

SOCIEDAD CHILENA DE INGENIERÍA HIDRÁULICA

XX CONGRESO CHILENO DE HIDRÁULICA

**ESTUDIO DE DISPONIBILIDAD DEL TERMINAL 2 DEL PUERTO DE
VALPARAÍSO MEDIANTE MODELOS NUMÉRICOS**

PATRICIO MONÁRDEZ¹
ROBERTO SALINAS¹
HUGO ACUÑA¹
MATIAS QUEZADA¹
WIM VAN DER MOLEN¹

RESUMEN

Se desarrolló un estudio que permitió estimar la disponibilidad futura (o *downtime*, definición en inglés de la no-disponibilidad) para el proyecto de expansión del Terminal 2 del Puerto de Valparaíso. Este se realizó mediante la utilización de modelos numéricos de oleaje debidamente validados con mediciones en terreno y de respuesta dinámica no lineal de naves atracadas.

El estudio permitió definir que el terminal en su concepción actual no podrá alcanzar la utilización requerida para hacer rentable la inversión de un terminal para el manejo de contenedores.

¹Baird & Associates S.A. - email: pmonardez@baird.com

1. INTRODUCCIÓN

Baird & Associates S.A. (Baird) desarrolló un estudio que permitió estimar la disponibilidad futura (o *downtime*, definición en inglés de la no-disponibilidad) para el proyecto de expansión del Terminal 2 del Puerto de Valparaíso.

El estudio requirió de la definición del clima de oleaje de largo plazo en la Bahía de Valparaíso, del desarrollo de estudios de agitación por oleaje en la zona portuaria y la modelación de respuesta de buque atracado. Se realizaron mediciones de oleaje en paralelo para validar los modelos utilizados.

La propagación del oleaje desde aguas profundas hasta el sitio de interés se realizó mediante la combinación de los modelos lineal MIKE21 PMS (Parabolic Mid Slope Equation, DHI, 2005) y no lineal MIKE21BW (Boussineq Wave Model, DHI, 2005). El análisis de respuesta de buque atracado fue realizado mediante la aplicación de un tren de modelos numéricos, correspondientes a Harberth-TERMSIM II. El primero fue desarrollado por la Universidad Técnica de Delft (TUDelft, Van der Molen, 2008) y el segundo por el Maritime Research Institute Netherlands (MARIN, 2006).

El análisis de disponibilidad del terminal fue realizado basándose en los resultados de las simulaciones de respuesta de buque atracado, que a su vez dependen del grado de agitación. Es necesario destacar que éste análisis considera sólo los efectos de las sollicitaciones por oleaje sobre el buque atracado en el terminal, dejando fuera del análisis elementos tales como viento, corrientes, detención de equipos de carga, rendimiento de trabajadores, presencia o no presencia del buque en el terminal, etc.

2. OLEAJE EN AGUAS PROFUNDAS

Este estudio fue desarrollado utilizando la base de datos de olas en aguas profundas Olas Chile IV, la cual se encuentra debidamente validada en aguas profundas (Pantoja et al, 2005). El nodo de la base de datos de Olas Chile costa afuera de Valparaíso (33°S 72°W) fue utilizado como la fuente de datos de olas para este estudio. El Proyecto OLAS Chile (Atria Baird, 2001), desarrollado por Baird, tuvo por objeto definir una base de datos de largo plazo de espectros direccionales de oleaje en aguas profundas sobre toda la costa chilena. Recientemente, la base de datos fue actualizada (Olas Chile Versión IV) resultando en mejoras en las validaciones, particularmente en las alturas de oleaje (Quezada, en proceso de publicación).

Este proyecto se basa en un modelo de *hindcast* de tercera generación, que en su versión IV considera la generación de olas en todo el Océano Pacífico desde 1980 a 2009. Dicha modelación numérica y la base de datos resultante fueron validadas en 22 puntos con las mediciones de olas que existen en Chile, de boyas del SHOA (TriAXYS en Valparaíso), de la NOAA (comparando alturas de oleaje significativa espectral, período peak espectral, dirección peak espectral), y datos satelitales (altura significativa).

Para ilustrar el buen ajuste logrado, la Figura 1 presenta el gráfico de validación de los datos de la base de datos Olas Chile comparado con las mediciones del satélite Topex, para la ubicación frente a Valparaíso.

Durante el proyecto Olas Chile IV se puso especial énfasis en la validación de los resultados del hindcast contra las mediciones de boyas del SHOA, destacándose la boya direccional TriAXYS ubicada actualmente frente a Valparaíso (ver Figura 2).

3. PROPAGACIÓN DE OLEAJE A LA ENTRADA AL PUERTO

El oleaje espectral direccional cada tres horas durante 30 años en aguas profundas fue transferido espectralmente mediante el uso de funciones de transferencia hacia la Bahía de Valparaíso mediante la utilización de un tren de modelos lineales parabólicos (desde aguas profundas a la entrada del puerto) y no lineales Boussinesq (desde la entrada del puerto a las zonas proyectadas). Este proceso está debidamente validado en aguas someras (Nicolau del Roure, 2004; Quezada, 2011) y constituye norma en Chile según la instrucción SHOA3201 (SHOA, 2005). Para validar el método y los modelos utilizados se realizaron mediciones en dos nodos en forma paralela.

3.1 Batimetría y marea

Para confeccionar las grillas empleadas en los modelos se utilizaron las cartas náuticas SHOA 5100 y 5112. La batimetría en detalle de la zona de proyecto fue obtenida especialmente para este estudio. Se utilizó la marea media en el Puerto de Valparaíso, cuyo valor es 0.91 m NRS.

3.2 Detalles de la modelación numérica

La simulación numérica de las condiciones de oleaje en la bahía de Valparaíso es de alta complejidad. La presencia de la Punta Ángeles, el molo de abrigo y las aguas relativamente profundas plantean un desafío técnico mayor para los modelos numéricos comerciales. Para poder resolver el problema de manera técnicamente aceptable, se hace necesaria la aplicación de diversos modelos y la calibración/validación de éstos con mediciones in situ. Se utilizan dos clases de modelos para simular el oleaje en el caso del terminal 2 del Puerto de Valparaíso.

Para la propagación desde aguas profundas hasta la Bahía de Valparaíso en las zonas no cubiertas por el rompeolas, se usan preferentemente modelos lineales, debido a que permiten simular las aguas profundas y resuelven razonablemente bien los fenómenos a los cuales se ve afecto el oleaje en su propagación: refracción, difracción suave y asomeramiento.

En las zonas cubiertas por el rompeolas se usan modelos no lineales, para agregar fenómenos de oleaje más complejos: difracción marcada y reflexión.

a) Propagación desde aguas profundas hasta la Bahía de Valparaíso, zonas no cubiertas por el rompeolas – modelos lineales.

Se implementaron y compararon tres modelos numéricos para simular la aproximación del oleaje desde aguas profundas a la zona de Puerto, siendo estos STWAVE, STWAVE-BAIRD y MIKE 21 PMS.

El modelo STWAVE (STeady state spectral WAVE model) fue desarrollado por el US Army Corps of Engineers (USACE, 2001) y simula espectros de olas irregulares, multidireccionales y los procesos de refracción, asomeramiento, rompiente, interacción olas-corrientes y difracción. La difracción en el modelo está incluida como un suavizado numérico de la energía de olas en cada columna de la grilla del modelo, de manera de evitar gradientes de energía muy pronunciados.

STWAVE – BAIRD es una modificación realizada internamente por Baird del código del modelo STWAVE para ampliar su rango de aplicación y mejorar la representación de direcciones mediante una rotación variable de la grilla.

El modelo MIKE21 PMS (Parabolic Mild Slope) es un modelo espectral para olas cerca de la costa desarrollado por el Danish Hydraulic Institute (DHI, 2005) y simula espectros de olas irregulares, multidireccionales y los procesos de refracción, difracción numérica, asomeramiento, rompiente e interacción olas-corrientes.

b) Propagación en aguas intermedias/someras. Zona cubierta por el rompeolas – modelos no lineales

Se utilizó el modelo MIKE21BW, desarrollado también por el DHI (2005) y que, además de considerar los efectos antes mencionados, incluye también la difracción y reflexión del oleaje en las estructuras existentes y proyectadas. La difracción en este modelo se resuelve con ecuaciones que incorporan la física del proceso y son por lo tanto, de mayor precisión que los modelos lineales. Estos modelos tienen limitaciones de profundidad (40 a 50 m, dependiendo del período oleaje) y por ello se usan en conjunto con los modelos lineales.

3.3 Mediciones in situ

Las mediciones para la calibración/validación se realizaron durante los meses de febrero/marzo de 2011 en dos lugares. Uno representativo de la propagación a las zonas no cubiertas por el molo de abrigo (N1), es decir, que permite validar la modelación con modelos lineales y otro ubicado en la zona de emplazamiento del proyecto; específicamente, el centro de gravedad de la nave atracada (N2) y que permite validar la utilización de modelos no lineales. La Figura 3.1 muestra la ubicación de los nodos antes descritos.

Nótese que se describe un nodo N0 a la entrada del puerto. Este corresponde a un nodo de empalme entre modelos lineales y no-lineales.

4. CALIBRACIÓN Y VALIDACIÓN DEL MODELO

Se generó el clima de olas el nodo N1, donde se compararon los resultados de los modelos utilizados con las mediciones. Se realizó un *hindcast* de aguas profundas específico para el mes medido. La Figura 4 muestra la comparación de estados de mar cada tres horas

simulados y medidos el mes de Marzo de 2011. Se aprecia una buena correlación entre los modelos lineales y la medición. Los modelos STWAVE están un poco por debajo del promedio, mientras que el modelo PMS está ligeramente por sobre las mediciones. La diferencia entre modelos PMS y STWAVE es de un 20%. Los tres modelos se consideran adecuados para la modelación en la zona del emplazamiento del nodo N1, es decir, aquella donde el giro del oleaje producto de la difracción inducida por la Punta Ángeles es aún razonablemente resuelta por modelos lineales (Salinas, 2008). La figura 5 muestra una validación directa entre el oleaje medido y el simulado con la base de datos Olas Chile IV, transferido espectralmente mediante funciones de transferencia creadas con el modelo PMS.

5. DEFINICIÓN DEL CLIMA DE OLAS EN EL FUTURO PUERTO

La definición del clima de oleaje a la entrada del puerto se realiza con dos transferencias espectrales. Una hasta la entrada del puerto (N0) mediante el modelo lineal y otra hasta el sitio en estudio (N2) con el modelo no lineal, a partir de los resultados en N0.

Se transfirió el clima de olas hacia el nodo N0 a la entrada del puerto y se compararon los resultados entre los modelos, ver Figura 6. Nótese que la diferencia entre modelos STWAVE y PMS es de un 50% en esta zona. Ello se debe a que la entrada al puerto, frente al Molo de Abrigo corresponde a una región en la cual los modelos numéricos presentan falencias en la resolución de la difracción y refracción inducidas por la Punta Ángeles (Salinas, 2008). No considerar estas deficiencias puede inducir a una propagación de energía menor a las zonas del puerto y por lo tanto, una definición subestimada del clima de olas en la zona abrigada, independiente del uso de un modelo no lineal en la zona portuaria, puesto que la energía de entrada al modelo secundario estaría equivocadamente definida.

Otros resultados relevantes del clima de olas en el nodo N0 se muestran en la Figura 7 y corresponden a las rosas de puntos y de alturas de olas (Hmo). De estas figuras se desprende la existencia de dos direcciones de oleaje a la entrada al puerto. La primera en torno a 315° asociada a oleaje procedente del SW (en aguas profundas) con una ocurrencia del 85% del tiempo y la segunda en torno a 337° procedente del NW con una ocurrencia del 8%. También se desprende de las figuras que el oleaje excede 1 m de altura significativa el 53% del tiempo.

El paso posterior fue generar el clima de oleaje en la zona del puerto mediante el uso del modelo no lineal, considerando la difracción y las reflexiones en las estructuras. Para ello se realiza la propagación de oleaje desde la entrada del puerto (N0) hasta el nodo de proyecto N2, considerando el oleaje generado en N0 por el modelo PMS por propagar mayor energía a dicha zona que los modelos STWAVE. Se comparó el clima de oleaje generado por las simulaciones y las mediciones, ver Figura 8. En dicha figura se aprecia que el oleaje simulado es menor al medido.

La diferencia en resultados en N1 y N2, se explica por la deficiencia de los modelos lineales en la propagación de energía desde agua profunda al nodo N0, debido a la pobre resolución de la difracción en los modelos lineales. Esta deficiencia se arrastra en la

propagación desde N0 hacia N2. El nodo N1 tiene una comparación satisfactoria, debido a que el efecto de la difracción en esa zona es relativamente menor. El modelo Bousinessq desde N0 a N2 sólo genera funciones de transferencia que utilizan los espectros 2D generados en N0 para transferir la energía al sitio de estudio y, por lo tanto, no es responsable de la baja energía propagada. Una corrección de las funciones de transferencia pasa necesariamente por un proceso de asimilación con los datos en el nodo N0, el cual requiere de mediciones de largo plazo, las cuales son de mayor costo y riesgo, dado a que la profundidad de la columna de agua en la zona es del orden de 50 m. Luego, el clima de oleaje queda definido complementariamente con las Figuras 9 y 10.

6. MODELACIÓN DE RESPUESTA DE BUQUE ATRACADO Y CÁLCULO DE DOWNTIME

El modelo HARBERTH fue utilizado para modelar la hidrodinámica del barco atracado; es decir, su comportamiento flotante y las solicitaciones por oleaje sobre el casco considerando la presencia de la infraestructura proyectada (ver Figura 11, el nodo N2 se ha puesto de manera referencial).

Con las condiciones de mar definidas por el modelo no lineal Mike21BW en torno a la nave se determinaron las series de tiempo de fuerzas sobre el barco simulado con una serie de paneles en 3D (ver Figura 12), creando funciones de transferencia de respuesta de buque atracado que cubren los 30 años de estadística. Las fuerzas se calculan para cada estado de mar sobre cada uno de los paneles, considerando las condiciones hidrodinámicas impuestas por el terminal proyectado y las estructuras existentes dentro del modelo de propagación de oleaje. Una de las ventajas de usar modelos no lineales es que se incorporan en la modelación las olas largas ligadas (*bound waves*) y sus efectos sobre la nave.

Luego, considerando los 30 años de oleaje en el nodo N2 cada 3 horas, es posible simular la nave como si hubiera estado atracada en el sitio durante 30 años, generando 86000 respuestas dinámicas (movimientos en 6 grados de libertad, compresiones en las defensas y tensiones en las espías). Comparando estas respuestas con condiciones límites ampliamente reconocidas es posible estimar el *downtime* del terminal. Hacemos notar que en este cálculo se consideró el clima de oleaje en N2 sin corrección, es decir, por debajo de las mediciones, debido a que no se realizó un proceso de asimilación en N0, por no contar con mediciones en dicho punto. Luego, los movimientos que se estimarán para la nave y por lo tanto el *downtime* estarán subestimados.

6.1. Líneas de Amarre

Las amarras corresponden a 2 *breasts* de proa y popa y 1 *spring* a proa y popa, totalizando 6 amarras. Cada amarra se consideró compuesta por dos espías. Se utilizó una espía Multiplait Supermix de Marlow de 11" de mena, que se obtuvo del ANEJO 5 del estudio de Agitación de oleaje para el desarrollo del Puerto de Valparaíso realizado por INHA (2009). Se consideró un 15% de pretensión de la carga mínima de rotura de la espía de amarre (MBL), tal como se define en dicho informe.

6.2. Defensas

El sistema de atraque considera defensas en todo el frente de atraque espaciadas a 15 m. Se utilizaron las mismas defensas consideradas en los estudios previamente realizados por INHA (2009) especificadas en el ANEJO 5 del estudio de Agitación de oleaje para el desarrollo del Puerto de Valparaíso. Dicha defensa corresponde a una HOM 1600Hx100.

6.3 Condiciones medioambientales en la modelación

Se consideraron 160 casos de oleaje determinados al combinar 8 alturas significativas y 5 períodos peak con 4 direcciones medias, a partir de las cuales se interpola la respuesta de la nave para las condiciones de mar de la base de datos de 30 años. La Tabla 1 muestra las alturas significativas (Hs), períodos peak (Tp) y direcciones medias (MWD) consideradas en la modelación. Se utilizó una marea media de 0.91 m, correspondiente a Valparaíso y no se consideraron corrientes ni viento.

Tabla 1 Combinaciones de estados de mar considerados en la modelación

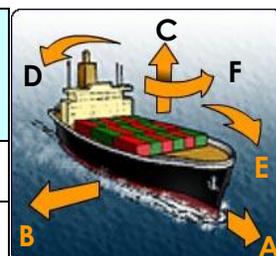
Altura de ola Hs (m)	Período Peak Tp (s)	Dirección media del oleaje MWD (°)
0.20	7	305
0.40		
0.60	9	325
0.80		
1.00	13	345
1.25		
1.50	17	365
2.00		

6.4 Criterios límite de movimiento

Para estimar el *downtime* del terminal se utilizaron criterios reconocidos como el estándar internacional y que corresponden a las recomendaciones PIANC (1995) de movimiento máximo en un buque atracado para operaciones de descarga segura y eficiente. En este caso específico se utilizaron criterios de transferencia de contenedores de grúa en muelle para una eficiencia de 100% y 50%. Ver Tabla 2.

Tabla 2 Movimientos máximos recomendados para una transferencia segura y eficiente de contenedores mediante grúas en muelle (PIANC)

Eficiencia (%)	Surge (Vaivén) A	Sway (Deriva) B	Heave (Alteada) C	Roll (Balance) D	Pitch (Cabeceo) E	Yaw (Guiñada) F
100	1.0 m	0.6 m	0.8 m	3°	1°	1°
50	2.0 m	1.2 m	1.2 m	6°	2°	1.5°



Además se consideró que las espías de amarra no debían superar el 75% de la carga mínima de rotura (MBL), según recomendaciones de PIANC (1995), y que las defensas no deben superar la reacción máxima.

6.5. Resultados de downtime

Los resultados de *downtime* para una eficiencia de grúa de 100% se muestran en la Tabla 3. En ella se aprecia un alto grado de *downtime* por *sway*. En la Tabla 4 se muestran los resultados al considerar 50% de eficiencia.

Tabla 3 *Downtime* detallado – 100% Eficiencia

Variable	A Surge	B Sway	C Heave	D Roll	E Pitch	F Yaw
	Vaivén	Deriva	Alteada	Balance	Cabeceo	Guiñada
Nº Ocurrencias	23664	51304	0	0	0	15121
Downtime (%)	27	59	0	0	0	18
Disponibilidad (%)	73	41	100	100	100	82
Variable	Falla Leg 1	Falla Leg 2	Falla Leg 3	Falla Leg 4	Falla Leg 5	Falla Leg 6
Nº Ocurrencias	0	0	0	0	1117	0
Downtime (%)	0	0	0	0	2	0
Disponibilidad (%)	100	100	100	100	98	100
Variable	Falla Fender 1	Falla Fender 2	Falla Fender 3	Falla Fender 4	Falla Fender 5	Falla Fender 6
Nº Ocurrencias	0	0	0	0	0	0
Downtime (%)	0	0	0	0	0	0
Disponibilidad (%)	100	100	100	100	100	100

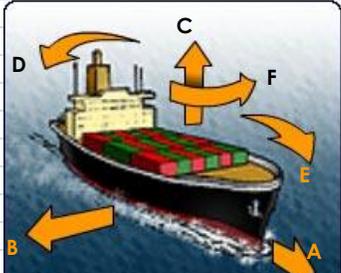
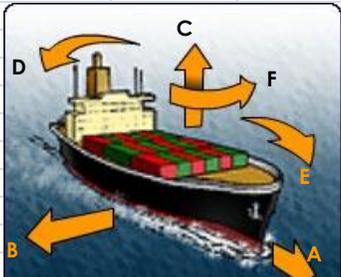


Tabla 4 *Downtime* detallado – 50% Eficiencia

Variable	A Surge	B Sway	C Heave	D Roll	E Pitch	F Yaw
	Vaivén	Deriva	Alteada	Balance	Cabeceo	Guiñada
Nº Ocurrencias	1811	7911	0	0	0	1581
Downtime (%)	3	10	0	0	0	2
Disponibilidad (%)	97	90	100	100	100	98
Variable	Falla Leg 1	Falla Leg 2	Falla Leg 3	Falla Leg 4	Falla Leg 5	Falla Leg 6
Nº Ocurrencias	0	0	0	0	1117	0
Downtime (%)	0	0	0	0	2	0
Disponibilidad (%)	100	100	100	100	98	100
Variable	Falla Fender 1	Falla Fender 2	Falla Fender 3	Falla Fender 4	Falla Fender 5	Falla Fender 6
Nº Ocurrencias	0	0	0	0	0	0
Downtime (%)	0	0	0	0	0	0
Disponibilidad (%)	100	100	100	100	100	100



Los resultados muestran que el terminal tendría una disponibilidad promedio con el siguiente desglose:

- Un 41% del tiempo el terminal operará con eficiencia de grúa de grúa de 100%.
- Un 49% del tiempo el terminal operará con eficiencia de grúa entre 100% y 50%.
- Un 10 % del tiempo no se podrá transferir carga por exceso de movimiento inducido por oleaje.

La Figura 13 muestra el *downtime* promedio mensual para la configuración analizada y para eficiencias de grúa de 50% y 100%.

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El modelado numérico de la zona de Valparaíso es una tarea altamente compleja. Debido a que la presencia de la Punta Ángeles constituye un punto de difracción con origen en aguas con profundidades relativamente mayores, se hace imposible usar modelos numéricos no lineales. Debido a eso se utilizan modelos lineales que resuelven ecuaciones parabólicas.

El estudio de oleaje mostró que el sitio bajo análisis no puede ser modelado directamente por los modelos numéricos sin efectuar correcciones basadas en las mediciones. Estas

deben ser de largo plazo, de manera de captar la energía que se propaga desde el tercer y cuarto cuadrante. El sitio para medir olas debería ser en el entorno del nodo N0.

Para el análisis de *downtime* del terminal se realizaron diversas simulaciones de las cuales se obtuvo que el terminal tendría una disponibilidad de un 41% del tiempo a una eficiencia de grúa de 100%, un 49% del tiempo la eficiencia de grúa será menor a un 100%, llegando a ser de un 50%. Un 10 % del tiempo no se podrá transferir carga por exceso de movimiento inducido por oleaje.

Se recomienda una modificación completa del terminal para disminuir el *downtime*. Una configuración con dársenas parece la solución más adecuada dada la dirección de propagación del oleaje.

REFERENCIAS

- Atria Baird Consultores S.A. 2001. Proyecto SHOA: Olas Chile, Informe de Resultados del Hindcasting y Entrega de Base de Datos. .
- Danish Institute of Hydraulics. 2005. MIKE21BW, Boussinesq Wave Module, User Guide, DHI Software.
- Danish Institute of Hydraulics. 2005. MIKE21PMS, Parabolic Mild-Slope Wave Module, User Guide, DHI Software.
- INHA. 2009. Estudio de Agitación de Oleaje para el Desarrollo del Puerto Valparaiso.
- Nicolau del Roure, F.J. 2004. Evaluación de Metodologías de Transferencia de Oleaje desde Aguas Profundas hacia Aguas Someras. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil, Universidad de Chile.
- MARIN. 2006. Computer program TERMSIM II. Theory and user's guide.
- PIANC. 1995. Criteria for Movements of Moored Ships in Harbours.
- Quezada, M. 2011. Validación Directa en Aguas Someras de Modelo de Hindcast Olas Chile IV. XX Congreso Chileno de Hidráulica, Sociedad Chilena de Ingeniería Hidráulica.
- Salinas, R. 2008. Transferencia Espectral en Aguas Someras Mediante Modelos Numéricos. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil, Universidad Técnica Federico Santa María.
- SHOA. 2005. Instrucción 3201, 3a Edición.
- Us Army Corps of Engineers. 2001. STWAVE: Steady-State Spectral Wave Model User's Manual for STWAVE, Version 3.0.
- Van der Molen, W., Wenneker, I. 2008. Time-domain calculation of moored ship motions in nonlinear waves, Coastal Engineering Journal 55 (2008) 409–422.

FIGURAS

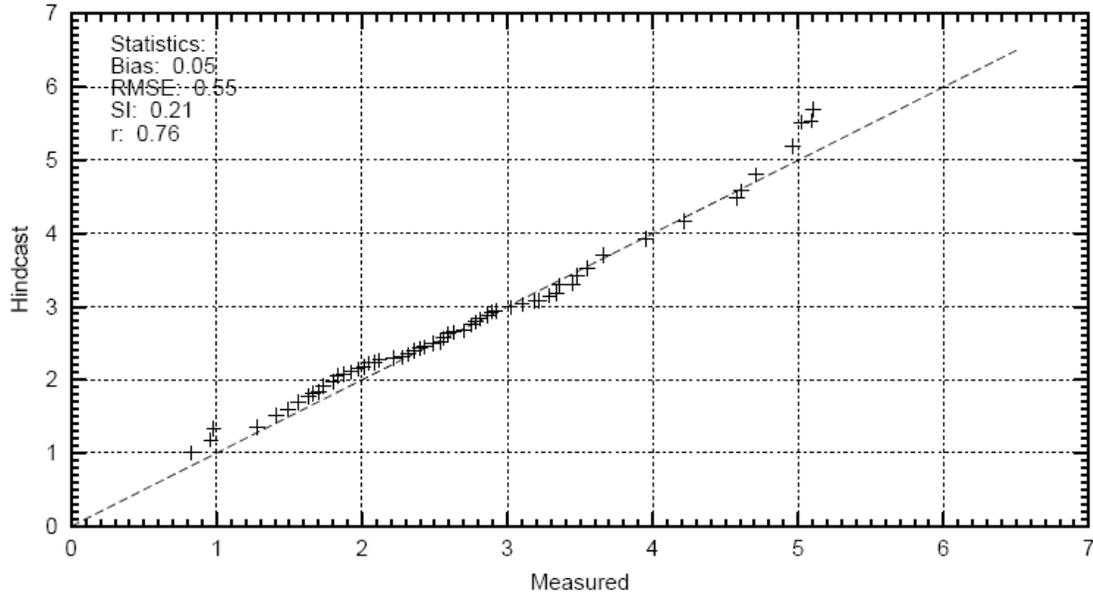


Figura 1: Gráfico de excedencia de Hmo de Olas Chile vs. TOPEX en Valparaíso

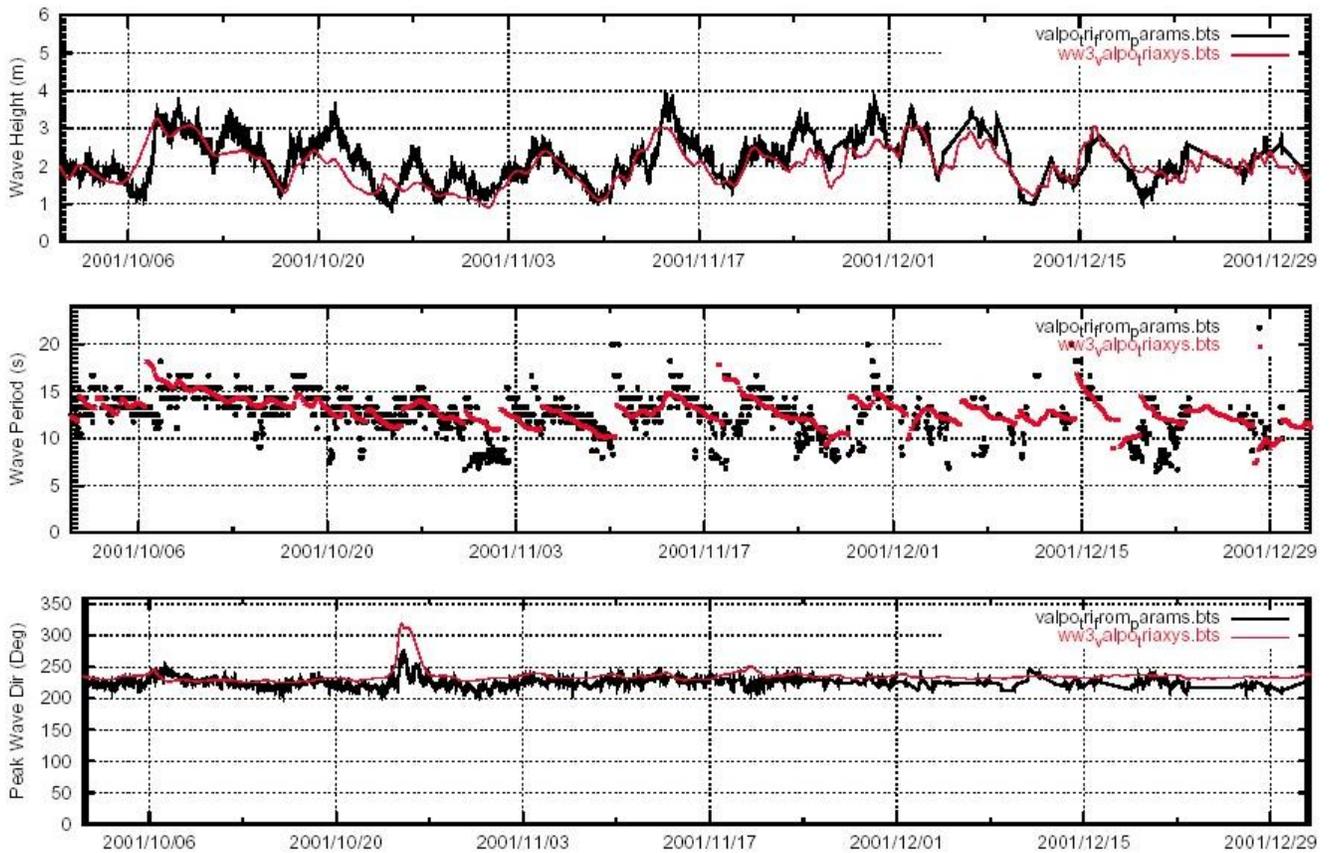


Figura 2: Series de tiempo de Olas Chile vs. mediciones de la Boya TriAXYS en Valparaíso

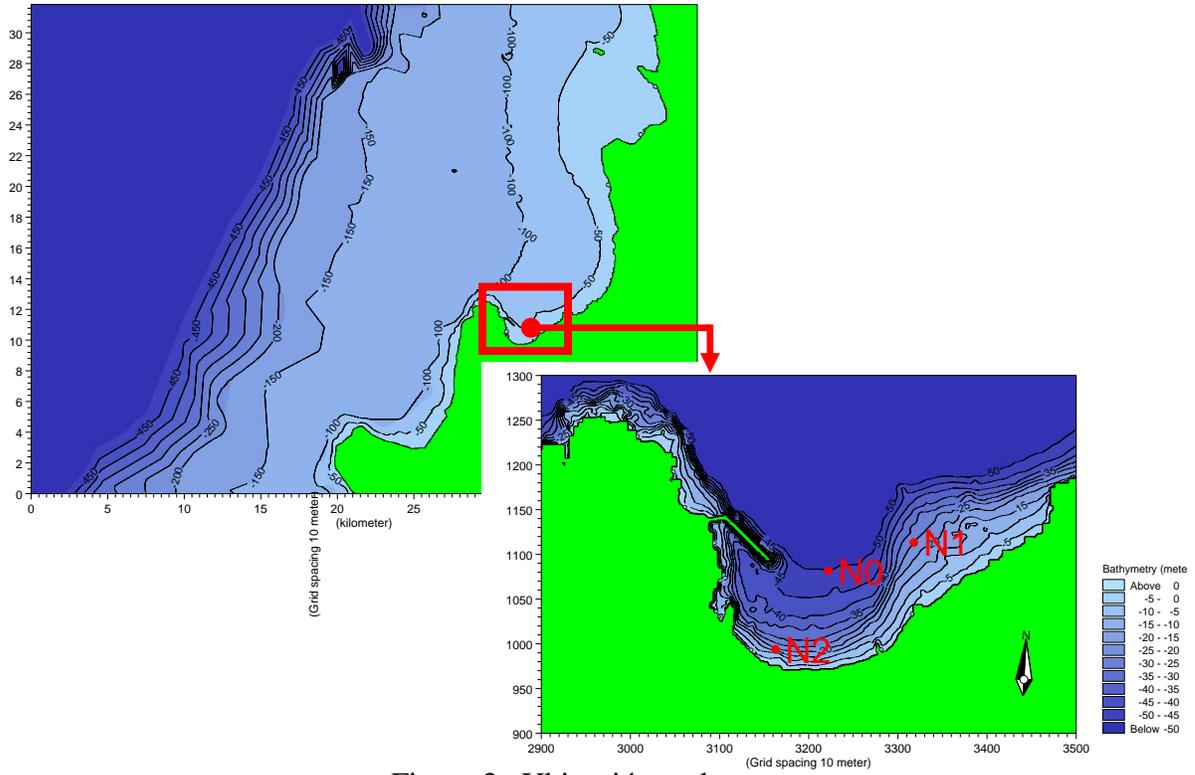


Figura 3. Ubicación nodos

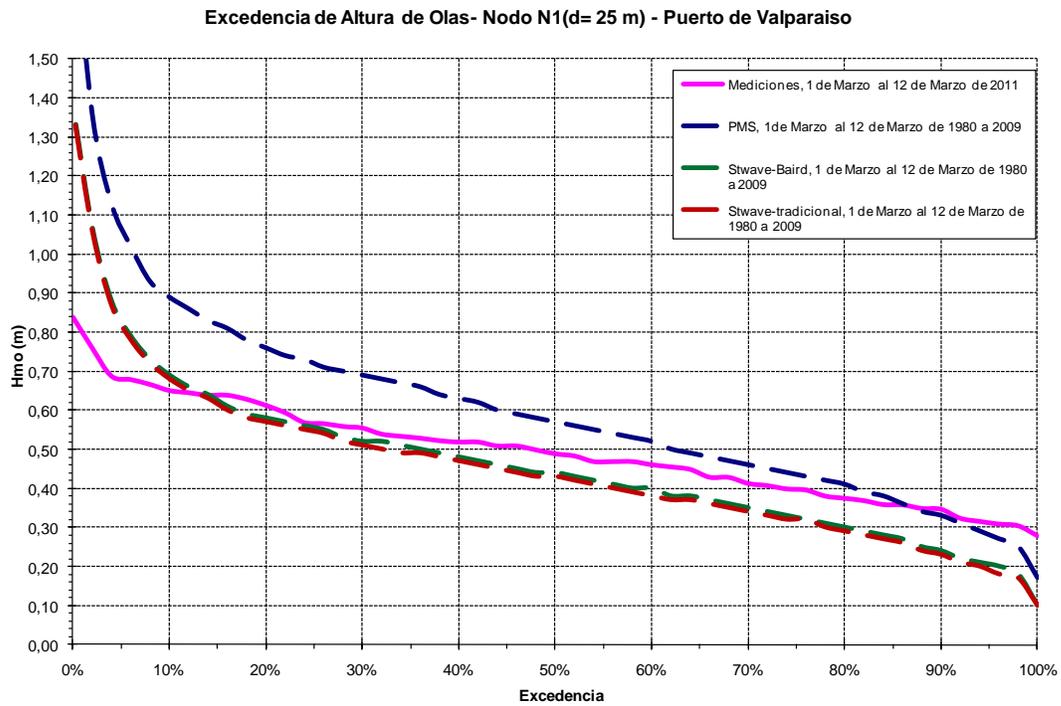


Figura 4. Comparación de excedencia de altura de olas entre mediciones y los modelos usados para la transferencia de Olas Chile IV.

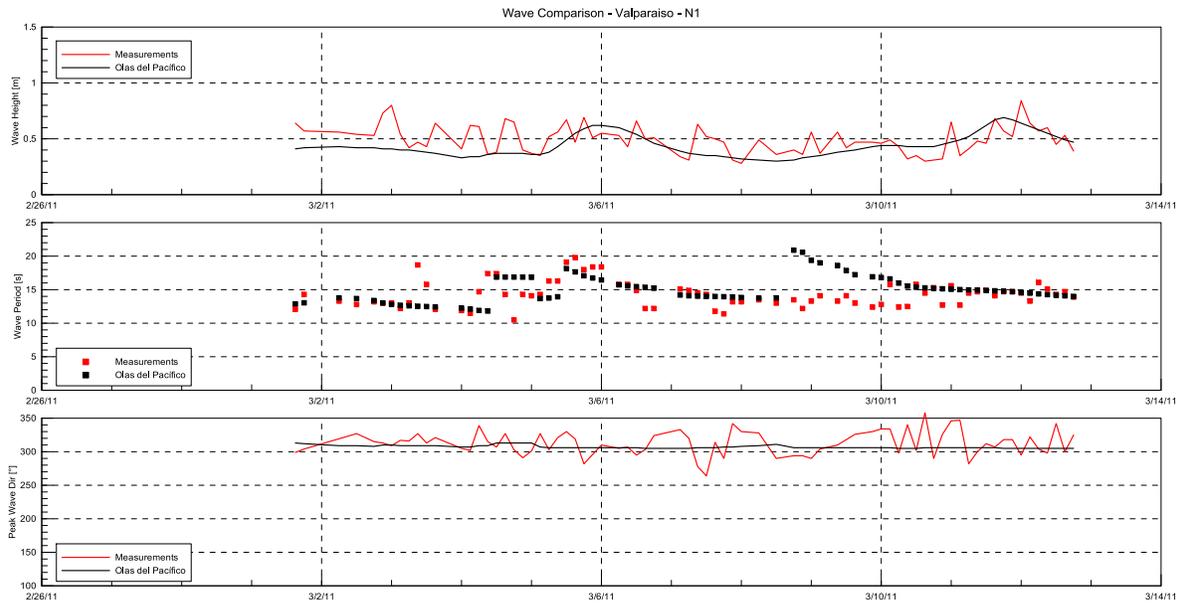


Figura 5. Validación directa del oleaje en el nodo N1.

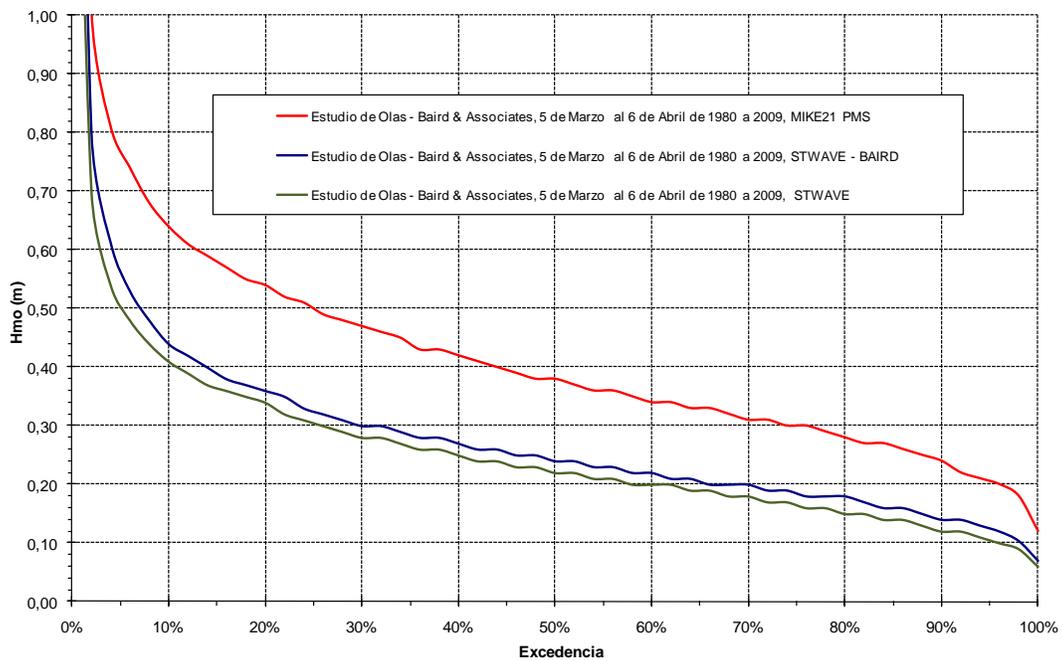


Figura 6 Comparación entre climas de oleaje simulados en N0

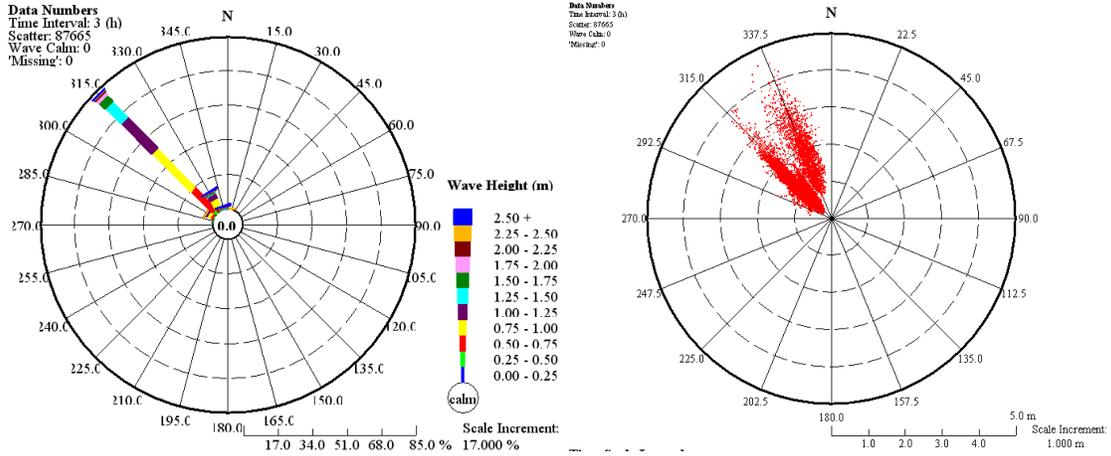


Figura 7: Rosas de altura y puntos de olas – N0

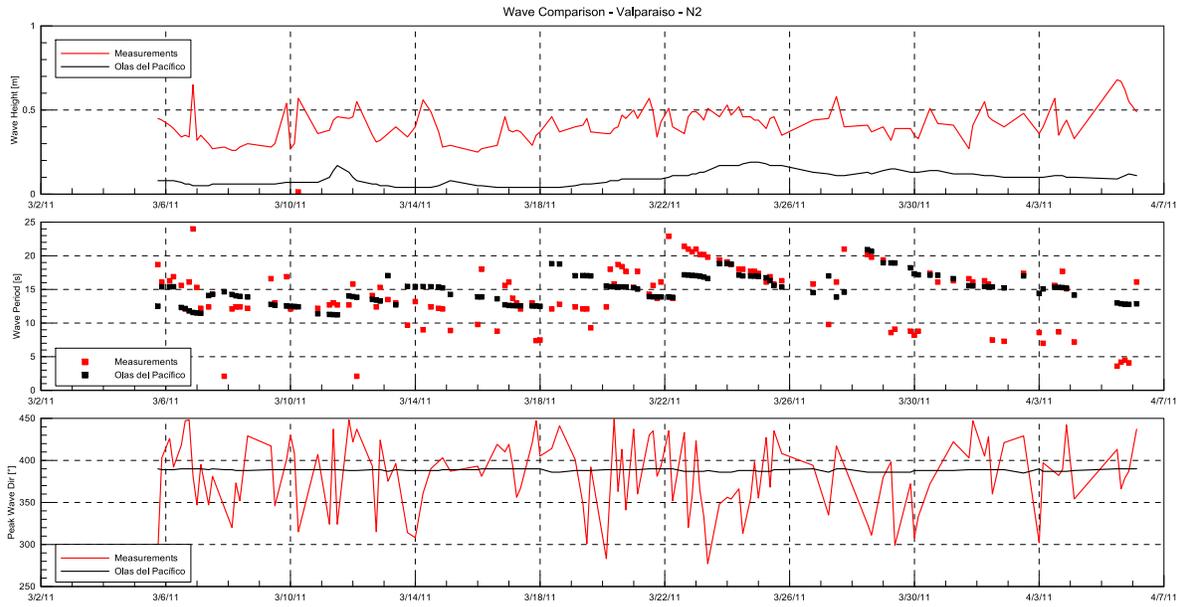


Figura 8 Comparación entre oleaje simulado en N2 con mediciones

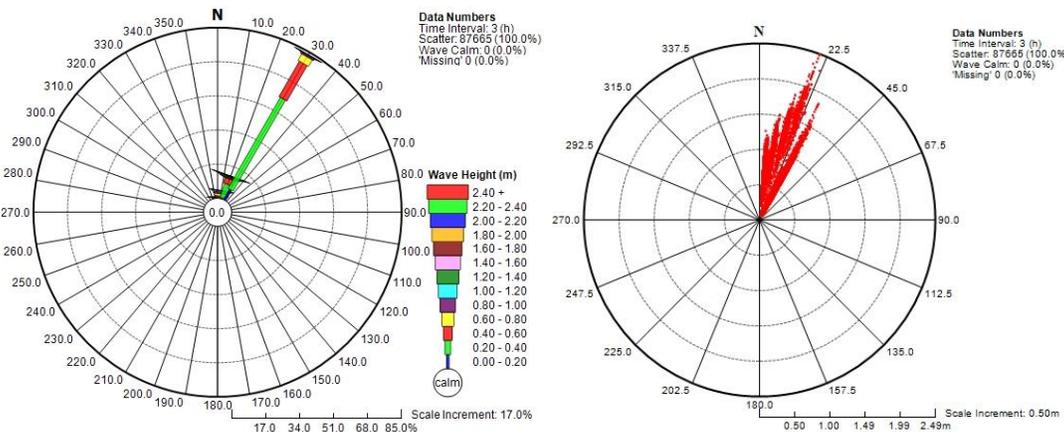


Figura 9: Rosas de altura y puntos de olas – N2

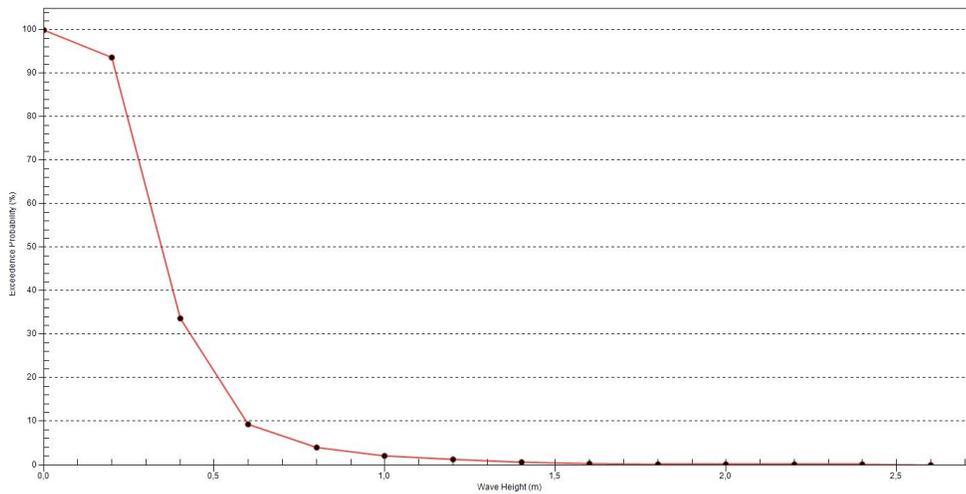


Figura 10: Gráfico de excedencia de Hmo – N2

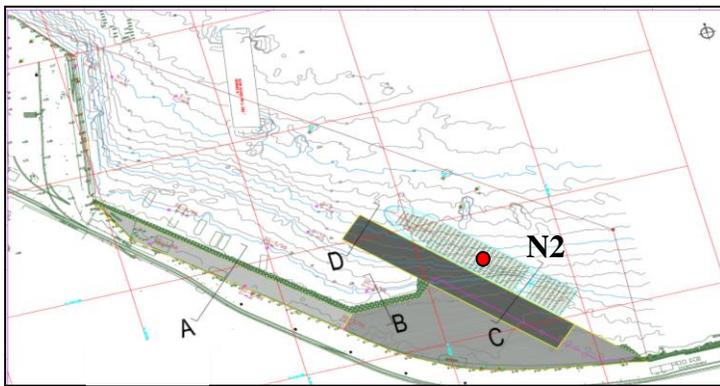


Figura 11 Terminal modelado

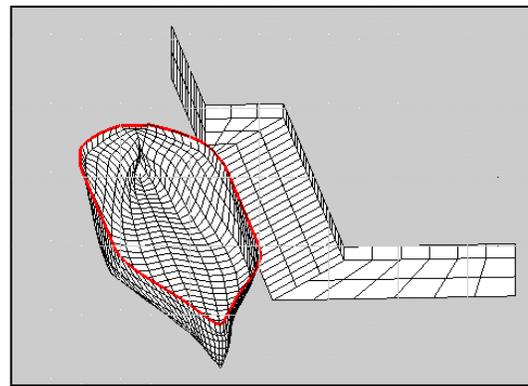


Figura 12 Nave modelada con paneles

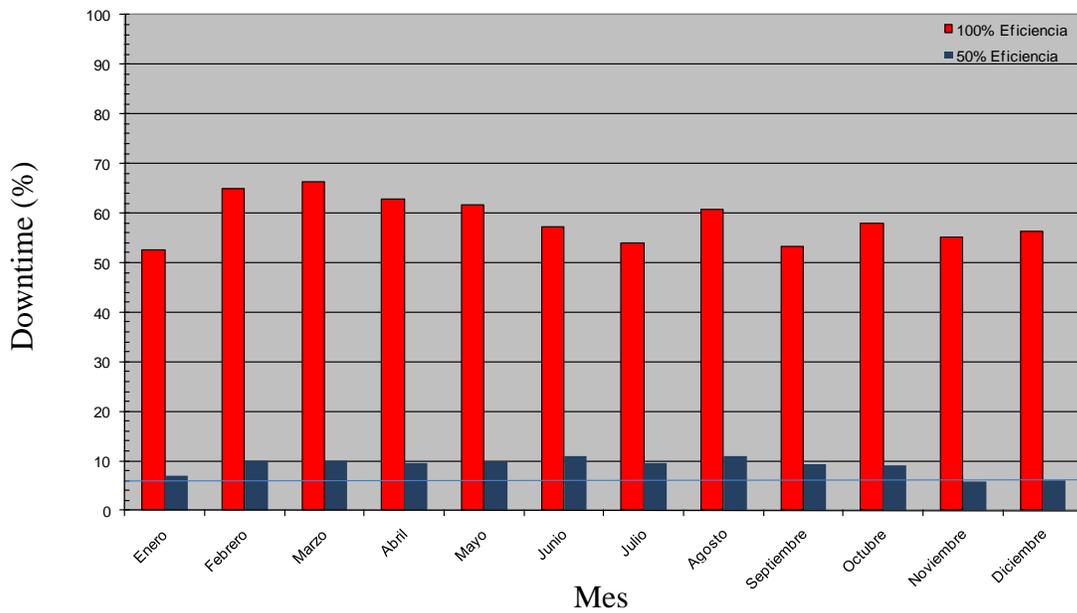


Figura 13 Downtime promedio mensual – Distintas eficiencias de grúa