





Figura 4.10 – Medidas de corrientes.



Figura 4.11 – Modelización de ondas largas. Simulación HD





En la figura 4.12 se representan los extremos de los vectores de corriente medidos en los puntos P-2 y P-5, así como lo extremos de los vectores de corriente registrados en modelo para una oscilación de la ensenada de periodo 210 s. En el punto P-2, localizado en una zona abierta y alejada de la playa, las corrientes que predice el modelo muestran un ajuste muy bueno a las medidas reales. Sin embargo, en el punto P-5 los vectores de corriente reales muestran una desviación clara con respecto a las predicciones del modelo. Esto es debido a que en esa zona el oleaje genera una intensa corriente de rotura a lo largo de la playa, la cual penetra hacia el puerto como se indica en el gráfico de la derecha de la figura, procedente de una simulación en modelo. Dado que estas corrientes de rotura no están contempladas en el modelo de oscilación de la dársena, las corrientes registradas en P-5 muestran una discrepancia con las corrientes modelizadas únicamente a partir de la onda larga.



Figura 4.12 – Resultados de la propagación del oleaje.

4.7 Conclusiones

Teniendo en cuenta todos los análisis de ondas largas realizados en los apartados anteriores, pueden establecerse las siguientes conclusiones:

- La campaña de medidas realizada durante los años 2009 y 2010 confirma los análisis previos realizados por medio de modelos matemáticos y reflejados en los informes técnicos desarrollados por HIDTMA para Portos de Galicia.
- En la ensenada de Laxe se registra la resonancia de una onda larga de periodo básico T = 210 s
- Como resultado de esta oscilación, en la dársena portuaria se generan ondas que pueden llegar a alcanzar alturas superiores a los 2 m
- La onda larga se genera en toda la ensenada de la ría, produciendo oscilaciones del conjunto, de forma que su eliminación no es posible mediante obras que se limiten a la zona portuaria.





Capítulo 5

Agitación interior

5.1 Introducción

En los estudios técnicos desarrollados por HIDTMA desde el año 2004 se analizan las condiciones de agitación interior del puerto de Laxe provocadas por los oleajes exteriores, empleando para ello el modelo matemático Mike 21-BW. Este modelo presenta las siguientes características generales:

- El modelo calcula las ecuaciones de Boussinesq, con un esquema en diferencias finitas sobre una malla rectangular regular.
- El modelo incluye los efectos de refracción, difracción, rotura y pérdida por fondo del oleaje.
- El modelo permite la inclusión en sus bordes de condiciones tales como reflexión parcial en estructuras, absorción total en zonas de playa, etc.
- Los resultados finales del modelo son las oscilaciones de la lámina de agua a lo largo del tiempo, a partir de las cuales se extrae el valor de las alturas de ola significante en toda la zona modelizada.

Con la campaña de medidas realizada se pretende comprobar la validez de los modelos matemáticos desarrollados y contrastar así los resultados determinados para la situación actual y las posibles alternativas de remodelación.

5.2 Resultados del modelo

Los estudios de clima marítimo y propagación del oleaje desarrollados permitieron definir las condiciones de oleaje incidente de mayor interés para la agitación. De todas las condiciones analizadas, se seleccionaron las que posibilitan una caracterización más completa de las situaciones en las que se observa mayor agitación en el interior de la dársena. Estas condiciones son las siguientes:

- Dirección 310°; Hs = 6 m Tp = 14 s.
- Dirección 310°; Hs = 10 m Tp = 16 s.
- Dirección 310°; Hs = 13 m Tp = 18 s.

En todas ellas se considera un nivel de marea de 3.5 m sobre la BMVE.

En la figura 5.1 se muestra un resumen de los resultados de agitación obtenidos en las simulaciones de la situación actual para las condiciones seleccionadas.







Figura 5.1 – Propagación del oleaje con el modelo BW – Resumen de resultados.

5.3 Comparación con las medidas

Tomando como base los datos de Hs de los registros de la boya y los correspondientes a los sensores de medida, se calcula el coeficiente de propagación instrumental y se compara con el coeficiente de propagación resultante de las propagaciones de oleaje con modelos numéricos.

En primer lugar se consideran los registros de la boya de Villano Sisargas y se representan éstos frente a los datos del radar. Tomando toda la serie de datos de registros coincidentes, el coeficiente de agitación obtenido en el ajuste es Kh = 0.072. Si se consideran únicamente los datos correspondientes a los registros que no superan Hs = 5 m, entonces el coeficiente de agitación obtenido es Kh = 0.058.

Este análisis indica que, los temporales con una altura de ola mayor, que llevan a su vez asociados mayores periodos de pico, presentan un mayor coeficiente de agitación. Este hecho concuerda con los resultados obtenidos en los modelos numéricos, en los que se comprueba que las simulaciones de Hs y Tp mayores, proporcionan mayores coeficientes de agitación en el interior de la dársena.

Con el fin de valorar de forma más precisa el funcionamiento de los modelos matemáticos, se realiza un cáculo del coeficiente de agitación en el punto de ubicación del radar. En el caso del temporal analizado para Hs = 6 m y Tp = 14 s, el coeficiente de agitación obtenido en el interior del puerto, en





el punto P-3, es de Kh = 0.053, lo que concuerda bastante bien con el valor instrumental obtenido para temporales cercanos a los 5 m.

Del mismo modo se hace un cálculo del coeficiente obtenido a la entrada de la ensenada, obteniéndose un valor de Kh = 0.38 para los registros reales, frente a un valor de Kh = 0.36 para los resultados del modelo. En la figura 5.2 se recoge un resumen del análisis relativo a la agitación.



Figura 5.2 – Análisis de agitación. Comparación con los modelos numéricos

Madrid, noviembre 2013

Fdo.: Javier Enríquez Fernández

HIDTMA, S.L







ÍNDICE

MEMORIA

1. Introducción	1
1.1 Objeto del estudio	1
1.2 Contenido del informe	1
2. Sumario ejecutivo	2
3. Análisis de agitación interior	4
3.1. Condiciones del análisis	4
3.2. Metodología	6
3.3. Resultados	7
3.4. Conclusiones sobre la influencia del dragado en la agitación interior	11
4. Análisis de ondas largas	12
4.1 Introducción	12
4.2 Metodología	12
4.3 Resultados	13
4.4 Conclusiones sobre la influencia del dragado en las ondas largas	





Capítulo 1

Introducción

1.1 Objeto del estudio

El objeto del presente estudio es realizar la actualización del análisis de ondas largas y agitación interior en el puerto de Laxe, teniendo en cuenta el nuevo dragado a realizar en la dársena pesquera actual.

Tomando como base las simulaciones de agitación interior realizadas por HIDTMA en estudios anteriores, se realizan simulaciones en las mismas condiciones de oleaje incidente, modificando la configuración de la dársena para incluir la nueva situación con el correspondiente dragado.

Asimismo se desarrolla el análisis de ondas largas, incluyendo para ello un espectro de energía constante en el modelo BW, con el fin de detectar los picos de resonancia en la nueva configuración batimétrica en el interior de la dársena mediante el correspondiente análisis espectral. Posteriormente se realiza un barrido con el modelo hidrodinámico, cubriendo el rango de periodos de interés en función de los resultados del estudio previo.

Todo ello permite comparar la configuración actual con la configuración batimétrica resultante tras el dragado y determinar el efecto que ello produce en la agitación y en las amplificaciones y velocidades de las ondas de baja frecuencia.

1.2 Contenido del informe

El presente informe se ha estructurado de la forma que se describe a continuación.

- En el Capítulo 2 se presenta un resumen de los estudios efectuados y el sumario de las principales conclusiones obtenidas.
- En el Capítulo 3 se recoge el análisis de la agitación interior de la nueva configuración batimétrica.
- En el Capítulo 4 se analiza la resonancia que se produce en el puerto con la modificación proyectada.





Sumario ejecutivo

Datos base y metodología de análisis

Tomando como base los datos de clima marítimo de trabajos anteriores realizados por HIDTMA, que permiten la determinación de las condiciones de oleaje incidente en la zona, se procede al análisis de la agitación interior y de ondas largas para una nueva configuración del puerto de Laxe, consistente en el dragado del interior de la dársena a una profundidad de 5 m, con el fin de determinar las posibles modificaciones con respecto a la configuración batimétrica actual.

Para el desarrollo del análisis de agitación se ha empleado un modelo matemático bidimensional que ha permitido calcular los valores de altura de ola en el interior del puerto para diferentes condiciones de oleaje incidente, incluyendo el fenómeno de la rotura.

Para el análisis de onda larga se han empleado dos modelos diferentes (BW y HD), con el fin de determinar los periodos resonantes en situación de bajamar y pleamar y analizar los coeficientes de amplificación y las velocidades de corriente inducidas en el interior del puerto por las ondas resonantes de baja frecuencia, comparando la configuración antes y después del dragado proyectado.

Análisis de agitación interior

Se produce un incremento de la agitación interior en la nueva situación, debido a diversos factores:

- El incremento de la profundidad de la dársena, lo que implica la presencia de un mayor volumen de agua en su interior y, por tanto, de la capacidad de la misma para almacenar energía
- La disminución de la disipación del oleaje por fricción con el fondo, al aumentar la profundidad.
- El incremento de la altura del borde reflejante, lo que incrementa su capacidad de reflexión.

Además, el cambio de la forma en la que el oleaje se propaga por el interior de la dársena genera un patrón de reflexiones distinto al actual, provocando incrementos puntuales destacados de la agitación.

Para alturas de ola inferiores a las de un temporal de 6 m, no se espera que el incremento de la agitación vaya a ser relevante. Sin embargo, para oleajes superiores se pueden producir aumentos locales de la altura de ola destacados.

Análisis de ondas largas

No se producen modificaciones en los modos de oscilación de la dársena a consecuencia del dragado proyectado, manteniéndose los periodos resonantes con respecto a la situación actual, tanto en situación de bajamar como de pleamar.

Los coeficientes de amplificación observados se mantienen prácticamente iguales tras el dragado en la situación de pleamar, produciéndose disminución de los mismos en algunos periodos en situación de bajamar.



Por lo que se refiere a las velocidades de la corriente inducidas por las ondas de baja frecuencia que penetran en el interior de la dársena, disminuyen tras dragar el interior del puerto, tanto en bajamar como en pleamar.



Capítulo 3

Análisis de agitación interior

3.1 Condiciones del análisis

En trabajos anteriores desarrollados por HIDTMA en el puerto de Laxe se incluyen estudios de clima marítimo, en los que se toman como base los datos de la boya de Villano Sisargas. En la figura 3.1 se muestra la representación polar de los datos de la boya propagados hasta la zona.



Figura 3.1 - Datos de la boya de Villano Sisargas propagados hasta la entrada de la ensenada de Laxe

Condiciones analizadas

Los mencionados estudios de clima marítimo y propagación del oleaje permiten definir las condiciones de oleaje incidente de mayor interés para las simulaciones de agitación. Dado que en estos trabajos se han seleccionado las condiciones que posibilitan una caracterización más completa de las situaciones en las que se observa mayor agitación en el interior de la dársena, y que el objetivo del presente estudio es realizar un análisis comparativo de la configuración batimétrica resultante tras el dragado, se mantienen las condiciones seleccionadas previamente. Estas condiciones son las siguientes:

- Dirección 310°; Hs = 6 m Tp = 14 s.
- Dirección 310°; Hs = 10 m Tp = 16 s.
- Dirección 310°; Hs = 13 m Tp = 18 s.

En todas ellas se considera un nivel de marea de 3.5 m sobre la BMVE. En las simulaciones se ha mantenido además la misma malla que la definida en los estudios previos (ver figura 3.2), con el fin de facilitar el análisis comparativo.







Figura 3.2 – Malla empleada en las simulaciones de agitación interior

Configuración analizada

La nueva configuración analizada es la resultante de dragar el interior del puerto a una cota de 5 m de profundidad. En la figura 3.3 se muestra sombreada la zona correspondiente al dragado que determina la nueva configuración batimétrica.



Figura 3.3 – Zona del puerto a dragar a la cota -5 m





3.2 Metodología

Para el análisis de la agitación interior en el puerto de Laxe, se ha empleado el modelo Mike 21 BW, incluyendo el fenómeno de la rotura del oleaje, al igual que en los estudios anteriores. Este modelo presenta las siguientes características generales:

- El modelo calcula las ecuaciones de Boussinesq, con un esquema en diferencias finitas sobre una malla rectangular regular.
- El modelo incluye la refracción, difracción, rotura y pérdida por fondo del oleaje.
- El modelo permite la inclusión en sus bordes de condiciones tales como reflexión parcial en estructuras, absorción total en zonas de playa, etc.
- El resultado del modelo es la oscilación de la lámina de agua en el tiempo, con la que se calcula la altura de ola significante en toda la zona modelizada.

Las ecuaciones son:

a) Conservación de la masa.

$$\frac{\partial \xi}{\partial t} + \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial q}{\partial y} = 0$$

b) Conservación de la cantidad de movimiento según x.

$$\frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{p^2}{h}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{pq}{h}\right) + gh\frac{\partial\xi}{\partial x} + \frac{g\sqrt{\frac{p^2}{h^2} + \frac{q^2}{h^2}}\frac{p}{h}}{C^2} - E\left(\frac{\partial^2 p}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 p}{\partial y^2}\right) = \frac{1}{3}Dh\left(\frac{\partial^3 p}{\partial x^2 \partial t} + \frac{\partial^3 q}{\partial x \partial y \partial t}\right)$$

c) Conservación de la cantidad de movimiento según y.

$$\frac{\partial q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{q^2}{h}\right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{pq}{h}\right) + gh \frac{\partial \xi}{\partial y} + \frac{g\sqrt{\frac{p^2}{h^2} + \frac{q^2}{h^2}} \frac{q}{h}}{C^2} - E\left(\frac{\partial^2 q}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 q}{\partial y^2}\right) = \frac{1}{3}Dh\left(\frac{\partial^3 q}{\partial y^2 \partial t} + \frac{\partial^3 p}{\partial x \partial y \partial t}\right)$$

Donde:

- p(x,y,t): Nivel de la superficie libre sobre nivel medio.
- q(x,y,t): Densidad de flujo de volumen en dirección x.
- h(x,y,t): Densidad de flujo de volumen en dirección y.
- D(x,y): Profundidad a nivel medio.
- g: Aceleración de la gravedad.
- C: Coeficiente de resistencia Chezy.
- E(x,y): Coeficiente de viscosidad Eddy.





x,y: Coordenadas espaciales.

t: Coordenada temporal.

Las ecuaciones se resuelven por técnicas de diferencias finitas implícitas, con variables definidas en una malla rectangular.

3.3 Resultados

La figura 3.4 muestra la comparación de los resultados obtenidos para una altura de ola inicial de 6 m y un periodo de 14s, entre la situación actual y la configuración resultante tras el dragado.



Figura 3.4 – Gráfico de altura de ola significante. Hs = 6 m Tp= 14 s





Según puede observarse, las diferencias de altura de ola que determina el dragado no son muy significativas para estas condiciones, produciéndose un aumento de la agitación en algunas zonas del interior de la dársena que no supera en ningún punto los 0.13 m. Sólo se producen mejoras de agitación en zonas muy puntuales, siendo la disminución de la altura de ola observada de 0.11 m en el punto de máxima diferencia. En la figura 3.5 se recogen las diferencias absolutas de Hs entre ambas configuraciones batimétricas.



Figura 3.5 – Diferencias absolutas de Hs entre la configuración con el dragado y la actual. Hs = 6 m Tp= 14 s

La comparación de los gráficos de altura de ola significante correspondiente a las propagaciones con una altura de ola de 10 m y periodo de 16s, se recoge en la figura 3.6. En este caso en el que la altura de ola considerada corresponde a un temporal más extremo y con un periodo asociado también diferente, se observan diferencias mayores que en el caso anterior.

Si bien la altura de ola máxima observada en el interior de la dársena apenas varía, sí que se produce un cambio en el patrón de agitación cuando se considera el dragado, modificándose las zonas en las que se observa mayor altura de ola.

Así, en la figura 3.7 se recogen diferencias absolutas que suponen hasta 0.26 m de aumento de la altura de ola en algunas zonas tras el dragado, siendo 0.22 m el valor máximo de disminución observado.

Portos de Galicia





Figura 3.6 – Gráfico de altura de ola significante. Hs = 10 m Tp= 16 s



Figura 3.7 – Diferencias absolutas de Hs entre la configuración con el dragado y la actual. Hs = 10 m Tp= 16 s





En la figura 3.8 se muestra la comparación entre los gráficos de altura de ola significante correspondientes a las condiciones de Hs=13 m y Tp=18s.



Figura 3.8 – Gráfico de altura de ola significante. Hs = 13 m Tp= 18 s

Nuevamente se observa un cambio en el patrón de agitación observado en el interior de la dársena, produciéndose en este caso diferencias absolutas mayores que en los dos anteriores entre las dos configuraciones batimétricas analizadas.

Según se observa en los resultados correspondientes a las diferencias absolutas de Hs que se recogen en la figura 3.9, se produce un aumento de la agitación tras el dragado, que en algunos puntos llega a alcanzar valores de hasta 0.34 m. Las zonas de disminución en el interior de la dársena son casi inexistentes.







Figura 3.9 – Diferencias absolutas de Hs entre la configuración con el dragado y la actual. Hs = 13 m Tp= 18 s

3.4 Conclusiones sobre la influencia del dragado en la agitación interior

Según puede observarse en los resultados de las simulaciones recogidos en el análisis del apartado anterior, el dragado produce un aumento de la agitación en el interior del puerto de Laxe, siendo mayores las diferencias entre la configuración con el dragado y situación actual a medida que aumenta la altura de ola de las condiciones de oleaje incidente consideradas.

El incremento de la profundidad en la dársena por el dragado implica la presencia de un mayor volumen de agua en su interior, lo que supone un incremento de la energía confinada en el puerto, disminuyendo además la disipación del oleaje por fricción con el fondo al aumentar la profundidad.

El dragado de la dársena también supone el incremento de la altura del borde reflejante, esto es, el incremento del coeficiente de reflexión del contorno. Este incremento tiene lugar tanto en la dársena real como en su representación en modelo matemático. De esta forma, la energía devuelta por reflexión hacia la dársena se incrementa en la nueva situación.

Cuando se aumenta la profundidad, el oleaje se refracta menos al llegar al interior de la dársena, propagándose de un modo diferente a como lo hace en la situación actual, y aproximándose hacia el interior del puerto de forma más frontal, lo que provoca un cambio en el patrón de reflexiones que se observa en los resultados.

Para alturas de ola inferiores a las de un temporal de 6 m, no se espera que el incremento de la agitación vaya a ser relevante. Sin embargo, para oleajes superiores se pueden producir aumentos locales de la altura de ola destacados.





Capítulo 4

Análisis de ondas largas

4.1 Introducción

La clasificación de las ondas generadas en el medio marino, y por extensión en cualquier cuerpo de agua, se realiza tomando como base criterios de frecuencia o criterios hidrodinámicos. Así, y atendiendo a la frecuencia, la llamada onda corta u onda gravitatoria tiene usualmente periodos inferiores a 25 s, mientras que la onda larga o de infragravedad alcanza periodos de hasta varios minutos.

En términos hidrodinámicos, las ondas se definen como cortas o largas en función de la relación existente entre su longitud y la profundidad del medio, siendo las ondas cortas aquellas en las que la relación entre la profundidad (h) y la longitud de onda (L) es h/L>1/2, mientras que en las ondas largas h/L<1/20.

Por su modo de propagación, las ondas largas pueden ser de tres tipos:

- Ondas largas forzadas, cuyo modo de propagación va unido al del fenómeno que la ha generado.
- Ondas largas libres, cuyo modo de propagación es ya independiente del fenómeno que la ha causado.
- Ondas largas estacionarias, que permanecen confinadas en un determinado cuerpo de agua.

En lo que respecta a los fenómenos de oscilación de dársenas portuarias o ensenadas, las ondas largas que los provocan suelen estar generados por dos tipos de agentes:

- Las ondas largas asociadas al oleaje exterior, y generadas por la interacción no lineal entre frecuencias próximas.
- Las oscilaciones de los grandes cuerpos de agua causadas por perturbaciones meteorológicas.

Cuando un oleaje exterior lleva asociada una onda larga forzada, dicha onda puede liberarse como consecuencia de procesos intensos de difracción o rotura del oleaje primario, dando así lugar a una onda libre que se propaga por el medio siguiendo sus propias leyes hidrodinámicas. Esta onda larga liberada puede provocar fenómenos de oscilación en dársenas portuarias, o fenómenos de baja frecuencia en playas (ondas de orilla).

4.2 Metodología

El análisis de las ondas largas puede ser realizado mediante diversos modelos. La metodología habitualmente utilizada por HIDTMA para analizar el fenómeno de la resonancia incluye la utilización de tres modelos diferentes:

 Propagación de un espectro rectangular de energía constante (Modelo BW) - Se introduce un espectro de oleaje que contenga todas las frecuencias desde 40 s hasta 400 s de periodo, con su energía repartida por igual entre todas ellas (espectro rectangular). Se



propaga el oleaje mediante el modelo de refracción-difracción y se obtiene el espectro resultante en los puntos seleccionados. La comparación entre el espectro de entrada y el registrado en cada punto permite calcular el factor de amplificación de la energía del oleaje.

- Análisis por periodos (Modelo EMS) Se propaga una onda regular de una altura de ola determinada, y se obtiene la altura de ola en el puerto. Este proceso se repite para ondas de 40, 50, 60, ...400 s. La comparación entre la altura de ola a la entrada del modelo y la registrada en el puerto permite calcular el factor de amplificación de la altura de ola para un periodo concreto.
- Propagación de una onda senoidal (Modelo HD) Se propaga una onda senoidal de periodo coincidente con alguno de los picos de resonancia obtenidos en el espectro de la simulación con el modelo BW. Este proceso se repite para los diferentes periodos de interés. Los resultados permiten analizar las elevaciones de la lámina de agua y las velocidades de corriente producidas por el fenómeno de la resonancia.

En este caso, se ha utilizado el modelo Mike 21 BW para determinar las variaciones de respuesta del puerto actual frente a la configuración del mismo con el dragado a 5 m de profundidad. A continuación se han realizado simulaciones con el modelo hidrodinámico (Mike 21 HD) cubriendo la franja de periodos de interés tomando como base los resultados del modelo anterior, con el fin de determinar las variaciones de las velocidades de la corriente inducida en la dársena por las ondas largas de periodos singulares.

4.3 Resultados

Análisis con el modelo BW

Según se ha indicado, este modelo es el que permite una visión general de la respuesta de la dársena a todos los periodos resonantes con una sola simulación, ya que propaga un espectro rectangular de energía constante, repartida por igual entre toda la franja de frecuencias introducida, que cubre todo el rango de periodos de interés (de 40 a 400 s). La comparación entre la altura de ola a la entrada del modelo y la registrada en el puerto permite calcular el factor de amplificación de la altura de ola para cada periodo.

Se ha realizado el análisis de la situación tras el dragado, tanto en condiciones de bajamar como de pleamar, con el fin de comparar con la configuración batimétrica actual las amplificaciones obtenidas en cada caso.

En la figura 4.1 se muestran los coeficientes de amplificación en situación de bajamar, tanto para la situación actual como para la configuración tras el dragado a 5 m. Puede observarse que no se producen modificaciones de los periodos resonantes, resultando una curva de amplificaciones con la misma tendencia para ambas configuraciones, lo que indica que se mantienen los modos de oscilación de la dársena tras el dragado. También se refleja en los resultados que se produce una ligera disminución de las amplificaciones con la configuración batimétrica resultante tras el dragado.

Los resultados correspondientes a la situación de pleamar se recogen en la figura 4.2. En este caso, los coeficientes de amplificación se mantienen prácticamente iguales que en la situación actual, observándose una ligera disminución en algunos periodos. Al igual que sucedía en el caso anterior, no se producen modificaciones de los periodos resonantes con respecto a la situación actual.







Figura 4.1 – Análisis de amplificaciones. Comparación entre las dos configuraciones. Bajamar



Figura 4.2 – Análisis de amplificaciones. Comparación entre las dos configuraciones. Pleamar





Análisis con el modelo HD

Se realizan simulaciones que cubren la franja del espectro correspondiente a los periodos comprendidos entre 120-240 s. En todos los casos, la amplitud de la onda larga a la entrada del modelo ha sido de 10 cm. Se han realizado simulaciones en situación de pleamar y de bajamar, y se han obtenido los resultados de la velocidad de la corriente inducida por las ondas resonantes, en un punto del interior de la dársena en el que las velocidades son máximas en ambas configuraciones.



Figura 4.3 – Análisis de velocidades. Comparación entre las dos configuraciones. Bajamar



Figura 4.4 – Análisis de velocidades. Comparación entre las dos configuraciones. Pleamar



En las figuras 4.3 y 4.4 se recogen los resultados de la velocidad de la corriente en situación de bajamar y pleamar para cada uno de los periodos analizados en ambas configuraciones. Puede comprobarse que, al igual que sucedía con las amplificaciones, las velocidades de la corriente disminuyen cuando se draga el interior del puerto.

4.4 Conclusiones sobre la influencia del dragado en las ondas largas

El análisis de ondas largas realizado refleja que no se producen modificaciones en los modos de oscilación de la dársena a consecuencia del dragado proyectado, manteniéndose los periodos resonantes con respecto a la situación actual, tanto en situación de bajamar como de pleamar.

Los coeficientes de amplificación observados se mantienen prácticamente iguales tras el dragado en la situación de pleamar, produciéndose disminución de los mismos en algunos periodos en situación de bajamar.

Por lo que se refiere a las velocidades de la corriente inducidas por las ondas de baja frecuencia que penetran en el interior de la dársena, disminuyen tras dragar el interior del puerto, tanto en bajamar como en pleamar.

Madrid, septiembre de 2017

Fdo.: Ana Baró Ollero Dpto. de Modelos Matemáticos

Fdo.: Javier Enríquez Fernández

HIDTMA, S.L.



ÁREA DE INFRAESTRUTURAS, MEDIO AMBIENTE E SEGURIDADE Praza de Europa 5 A – 6° Teléfono: 902 400 870 – Fax: 981 545 324 www.portosdegalicia.com 15707 SANTIAGO DE COMPOSTELA



ÁREA DE INFRAESTRUCTURAS, MEDIO AMBIENTE Y SEGURIDAD

TÍTULO DEL PROYECTO DRAGADO EN EL PUERTO DE LAXE

PUERTO

LAXE (A CORUÑA)

ANEJO Nº 3: ESTUDIO GEOTÉCNICO



ANEJO Nº 4: ESTUDIO GEOTÉCNICO

ANEJO Nº 4: ESTUDIO GEOTÉCNICO

DRAGADO EN EL PUERTO DE LAXE LAXE, A CORUÑA

INDICE:

1	INTE	RODUCCION	. 3
	1.1	OBJETIVOS	3
	1.2	ORGANIZACIÓN DEL DOCUMENTO.	3
2	INF	ORME DE EPTISA	.4
	2.1	CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES	4
	<u>2.2</u>	INFORME DE EPTISA	4

ANEJO Nº 4: ESTUDIO GEOTÉCNICO

DRAGADO EN EL PUERTO DE LAXE LAXE, A CORUÑA

1 INTRODUCCION.

1.1 OBJETIVOS.

El objetivo del presente anejo tiene como objeto caracterizar geotécnicamentelos materiales que conforman el subsuelo que servirán para analizar las propiedades de la actuación del dragado

1.2 ORGANIZACIÓN DEL DOCUMENTO.

El presente documento esta estructurado de la siguiente manera:

- 1. Introducción. Se realiza una breve descripción de los objetivos así como la organización del documento.
- 2. Informe de Eptisa. Caracterización de los materiales

2 INFORME DE EPTISA

2.1 CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES

A partir de la investigación geotécnica realizada se estableció que el subsuelo más superficial del área de estudio lo conformaban de techo a muro los siguientes niveles geotécnicos:

- 1. Sedimentos Cuaternarios.
- 2. Sustrato Hercínico de naturaleza granítica.

Los primeros, en las diferentes prospecciones realizadas, se identificó solamente un conjunto de sedimentos detríticos, cuyo origen está claramente ligado a la dinámica litoral de la zona.

Se encuentra formado por arenas finas de composición silícea con algunas gravillas y restos de bioclastos de pequeño tamaño muy esporádicos. Son frecuentes las intercalaciones de limos arenosos que suelen ser de espesor centimétrico y color gris. De forma ocasional en la base del nivel arenoso, justo antes de alcanzar el sustrato rocoso, aparecen gravas sub_angulosas a redondeadas de hasta 5 cm. y algunos restos de conchas de hasta 3 cm.

A las profundidades alcanzadas en todas las prospecciones se ha llegado a cortar la superficie de muro de esta capa tal y como se muestra en la tabla adjunta:

PROSPECCIÓN	Cota inicio depósitos cuaternarios	Cota final depósitos cuaternarios	Espesor
Sondeo S-1	-1,90	-2,90	1,00
Sondeo S-2	-1,40	-1,90	0,50
Sondeo S-3	0,00	-1,15	1,15

El Sustrto Hercínico de naturaleza granítica aparece bajo los sedimentos cuaternarios de origen marino o bien superficialmente a lo largo de la totalidad de la zona objeto de estudio, se ha identificado un sustrato rocoso caracterizado como una roca blanda (Clase R2 según la clasificación ISRM, Suggested methods for rock characterization, testing and monitoring), donde los rangos de resistencia a compresión simple oscilan entre 5,0 y 25 MPa para R.

Se pueden observar en numerosos puntos pequeños diques de pegmatitas y cuarzo, presentando también "schlieren" de biotita y moscovitas tardías relativamente grandes.

2.2 INFORME DE EPTISA

Adjunto se incluye el informe completo elaborado por Eptisa que justifica dicha caracterización de los materiales.



ESTUDIO GEOTÉCNICO PARA EL DRAGADO DEL PUERTO DE LAXE (CORUÑA)

Nº REFERENCIA: EG-3987-01

Peticionario:	XUNTA DE GALICIA - CONSELLERÍA DO MAR
Fecha:	14 de febrero del 2018



ÍNDICE

ESTUDIO GEOTÉCNICO PARA EL DRAGADO DEL PUERTO DE LAXE (CORUÑA)

1.	INTRODUCCIÓN	1
2.	ENTORNO GEOLÓGICO	3
3.	TRABAJOS REALIZADOS	4
4.	SISMICIDAD	9
5.	DESCRIPCIÓN GEOTÉCNICA DE LOS MATERIALES	9
5.1	SEDIMENTOS CUATERNARIOS	9
5.2	SUSTRATO HERCÍNICO	10
6.	ANÁLISIS DE DRAGABILIDAD	24
7.	RESUMEN Y CONCLUSIONES	27

ANEJOS

- ANEJO I. PLANTA DE SITUACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN
- ANEJO II. REGISTRO DE LOS SONDEOS Y REPORTAJE FOTOGRÁFICO
- ANEJO III. RESULTADOS DE LAS MUESTRAS ANALIZADAS
- ANEJO IV. CORTES GEOLÓGICO-GEOTÉCNICOS DEDUCIDOS
- ANEJO V. CUADROS GEOTÉCNICOS
- ANEJO VI. PLANTA CON DISTRIBUCIÓN DE MATERIALES
- ANEJO VII. INFORME GEOTÉNICO CAMPAÑA 2011 (EG 3306)

ESTUDIO GEOTÉCNICO PARA EL DRAGADO DEL PUERTO DE LAXE (CORUÑA)

N/REFERENCIA: EG-3987-01

1. INTRODUCCIÓN

Por encargo de la Xunta de Galicia – Consellería do Mar, **Eptisa, Servicios de Ingeniería, S.L.** ha redactado el presente documento titulado ESTUDIO GEOTÉCNICO PARA EL DRAGADO DEL PUERTO DE LAXE (CORUÑA).

El objeto de este informe es caracterizar geotécnicamente los materiales que conforman el subsuelo de la zona objeto de estudio para determinar sus condiciones de dragabilidad.



Vista panorámica con sombreado de la zona que se proyecta dragar de manera mayoritaria hasta la cota -5.00

En el presente informe se recopila la información de la presente campaña de investigación y de otra campaña realizada en el año 2011 con motivo del estudio geotécnico para el proyecto denominado "Ampliación de Plataforma en el Puerto de Laxe" con número de registro EG 3306 (se incluye en el Anejo VII). En los siguientes apartados, se exponen todos los trabajos de campo, ensayos in situ y ensayos de laboratorio, así como las conclusiones relativas a la excavabilidad de los materiales objeto de dragado.

De acuerdo con la información facilitada por el Ente Público Portos de Galicia, se prevé el dragado hasta la cota -3,00 m en la zona más próxima al cantil del muelle y hasta la cota -5,00 m en la zona más alejada.

En los siguientes perfíles facilitados por el propio Ente, se observa la previsión de la geometría de dragado, dependiendo de que el mismo se realice en el frente del muelle o en la zona lateral.



2. ENTORNO GEOLÓGICO

El pueblo de Laxe se encuentra situada en la hoja nº 43 del Mapa Geológico de España, a escala 1:50.000 publicado por el ITGE (1.981).

La Hoja estudiada se encuentra situada en la zona más Occidental de la Península Ibérica y en la mitad Occidental de la provincia de Coruña

Geológicamente se encuentra en la zona Centro-Ibérica del Macizo Hespérico, según la división de la cadena hercínica de la Península realizada por JULIBERT et al. (1974) basada fundamentalmente en la clasificación de LOTZE (1945).

Dicha zona se caracteriza por un gran desarrollo del metamorfismo y granitización hercínicos, y la presencia en su mitad septentrional de una serie de macizos con rocas máficas y ultramáficas que sufrieron un metamorfismo catazonal intenso, alcanzándose la facies de las granulitas, de alta presión, e incluso de las eclogitas, sufriendo posteriormente un metamorfismo de grado más bajo, implicando un retrometamorfismo en facies anfibolíticas.



Detalle encuadre geológico del Puerto de Laxe y leyenda. Hoja nº 43.

Toda la zona sobre la que se sitúa el puerto de Laxe está compuesta por un granito paraautóctono de la serie alcalina, producto de la granitización hercínica en Galicia Occidental.

Pertenece al grupo de granitos de dos micas de Galicia Occidental que fue definido por PARGA PONDAL (1966) como "granitos de tipo Lage".

Se trata de un granito de tonos claros, y variado en su granulometría, generalmente de grano grueso. En las zonas donde el grano es más fino tiene una mayor homogeneidad, presentado una deformación bastante característica.

Los componentes esenciales son: cuarzo, feldespato potásico, plagioclasas, moscovita y biotita. Con carácter accesorio aparecen apatito, circón y clorita.

3. TRABAJOS REALIZADOS

Los trabajos de campo de la presente campaña de investigación han consistido en la ejecución de siete (7) sondeos mecánicos a rotación con extracción de testigo a los que hay que añadir los 3 sondeos realizados en la campaña del año 2011.

En el plano que se adjunta en el anejo I se muestra la distribución de todas las prospecciones realizadas.

3.1.1 Trabajos de campo

• Sondeos

En total existen diez (10) sondeos mecánicos a rotación con recuperación de testigo, perforados con coronas de widia y diamante de diámetros comprendidos entre 101 y 86 mm. De los sondeos llevados a cabo siete (7) de los mismos se ejecutaron sobre pontona, La numeración de dichos sondeos así como las coordenadas se muestran a continuación:

SONDEO Nº	COORD. X	COORD. Y	COORD. Z
S-4	499757.503	4785678.732	-3.05
S-5	499742.580	4785599.509	-3.30
S-6	499726.006	4785511.524	-2.10
S-7	499780.498	4785485.300	-3.95

CAMPAÑA ACTUAL (SONDEOS SOBRE PONTONA)

La pontona se situó en los puntos de perforación mediante localización con GPS.

Con el objetivo de conocer la cota de emboquille de cada uno de estos sondeos de la campaña actual, se ha medido la columna de agua existente entre el punto de inicio de la perforación y la superficie. Al mismo tiempo se tomó la distancia entre el muelle próximo a la base E-2 de referencia (cota +5.94) y el nivel superficial de agua. De este modo se obtuvo la cota de emboquille a la que se sitúa cada punto de sondeo.



Detalle situación base E-2 (cota 5.94)

CAMPAÑA AÑO 2011 (SONDEOS SOBRE PONTONA)

SONDEO Nº	COTA EMBOQULLE (m)
S-1(2011)	-1.9
S-2 (2011)	-1.4
S-3 (2011)	0,0

Los sondeos realizados en esta campaña se llevaron a cabo sobre pontona.

Estos sondeos, al situarse tan próximos al muelle del puerto, se posicionaron mediante medición directa con distanciometro.

El procedimiento seguido para la determinación de la cota de emboquille (coordenada z) se realizó de la misma manera que para los sondeos de la campaña actual.

CAMPAÑA ACTUAL (SONDEOS SOBRE EL MUELLE DEL PUERTO)

Para completar la campaña, se realizaron tres (3) sondeos, de los cuales todos se han perforados desde tierra; de tal forma que el sondeo S-2 se emboquilló en el propio cantil del muelle, concretamente en la zona reservada para chalanas, mientras que los sondeos S-1 y S-3 se emboquillaron directamente en el sustrato rocoso que conforma el lecho marino; por lo que ambos sondeos se perforaron con una inclinación de 10º y 8º respectivamente respecto a la vertical, pudiendo de este modo situar la máquina de sondeos en el borde del cantil, tal y como se muestra en las fotografías ajuntas: