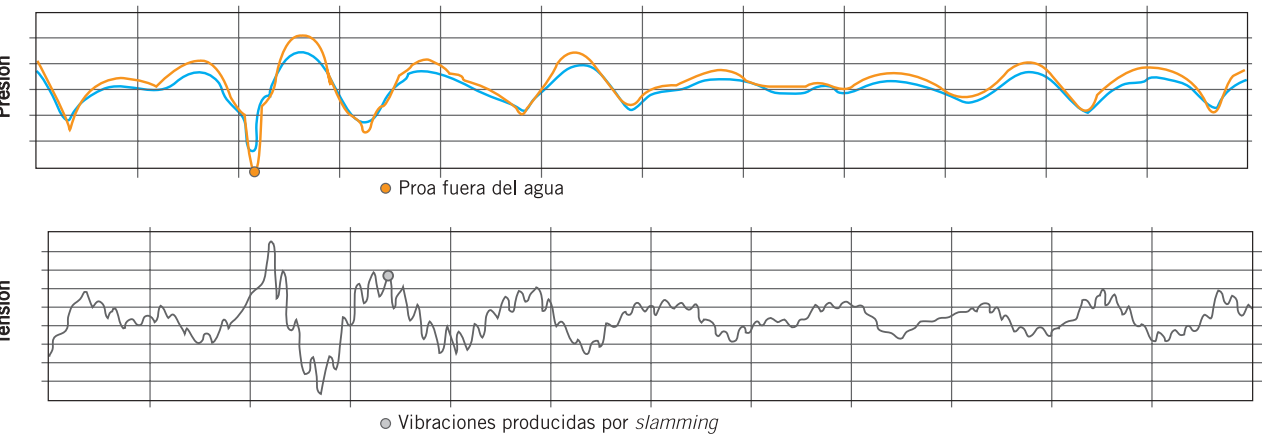
Pantalla que muestra el momento flexor en otras secciones del buque.



Pantalla que muestra el máximo momento flexor, la correspondiente sección del buque y la predicción de slamming.



Calculador de oleaje WaveMax, que muestra estimaciones de altura, período y dirección de oleaje y predicciones de movimientos, momento flexor y emersiones de la proa.



Series temporales de presión en la proa del buque durante un evento en el cual la proa sale del agua y posterior slamming. La serie temporal de las tensiones muestra el efecto del slamming que se traduce en vibraciones de corto período.

determinar el efecto de *slamming* en la magnitud de las tensiones y los momentos flexores en el buque.

La primera parte del estudio consistió en definir un calado adecuado para el nuevo buque, para la condición de buque lastrado solo con lastre segregado. Se buscaba definir la capacidad total de lastre segregado de tal forma que el calado resultante fuera suficiente para minimizar el *slamming*. Se asumió que la ocurrencia de *slamming* es en función de la velocidad del buque, el rumbo relativo buque-ola, el calado y la altura de ola. Estas condiciones fueron caracterizadas con parámetros derivados de los datos medidos por el SSMS y por las observaciones ingresadas al sistema por las tripulaciones. Estos parámetros fueron analizados junto a las probabilidades de oleaje para determinar la ocurrencia de *slamming* para diferentes calados.

Esta información fue evaluada para definir la capacidad óptima del lastre y el calado correspondiente que minimizaría el daño estructural por *slamming*, sin comprometer la capacidad operacional del nuevo buque.

La segunda parte del estudio consistió en definir condiciones del mar y condiciones operacionales que producirían las máximas tensiones en la cubierta, inducidas por oleaje y *slamming*.

Las series temporales de las deformaciones medidas por el SSMS en buques existentes se convirtieron a series temporales de tensiones, que fueron correlacionadas luego con las condiciones del mar que las produjeron. Debido a la naturaleza oscilatoria de las tensiones, es importante examinar las implicancias que estas puedan tener en la fatiga de la estructura del buque y, en particular, en el crecimiento de rajaduras.

El estudio sirvió para definir, para los nuevos buques, la cantidad óptima de lastre segregado y su calado correspondiente, lo mismo que las condiciones que producirían las tensiones más altas en la cubierta.

Se obtuvo información útil para discriminar las condiciones que producen emersión de la proa del buque con y sin consecuencias estructurales negativas. El umbral de



Sistema de adquisición de datos y análisis.

velocidad máxima relativa ola-proa durante la ocurrencia de *slamming*, utilizado tradicionalmente para predecirlo, fue reevaluado desde el punto de vista de la seguridad estructural del buque.

Claudio Fassardi obtuvo su título de Ingeniero Naval y Mecánico en la Universidad de Buenos Aires y realizó estudios de postgrado en Oregon State University donde recibió un Master en Ingeniería Oceánica. Actualmente trabaja en BMT Scientific Marine Services, Inc. en California, EE.UU. Sus áreas de especialización incluyen modelación física y numérica, sistemas de instrumentación y desarrollo de terminales marítimas.