



*Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos,  
Canales y Puertos.*  
**UNIVERSIDAD DE CANTABRIA**



# **MODELO NUMÉRICO PARA EL ESTUDIO DE AGITACIÓN EN EL PUERTO DE SAN ANDRÉS Y ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS.**

Trabajo realizado por:

***Andrea Gema Serrano Campo***

Dirigido:

***Gabriel Díaz Hernández***

Titulación:

**Máster Universitario en Ingeniería  
Caminos, Canales y Puertos**

Santander, Junio de 2018

**RESUMEN T.F.M.**



## RESUMEN

**Título del Trabajo Final de Máster:** Modelo numérico para el estudio de agitación en el puerto de San Andrés y análisis de alternativas.

**Autora:** Andrea Gema Serrano Campo

**Director:** Gabriel Díaz Hernández

**Convocatoria:** Junio 2018

**Palabras clave:** Puerto, propagación, clima marítimo, dique, ampliación, diseño, MSP, agitación, operatividad.

### **Planteamiento y desarrollo de estudio:**

En la costa de San Andrés, situada en la isla de Tenerife, el diseño de las obras portuarias fue realizado previo a la concepción y construcción de las nuevas obras de protección del frente marítimo de la costa. Estas obras de protección fueron construidas finalmente en el año 2016.

El estudio original de operatividad, fue realizado sin tener en cuenta estas obras de protección frente al paseo marítimo de San Andrés. Por lo tanto, las condiciones de agitación cambian al considerar la presencia de un frente marino modificado.

El objetivo principal de este Trabajo Final de Máster consiste en determinar, mediante un modelo numérico MSP (a través de script de MATLAB), la agitación en el interior del nuevo puerto de San Andrés para la situación inmediata tras su construcción y para distintas alternativas planteadas del sistema puerto-costa. El objetivo final es intentar alcanzar la operatividad exigida por la ROM en el interior del puerto.

Para poder conseguir este objetivo, se ha realizado un análisis del clima marítimo frente al futuro puerto a través de una serie de datos horarios de 66 años de duración. A continuación, se realizó la propagación y agitación numérica del oleaje, definiendo una librería de oleajes monocromáticos y seleccionando  $N=300$  oleajes representativos frente a la zona portuaria, empleando el algoritmo Max-Diss. El conjunto de los  $N$  oleajes se propagó mediante la herramienta MSP y así, se pudo evaluar la respuesta del puerto ante cada tipo de estado de mar.

Posteriormente se realizó una reconstrucción de la serie horaria de oleaje de 66 años en las  $M=7$  zonas de control situadas en el interior del puerto, siguiendo un algoritmo de interpolación lineal y por último se definió un análisis de operatividad.

Finalmente se plantearon distintas alternativas y se efectuaron los pasos anteriormente mencionados para poder realizar un análisis comparativo de la operatividad entre la alternativa 0 (estado actual) y las diferentes alternativas planteadas.



## Conclusiones:

El diseño de las nuevas obras portuarias fue realizado previo al diseño y construcción de las nuevas obras de protección del frente marítimo de San Andrés, así que el estudio original de operatividad, fue realizado sin tener en cuenta las nuevas obras de protección costera y por tanto, las condiciones de agitación originales cambian al considerar la presencia de un frente marino modificado.

Para la estudio de esas nuevas condiciones se ha desarrollado un modelo numérico MSP, basado en la propagación y agitación numérica de oleaje espectral, que ha permitido a la autora del presente trabajo, analizar los datos en diferentes puntos del interior del puerto y la realización del estudio de alternativas.

Este modelo permite el estudio de todos los posibles estados de mar para ser aplicado en un punto de la costa. Una gran ventaja del modelo, es la posibilidad de manejar casi infinitos estados de mar, o al menos la totalidad de los estados de mar registrados en la actualidad.

Se ha definido un sistema simplificado para hacer los estudios. El coste de ordenador (medido en horas de cálculo) con esta nueva técnica propuesta es elevado, las ejecuciones de los casos más complejos son superiores a las 8 horas de cálculo.

Pero realmente es muy inferior a los cálculos actuales, que precisan ordenadores especializados en centros de investigación.

El modelo facilitado por el IHCantabria ha sido de aplicación por la autora en el presente trabajo en el puerto de San Andrés:

- Se trata de un caso real que ha sido estudiado por el IHCantabria, pero con el uso de la nueva tecnología simplificada permite comprobar que se llega prácticamente a las mismas conclusiones.
- Se han analizado nuevas alternativas, definiendo nuevos trazados geométricos para cada una de ellas.
- Se han comparado las cuatro alternativas: estado actual y las tres alternativas planteadas, definiendo los parámetros adecuados en el interior de la dársena:
  - Agitación
  - Altura de ola
  - Operatividad en el interior del puerto y de la bocana
- Por tratarse de una comprobación de la validez del modelo, se han considerado simplemente tres posibles alternativas; el rango de posibilidades se podría ampliar a decenas de alternativas hasta encontrar la definitiva.
- El presente trabajo trata de mostrar la aplicación de esta técnica y permitir la comparación entre diferentes casos, de forma que exista la posibilidad de elección de una solución con suficiente garantía de cumplimiento de lo marcado por las recomendaciones de la normativa (normas ROM).

## Bibliografía:

- Manual de referencia MSP-V2.0-Grupo de Ingeniería Oceanográfica y de Costas de la Universidad de Cantabria. Ministerio de Medio Ambiente del Gobierno de España.
- Archivos y datos facilitados por el IHCantabria:
  - Batimetría de detalle de la zona de estudio, proporcionada por la Autoridad Portuaria de Santa Cruz de Tenerife.
  - Archivo CAD de la configuración de la geometría portuaria, proporcionado en formato AutoCAD® DWG por la Autoridad Portuaria de Santa Cruz de Tenerife.
  - Serie de reanálisis de datos horarios de oleaje DOW 1.1 (Downscaling Ocean Waves), de más de 66 años de duración, frente al puerto de estudio. Serie perteneciente a IHCantabria.
- Puertos del Estado (España) (1999) Recomendaciones para obras marítimas - ROM 3.1-99 – “Proyecto de la configuración marítima de los puertos, canales de acceso y áreas de flotación”.- Parte 8: Requerimientos de planta.
- Puertos del Estado (España) (1999) Recomendaciones para obras marítimas - ROM 0.0 – “Procedimiento general y bases de cálculo en el proyecto de obras marítimas y portuarias”.- Parte 2.7: Carácter general y operativo.
- Berkhoff, J.C.W., Booij, N. & Radder, A.C. 1982. Verification of numerical wave propagation models for simple harmonic linear water waves, Coastal Eng. 6 (3), 255–279.
- Camus, P.; Méndez, F.J.; Medina, R.; Cofiño, A.S.; 2011a. Analysis of clustering and selection algorithms for the study of multivariate wave climate. Coastal Engineering, 58(6), pp 453-462. doi:10.1016/j.coastaleng.2011.02.003
- Franke, R.; 1982. Scattered data interpolation: test of some methods. Math. Comp., 38, pp 181-200.
- Kalnay, E.; Kanamitsu, M.; Kistler, R.; Collins, W.; Deaven, D.; Gandin, L.; Iredell, M.; Saha, S.; White, G.; Woollen, J.; Zhu, Y.; Leetmaa, A.; Reynolds, R.; Chelliah, M.; Ebisuzaki, W.; Higgins, W.; Janowiak, J.; Mo, K. C.; Ropelewski, C.; Wang, J.; Jenne, R. and Joseph, D.; 1996. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project. Bull. Amer. Meteor. Soc. 77, 437-470.
- Menéndez, M., Tomás, A., Camús, P., García-Diez, M., Fita, L., Fernandez, J., Méndez, F.J., Losada, I.J.; 2011. A methodology to evaluate regional-scale offshore wind energy resources. Oceans 2011. IEEE. Spain. ISBN: 978-1-4577-0086-6
- Mínguez, R.; Espejo, A.; Tomás, A.; Méndez, F.J.; Losada, I.J.; 2011. Directional Calibration of Wave Reanalysis Databases using Instrumental Data. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology.



## ABSTRACT

**Final Degree Project:** Numerical model for the study of agitation in the harbour of San Andrés and analysis of the alternatives

**Author:** Andrea Gema Serrano Campo

**Director:** Gabriel Díaz Hernández

**Announcement:** June 2018

**Keywords:** Harbour, propagation, maritime climate, dike, expansion, design, MSP, agitation, operability.

### **Approach and development of the study:**

On the coast of San Andrés, located on the island of Tenerife, the design of the harbour was carried out prior to the conception and construction of new protective works in the seafront of the coast. These protective works were finally built in 2016.

The original study of operability was carried out without taking into account these protective works in front of the San Andrés. Therefore, the conditions of agitation change when considering the presence of a modified marine front.

The main objective of this Master's Final Project is to determine, through a numerical model MSP (through the MATLAB script), the agitation inside the new harbour of San Andrés for the immediate situation after its construction and for different proposed alternatives of the harbour-coast system. The final goal is to achieve the operability required by the ROM inside the harbour.

In order to achieve this goal, an analysis of the maritime climate against the future harbour has been carried out through a series of 66-year time data. Then, the propagation and numerical agitation of the waves was carried out, defining a library of monochromatic waves and selecting  $N = 300$  representative waves against the harbour area, using the Max-Diss algorithm. The set of the waves was propagated through the MSP tool and thus, the response of the harbour to each type of sea state could be evaluated.

Subsequently, a reconstruction of the 66-hour wave series was carried out in the  $M = 7$  control zones located inside the harbour, following a linear interpolation algorithm and finally, an operational analysis was defined.

Finally, different alternatives were proposed and the aforementioned steps were carried out in order to perform a comparative analysis of the operation between alternative 0 (current state) and the different alternatives proposed.



## Conclusions:

The design of the new harbour works was carried out prior to the design and construction of the new works for the protection of the San Andrés sea front, so the original study of operability was carried out without taking into account the new coastal protection works and therefore, the original agitation conditions change when considering the presence of a modified marine front.

For the study of these new conditions, a numerical model MSP has been developed, based on the propagation and numerical agitation of spectral waves, which has allowed the author of the present work to analyze the data in different points of the interior of the harbour and the realization of the study of alternatives.

This model allows the study of all possible sea states to be applied at a point on the coast. A great advantage of the model is the possibility of managing almost infinite sea states, or at least the totality of the sea states registered at present.

A simplified system has been defined to do the studies. The computer cost (measured in calculation hours) with this proposed new technique is high, the executions of the most complex cases are greater than 8 hours of calculation.

But it really is very inferior to the current calculations, which require specialized computers in research centers.

The model facilitated by the IHCantabria has been applied by the author in the present work in the harbour of San Andrés:

- It is a real case that has been studied by the IHCantabria, but with the use of the new simplified technology it is possible to verify that the same conclusions are reached.
- New alternatives have been analyzed, defining new geometric paths for each of them.
- The four alternatives have been compared: current status and the three alternatives proposed, defining the appropriate parameters inside the dock:
  - Agitation
  - Wave height
  - Operability inside the port and the entrance
- Because it is a verification of the validity of the model, only three possible alternatives have been considered; The range of possibilities could be extended to dozens of alternatives until finding the definitive one.



- The present work tries to show the application of this technique and allow the comparison between different cases, so that there is the possibility of choosing a solution with sufficient guarantee of compliance with what is marked by the recommendations of the regulations (ROM standards).

### Bibliography:

- Manual de referencia MSP-V2.0-Grupo de Ingeniería Oceanográfica y de Costas de la Universidad de Cantabria. Ministerio de Medio Ambiente del Gobierno de España.
- Archivos y datos facilitados por el IHCantabria:
  - Batimetría de detalle de la zona de estudio, proporcionada por la Autoridad Portuaria de Santa Cruz de Tenerife.
  - Archivo CAD de la configuración de la geometría portuaria, proporcionado en formato AutoCAD<sup>®</sup> DWG por la Autoridad Portuaria de Santa Cruz de Tenerife.
  - Serie de reanálisis de datos horarios de oleaje DOW 1.1 (Downscaling Ocean Waves), de más de 66 años de duración, frente al puerto de estudio. Serie perteneciente a IHCantabria.
- Puertos del Estado (España) (1999) Recomendaciones para obras marítimas - ROM 3.1-99 – “Proyecto de la configuración marítima de los puertos, canales de acceso y áreas de flotación”.- Parte 8: Requerimientos de planta.
- Puertos del Estado (España) (1999) Recomendaciones para obras marítimas - ROM 0.0 – “Procedimiento general y bases de cálculo en el proyecto de obras marítimas y portuarias”.- Parte 2.7: Carácter general y operativo.
- Berkhoff, J.C.W., Booij, N. & Radder, A.C. 1982. Verification of numerical wave propagation models for simple harmonic linear water waves, Coastal Eng. 6 (3), 255–279.
- Camus, P.; Méndez, F.J.; Medina, R.; Cofiño, A.S.; 2011a. Analysis of clustering and selection algorithms for the study of multivariate wave climate. Coastal Engineering, 58(6), pp 453-462. doi:10.1016/j.coastaleng.2011.02.003
- Franke, R.; 1982. Scattered data interpolation: test of some methods. Math. Comp., 38, pp 181-200.



- Kalnay, E.; Kanamitsu, M.; Kistler, R.; Collins, W.; Deaven, D.; Gandin, L.; Iredell, M.; Saha, S.; White, G.; Woollen, J.; Zhu, Y.; Leetmaa, A.; Reynolds, R.; Chelliah, M.; Ebisuzaki, W.; Higgins, W.; Janowiak, J.; Mo, K. C.; Ropelewski, C.; Wang, J.; Jenne, R. and Joseph, D.; 1996. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project. Bull. Amer. Meteor. Soc. 77, 437-470.
- Menéndez, M., Tomás, A., Camús, P., García-Diez, M., Fita, L., Fernandez, J., Méndez, F.J., Losada, I.J.; 2011. A methodology to evaluate regional-scale offshore wind energy resources. Oceans 2011. IEEE. Spain. ISBN: 978-1-4577-0086-6
- Mínguez, R.; Espejo, A.; Tomás, A.; Méndez, F.J.; Losada, I.J.; 2011. Directional Calibration of Wave Reanalysis Databases using Instrumental Data. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology.