

A breakwater project in the port of Coronel

R. Van Abeelen, J. de Bont, W. Broersen, L. Donders, R. Schippers and B. Van Son

Faculty of Civil Engineering and Geosciences, Delft University of Technology, The Netherlands

Abstract

This article presents preliminary studies for the construction of a breakwater in the Coronel bay. Waves propagating towards the Coronel bay may cause undesirable effects on the operation of Port Coronel. Since a second jetty is under construction and another one is planned it is therefore very important to avoid disturbance of port operations. A computer wave model was used to simulate different scenarios of waves propagating towards the bay. Results shown that a breakwater is required to protect Port Coronel against waves from the northwest. A design and construction method of a breakwater is presented.

Keywords: Breakwater, Coronel bay, wave propagation.

PROJECT DESCRIPTION

In cooperation with the Universidad Católica in Concepción, Port Coronel assigned the breakwater project. The port of Coronel is located in the Coronel Bay at approximately 30 kilometers south of Concepción and about 500 kilometers from Chile's capital city Santiago. While it is still a relatively small port, it has been developing since the mid '90s in a substantial way. Based on the regional developments, several tasks and

problems occur in the port. Together with the port authorities the goal of the project was set to optimise and elaborate plans to obtain design solutions to be able to handle future cargo flows under acceptable conditions.

ANALYSING THE PORT

Before working in any type of idea it is necessary to have a good overview of the port situation. To have a good



Fig.1 Possible future situation in Coronel bay

overview of the port operations and the developments in and outside the port a lot of time was put in reading reports, analysing statistics, observing maps and talking to experts. First of all one has to realise where Coronel is located, like wise the rest of the Chilean coast, on a so-called leading edge coast. Tectonic motion is responsible for the high mountain range called the Andes, relatively frequent earthquakes, volcanic activity and steep shorelines.

Along the coast many small ports arise. Port Coronel is located in the Coronel Bay adjacent to the Gulf of Arauco as show in fig. 1.

While Chile is famous for the export of different mining products, the hinterland of Port Coronel is mainly dealing with forestry products. The region called Bio Bio contains almost 44% of Chile's forest plantations and therefore a major part of the port's throughput is forest related. Port Coronel is a true export-port. At this moment it is only able to handle bulk and general cargo.

In the bay itself, there are several other activities going on besides the port operations of Port Coronel. While there is some recreation in the south, one finds several fishing companies directly North of the Port Coronel facilities. Further up in the Northwest, two jetties are located for a nearby thermal power plant.

All the goods coming from the hinterland are brought into the port by train or truck. Here it is stored in one of the warehouses or open storage yards. At this moment Port Coronel possesses only one jetty with four berths for vessels up to 220 meters. No cranes have been installed so far; merchant vessels of shipping agencies entering the port must have self-unloading equipment to transfer cargo.

Several developments are taking place in the region and

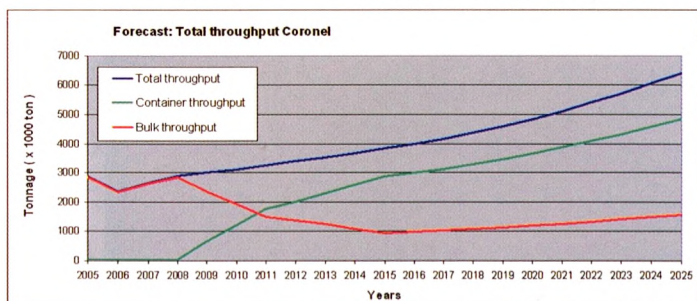


Fig. 2 Cargo throughput forecast for Coronel

Port Coronel is reacting on that Fig. 2 shows that the total throughput is expected to grow, the demand for transport by containers is increasing and new thermal power plants in Coronel will be built. As a result Port Coronel is now building a second jetty for container transfer, it is designing a third with a conveyor belt and it has bought new cranes and an external area for extra storing capacity. The container jetty should be operational in 2009.

As part of the project, a new cargo flow forecast up to the year 2025 is made. The last few years the region has shown rapid shift from bulk handling into container handling so a distinction has been made for these two types. Analyses indicate that in 2010 a balance of the bulk-container ratio will be reached. Future plans of the port have been evaluated and recommendations have been given regarding the jetties and the storage yards.

One of the interesting problems in Port Coronel is that from time to time vessels are suffering from downtime. Downtime can be defined as the percentage of the time in which a vessel cannot operate; i.e. that loading and unloading operations are impossible to be carried out due to circumstances of several kinds. The non-operability results in costs for the port and shipping agencies. Downtime is a key issue for efficient port operations and for Port Coronel this is becoming more and more important. It was found that specific waves are causing the problem, so next a study was started to investigate the feasibility of a breakwater as a solution.

BREAKWATER DESIGN

The essential question for a breakwater design is what kind of wave climate it has to cope with. To determine the wave properties an analysis was carried out on the wave penetration into Coronel bay. Waves approaching the Gulf of Arauco find their origin on the Pacific and come mainly from the Southwest and the Northwest, as show in fig. 3.

Although Port Coronel is sheltered naturally because of the bay and Santa María island in front of the gulf, there is a huge gap (nine kilometers) between the coast and the island. A straight line can be drawn from Coronel Bay through the gap towards the Pacific Ocean. The dominant wind direction has more or less the same

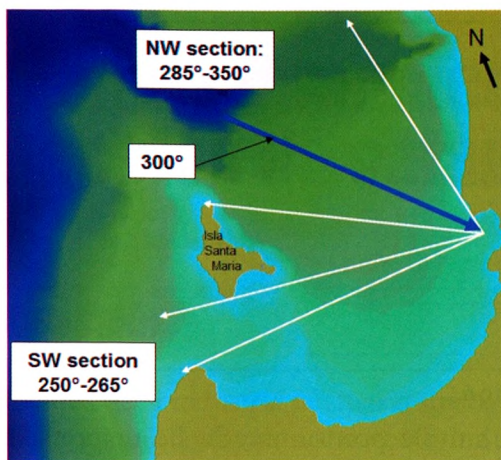


Fig. 3 Overview of Arauco bay and wave origins

direction, so during the investigation of the wave climate, it was initially presumed that downtime in the port was caused by waves coming from the Southwest.

Further research was done with the computer wave model SWAN (Simulating Waves Near Shore, developed by WL (Delft Hydraulics). The model output showed that the first presumption was wrong (See Fig. 4).

Taking into account the bathymetry, it turned out that long swell waves are barely able to propagate through the gap: besides Santa María island is a natural breakwater, as well as a frequency filter for the Southwesterly waves. This means that the short waves travel through the gap, but the long waves dissipate significantly due to the shallow water in the gap (they really 'feel' the bottom and lose energy). The long waves that do penetrate through the gap start to refract in the Gulf of Arauco. Further to the North the long waves will 'turn' into the Gulf of Arauco via the North of the island. Waves from the Northwest are able to propagate into Coronel bay by means of refraction and therefore cause the downtime problems in the port. As a result of this study the breakwater only needs to protect against waves from the Northwest.

SWAN was run for several breakwater layouts and the orientation and length were determined by taking into account the required amount of material. It turned out that a breakwater of 1200 m attached to the coast in the North of the bay and slightly shifted into the bay is the most efficient layout for protecting the current jetty and the two future jetties. Limited research into the morphology indicates extra sedimentation is likely to occur because of diffraction around the breakwater.

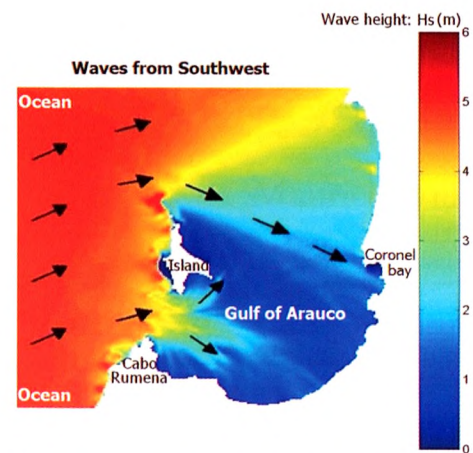


Fig. 4 Wave propagation from model SWAN

For the breakwater design, ultimate limit state conditions were determined by the probabilistic approach of 20 years of wave data. It resulted in an extreme condition that has a chance of occurring in 50 years.

The design of the breakwater cross section is highly influenced by the commercial point of view of the port authorities, demanding a visible breakwater, and local conditions. The absence of sophisticated dredging equipment in the region suggests for the preference of a land-based construction as shown in Fig. 5. Furthermore, the use of natural stone of a nearby quarry is recommended (e.g. Canteras Lonco, 30 km).

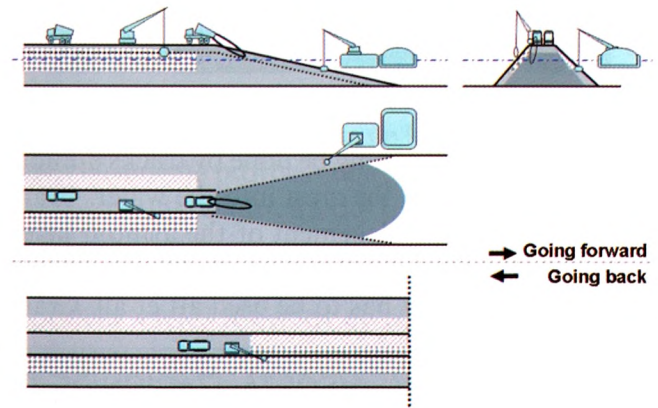


Fig. 5 Construction method

The design involved a search for several cross sections in which there were many uncertainties and all aspects seemed to influence each other. Eventually the design of a conventional rubble mound breakwater was generated including concrete X-blocs on the seaside slope and big natural stone on the rear slope. Because the natural stones of the quarry are not suitable to withstand the wave attack at the seaside slope, the choice has been

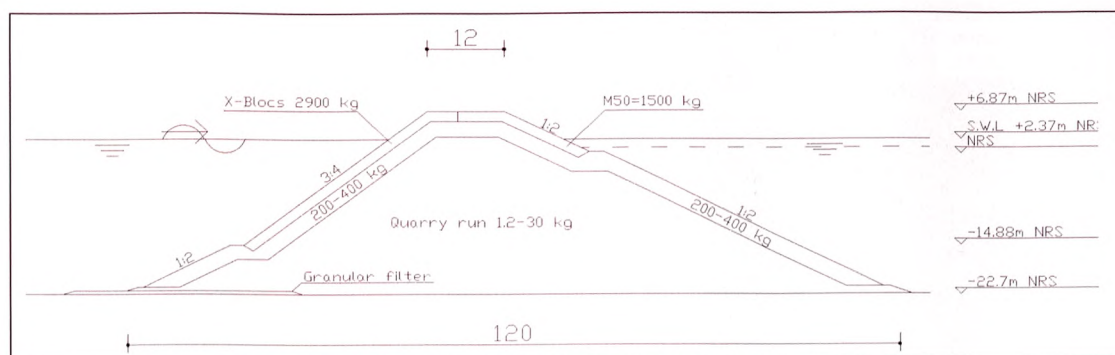


Fig.6 Breakwater cross section

made to use concrete Xblocs of 2.9 ton that can be placed on a steep slope of 3:4 (see fig. 6).

This leads to a substantial decrease of required material. The blocs have many other advantages like easy placement and interlocking, requiring a single layer only. An example of an Xbloc can be see in Fig 7.



Fig. 7 Installation of Xblocs over a breakwater

The construction will mainly be done by trucks dumping the core material from the crest into the water. Cranes will do the individual placement of the armour layers. Because of the great depths in the bay, some simple waterborne equipment has to be used after all. Cranes

on top of simple pontoons will be responsible for constructing the lower parts of the breakwater.

CONCLUSIONS

With respect to the breakwater design, there are still several aspects and uncertainties that require extra studies. This study can only be seen as a preliminary design of a breakwater. It is a first step to be able to initiate a political process to gain support for the breakwater construction in Coronel Bay. Although an estimation of the costs and benefits have been made, it will be also a matter of external aspects and the willingness of Port Coronel to pay for the commercial attractiveness whether the breakwater will be built or not.

ACKNOWLEDGEMENTS

We would like to thank Prof. Villagrán (UCSC) for his advise and assistance during our work in Chile.

We would also like to thank our sponsors BAM Civiell, Boskalis, GeoDelft, Jan de Nul and Van Hattem & Blankevoort for they support.

HIDROSIEMBRA - VEGETALIZACION DE TALUDES - CONTROL DE EROSION

EMIN
SISTEMAS
GEOTECNICOS S.A.

PROYECTOS INMOBILIARIOS



- MENOS MANO DE OBRA
- COBERTURA UNIFORME
- RAPIDA GERMINACION



- ESTABILIZACION DE TERRENO
- MINERAS
- RELLENOS
- TALUDES
- BOTADEROS DE MATERIAL




PROYECTOS SERVILU-MOP

• SUPERFICIES DE DIFICIL ACCESO

• CAMPOS DEPORTIVOS

www.sistemasgeotecnicos.cl - geomin@emin.cl - FONO (56-2) 299 8001 (56-2) 299 8000 - FAX (56-2) 206 6468

Sistemas dinámicos de detección de calado



Mauricio Villagrán V.

Universidad Católica de la Santísima Concepción, Chile. mvillagrán@ucsc.cl
OMC International PTY LTD, www.omc-international.com.au

INTRODUCCIÓN

Los desafíos de la industria portuaria son cada vez más grandes, ya que la dinámica de esta industria está comenzando a plantear grandes exigencias a la infraestructura portuaria. Por un lado los incrementos en las tarifas de transporte generados por un aumento sustancial y sostenido del precio del petróleo y una falta de buques, especialmente de buques graneleros. Por otro lado el esperado crecimiento del tamaño de los buques, que generan mayores demandas de calado y requieren de una mayor eficiencia en la infraestructura portuaria. Ambos factores presionan para desarrollar tecnologías que ayuden a mejorar la eficiencia portuaria sin afectar la seguridad de las operaciones. Lograr encontrar tecnologías que cumplan con los requisitos anteriores no es tarea fácil, más aún cuando generalmente la eficiencia y la seguridad se contraponen como objetivos. Una tecnología que ha sido desarrollada y que a la fecha cuenta con más de 15 años de antigüedad y de desarrollo son los sistemas dinámicos de detección de calado (DUKC por su sigla en inglés). Este sistema fue desarrollado por la empresa australiana OMC International PTY Ltd. y se encuentra en operación en más de 20 puertos alrededor del mundo sin incidentes que lamentar.

DISTANCIA BAJO LA QUILLA (UKC)

Tradicionalmente los puertos han operado bajo normas fijas que regulan el margen mínimo de seguridad bajo la quilla (Under Keel Clearance, UKC), para poder entrar y salir de una zona portuaria. Históricamente los requisitos de UKC son estáticos, es decir, responden a porcentajes y/o distancias predeterminadas, que buscan dar respuesta a una amplia gama de situaciones ambientales y físicas que pueden afectar a una embarcación (Ver figura 1).

Si los requisitos aplicados son demasiado conservadores,

los buques cargan menos cantidad que la que podrían transportar, afectando al resultado económico de la operación. Por otro lado, un criterio muy arriesgado podría desembocar en consecuencias catastróficas para la seguridad de las operaciones portuarias.

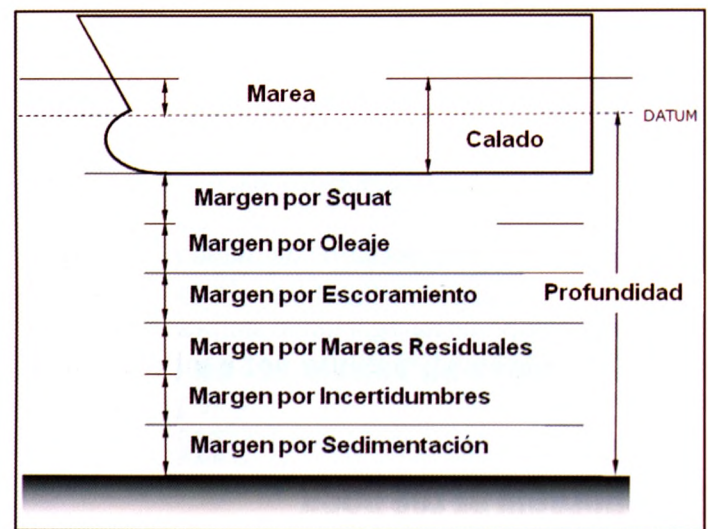


Fig. 1. Margen de seguridad bajo la quilla

La naturaleza estocástica del oleaje, hace que la ocurrencia de un evento fuera de los márgenes regulares, podría fácilmente provocar una situación no considerada por las reglas estáticas de UKC y de esta forma sobrepasar los márgenes de distancia bajo la quilla aceptados como "seguros". Es así como se pueden identificar varios aspectos no cubiertos por las reglas estáticas:

- Cambio en las mareas durante el periodo de tránsito del buque (especialmente importante en largos canales de acceso).
- Variaciones de velocidad del buque durante el tránsito.
- Cambios en los valores de las mareas astronómicas.
- Condiciones marinas durante la navegación.
- Configuración de los canales de acceso y zonas de maniobras.
- Cambios batimétricos producidos por procesos de transporte de sedimentos.

- Dimensiones y particularidades de cada embarcación.
- Diferenciación de requerimientos de UKC para maniobrabilidad y distancia al fondo.

SISTEMAS DINÁMICOS DE DETERMINACIÓN DE CALADO DUKC

Se denomina como sistema dinámico de determinación de calado (DUKC), a un algoritmo que utiliza técnicas avanzadas de modelación y cálculo, capaz de predecir y simular los movimientos de un buque, basándose para ello en criterios de estabilidad, dimensiones de la embarcación, velocidad y condiciones de navegación y sedimentación en las rutas de tránsito. De esta forma un sistema DUKC asegura niveles mínimos netos de distancia bajo la quilla (UKC), para cumplir con requisitos de maniobrabilidad del buque y requisitos de seguridad ante impacto con el fondo.

Esta tecnología puede ser implementada por cualquier tipo de puerto que sufra algún tipo de restricciones de calado, de tiempo de navegación, o simplemente busque mejorar la eficiencia en el uso de su infraestructura marina.

METODOLOGÍA DE LOS DUCK

El concepto detrás de un sistema DUKC radica en la capacidad de identificar y modelar en tiempo real, todos los factores que afectan el UKC de un buque. Entre los factores mas importantes se tiene:

- Configuración del trazado
- Sedimentación
- Características del buque
- Squat y Rolido
- Mareas
- Respuesta al oleaje del buque

Un aspecto de vital relevancia para el cálculo, es entender la importancia que tiene el periodo de oleaje, ya que una ola de 0,3 m de altura y 16 s de periodo es, desde el punto de vista de los movimientos de un buque, potencialmente mucho más dañina, que otra de mayor altura pero menor periodo. Este es uno de los aspectos que no son considerados por los sistemas estáticos de cálculo de UKC que son utilizados comúnmente.

CRITERIOS DE CÁLCULO EN LA MODELACIÓN DEL UKC DINÁMICO

Criterio de Maniobrabilidad

Corresponde al valor mínimo de UKC para cumplir requerimientos de maniobrabilidad, La determinación del UKC para un sistema dinámico, bajo criterio de maniobrabilidad estará dada por la expresión:

$$UKMM = \text{Profundidad para maniobra (hmm)} + \text{Marea astronómica} \pm \text{Marea Residual} - \text{Squat} - \text{Rolido} - \text{Calado del buque}.$$

Criterio de Distancia al fondo

El criterio de UKC mínimo para evitar un impacto con el fondo, es regularmente del orden de los 25 cm. La determinación del UKC para un sistema dinámico bajo criterio de Distancia al fondo (BC) estará dada por la expresión:

$$UKBC = \text{Profundidad para distancia al fondo (hBC)} + \text{Marea astronómica} \pm \text{Marea Residual} - \text{Respuesta al oleaje} - \text{Squat} - \text{Rolido} - \text{Calado del buque} - \text{tolerancia de seguridad (25 cm)}.$$

BENEFICIOS REALES DE APLICACIÓN DE UN DUKC

La forma de identificar el verdadero beneficio de un sistema dinámico de detección de calado es a través del establecimiento real de los niveles de eficiencia que puede producir en un puerto. Los aumentos de eficiencia en la infraestructura portuaria estarán dados principalmente por el incremento de calado de los buques, en comparación con los calados admisibles según las reglas tradicionales del UKC (SUKC).

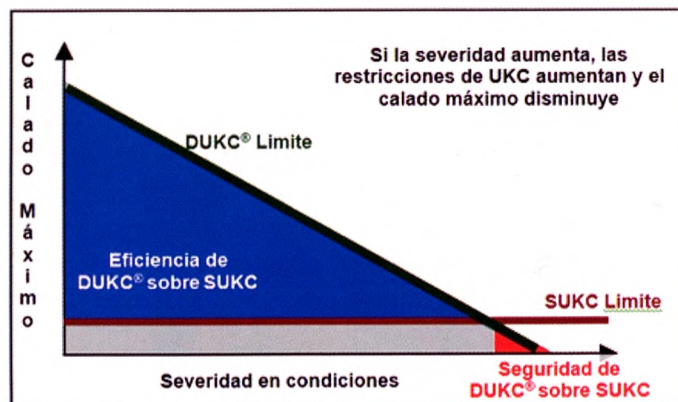


Fig. 2. Aumento de eficiencia de DUKC sobre SUKC

Esto redundará en beneficios directos sobre el puerto y sus usuarios (compañías navieras). Asimismo, el incremento en los niveles de seguridad gracias a una mejor estimación de los efectos ambientales sobre los buques, convierten al DUKC en un sistema único que es capaz de, aumentar la eficiencia de un puerto mejorando su seguridad. Más aún, permite mejorar la infraestructura futura apoyando los procesos de diseño y la toma de decisiones para nuevas inversiones, especialmente en aspectos como el dragado, los tiempos de navegación, las ventanas de marea, entre otros.

APLICACIONES DE UN SISTEMA DINÁMICO DE DETECCIÓN DE CALADO

En general un DUKC puede ser utilizado tanto para las etapas de operación, como para las de diseño de un Terminal portuario. Las principales aplicaciones del sistema son:

Diseño de las zonas de tránsito

Un sistema DUKC secciona las zonas de tránsito en bloques de similares características y calcula para cada sección los requerimientos específicos de UKC para una determinada embarcación. Esta información puede ser utilizada para crear perfiles batimétricos específicos para cada sección, dependiendo de sus necesidades de UKC. Significativas disminuciones de dragado capital se pueden lograr gracias a esta cualidad, a su vez de asegurar una adecuada relación costo beneficio de las grandes inversiones en dragado capital para un nuevo puerto.

Optimización del dragado de mantención

La modelación utilizada en los sistemas dinámicos de calado, permite cuantificar de mejor forma las necesidades de dragados de mantención y localizar dichas actividades sobre las zonas que realmente lo necesitan, reduciendo los costos por este concepto.

Planificación naviera para el corto y el largo plazo

Conocer las condiciones de navegación de un buque, permite una mejor planificación de los tiempos y de la carga, pudiendo aumentar, en el corto plazo, los rendimientos en turnos de trabajo, capacidad de carga de buques y tiempos de navegación, o bien, optimizar

ventanas de marea gracias a la predicción del UKC (entre 30 y 40 horas de anticipación). De Igual forma, en el largo plazo, estas herramientas permiten concretar negociaciones con líneas navieras que cuentan con embarcaciones fuera de la norma y así planificar sus maniobras de acercamiento y carga/descarga, con mayor antelación, generando beneficios comerciales importantes para los puertos.

Planificación naviera del buque en tránsito.

Una herramienta como un sistema DUKC, hoy fácilmente puede ser cargado en un computador portátil. Lo anterior implica que un piloto puede contar con información on-line y en tiempo real de lo que está sucediendo o va a suceder durante su tránsito, mejorando en forma sustancial la toma de decisiones de estos, disminuyendo los tiempos de tránsito de las embarcaciones y mejorando los niveles de seguridad en las operaciones. Además puede predecir que ocurrirá si aumenta o disminuye la velocidad y definir el mejor momento para atravesar zonas complicadas de tránsito.

Incremento de los niveles de seguridad en la navegación.

No sólo optimización de recursos se logra con este tipo de herramientas, sino también, incrementos sustanciales de los niveles de seguridad, especialmente ante situaciones no previstas por los códigos o normas. Además, la validación de las modelaciones realizadas por este tipo de sistemas asegura que los resultados entregados corresponden a lo que realmente ocurre bajo el buque, por lo que el nivel de incertidumbre asociado a esta herramienta está bastante acotado.

ANÁLISIS DE CASOS

A continuación se entregan diferentes resultados de casos de puertos en los que se han implementado sistemas dinámicos de detección de calado DUKC.

En la figura 3 se observa el resultado de un estudio a posteriori que predice cual habría sido el UKC estimado por el sistema DUKC, comparado con el valor real considerado al momento de navegación, el cual aparece en una línea roja dentro del dibujo. Se aprecia que para la gran mayoría de buques analizados, existe un potencial

de UKC que no fue considerado y que implicó ineficiencia en la infraestructura portuaria.

Adicionalmente se observa como existe un número no menor de casos en los cuales el DUKC habría estimado como peligroso las decisiones adoptadas por las autoridades portuarias e incluso se detallan 2 casos extremos que resultaron en varamientos de buques y que el DUKC claramente hubiese predicho.

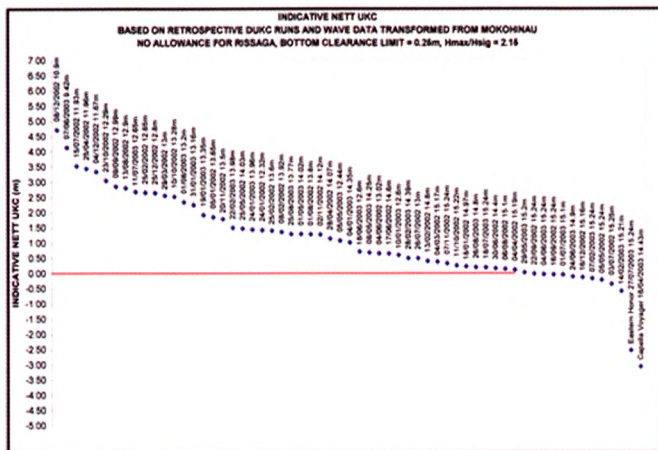


Fig. 3. UKC estimado por el sistema DUKC

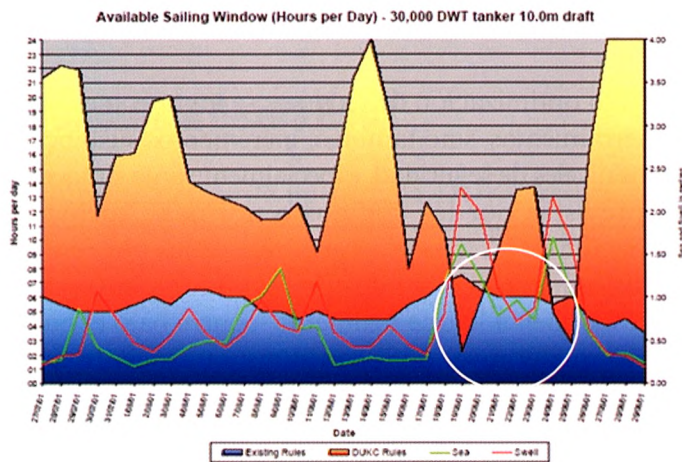


Fig. 4. Aumento de disponibilidad de un puerto

En la figura 4 se observan los niveles de aumento de disponibilidad de un puerto, producto de una mayor optimización en el uso de las ventanas de marea y una mejora en los tiempos de navegación. Se observa además la existencia de 2 puntos dentro del gráfico (ver figura 4 círculo), que originalmente fueron considerados como disponibles, pero que el sistema rechaza. Esta decisión del sistema obedece a que si bien, el oleaje no era demasiado alto, el periodo del oleaje durante este análisis fue muy alto, lo que inducía movimientos de los buques

mucho mayores que los admisibles.

Otro análisis importante se realizó para el puerto de Headland (Australia), donde se estableció que desde la instalación del sistema DUKC, en promedio en el puerto se ganaron aproximadamente 55 cm. de calado. Este aumento en UKC significó un aumento de carga de 8000ton/buque, lo que aplicado a las más de 300 naves que recalán en el puerto, han generado beneficios por sobre los US\$ 150 millones anuales.

La figura 5 considera un estudio realizado a un puerto donde se analizó, a través de un sistema DUKC, cuales serían las profundidades requeridas para todo lo largo de un canal de acceso, variando las condiciones de disponibilidad de acceso al puerto. De esta forma, en el gráfico se observan las profundidades mínimas requeridas para disponibilidades que van desde un 90% del tiempo a un 99%.

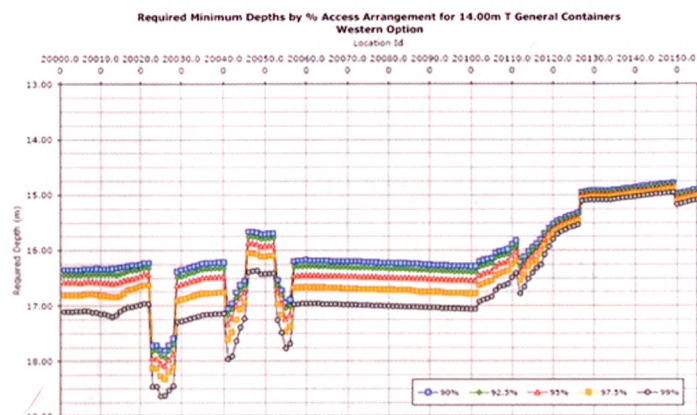


Fig. 5. Profundidades requeridas en canal de acceso

Este tipo de análisis ayudó de gran manera a definir los niveles de dragado requeridos por el puerto antes de su construcción.

REFERENCIAS

- DUKC Theory, OMC International Ltd, November 2007.
- O'Brien P., O'Brien T. Wahren K, UKC and dredging management at ports, 2006 Proceedings of the 31st PIANC Congress. Estoril, Portugal.
- O'Brien P., O'Brien T, Hens C, Vessel Interaction, a case study, OMC Publication, 2007.
- O'Brien T., Experience using dynamic under keel clearance systems, selected case study and recent developments 2002, Proceeding of the 30th PIANC congress, Sydney Australia.