

Ingeniería

Revista de la Universidad de Costa Rica
ENERO/JULIO 2013 - VOLUMEN 23 Número (1)

EFECTO DE LA ONDA LARGA EN LOS PUERTOS DE MOÍN Y LIMÓN, EN EL CARIBE DE COSTA RICA

*Henry Alfaro Chavarría
Georges Govaere Vicarioli*

Resumen

El presente trabajo se realizó para estudiar cuales son los períodos correspondientes al oleaje infragravitacional, que inciden en los puertos de Moín y Limón en el Caribe costarricense, los cuales podrían causar efectos negativos en la operatividad portuaria debido a la sobre amplificación en los niveles de la superficie libre, lo que ocurre cuando el oleaje que ingresa a los recintos portuarios amplifica su magnitud al coincidir con los períodos naturales de oscilación en las diferentes configuraciones geométricas y profundidades del puerto.

La metodología usada en este estudio se puede extender a otros puertos o a los mismos acá estudiados, en caso de que éstos sufran modificaciones en sus configuraciones, debido a que si la geometría o profundidad cambia, los períodos de las ondas infragravitatorias que producen efectos negativos para la operación portuaria cambian. Por esta razón es importante realizar estudios del efecto de ondas largas cuando se piensa hacer una obra nueva o modificar una existente y así evitar los posibles efectos negativos para la operación y seguridad portuaria.

Palabras clave: Onda larga, Puerto Moín, Puerto Limón, resonancia.

Abstract

The present work studies the infragravitational waves periods that arrive to Moín and Limón Ports in the Caribbean coast of Costa Rica, and might produce an adverse effect in the port operation, due to the amplification of the surface level that occurs when the wave periods are close to the natural oscillation periods of the port basin.

The methodology used in this study can be extended to others ports or even the same ones studied here if they change their configurations, because if the depth and geometry of the port changes, the natural oscillation periods that produce the negatives effects also change. Therefore is important, when planning to modify or build a new port, to study the long wave effect and try to avoid the possible negative consequences for the operation and port security.

Keywords: Long wave, Moín Port, Limón Port, resonance.

Recibido: 8 de febrero del 2013 • **Aprobado:** 14 de mayo del 2013

1. INTRODUCCIÓN

Los puertos de Moín y Limón forman parte del Complejo Portuario administrado por la Junta de Administración Portuaria y Desarrollo Económico de la Vertiente Atlántica (JAPDEVA) y ambos constituyen la principal puerta de entrada y salida al comercio marítimo de Costa Rica. Los dos puertos están separados geográficamente por

aproximadamente 7 kilómetros; el puerto de Limón se localiza en la ciudad que tiene como nombre el mismo del puerto, entre sus facilidades de infraestructura más relevante son un muelle para la atención de contenedores con aproximadamente 450 metros de longitud con patios adosados para el almacenamiento de contenedores, así mismo, el puerto cuenta con una terminal para la atención de cruceros. El puerto de Moín es un puerto que

por su ubicación geográfica se encuentra bastante protegido del oleaje incidente, es un puerto que ha ido creciendo hacía tierra (puerto excavado), tiene un frente de atraque de aproximadamente 1000 metros para la atención de barcos de carga general, contenedores y de granel líquido.

En el puerto de Moín se han presentado eventos de buques que debido a la agitación en la dársena de atraque, han originado esfuerzos importantes sobre las amarras causando problemas de operatividad, razón por la cual se decidió estudiar si la causa de esos incidentes son las oscilaciones de largo período, también conocidas como ondas infragravitatorias cuyos períodos están comprendidas entre los 30 a 600 segundos, que al ingresar a la dársena portuaria se amplifican producto de la geometría y profundidad del puerto.

A pesar de que en el puerto de Limón no se han presentado problemas de agitación producto de ondas largas, con el fin de aprovechar los recursos materiales y físicos se decidió ampliar la investigación y evaluar cuales son los posibles períodos que podrían producir cierta amplificación en dos sitios específicos en el puerto, como son el muelle 70 y el de remolcadores. Estos sitios fueron seleccionados debido a que eran los disponibles para hacer las mediciones, ya que los otros puertos de atraque se encontraban ocupados por embarcaciones.

Como primera aproximación se realizaron modelaciones de propagación de oleaje dentro de la dársena de cada uno de los puertos, para estimar los modos teóricos de oscilación de la superficie libre en diferentes puntos del atraque que se consideraron singulares. Para el trabajo de simulación se utilizó el modelo numérico MSP, desarrollado por la Universidad de Cantabria.

Además, se realizaron dos campañas de mediciones de oleaje, mediante un sensor de presión, una en el puerto Moín y otra en el puerto de Limón con el propósito de calibrar las simulaciones realizadas.

1.1 Objetivo

Determinar los períodos teóricos naturales de oscilación en diferentes sitios del atraque dentro de los puertos de Moín y Limón y compararlos

con los períodos medidos en cada una de las campañas de campo realizadas.

1.2 Ubicación

La Figura 1 ilustra el dominio geográfico de este trabajo, el cual se circunscribe en la costa Caribe de Costa Rica, específicamente en los puertos de Moín y Limón.

1.3 Información utilizada

Para la realización del presente trabajo se utilizaron, entre otros, los siguientes datos y equipos:

Información topográfica y batimétrica

- Carta náutica denominada “Approaches to Puerto Limón and Bahía Moín”, número 28049 y 28051.
- Batimetría de los puertos de Moín y Limón, año 2011, realizada por la Dirección de Infraestructura de la División Marítimo Portuaria del MOPT.

Información sobre el equipo

Sensor de presión marca Global Water, el cual se programó para tomar datos cada segundo. El equipo se colocó en cada uno de los puntos representados en la Figura 1 y durante un período mínimo de 20 minutos, con el propósito de medir ondas de tipo infragravitacional.

2. METODOLOGÍA

La masa de agua confinada en una dársena tiene sus propios períodos de oscilación; cuando el período de la onda larga coincide con el período propio de oscilación de la dársena, se produce un efecto resonante, que amplifica la oscilación de la masa de agua hasta niveles que pueden alterar la funcionalidad del puerto e incluso poner en riesgo la seguridad de las



Figura 1. Localización de los Puertos de Moín (izquierda) y Limón (derecha) y puntos de medición.

El sensor de presión se colocó en cada uno de los puntos señalados en la Figura 1.

Fuente: Elaboración propia, 2012.

instalaciones portuarias, de las embarcaciones y usuarios. (Díaz, 2006; ROM 0.0, 2001).

El estudio por onda larga radica en realizar un barrido de frecuencias en todo el dominio, de manera que se puedan identificar los períodos de resonancia del puerto. El barrido de frecuencias consiste en forzar el modelo numérico MSP con un “ruido blanco”, es decir, con una serie de ondas monocromáticas con alturas de un metro, para un rango completo de frecuencias o períodos. (Martín, Lara, Losada Díaz, 2003; Lara, Martín, Losada, 2002).

Posteriormente, mediante mediciones en campo se corrobora si en la naturaleza y en esa zona en particular ocurren los períodos de onda larga que el modelo numérico indica como períodos propios de oscilación de la dársena. En caso de darse esta coincidencia, se producirían efectos de amplificación en el cuerpo de agua que podrían afectar la operación portuaria.

2.1 Modelo Numérico MSP

El modelo MSP fue desarrollado por el Grupo de Ingeniería Oceanográfica y de Costa de la Universidad de Cantabria; es un modelo lineal y dispersivo que resuelve la fase de la onda mediante la aproximación elíptica de la ecuación de la pendiente suave (“Mild Slope Equation”). (Díaz G, 2006).

Entre las características generales del modelo MSP están:

- Modelo elíptico no transitorio, basado en la ecuación de la pendiente suave (Mild Slope).
- Lineal y dispersivo.
- Estacionario.
- Requiere definir todas las condiciones de contorno (reflejantes y parcialmente reflejantes).
- Incluye disipación por fondo y rotura.
- Malla no estructurada de elementos finitos.
- Entre las limitaciones del modelo están:

- Tiempo de ejecución medio
- Requiere batimetrías con pendiente suave.
- No permite la interacción onda corta - onda larga.
- No admite series de superficie libre medidas para alimentar las simulaciones.

2.2 Datos de entrada del modelo

Los parámetros que requiere el modelo son: malla de cálculo, definición del porcentaje de reflexión de cada uno de los contornos y las características del elemento forzador.

En primer lugar se crea una malla de cálculo de tamaño suficiente que pueda representar con precisión los efectos locales. Para ello se ha seleccionado un dominio de cálculo de gran tamaño que abarque toda la zona de influencia de aproximadamente 3 veces la longitud de onda larga media a simular, para así incluir todos los contornos costeros que puedan suponer una interacción con las ondas largas que inciden en la zona de estudio.

Debido a que los efectos de resonancia están directamente relacionados con la geometría del dominio y la profundidad; y la variación de la carrera de la marea en el Caribe es del orden de los 30 centímetros, se utiliza una sola malla de cálculo para cada puerto en la condición de media marea. Los parámetros de cada una de las mallas

y los números de nodos y elementos se muestran en el Cuadro 1.

En relación con las condiciones de contorno de la malla, se han asignado para todos los contornos una reflexión total del 100%, excepto aquellos que están en contacto con el agua y la corona de la malla a los cuales se les asigna un 100% de absorción. (Martín, 2003). La Figura 2 muestra un ejemplo de la malla generada por el modelo MSP para cada uno de los puertos.

Como elementos forzadores para ambas mallas se utiliza un barrido de ondas monocromáticas con alturas de un metro entre los 30 y 600 segundos de períodos con incrementos a cada segundo.

3. RESULTADOS

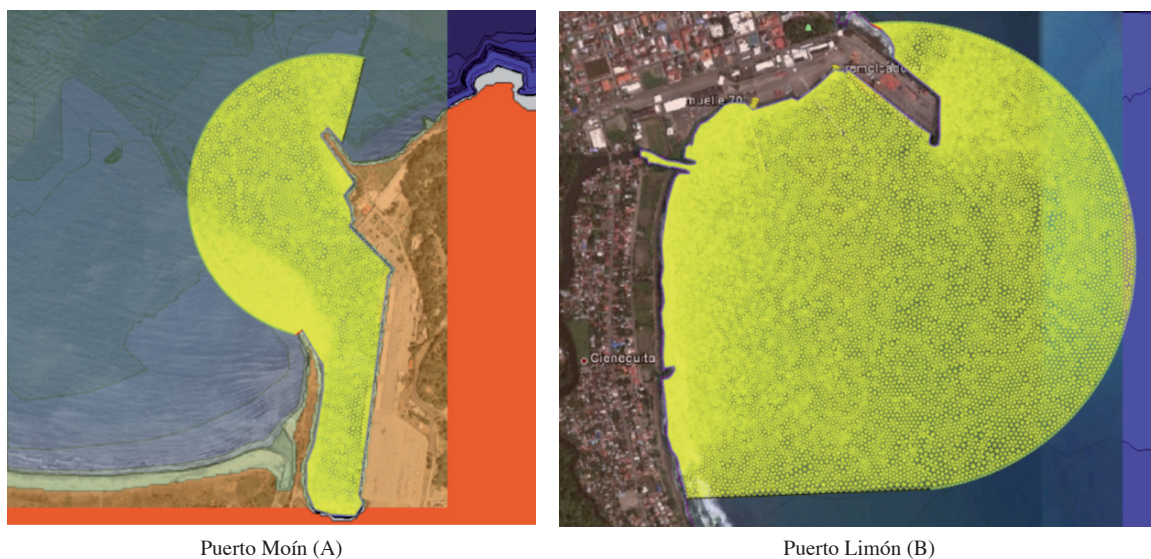
3.1 Resultados de la simulación mediante el modelo MSP

Para analizar los resultados de la simulación se colocaron una serie de puntos de control en cada una de las mallas de cálculo, los cuales coinciden en ubicación con los sitios o puntos donde se realizaron las mediciones con el sensor de presión (ver Figura 1). En cada uno de esos sitios se evaluaron los resultados del modelo respecto a la variación de los coeficientes de amplificación en función del período de oscilación.

Cuadro 1. Parámetros de malla MSP, onda larga

Parámetros de malla	Malla, Puerto Moín	Malla, Puerto Limón
T, representativo mínimo(sec.)	20	30
Número de nodos por Lmin	15	15
Profundidad mínima de agua (m.)	0.5	3
Nivel de marea (m.)	0.15	0.15
Número de nodos	7781	20404
Número de elementos	15178	40217

Fuente: Elaboración propia, 2012.



Puerto Moín (A)

Puerto Limón (B)

Figura 2. Malla en elemento finito generada por el modelo MSP.

Fuente: Elaboración propia, 2012.

3.2 Resultados de la simulación en Puerto de Moín

Los gráficos que se observan en la Figura 3 corresponden a la variación del coeficiente de amplificación en cada uno de los puntos de control, que coinciden en ubicación con los señalados en la Figura 1 correspondiente al puerto de Moín.

Antes de proceder al análisis de los resultados es importante mencionar que los coeficientes de amplificación generados por el modelo MSP son valores cuyas unidades son metros, y pueden no reflejar las amplificaciones que verdaderamente se obtendrían en un puerto real (generalmente sobre-estimados), esto se debe a que el modelo no contempla los mecanismos de disipación de energía por fricción en los contornos y el forzamiento (ruido blanco) no incluye la energía real asociada a la onda larga que penetra en el puerto. Sin embargo, la ventaja de utilizar este modelo es que los resultados permiten identificar claramente las frecuencias o períodos resonantes para cada modo de oscilación natural de la dársena.

En la Figura 3A se observa que el primer modo de oscilación sucede aproximadamente a los 320 segundos, el segundo modo de oscilación tiene períodos entre los 120-150 segundos; sin embargo,

la magnitud del coeficiente de amplificación es menor que el correspondiente al primer y tercer modo de oscilación. El tercer modo de oscilación tiene asociado un período cercano a los 100 segundos con un coeficiente de amplificación similar al primer modo de oscilación.

La Figura 3B correspondiente al Punto 2 el cual se ubicó geográficamente a la mitad de los muelles (puesto 5-5), tiene su primer modo de oscilación cercano a los 320 segundos; el segundo modo de oscilación tiene un período cercano a los 95 segundos con el mayor coeficiente de amplificación.

La Figura 3C correspondiente al Punto 3 ubicado al inicio de los muelles, tiene su primer modo de oscilación en el rango de los 120-150 segundos, el segundo modo de oscilación está en el rango de los 70-90 segundos y es el que provocaría las mayores amplificaciones.

Una vez estimados los modos naturales de oscilación teóricos de la dársena es preciso estudiar si el período de la onda larga es similar a los períodos asociados a los modos teóricos de oscilación calculados previamente, ya que de ser así, cabría la posibilidad de tener episodios de resonancia en el puerto que repercutirían en la actividad portuaria.

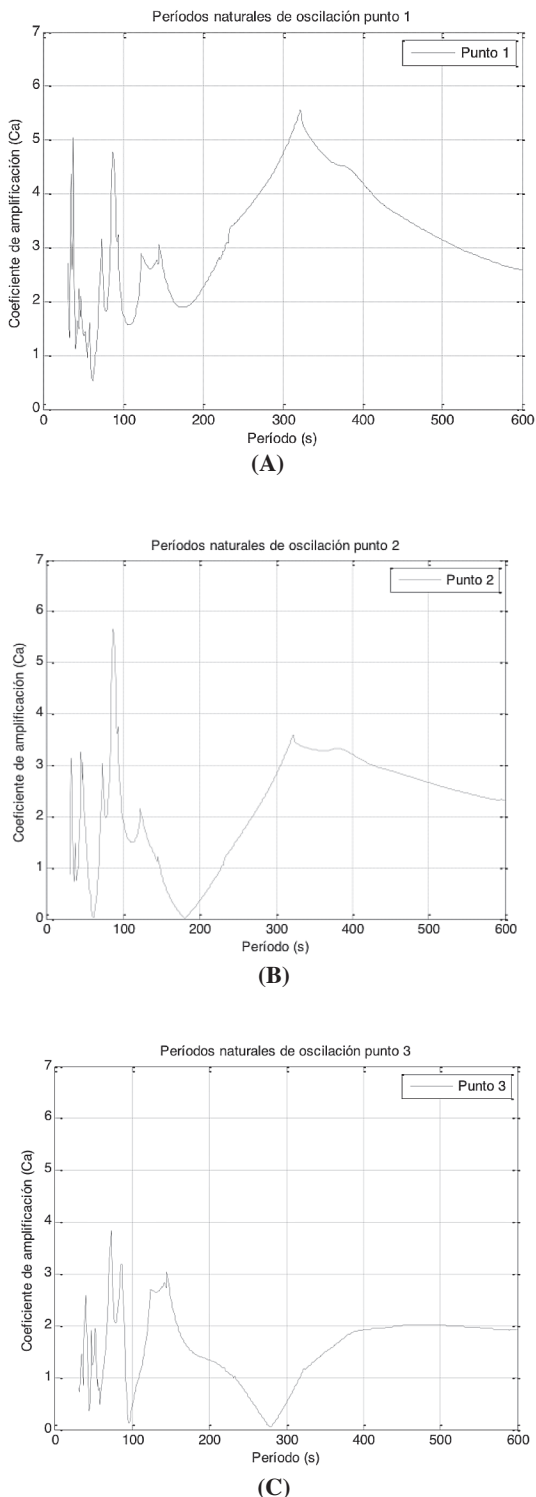


Figura 3. Variación del coeficiente de amplificación en los puntos 1, 2 y 3 en Moín

Fuente: Elaboración propia, 2012.

3.3 Resultados de las mediciones de campo

Se efectuó una campaña de medición en cada uno de los puertos de Moín y Limón para obtener registros de las oscilaciones de largo período, ambas campañas fueron realizadas en el mes de febrero del año 2012.

Las campañas consistieron en medir variaciones de nivel de largo período, en las proximidades de los puntos establecidos en el modelo numérico (ver Figura 1). En dichos sitios se colocó el sensor de presión, el cual se configuró para obtener datos cada segundo, durante aproximadamente 20 minutos para procurar que la longitud del registro fuera lo suficientemente largo para medir la onda de largo período.

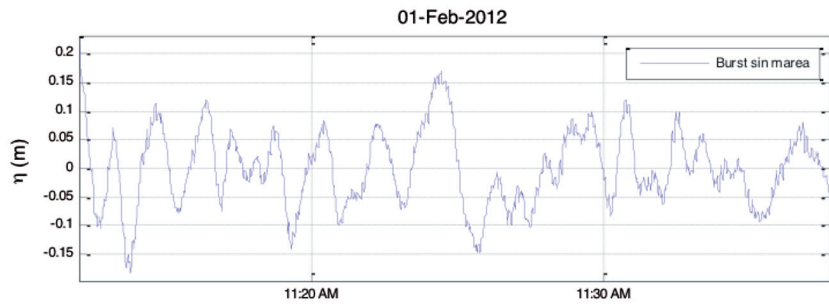
3.4 Resultado de las mediciones de campo realizadas en Puerto de Moín

La Figura 4 (A, B y C) ilustran, una vez sustraída la magnitud de la marea mediante un proceso de filtrado, el registro de presión en los Puntos 1, 2 y 3 respectivamente.

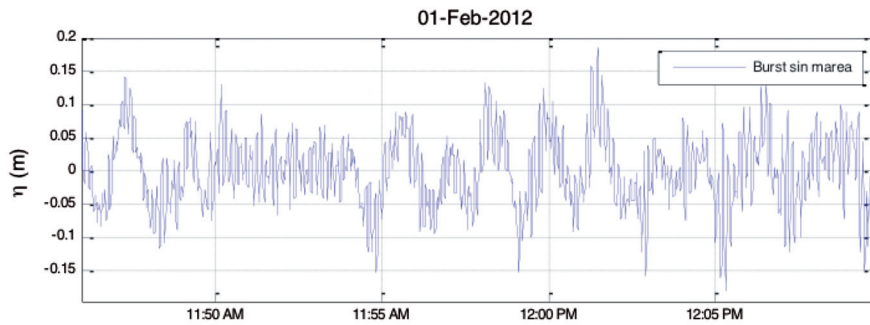
Posteriormente, mediante la transformada de Fourier, se realizó la descomposición espectral del registro por períodos. La Figura 5 (A, B y C) muestra el espectro de amplitud para los Puntos 1, 2 y 3 respectivamente, correspondiente a la banda de energía asociada al oleaje infragravitatorio una vez realizado el tratamiento espectral.

Las Figuras 5A, 5B, 5C tiene en común que el pico productor de la mayor amplitud está comprendido entre una banda de períodos cercanos, 85 – 120 segundos. Así mismo, se observa que las magnitudes de las alturas asociadas al oleaje infragravitacional son muy similares y cercanas a los 20 centímetros de amplitud. La Figura 5A también presenta picos de amplitud importantes para períodos de 250 y 330 segundos, así mismo, en la misma figura se observan más picos asociados a períodos menores a los 80 segundos con valores de amplitud también menores a los antes comentados.

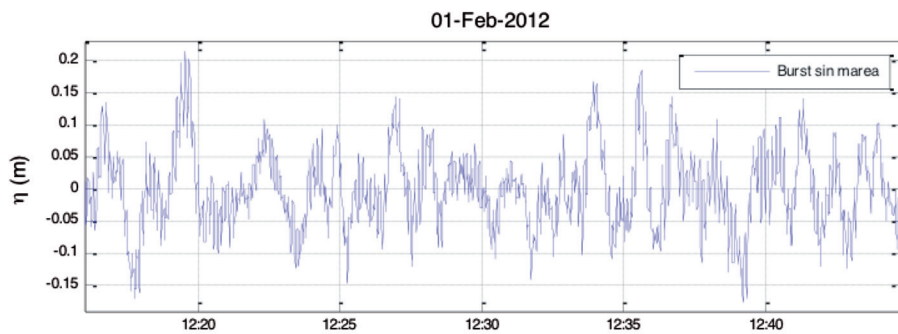
La Figura 5B muestra como los segundos picos con una magnitud de amplitud importante tienen correspondencia con períodos de 130 y 160 segundos.



Punto 1 (A)



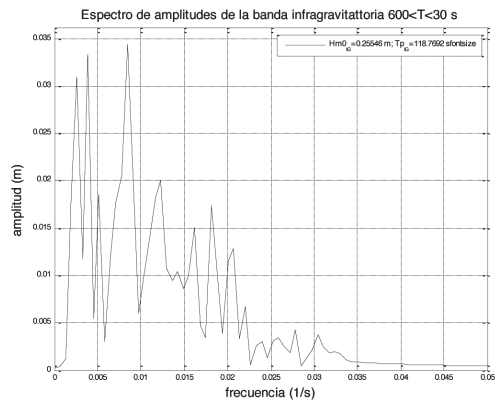
Punto 2 (B)



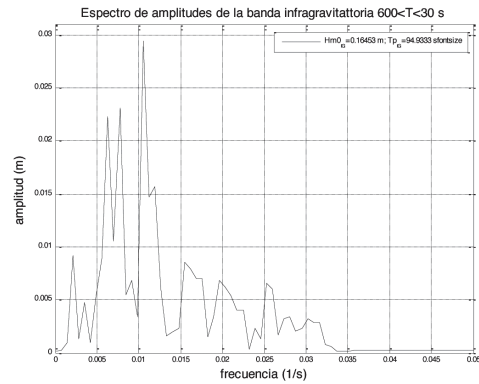
Punto 3 (C)

Figura 4. Registro reflejado por el sensor de presión, puntos 1, 2 y 3.

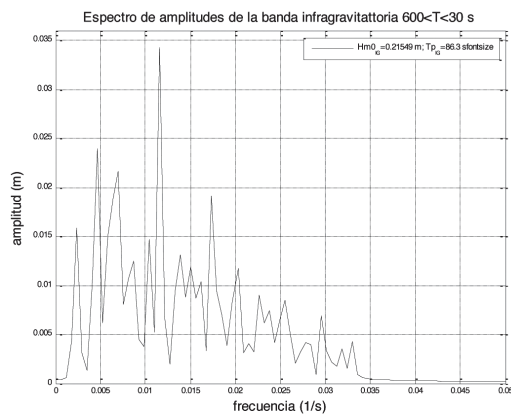
Fuente: Elaboración propia, 2012.



Punto 1(A).



Punto 2(B).



Punto 3(C).

Figura 5. Espectro de amplitud del conjunto de datos medidos por el sensor de presión de manera continua, en la banda de energía infragravitacional, punto 1, 2 y 3.

Fuente: Elaboración propia, 2012.

La Figura 5C muestra que los segundos picos con una magnitud de amplitud importante tienen correspondencia con períodos de 140 y 200 segundos aproximadamente. Así mismo, se observa un pico de amplitud con una magnitud similar a los antes mencionados con un período asociado a los 60 segundos aproximadamente.

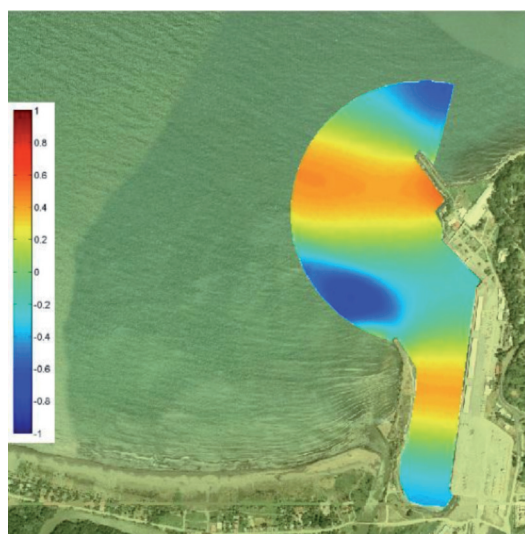
3.5 Discusión de los resultados para Puerto de Moín

Si se comparan los resultados simulados por el modelo de propagación con respecto a los datos medidos, específicamente los gráficos de la Figura 3A versus 5A, específico al muelle más interior (puesto 5-6), se observa que existe una correspondencia entre los picos de mayor amplitud que arroja la medición, asociados a un período de aproximadamente 120 segundos, con el segundo modo natural de oscilación simulado por el modelo; así mismo, el período medido de 330 segundos podría producirse sobre amplificaciones de menor magnitud en la superficie libre debido a que coinciden con el primer modo natural de oscilación en dicho sitio.

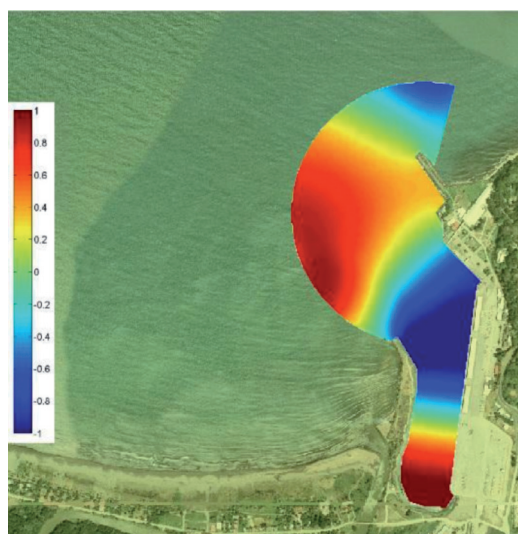
Al realizar la misma comparación pero relativa al Puesto 2, ubicado a la mitad de los muelles (puestos 5-5 y 5-4), mediante las Figuras 3B versus 5B, se observa que existe una correspondencia entre el pico de mayor amplitud que arroja la medición, asociados a un período de 95 segundos, con el período de 95 segundos correspondiente al segundo modo natural de oscilación. Los siguientes picos de períodos medidos con amplitud importante, 130 y 160 segundos, no tienen una correspondencia con otros modos naturales de oscilación.

Con respecto al Puesto de control 3, comparando las Figuras 3C versus 5C se observa que existe correspondencia entre el pico de mayor amplitud que arroja la medición, asociados a los períodos de 85 segundos, con los períodos del segundo modo natural de oscilación simulados por el modelo y el cual produce las mayores amplificaciones, períodos entre los 70 – 90 segundos. El pico de períodos de 140 segundos medido tiene correspondencia con los períodos del primer modo natural de oscilación simulados por el modelo, períodos entre los 120-150 segundos.

A manera de ejemplo, se presenta en la Figura 6 los mapas de superficie libre para los casos de



Mapa de agitación, onda T=90 sec. (A)



Mapa de agitación, onda T=120 sec. (B)

Figura 6. Mapas de agitación para un forzamiento de onda con diferentes períodos (m).

Fuente: Elaboración propia, 2012.

ondas con períodos de 90 y 120 segundos, los cuales son los que producen las mayores amplificaciones según las comparaciones antes realizadas.

En la Figura 6(A) se observa como la onda de 90 segundos de período oscila a lo largo de la dársena, presentando patrones de nodos y antinodos con poca variación en magnitud frente a los puestos de atraque, lo cual dependiendo de la ubicación donde se atraquen las embarcaciones podrían producir esfuerzos en las amarras. Así mismo, se puede apreciar como entre los Puestos 5-5 y 5-4 y en el inicio del Puesto 5-3 se produce el desfase de la onda de mayor amplitud (aproximadamente 60 cm.), lo mismo sucede entre el extremo más interno del Puesto 5-6 con la frontera de los Puestos 5-5 y 5-4.

Es importante ver cómo la onda de 90 segundos simulada presenta los picos de amplificación máxima de manera coincidente con los puntos de medición 2 y 3, en donde los picos de mayor amplitud medidos fueron de 95 y 85 segundos respectivamente, períodos muy cercanos al de la simulación realizada.

La Figura 6(B) correspondiente a la propagación de una onda con período de 120 segundos, muestra que se producirían mayores amplificaciones a lo largo de los puestos de atraque. El Puesto 5-6 estaría prácticamente desfasado con el resto de los puestos de atraque y entre dicho Puesto y el 5-5 se producirían variaciones de nivel importantes dando lugar a condiciones de operación poco seguras. Así mismo, se comprueba que la onda simulada refleja de manera coincidente la medición realizada en el Puesto 1, en donde se midió que el pico de mayor amplitud producto del oleaje infragravitatorio corresponde a los 120 segundos.

3.6 Resultados de la simulación en Puerto Limón

Los gráficos que se observan en la Figura 7 corresponden a la variación del coeficiente de amplificación en cada uno de los puntos de control, coinciden en ubicación con los sitios donde se colocaron los sensores de presión señalados en la Figura 1, correspondiente al puerto de Limón.

En la Figura 7 (A y B) se observa que independientemente de la ubicación del punto

de control el primer modo natural de oscilación tiene un período cercano a los 200 segundos. El segundo modo natural de oscilación en el Punto 1 ocurre a los 100 segundos.

En la Figura 7B se muestra que el segundo modo natural de oscilación y el tercero tienen períodos 110 y 90 segundos respectivamente.

3.7 Resultados de las mediciones de campo realizadas en Puerto Limón.

La Figura 8 ilustra el registro de presión en los Puntos 1 y 2, respectivamente, una vez sustraída la magnitud de la marea.

Una vez filtrada la marea se procedió a pasar los registros de presión de oleaje a superficie libre, para luego realizar el tratamiento espectral por medio de la descomposición del registro por períodos, mediante la transformada de Fourier. La Figura 9 ilustra el espectro de amplitud para los puntos 1 y 2 respectivamente, correspondiente a la banda de energía asociada al oleaje infragravitatorio.

Las Figuras 9A y 9B tienen en común que el pico productor de la mayor amplitud está asociado a un período de 100 segundos aproximadamente. Así mismo, se observa que las magnitudes de las alturas asociadas al oleaje infragravitacional son muy similares y cercanas a los 12 centímetros de amplitud. La Figura 9A también presenta picos con magnitudes de amplitud importantes asociados a períodos de 70, 60 y 45 segundos aproximadamente.

La Figura 9B muestra magnitudes de amplitud similares pero para diferentes períodos con valores de 150 y 50 segundos aproximadamente.

3.8 Discusión de los resultados para el Puerto de Limón

Si se comparan los resultados simulados por el modelo de propagación con respecto a los medidos, concretamente los gráficos de la Figura 7A vs 9A, específico al muelle 70, se observa que existe una correspondencia entre el pico de mayor amplitud de 100 segundos de período medido, con el segundo modo natural de oscilación con período de aproximadamente 100 segundos. No

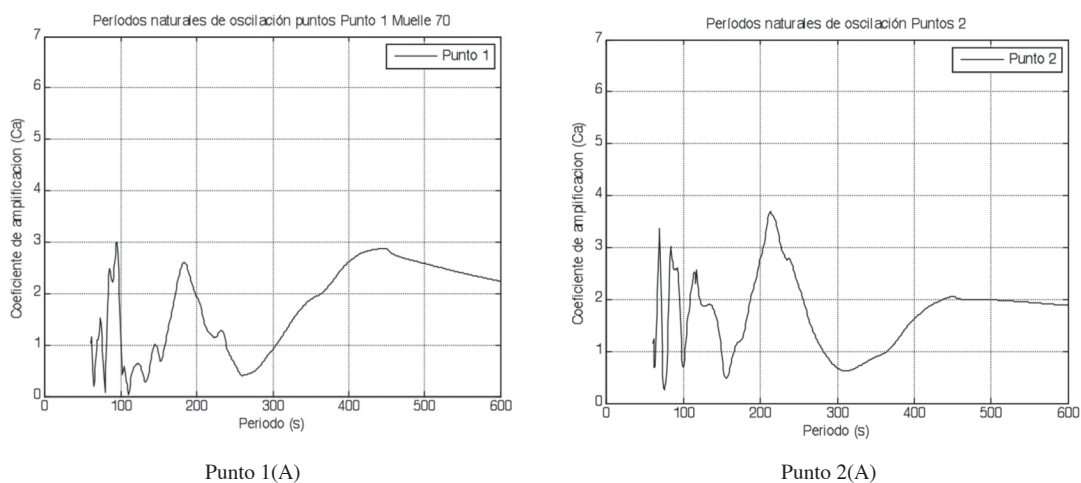


Figura 7. Variación del coeficiente de amplificación en los puntos 1 y 2.

Fuente: Elaboración propia, 2012.

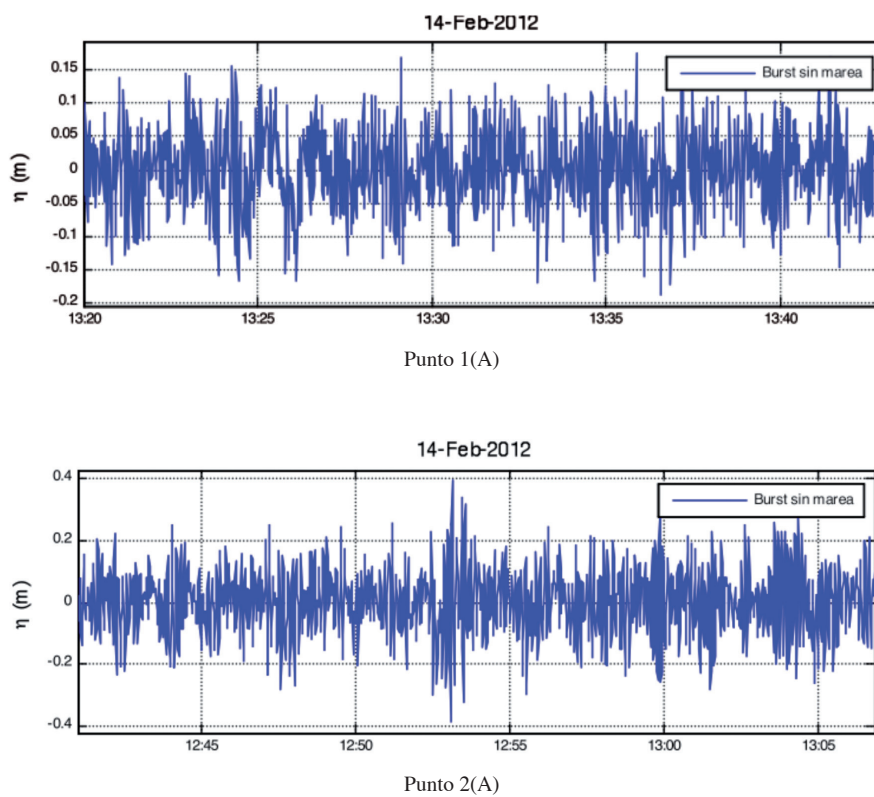


Figura 8. Registro reflejado por el sensor de presión, puntos 1 y 2.

Fuente: Elaboración propia, 2012.

se observan más correspondencias de períodos entre las mismas figuras.

Al realizar la misma comparación pero relativa al Punto 2, muelle de remolcadores, mediante las figuras 7B versus 9B, se observa que existe una correspondencia entre el pico de mayor amplitud de 90 segundos de período medido, con el tercer modo natural de oscilación con período de aproximadamente 90 segundos. No se observan más correspondencias de períodos entre las mismas figuras.

A manera de ejemplo se presenta en la Figura 10 el mapa de superficie libre para el caso de una onda con período de 100, el cual es el que produce las mayores ampliaciones según las comparaciones antes realizadas. En la Figura 10 se observa como la onda de 100 segundos de períodos presenta un patrón de crestas cortas. Por ejemplo a lo largo del borde externo del rompeolas se puede observar que la mayor parte del tronco está afectado por un antinodo, sin embargo, al mismo tiempo frente al morro ocurriría el nodo de la onda. La dársena frente al muelle Alemán y la terminal de cruceros estaría desfasada con el frente de ataque del muelle 70, no obstante esta situación no afectaría la operación respectiva en cada uno de los puestos de atraque. Así mismo, se observa que

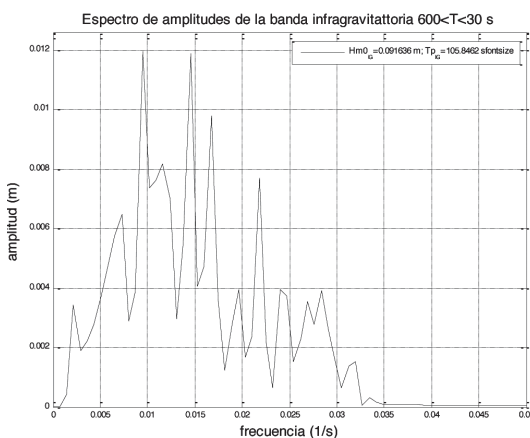
los sitios donde se midieron ampliaciones de la superficie libre asociados a los 100 segundos, el modelo simula de manera adecuada dichas sobre-elevaciones, sin embargo se puede apreciar que ambos sitios se encuentran desfasados.

4. CONCLUSIONES

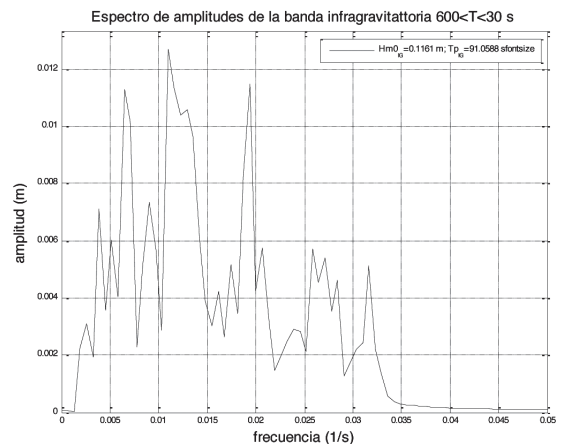
El modelo numérico de simulación MSP aproxima de manera adecuada muchos de los modos naturales de oscilación en cada uno de los puntos de control colocados en los puertos de Moín y Limón (Figura 1) y tienen similitud con los resultados de las simulaciones realizadas por la UCR (2005). Sin embargo, se comprobó con base en las mediciones de campo que no todos los picos simulados son reales.

Los muelles que se localizan más hacia el interior del puerto de Moín (Puesto 5-6 y 5-5), se podrían ver afectados por problemas de agitación debido a ondas de largo período, ondas infragravitacionales, para períodos de 120 segundos y en menor magnitud para la banda de períodos de 330 segundos.

Los frentes de muelles más exteriores (Puestos 5-4, 5-3 y 5-2) del puerto de Moín, podrían



Punto 1(A).



Punto 2(B).

Figura 9. Espectro de amplitud del conjunto de datos medidos por el sensor de presión de manera continua, en la banda de energía infragravitacional, Punto 1 y 2.

Fuente: Elaboración propia, 2012.

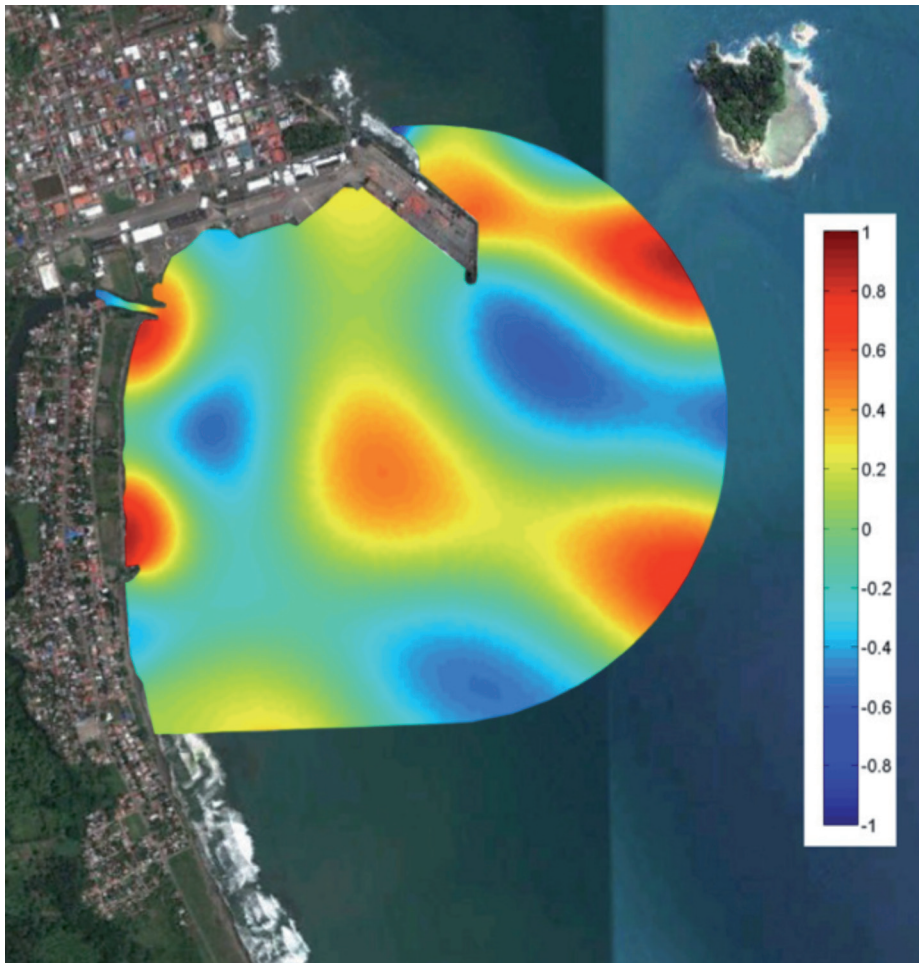


Figura 10. Mapas de agitación (m) para un forzamiento de onda con $T=100$ sec.

Fuentes: Elaboración propia, 2012.

presentar problemas de agitación para la banda de períodos comprendida entre los 70 – 90 segundos.

Los sitios de remolcadores y el muelle 70 del puerto de Limón podrían presentar agitación por onda larga con período de 100 segundos. Sin embargo, las magnitudes son del orden de los 10 cm por lo que no son significativas como para afectar la operación portuaria. Esto es posible debido a que los contornos del puerto son más amplios y al Oeste y Sur del puerto se encuentra la playa, lo cual permite que las ondas puedan disiparse mejor.

Si bien es cierto la magnitud de la amplitud asociada al oleaje infragravitatorio medido en las campañas de campo no presentó en ese momento valores que ocasionaran problemas en la operación del puerto, es de esperar que las magnitudes aumenten en el caso de que el oleaje incidente sea más energético, debido a que el oleaje sería mayor y por lo tanto la energía contenida en la banda de frecuencias infragravitatoria también. Ello podría ser la causa de un nivel de agitación importante en algunos de los puestos de atraque en puerto

Moín, ocasionando períodos de inactividad, sobre-esfuerzos en las amarras de los buques y problemas en la operación portuaria.

Los resultados de este estudio deben ser interpretados como una primera aproximación a la caracterización de la onda larga en los puestos de atraque en los puertos de Moín y Limón, lo anterior por cuanto, los datos medidos durante la campaña de campo fueron realizados por un corto período de tiempo debiéndose aumentar el registro de mediciones para así contar con resultados más precisos.

5. RECONOCIMIENTOS Y AGRADECIMIENTOS

Las simulaciones numéricas se realizaron por medio del programa MSP, desarrollado por la Universidad de Cantabria.

BIBLIOGRAFÍA

- Lara J., Martín F.L., Losada I.** (2002). “Análisis Experimental de Ondas Largas en la Bocana del Puerto de Gijón”. *Ingeniería del Agua*, Vol. 09 No. 04.
- Díaz, G.** (2006). “Análisis de Resonancia Portuaria: Generación, Transitoriedad, No Linealidad y Acoplamiento Geométrico”. Tesis Doctoral, Universidad de Cantabria: España.

Martín, F. L., Lara, J. L., Losada, I. J., & Díaz, G. (2003). “Análisis experimental de ondas largas en los puertos de Gijón y Lastres.” *VII Jornadas Españolas de Ingeniería de Costas y Puertos*, Almería, España.

Puertos del Estado. (2001). “ROM 0.0, Recomendaciones para obras marítimas.” Parte 1, pp 220.

GIOC, Universidad de Cantabria (2005). “Estudio de Afectación de las Obras de Dragado y Ampliación del Puerto de Moín”. Estudio realizado para la Universidad de Costa Rica.

SOBRE LOS AUTORES

Henry Alfaro Chavarría

Master en Ingeniería de Costas y Puertos. Funcionario de la Facultad de Ingeniería, Laboratorio de Ingeniería Marítimo Fluvial de la Universidad de Costa Rica.

Teléfono: 2511-6656

Correo electrónico: henry.alfaro@ucr.ac.cr

Georges Govaere Vicarioli

Doctor en Ingeniería Marítima. Director del Instituto de Investigaciones en Ingeniería, INII de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Costa Rica y profesor catedrático.

Teléfono: 2511-6634

Correo electrónico: georges.govaere@ucr.ac.cr