



ANTEPROYECTO DE:

**DRAGADO EN EL PUERTO DE LAXE**

**DEL DOCUMENTO Nº 1 – MEMORIA Y ANEJOS**

**ANEJOS A LA MEMORIA:**

ANEJO Nº 3 – ANÁLISIS HIDRODINÁMICO

## **ANEJO Nº 3: ANÁLISIS HIDRODINÁMICO**

### **DRAGADO EN EL PUERTO DE LAXE LAXE, A CORUÑA**

#### **RESUMEN DE LOS RESULTADOS**

Los resultados del análisis de los diferentes estudios realizados hasta la fecha pueden resumirse en 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 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.
- Los coeficientes de agitación calculados mediante modelo matemático son bastante similares a los registrados durante la campaña de medida.



# ÍNDICE

## MEMORIA

1	Introducción .....	1
1.1	Antecedentes y objeto del estudio.....	1
1.2	Contenido del informe .....	1
2	Sumario ejecutivo .....	2
3	Descripción del problema .....	3
3.1	Incidencia de los temporales exteriores en la ría .....	3
3.2	Modelización de ondas largas en el puerto .....	3
4	Medición de ondas largas.....	6
4.1	Introducción .....	6
4.2	Campaña de medidas .....	6
4.3	Altura de onda larga generada .....	9
4.4	Espectro de resonancia .....	10
4.5	Modo de oscilación.....	12
4.4	Corrientes generadas por la onda larga .....	14
4.5	Conclusiones .....	16
5	Agitación interior .....	17
5.1	Introducción .....	17
5.2	Resultados del modelo .....	17
5.3	Comparación con las medidas .....	18

## ANEJOS

Anejo 1	Resultados del análisis espectral
---------	-----------------------------------



# Capítulo 1

## Introducción

### 1.1 Antecedentes y objeto del estudio

Portos de Galicia ha realizado una campaña de medidas instrumentales en el Puerto de Laxe, con el fin de caracterizar las ondas cortas y largas que afectan al puerto y a la ensenada. La decisión de monitorizar el puerto con la instrumentación necesaria para caracterizar la energía que incide sobre él fue tomada tras el análisis de las conclusiones de una serie de estudios técnicos que vienen desarrollándose desde el año 2004.

- Estudio de dinámica litoral y agitación en el Puerto de Laxe (2004-2005 )
- Estudio de impacto en la costa de las obras de remodelación del puerto de Laxe (2005)
- Estudio de alternativas de remodelación del puerto de Laxe (2008)
- Estudio de agitación y resonancia de la nueva plataforma del Puerto de Laxe (2011)

Mediante las medidas instrumentales y el análisis de las mismas, se pretende además validar los modelos matemáticos utilizados en los estudios anteriormente mencionados.

El objeto de este informe es, por tanto, proceder a la explotación de toda la información recogida mediante las distintas boyas y sensores instalados en la zona. En concreto se pretende:

- Analizar los datos de agitación y resonancia obtenidos mediante registros instrumentales.
- Contrastar éstos con los resultados obtenidos en estudios anteriores realizados mediante modelos matemáticos.

### 1.2 Contenido del informe

El presente documento se ha estructurado en cinco secciones diferenciadas:

- En el Capítulo 1 se señalan los antecedentes y los objetivos del Estudio.
- En el Capítulo 2 se incluye el sumario ejecutivo del trabajo.
- En el Capítulo 3 se recoge una descripción del problema que afecta al puerto y ensenada de Laxe.
- El Capítulo 4 se centra en el análisis de los datos de ondas largas.
- En el Capítulo 5 se analizan los datos y resultados de agitación.



# Capítulo 2

## Sumario ejecutivo

Los pasos seguidos para el análisis de la campaña de medidas llevada a cabo en el Puerto de Laxe han sido los que se describen a continuación.

- Se ha realizado un resumen de la caracterización del oleaje exterior, a partir de los datos de la boya de Villano Sisargas. El estudio del clima marítimo incluye un análisis direccional y la propagación de los temporales exteriores hasta la entrada de la ensenada de Laxe.
- Se ha realizado asimismo un resumen de los análisis de onda larga realizados por medio de modelizaciones numéricas.
- Se han analizado los datos de los sensores obtenidos en la campaña de medidas, haciendo un barrido de los mismos y seleccionando los registros con mayores alturas de ola, de los cuales se realiza el análisis espectral.
- Se han comparado los datos registrados en el sensor instalado en el interior del puerto, con los datos registrados en la boya exterior de Villano Sisargas y se han elaborado gráficos de concordancia entre los parámetros medidos.
- Tomando como base los datos de los dos puntos anteriores, se ha realizado un análisis espectral de los datos de la campaña.
- Se han comparado los datos instrumentales con los datos de los modelos, tanto en lo que se refiere a altura de onda larga generada, como a la intensidad y dirección de las corrientes que definen los modos de oscilación de la ensenada
- También se han comparado los niveles de agitación por onda corta registrados en el puerto con los previstos mediante modelo matemático.

Los resultados del análisis comparativo pueden resumirse en 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 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.
- Los coeficientes de agitación calculados mediante modelo matemático son bastante similares a los registrados durante la campaña de medida.

# Capítulo 3

## Descripción del problema

### 3.1 Incidencia de los temporales exteriores en la ría

En los estudios realizados por Hidtma, se tomaron como base para el análisis de oleaje exterior los datos de la boya de Villano Sisargas (Puertos del Estado), debido a su ubicación cercana y al amplio periodo de medidas registradas (1998-actualidad).

Los oleajes incluidos en el régimen direccional de la boya se propagan mediante modelos matemáticos hasta la entrada de la ría de Laxe, según se muestra en la figura 3.1 en la que se recogen las representaciones polares de los oleajes exteriores y propagados.

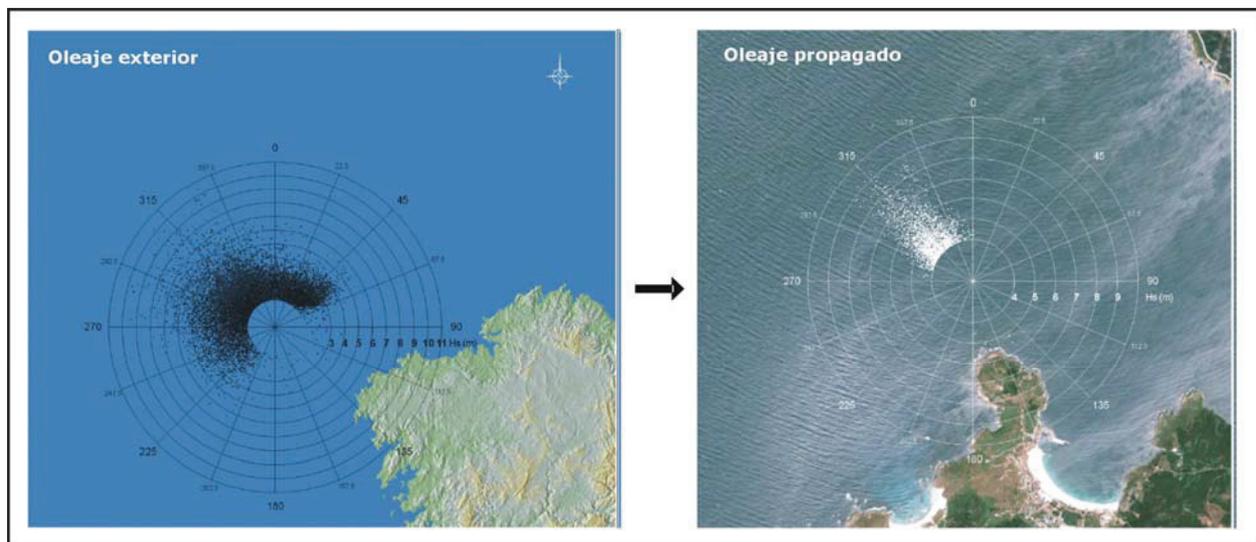


Figura 3.1 – Oleajes exteriores y propagados hasta la ría de Laxe.

Según puede observarse, los mayores temporales que llegan a la entrada de la ría provienen del sector direccional comprendido entre 315-320 grados, por lo que es la dirección 320 (oleajes predominantes del NW) la seleccionada para las simulaciones de onda larga y de propagación desde la entrada de la ría hasta el puerto para el correspondiente análisis de agitación.

### 3.2 Modelización de ondas largas en el puerto

#### 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, se trata de una oscilación que apenas es detectable en aguas profundas (ver figura 3.2).

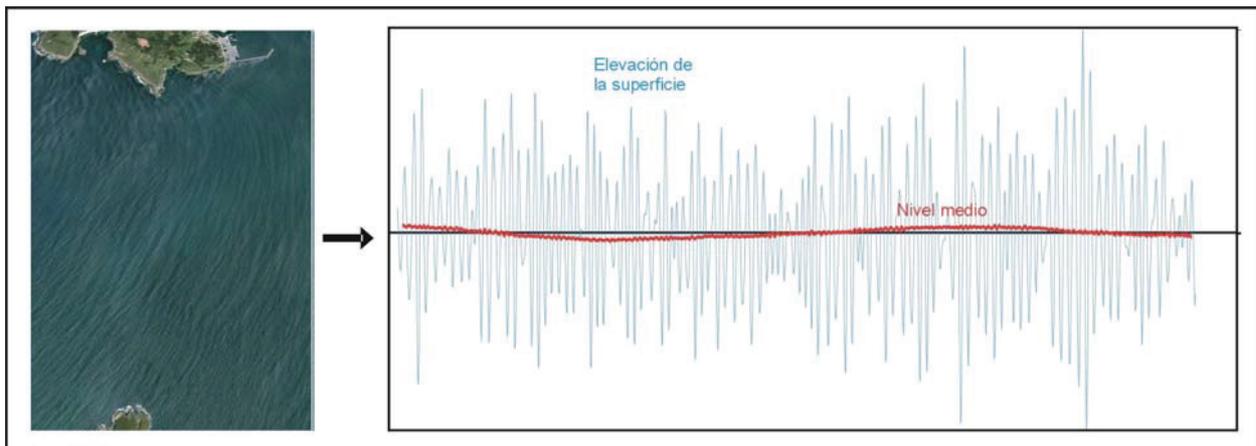


Figura 3.2 – Oscilación de onda larga en aguas profundas .

Sin embargo, dicha onda puede liberarse como consecuencia de procesos intensos de difracción o por 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, ya que se amplifica mucho cuando llega a profundidades reducidas.

La propagación de un oleaje se realiza mediante grupos de olas, a cuyo paso el nivel medio del mar sufre oscilaciones derivadas de las variaciones del tensor de radiación ( $S$ ). El gradiente del momento asociado al oleaje se compensa con el gradiente de presión hidrostática provocado por la pendiente del nivel medio del mar. De esta forma, en los grupos de olas altos se produce un descenso del nivel medio (*set-down*), mientras que al paso de las alturas de ola más reducidas se produce una elevación de ese nivel (*set-up*). Dado que el gradiente del tensor de radiación es casi nulo en profundidades indefinidas, el fenómeno sólo va adquiriendo relevancia cuando el oleaje se aproxima a profundidades reducidas, y alcanza su máximo valor cuando se produce la rotura del oleaje.

Este proceso afecta no sólo a los puertos, sino también a las playas. Cuando una onda larga se libera en una playa, ésta puede reflejarse y quedar atrapada en la línea de orilla por la refracción sobre el fondo, dando lugar a las llamadas ondas de orilla o *edge waves*, las cuales presentan un antinodo en la orilla, con su amplitud decayendo de forma exponencial hacia aguas profundas. La presencia de ondas largas en una playa es mayor cuando ésta presenta un perfil disipativo (pendiente suave, con rotura de tipo *spilling*), mientras que es más reducida en playas reflectivas (pendiente elevada, con rotura del tipo *plunging* o *surging*). En la figura 3.3 se presenta un ejemplo de ondas de orilla en la playa de Laxe.

En la figura 3.4 se muestra un esquema gráfico del proceso de aproximación, liberación y resonancia de ondas largas en la ensenada de Laxe. El tren de olas que llega a la ensenada libera la onda larga asociada, ya sea debido al proceso de rotura del oleaje o al proceso de difracción. Esa onda liberada se propaga hacia el interior de la ensenada, generando fenómenos de resonancia que la amplifican, siendo las características de este fenómeno diferentes en función del periodo de la onda larga y de la geometría concreta de la ensenada.



Figura 3.3 – Generación de ondas de orilla.

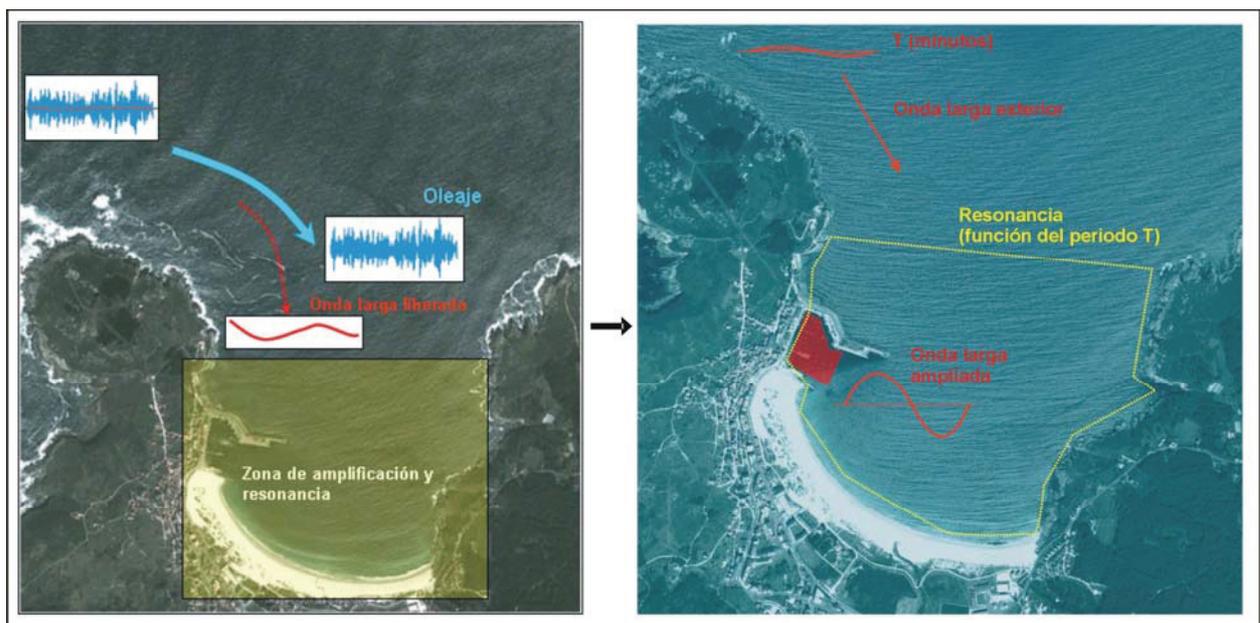


Figura 3.4 – Liberación de la onda larga asociada a un tren de olas.

## Metodología

El análisis de las ondas largas puede ser realizado mediante diversos modelos. En los estudios realizados por Hidtima S.L. se ha analizado el fenómeno de la resonancia por medio de la utilización de tres modelos diferentes:

- Propagación de un espectro rectangular (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 de ruido “rosa”). 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.

El primero de los modelos fue empleado para determinar la respuesta del puerto actual y de sus posibles alternativas de ampliación a una extensa gama de periodos de resonancia. El segundo modelo se utilizó para analizar las variaciones de la corriente generada en las dársenas por las ondas largas de periodos singulares. Y el tercero para analizar las elevaciones de la lámina de agua y comprobar los modos de oscilación y la ubicación de los nodos existentes en la ensenada de Laxe.

En la figura 3.5 se muestra un ejemplo de los resultados obtenidos en las simulaciones con el modelo Mike 21 EMS y se indican los dos modos de oscilación principales resultantes para los periodos de pico analizados.

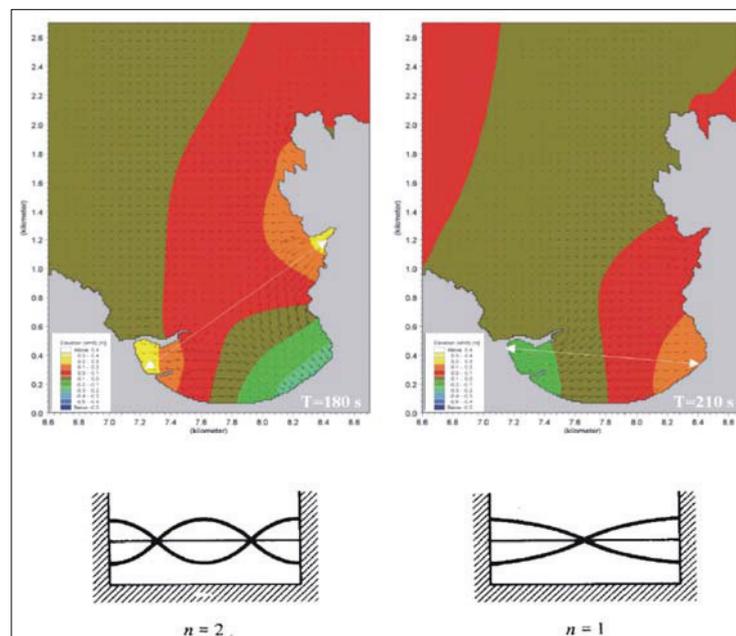


Figura 3.5 – Resultados de las simulaciones con el modelo Mike 21 EMS.

En la figura 3.6 se recoge un ejemplo de los resultados obtenidos con el modelo Mike 21 BW, en el que se muestran los periodos de resonancia de la dársena y sus amplificaciones.

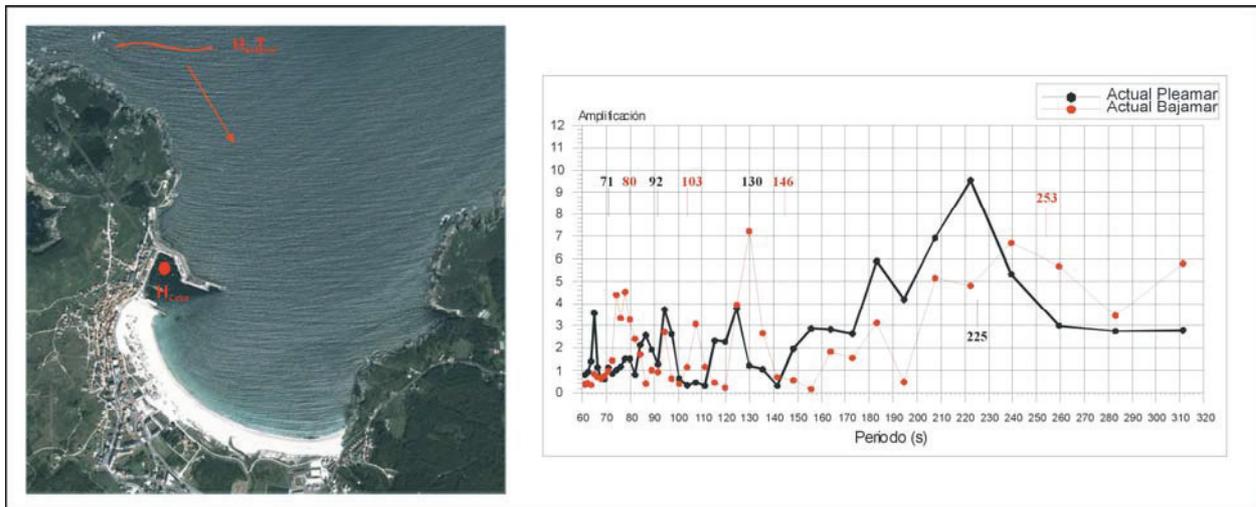


Figura 3.6 – Resultados de las simulaciones con el modelo Mike 21 BW.

#### Efectos de las ondas largas en Laxe

Uno de los mayores temporales registrados en la boya de Villano Sisargas, se produjo el 10 de marzo de 2008. Partiendo de una filmación de video realizada en el puerto de Laxe durante ese temporal, se midió el periodo de las oscilaciones que se produjeron en el interior del puerto. En la figura 3.7 se recoge la secuencia de la filmación, que muestra la oscilación de un barco fondeado en la dársena, en las proximidades de la esquina interior del muelle comercial. En esta secuencia se observa que la oscilación de la embarcación muestra un periodo en el entorno de los 180 s, precisamente en el rango donde los modelos matemáticos indican amplificaciones de la onda muy significativas.

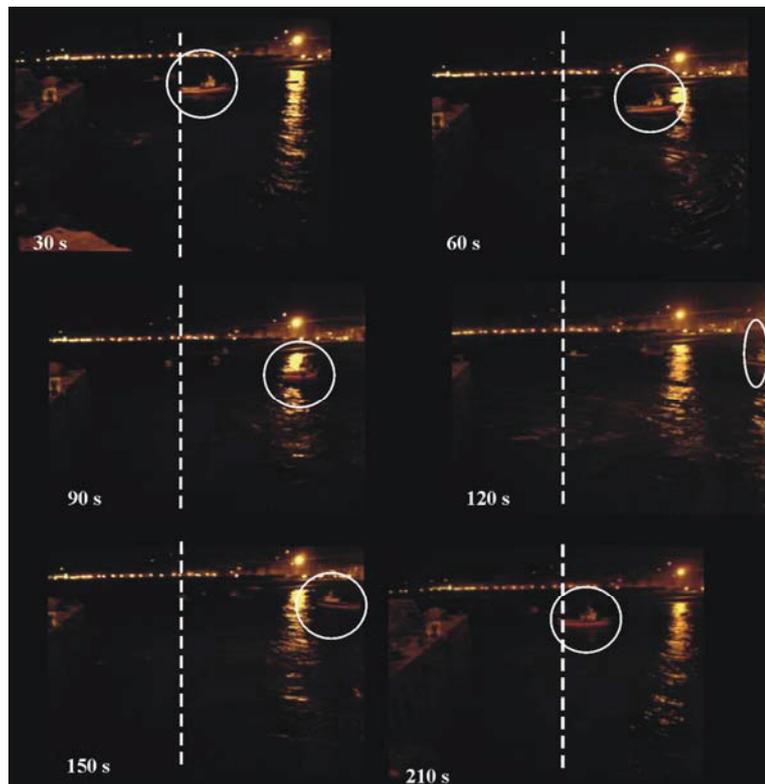


Figura 3.7 – Resultados de las simulaciones con el modelo Mike 21 BW.

# Capítulo 4

## Medición de ondas largas

### 4.1 Introducción

En el presente capítulo se describen y analizan los datos de la campaña de medidas instrumentales en la ensenada de Laxe. Estas medidas incluyen el registro de elevaciones y corrientes en distintos puntos de la ensenada y el puerto, proporcionando información sobre la agitación debida a los oleajes y las características resonantes del mismo.

Por medio del análisis de estas medidas se realiza la validación de los modelos matemáticos utilizados en los estudios desarrollados previamente.

### 4.2 Campaña de medidas

En la figura 4.1 se muestra la ubicación de los equipos de medida instalados en las campañas llevadas a cabo en el puerto de Laxe en los años 2009 y 2010.



Figura 4.1 – Puntos de ubicación de los equipos de medida.

Los equipos instalados en los puntos P-1 y P-4 son sensores que registran la presión absoluta para obtener datos sobre la variación del nivel medio del mar, permitiendo así el registro escalar del oleaje. Aportan series de registros de elevaciones de 2048 s de duración, calculadas a partir de los datos de presión y densidad.

En el punto P3 se ubica un radar que mide de forma continua la posición de la superficie libre, con una precisión milimétrica en todo el espectro de frecuencias. Este sensor mide la distancia,  $x$ , desde el punto de medida hasta una superficie reflectante mediante una señal radar. Las elevaciones

respecto al cero del puerto se obtienen de restar a la cota del punto de medida,  $c = 9.256\text{m}$ , la distancia  $x$  como muestra la figura 4.2. Proporciona series de registros de elevaciones que permiten analizar la marea, la onda larga y el oleaje escalar.

Los equipos instalados en P-2 y P-5 son correntímetros Doppler que permiten estimar el espectro direccional (incidente y reflejado) del oleaje y onda larga. Proporcionan series de registros de las tres componentes de velocidad (U, V, W).

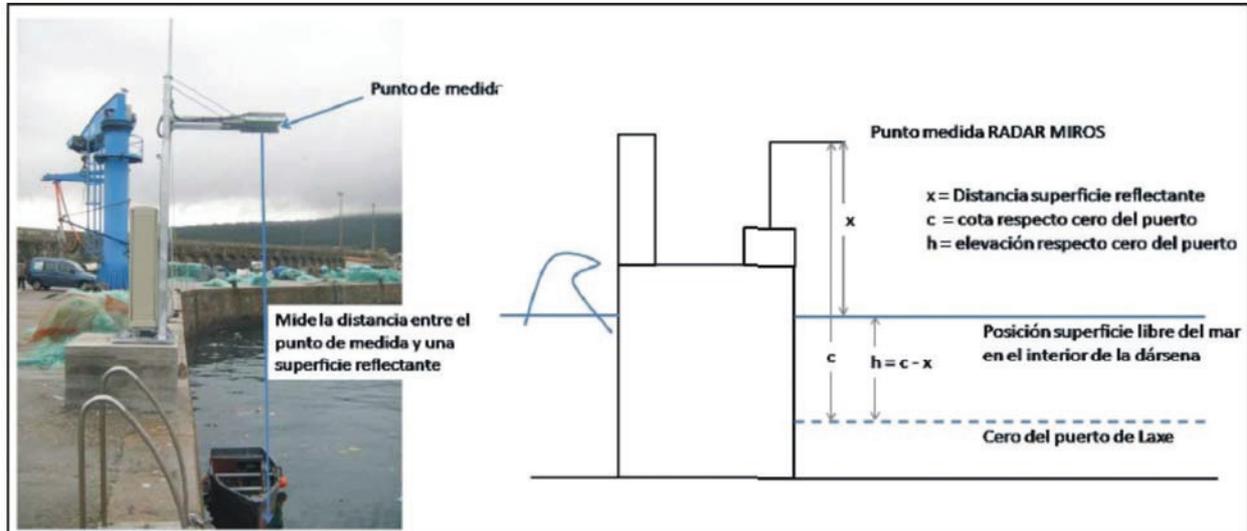


Figura 4.2 – Esquema de funcionamiento del radar.

### 4.3 Altura de onda larga generada

Para realizar el análisis de los registros disponibles se hace un barrido inicial de los datos del sensor y de los de la boya exterior de Villano Sisargas. Esta comparación permite identificar los eventos de mayor altura de ola en la boya exterior, y los eventos de mayor oscilación lde nivel medio en el interior del puerto. Previamente, a los datos registrados en el interior se les resta la onda de marea, de forma que el resultado es la perturbación debida sólo al oleaje de temporal.

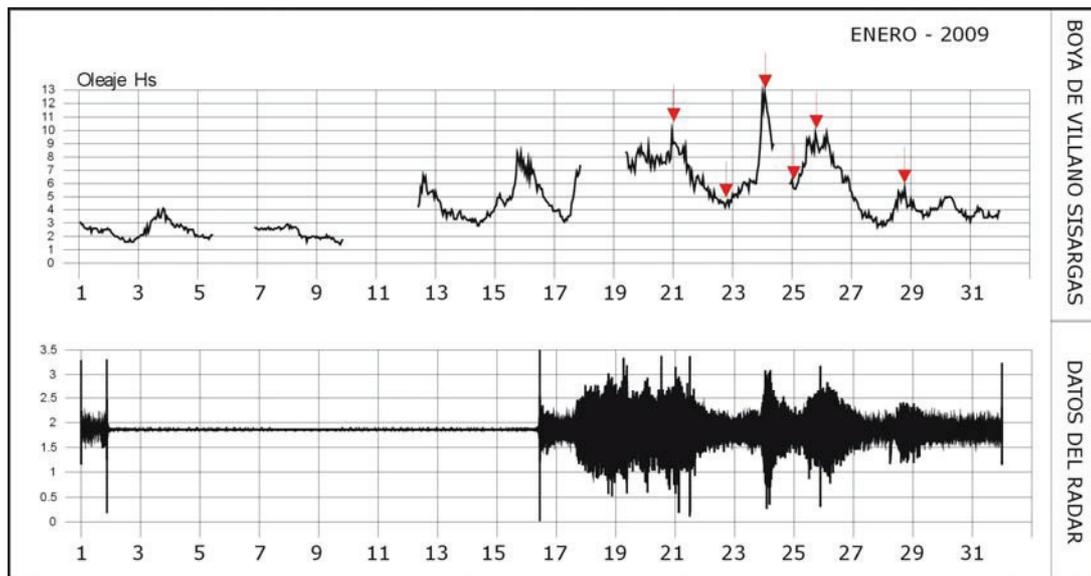


Figura 4.3 – Comparación de los datos del radar y la boya de Villano Sisargas.



En la figura 4.3 puede observarse la clara relación existente entre la altura significativa de los temporales registrados en la boya y las oscilaciones registradas en el radar ubicado en el interior del puerto.

Para cada uno de los temporales seleccionados, se obtiene el espectro de onda larga de la señal del radar y se calcula la  $H_s$  de onda larga generada. Tomando como base los datos de los coeficientes de propagación desde el exterior hasta la entrada de la ría obtenidos en los modelos numéricos, se obtiene la altura significativa a la entrada de la ría de cada uno de los temporales seleccionados en la boya de Villano Sisargas. De este modo puede establecerse la relación entre la altura de ola de temporal a la entrada de la ría y la altura de ola de onda larga generada en el interior del puerto, como se muestra en la figura 4.4. En esta gráfica se observa la relación directa que hay entre la altura de temporal y la altura de onda larga generada en el interior del puerto, siendo esta relación la siguiente:

$$H_{\text{onda larga}} = 0.20 \times H_{s,\text{entrada ría}} - 0.45$$

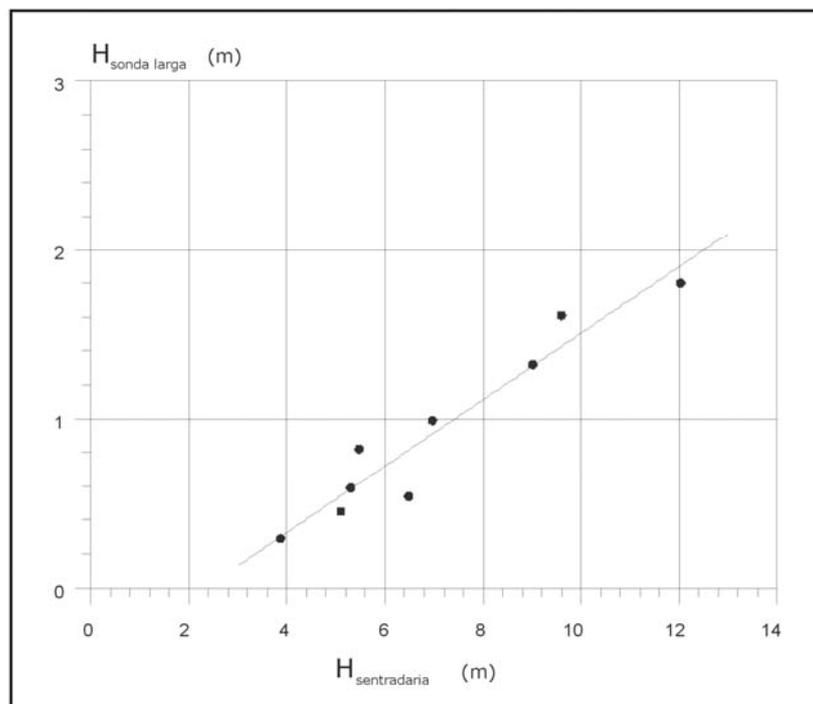


Figura 4.4 – Relación entre la altura de temporal ( $H_s$ ) a la entrada de la ría y la altura de onda larga generada en el interior del puerto.

#### 4.4 Espectro de resonancia

Tal como se ha mencionado anteriormente, para cada uno de los temporales más relevantes observados en la boya se seleccionan los registros correspondientes en el radar y se obtiene el espectro de onda larga. El análisis de ese espectro permite detectar cuáles son los periodos de resonancia que se producen en el interior de la dársena como consecuencia de los oleajes que llegan al puerto desde el exterior.

En la figura 4.5 se recoge un ejemplo de la serie de elevaciones registrada en el radar durante uno de los temporales del mes de enero de 2009, y el correspondiente espectro de onda larga obtenido. Puede observarse que los periodos de resonancia que muestran una mayor densidad espectral se encuentran en la franja de los 210-220 s.

En la figura 4.6 se resume el resultado de algunos de los espectros correspondientes a los diferentes temporales seleccionados en el mes de enero, observándose que los periodos resonantes se encuentran siempre centrados en los mismos valores (200-220 s), mostrando una mayor dispersión cuando la energía del temporal es menor.

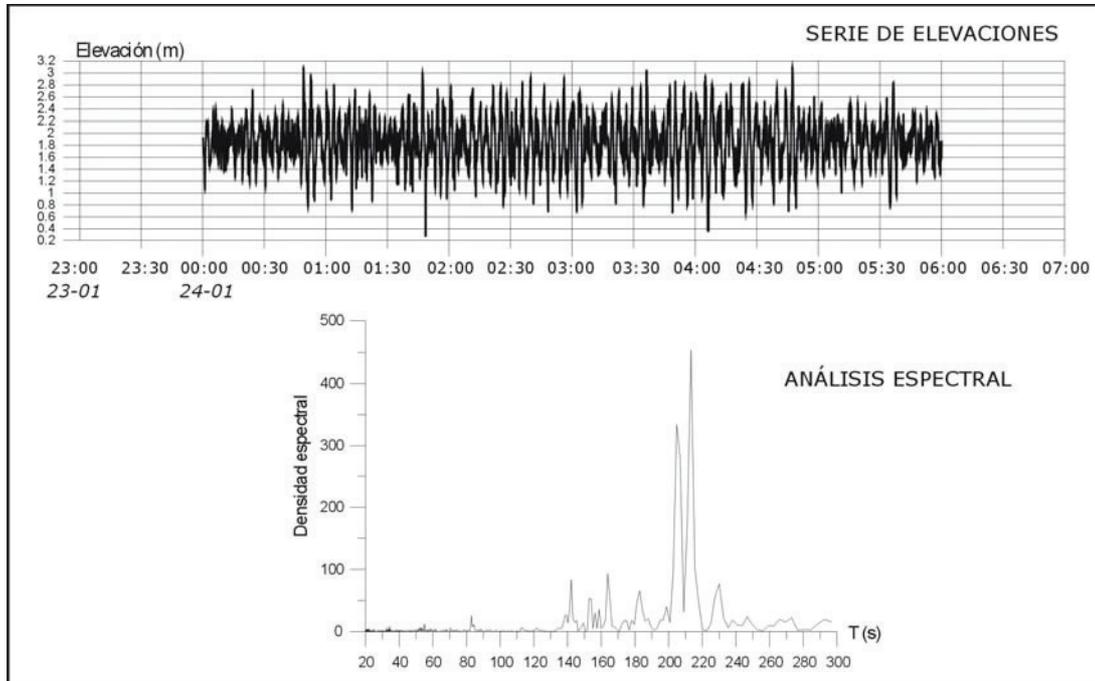


Figura 4.5 – Análisis espectral de onda larga en el interior del puerto.

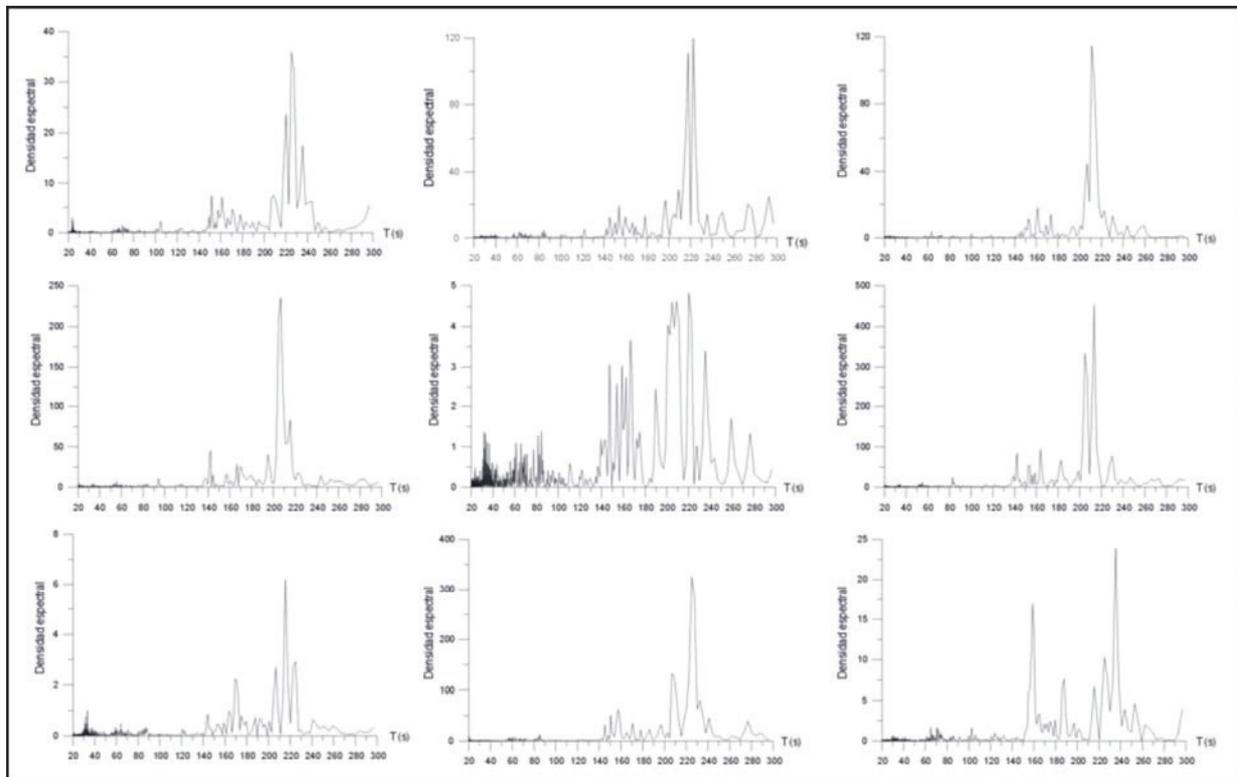


Figura 4.6 – Análisis espectral de onda larga en el interior del puerto.

En el Anejo 1 – *Resultados del análisis espectral* se recogen todos los gráficos correspondientes a los temporales seleccionados durante toda la campaña de medidas.

Con el fin de comparar los resultados de los registros de los equipos de medida instalados en el puerto de Laxe con los correspondientes a los obtenidos en las modelizaciones numéricas, se representan los espectros de ambas fuentes (instrumentación y modelo) en una misma gráfica, para estados de marea coincidentes. En la figura 4.7 puede observarse la buena correlación existente entre ambos espectros, tanto en situación de bajamar como de pleamar, mostrando un patrón muy semejante de picos resonantes. Es necesario aclarar que, en el caso del modelo matemático, la figura representa la amplificación de cada una de las posibles frecuencias de onda larga incidente, mientras que en el caso del registro se representa la energía del espectro real producido en la ensenada.

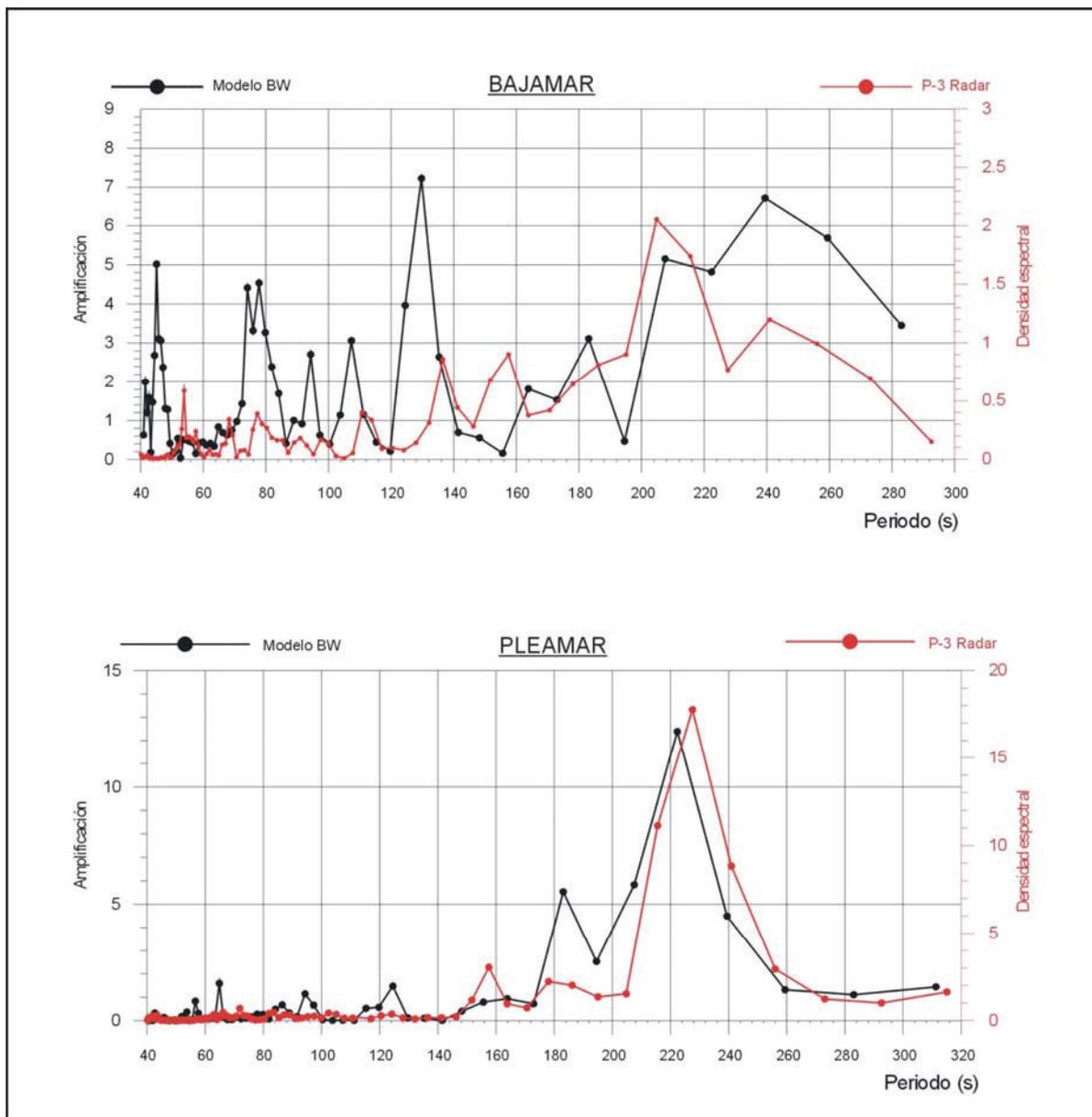


Figura 4.7 – Coeficiente de amplificación de la onda larga en modelo y espectro de oscilación registrado en el interior del puerto.

## 4.5 Modo de oscilación

Cualquier ensenada natural o artificial, ya sea cerrada o abierta, tiene modos de oscilación que pueden ser excitados por fenómenos tales como terremotos, oleajes de largo periodo o perturbaciones meteorológicas. Para una dársena teórica rectangular de calado constante, la relación entre su anchura ( $l$ ) y la longitud de la onda resonante es:

$$L = \frac{2l}{n}$$

Siendo ( $n$ ) el número de nodos que se producen (ver figura 4.12). Dado que en aguas someras se cumple la relación de dispersión:

$$C = \frac{L}{T} = \sqrt{gh}$$

Siendo ( $h$ ) la profundidad, se deduce la llamada fórmula de Merian,

$$T = \frac{2l}{n\sqrt{gh}}$$

Para el caso de otras formas de dársena diferentes, pueden establecerse otras formulaciones similares a la anterior, en la que el periodo se ve modificado por un coeficiente ( $k$ ) de valores diversos en función de la geometría de la planta y el perfil de la ensenada.

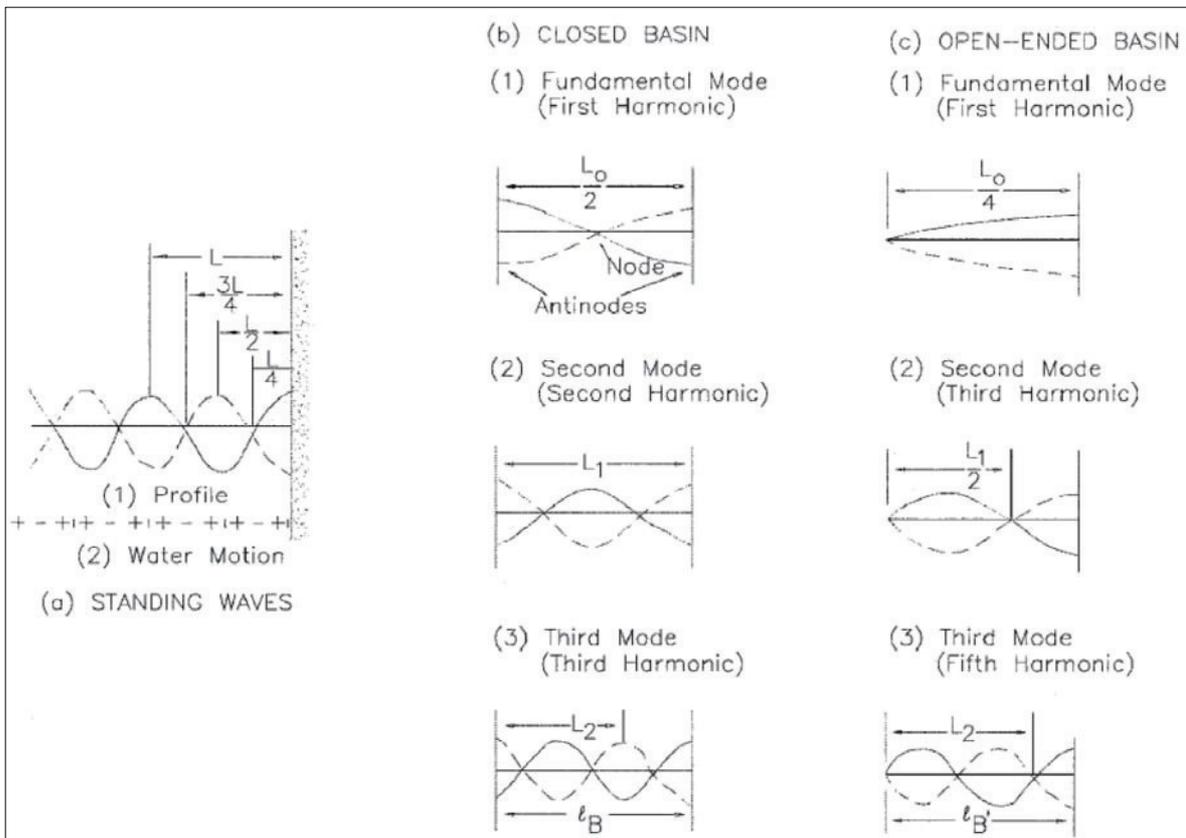


Figura 4.8 – Diversos modos de oscilación de la superficie libre de una dársena.

En la figura 4.9 se muestra la serie temporal de elevaciones de los equipos de medida ubicados en los puntos P-3 (radar) y P-4 (sensor de presión). La superposición de ambas series temporales muestra un desfase constante de 180 grados entre ambas, observándose que cuando un extremo de la ensenada se encuentra en su nivel mínimo, en el otro punto de medida se alcanza el valor máximo de elevación, lo que indica una oscilación del tipo ( $n=1$ ) de la masa de agua de la ensenada, con un periodo aproximado 210 s, que es la distancia temporal entre picos del registro. Los resultados del modelo en términos de elevaciones de la lámina de agua muestran exactamente ese mismo modo de oscilación para el periodo de 210s, tal como puede comprobarse en el gráfico de la misma figura.

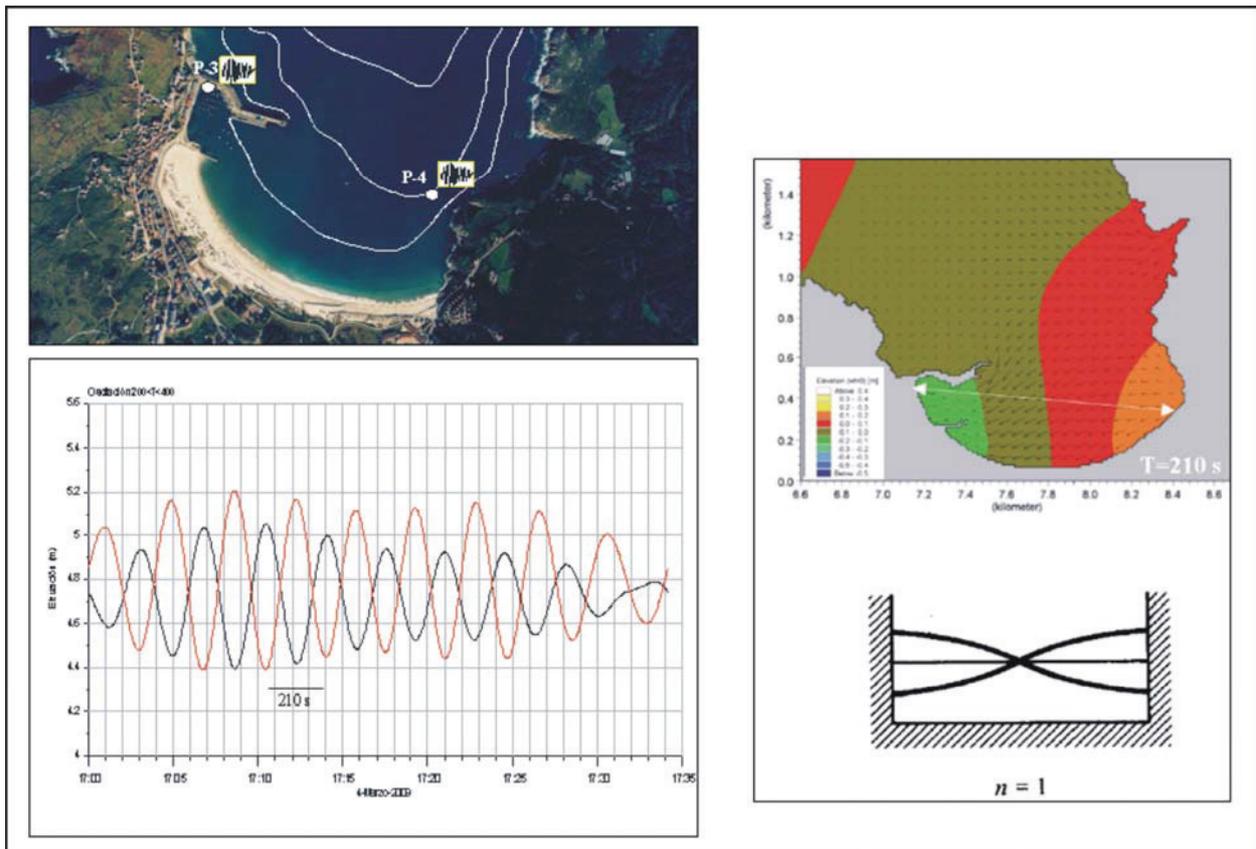


Figura 4.9 – Modo de oscilación de la ensenada de Laxe: resultado del modelo (derecha) y registro de elevaciones en los puntos de medida P-3 y P-4 (izquierda).

#### 4.6 Corrientes generadas por la onda larga

Tal como se ha indicado anteriormente, los equipos de medida instalados en los puntos P-2 y P-5 proporcionan series temporales de las componentes de la velocidad de la corriente. En la figura 4.10 se muestra un detalle del análisis de los registros, en la que se observa la correlación existente entre los temporales en el exterior y el aumento de la velocidad en los sensores (componentes U y V).

Por su parte, en la figura 4.11 se recogen diferentes instantes de la simulación realizada con el módulo Mike 21 HD para una onda senoidal de 210 s de periodo, que se propaga hacia el interior de la ensenada. Los diferentes gráficos muestran la evolución temporal de las elevaciones de la lámina de agua, junto con los vectores de velocidad de la corriente. Esto permite definir con precisión los modos de oscilación del nivel medio de la ensenada así como la intensidad y dirección de las corrientes generadas.

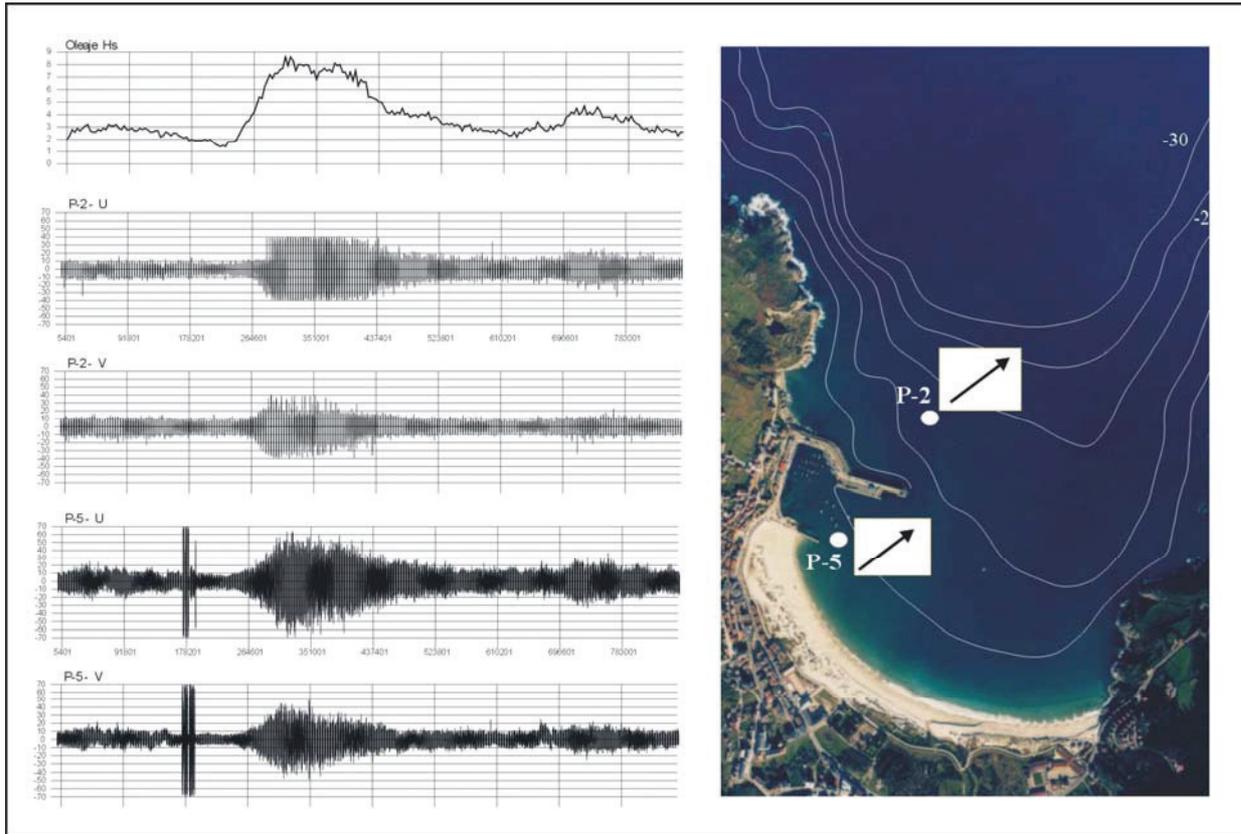


Figura 4.10 – Medidas de corrientes.

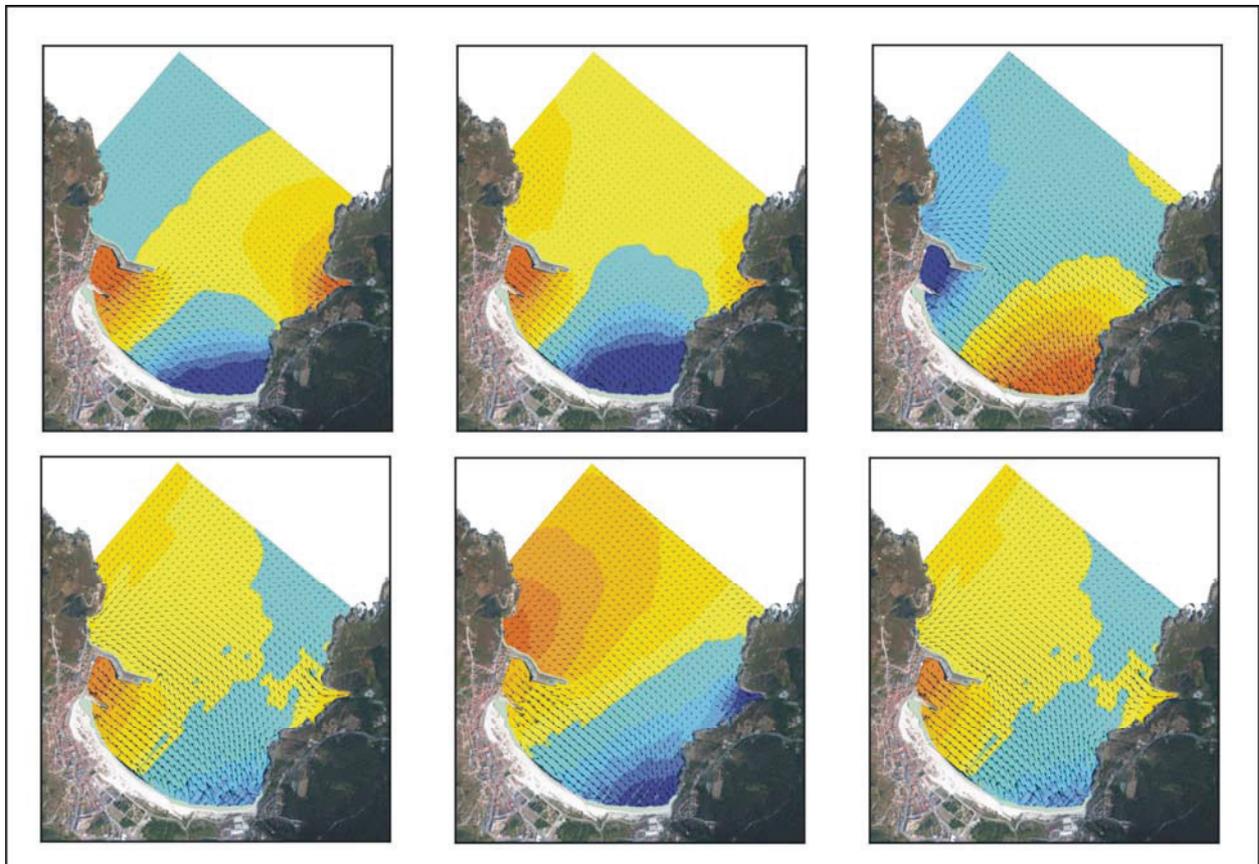


Figura 4.11 – Modelización de ondas largas. Simulación HD

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.

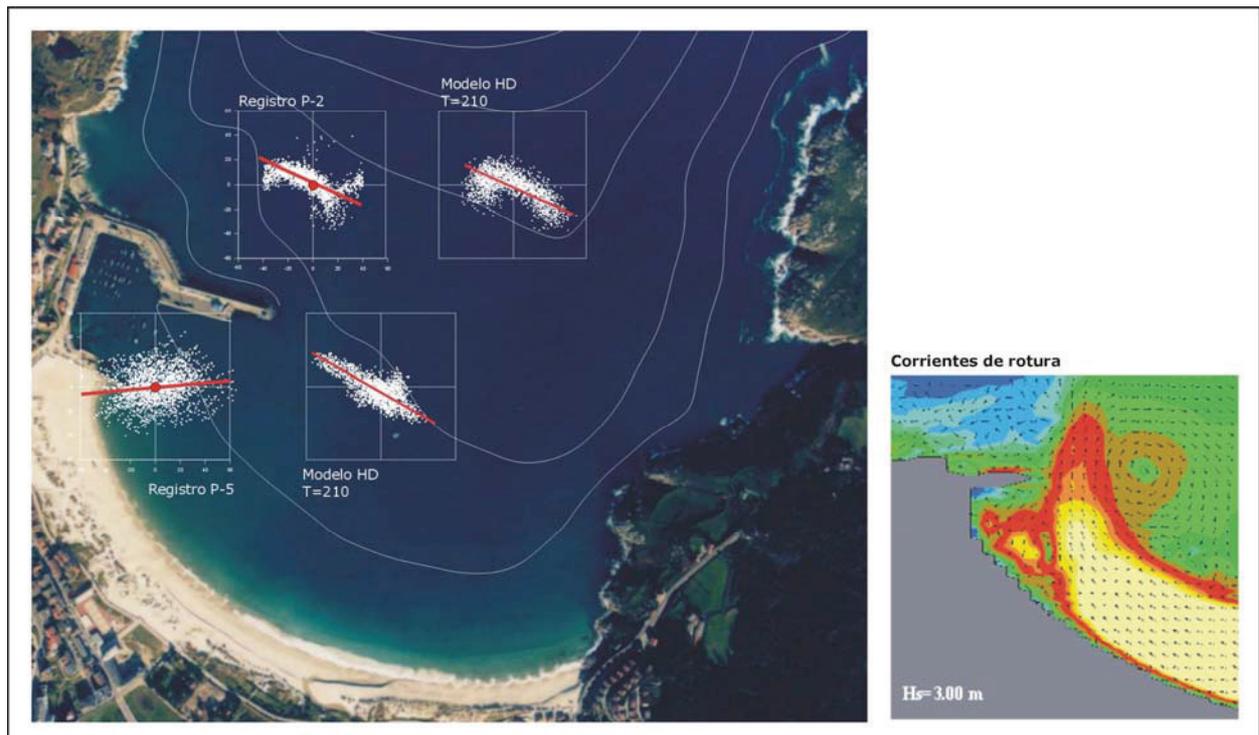


Figura 4.12 – Resultados de la propagación del oleaje.

## 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 significativa 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.

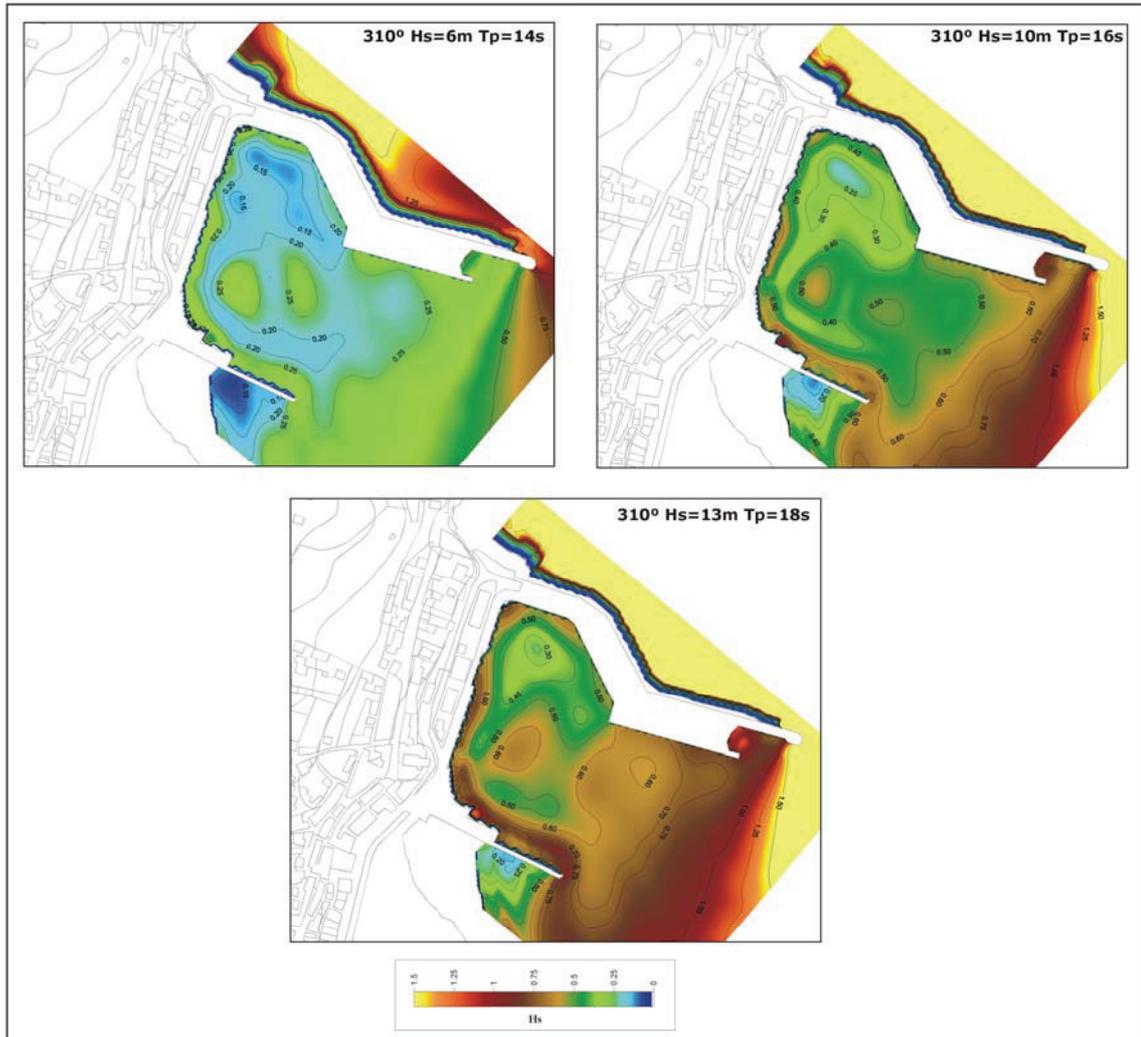


Figura 5.1 – Propagación del oleaje con el modelo BW – Resumen de resultados.

### 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  $K_h = 0.072$ . Si se consideran únicamente los datos correspondientes a los registros que no superan  $H_s = 5$  m, entonces el coeficiente de agitación obtenido es  $K_h = 0.058$ .

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 cálculo del coeficiente de agitación en el punto de ubicación del radar. En el caso del temporal analizado para  $H_s = 6$  m y  $T_p = 14$  s, el coeficiente de agitación obtenido en el interior del puerto, en

el punto P-3, es de  $K_h = 0.053$ , 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  $K_h = 0.38$  para los registros reales, frente a un valor de  $K_h = 0.36$  para los resultados del modelo. En la figura 5.2 se recoge un resumen del análisis relativo a la agitación.

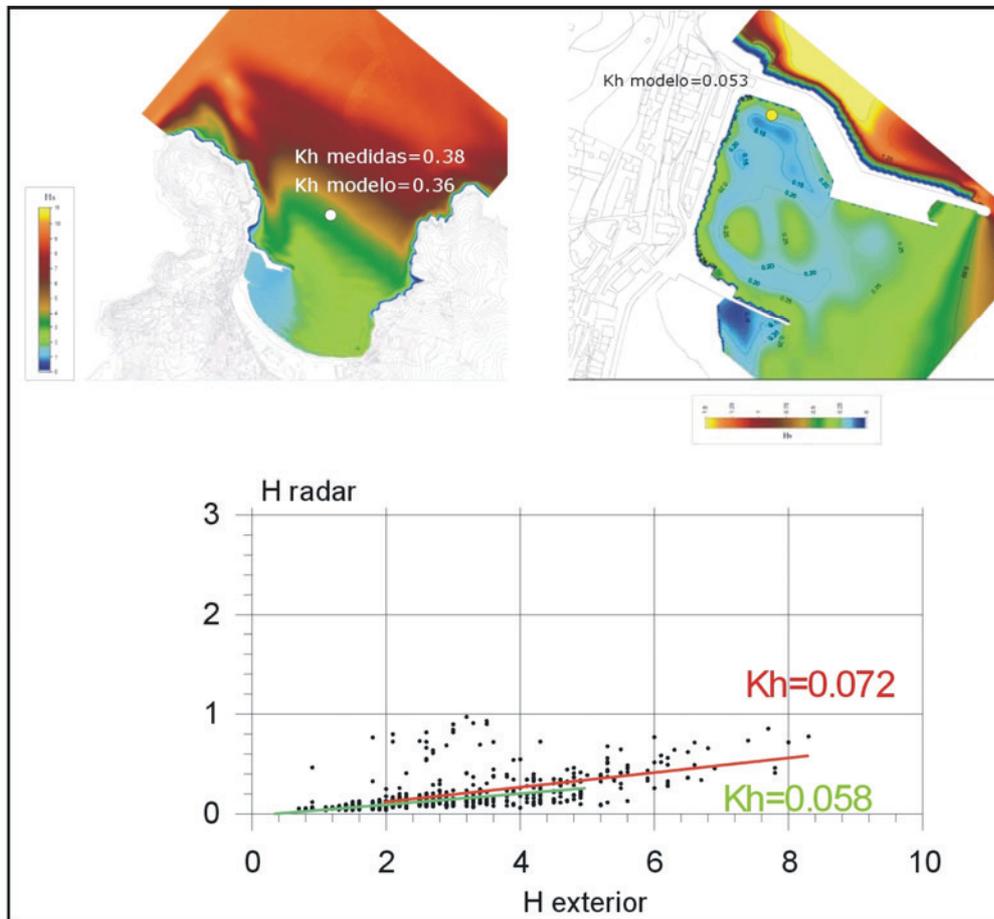


Figura 5.2 – Análisis de agitación. Comparación con los modelos numéricos

Madrid, noviembre 2013

Fdo.: Javier Enríquez Fernández

HIDTMA, S.L.



**ANTEPROYECTO DE:**

**DRAGADO EN EL PUERTO DE LAXE**

**DEL DOCUMENTO Nº 1 – MEMORIA Y ANEJOS**

**ANEJOS A LA MEMORIA:**

**ANEJO Nº 4 – ESTUDIO GEOTÉCNICO**

## **ANEJO Nº 4: ESTUDIO GEOTÉCNICO**

### **DRAGADO EN EL PUERTO DE LAXE LAXE, A CORUÑA**

#### **INDICE:**

1	INTRODUCCION.....	2
1.1	OBJETIVOS.....	2
1.2	ORGANIZACIÓN DEL DOCUMENTO.....	2
2	INFORME DE EPTISA.....	3
2.1	CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES.....	3
2.2	INFORME DE EPTISA.....	3

## **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 silíceas 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 Sustrato 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.



**NOTA TÉCNICA: CONDICIONES DE EXCAVABILIDAD  
HASTA LA COTA -4,00 EN EL PUERTO DE LAXE - A  
CORUÑA**

**Nº REFERENCIA: EG-3561**



**Peticionario: Portos de Galicia**  
**Fecha: Mayo del 2014**

## ÍNDICE

---

### NOTA TÉCNICA: CONDICIONES DE EXCAVABILIDAD HASTA LA COTA -4,00 EN EL PUERTO DE LAXE - A CORUÑA

1.	INTRODUCCIÓN.....	1
2.	ENTORNO GEOLÓGICO.....	2
3.	ANTECEDENTES: TRABAJOS REALIZADOS .....	3
4.	DESCRIPCIÓN GEOTÉCNICA DE LOS MATERIALES .....	3
4.1	SEDIMENTOS CUATERNARIOS. ....	4
4.2	SUSTRATO HERCÍNICO DE NATURALEZA GRANÍTICA. ....	5
4.3	RECONOCIMIENTO DE LOS AFLORAMIENTOS ROCOSOS SUPERFICIALES .....	6
5.	COMENTARIOS SOBRE LAS CONDICIONES DE EXCAVACIÓN HASTA LA COTA -4,00 M .....	11

## ANEJOS

ANEJO I.	PLANTA DE SITUACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN
ANEJO II.	REGISTRO DE LOS SONDEOS
ANEJO III.	CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA DE LA ZONA
ANEJO IV.	CORTES GEOLÓGICO-GEOTÉCNICOS

# NOTA TÉCNICA: CONDICIONES DE EXCAVABILIDAD HASTA LA COTA -4,00 EN EL PUERTO DE LAXE - A CORUÑA

N/REFERENCIA: EG-3561

## 1. INTRODUCCIÓN

Por encargo de Portos de Galicia, **Eptisa, Servicios de Ingeniería, S.L.** realizó en Abril de 2011 el estudio geotécnico con número de referencia EG-3306 localizado en el puerto de Laxe. El objeto de este informe era caracterizar geotécnicamente los materiales que conforman el subsuelo de la zona de ampliación de la plataforma.

En la actualidad, Portos de Galicia solicita a Eptisa una nota técnica donde se analicen las características del sustrato rocoso para realizar una excavación hasta la cota -4,00m.

La zona de actuación queda reflejada en las siguientes fotografías.



Fotografía 1. Vista aérea de la zona de actuación.



Fotografía 2. Vista panorámica de la zona de actuación.

## 2. ENTORNO GEOLÓGICO

El área objeto de estudio se encuentra situada en la hoja nº 43 –LAGE– del Mapa Geológico de España a escala 1/50.000 publicado por el ITGE (1.978). Esta hoja se encuentra situada en la zona más Occidental de la Península Ibérica y en la mitad Occidental de la provincia de La Coruña.

Geológicamente esta zona forma parte de la Zona Centro-Ibérica del Macizo Hespérico, según la división de la Península realizada por JULIVERT et al. (1974).

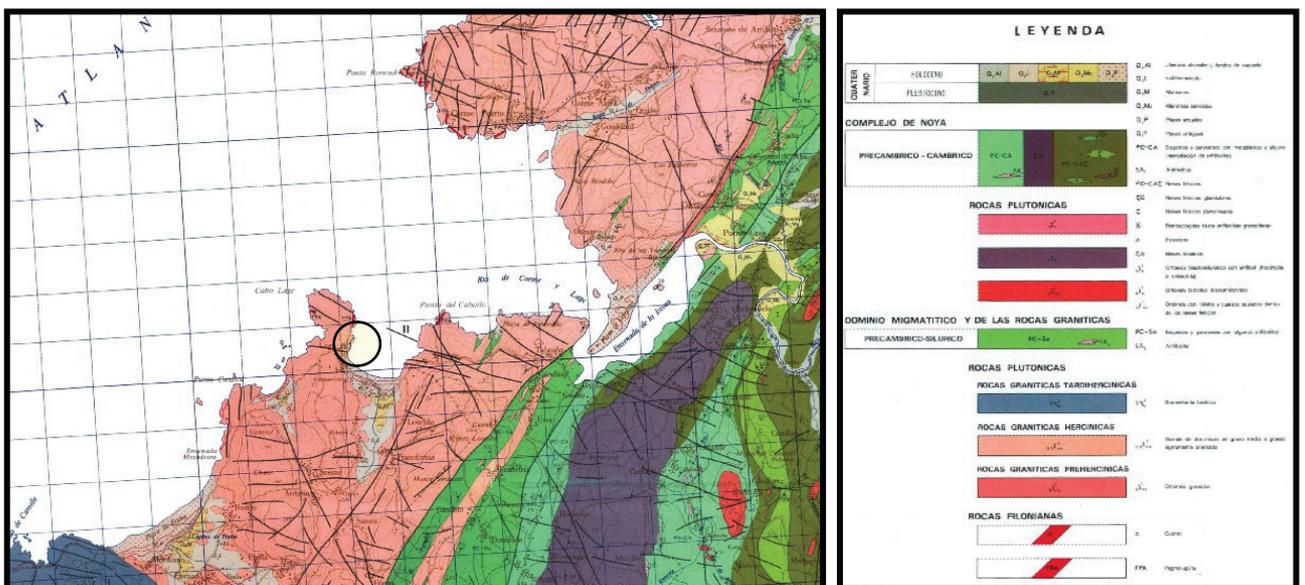
La hoja puede dividirse en dos dominios geológicos, denominados:

- Dominio del Complejo de Noya.
- Dominio Migmatítico y de las rocas graníticas. Grupo Lage.

De estos dos conjuntos petrológicos y estructurales, la zona investigada se sitúa sobre el segundo de ellos, donde el sustrato está constituido por granitos de dos micas, de tonos claros y tamaño de grano de medio a grueso. En las zonas donde el grano es más fino tiene una mayor homogeneidad, presentando una deformación bastante característica, con algunos cristales no muy homogéneos, que en ocasiones presentan una textura ligeramente orientada.

La costa de esta Hoja se caracteriza, al igual que en toda la zona NO de Galicia, por su carácter accidentado con gran número de pequeñas calas y cabos, en gran parte determinadas por las redes de fracturación de los macizos graníticos y /o granodioríticos.

En la zona objeto de estudio afloran sedimentos del tipo arenoso procedentes de la dinámica mareal, bajo los cuales aparece un sustrato rocoso de naturaleza granítica.



Sector de la hoja nº43 – Lage, del Mapa geológico de España.

### 3. ANTECEDENTES: TRABAJOS REALIZADOS

Los trabajos realizados por Eptisa en 2011, consistieron en la ejecución de tres (3) sondeos mecánicos a rotación con recuperación de testigo. La localización de los mismos puede consultarse en el anejo I.

En el siguiente cuadro se detallan las cotas de emboquille de los sondeos, las profundidades alcanzadas en los mismos (referidas al emboquille) y el número de ensayos SPT realizados en cada sondeo:

SONDEO Nº	COTA DE EMBOQUILLE	LONGITUD SONDEO (m)	TIPO DE ENSAYO	COTA (m.)	GOLPEO	COMPACIDAD/ NºREFERENCIA
S-1	-1,90	3,30	MA-1	-2,30 a -2,60	----	ES-22671
			MR-1	-3,55 a -3,75	----	ES-22672
S-2	-1,40	2,00	MA-1	-1,40 a -1,70	----	ES-22673
S-3	0,00	1,15	SPT-1	-1,10 a -1,15	R	MUY DENSA

MA: Muestra inalterada

SPT: Ensayo de penetración estándar

MR: Muestra parafinada

Además se dispone de un informe de la empresa Servisub Galicia SL sobre la naturaleza de los materiales existentes en esa zona. Dicho informe se realizó mediante la técnica de hincar una lanza en el terreno con el objetivo de atravesar los materiales de compacidad más suelta hasta alcanzar un sustrato de elevada dureza (el cual se describió como rocoso debido a los afloramientos adyacentes).

### 4. DESCRIPCIÓN GEOTÉCNICA 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.

En el anejo I se pueden consultar los cortes geológico – geotécnicos deducidos donde queda reflejada la distribución espacial de los diferentes niveles descritos.

#### 4.1 SEDIMENTOS CUATERNARIOS.

En las diferentes prospecciones realizadas únicamente se identificó 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 silíceas 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.

Estos materiales presentan un color grisáceo a blanquecino y un cierto contenido en materia orgánica lo que le confiere un olor desagradable.

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

Estos suelos arenosos presentan una compacidad suelta, en general son materiales que no oponen resistencia a la penetración de la maniobra durante la perforación.



Detalle de los sedimentos cuaternarios extraídos y analizados.

#### 4.2 SUSTRATO HERCÍNICO DE NATURALEZA GRANÍTICA.

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 R<sub>2</sub> 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.

Atendiendo a la Escala de Meteorización de la roca estos materiales se corresponden con un granito moderadamente meteorizado (grado III) donde se observa con claridad la estructura y textura del protolito original. Los componentes esenciales de este macizo son cuarzo, feldespato potásico, plagioclasas, moscovita y biotita. Con carácter accesorio aparecen apatito, circón y clorita.

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

A continuación se establece la cota a la cual se ha cortado este nivel:

PROSPECCIÓN	Cota techo sustrato hercínico
Sondeo S-1	-2,90
Sondeo S-2	-1,90
Sondeo S-3	-1,15

El macizo rocoso presenta un grado de fracturación alto, con un RQD medio no superior al 10%, de manera esporádica se observan tramos con una mayor calidad, tal y como el perforado entre la cota -3,20 a -4,30 del sondeo S-1, con un RQD del 70%.

En cuanto a los testigos de sustrato moderadamente meteorizado (grado III) extraídos en el sondeo por lo general no ha sido posible someterlos a rotura a compresión debido a la escasa longitud que presentaban los mismos (generalmente testigos inferiores a 10 cm).

Tan sólo un testigo detectado en el tramo anteriormente señalado ha podido ser sometido a rotura a compresión simple, obteniéndose el siguiente resultado:

REF. MUESTRA	Localización	Densidad aparente (gr/cm <sup>3</sup> )	Resistencia a compresión (MPa)	Clase de roca según I.S.R.M.
ES-22672	S-1 -3,55 a -3,75	2,6	16,2	R <sub>2</sub> – Roca blanda



Detalle de testigo tallado en sustrato granítico grado III.

A continuación se facilitan los parámetros geotécnicos estimativos para los materiales que conforman este nivel:

- Densidad aparente ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ ):.....2,00 – 2,10
- Cohesión ( $\text{Kg}/\text{cm}^2$ ):..... 1 – 2 (bibliográfico)
- Ángulo de rozamiento:.....25° (bibliográfico)
- Coeficiente de balasto  $K_{30}(\text{kg}/\text{cm}^3)$ .....30 - 500 (bibliográfico)

#### **4.3 RECONOCIMIENTO DE LOS AFLORAMIENTOS ROCOSOS SUPERFICIALES**

En aquellas zonas donde directamente aflora el sustrato rocoso, se ha realizado una descripción y caracterización de éste exhaustiva, empleándose las clasificaciones de la ISRM, basadas en el grado de meteorización que presenta el macizo rocoso.

En la descripción del macizo rocoso serán de especial interés los siguientes parámetros:

- Litología
- Resistencia del material rocoso.
- Presencia de discontinuidades: espaciado, orientación, relleno, rugosidad, etc.

##### **-Litología**

La totalidad de la zona de ocupación de la futura plataforma se situará sobre un granito Hercínico de sano a moderadamente meteorizado (grados II a III) perteneciente al grupo de los granitos de dos micas de Galicia Occidental que fue definido por Parga Pondal (1966) como “granitos de tipo Lage”.



Vista general del granito hercínico aflorante en la zona de actuación

Se trata de un granito de tonos claros, variado en su granulometría, generalmente de grano grueso. En las zonas donde el grano es más fino tiene una mayor homogeneidad, presentando una deformación bastante característica, con algunos megacrístales no muy homogéneos, que en ocasiones presentan una textura más o menos orientada.

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

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



Detalle de pequeño dique de cuarzo.

**-Resistencia de la matriz rocosa**

Mediante el martillo Schmidt o esclerómetro, se ha estimado la resistencia a compresión simple de la roca a partir de la resistencia al rebote de la superficie de roca ensayada.

Destacar que la superficie de la roca deberá ser fresca y limpia, sin ningún signo de alteración ni fracturas. De este modo se ha podido constatar durante la toma de medidas que en zonas especialmente fracturadas o meteorizadas las medidas de rebote eran prácticamente inapreciables.

La medida de rebote se ha de correlacionar con la resistencia mediante el gráfico de Miller (1965), que tiene en cuenta la densidad de la roca y la orientación del martillo respecto al plano ensayado.

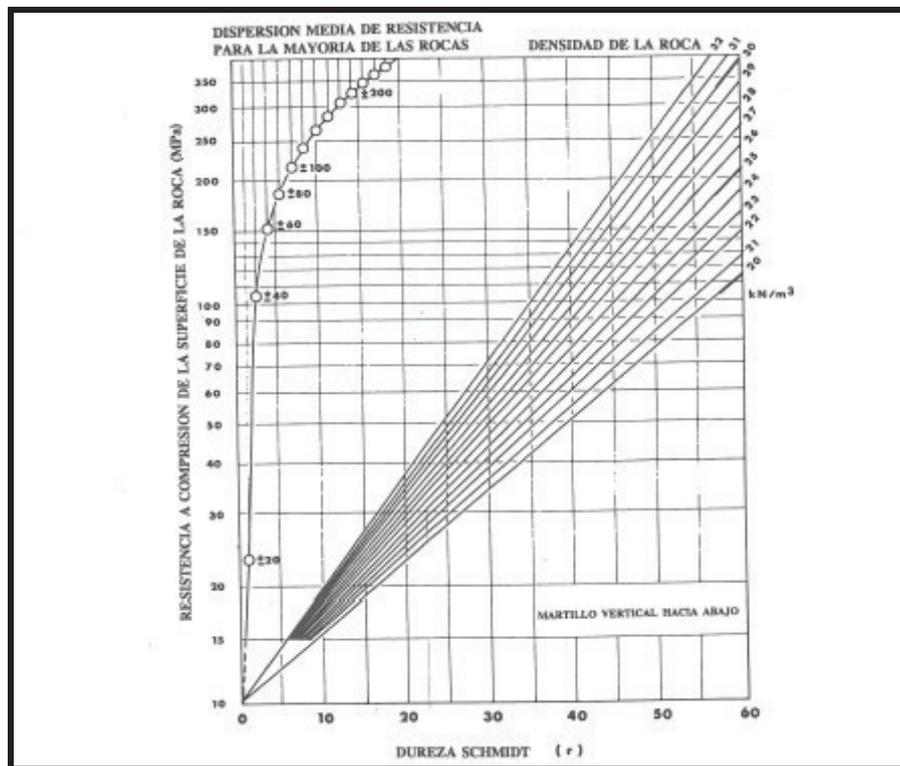


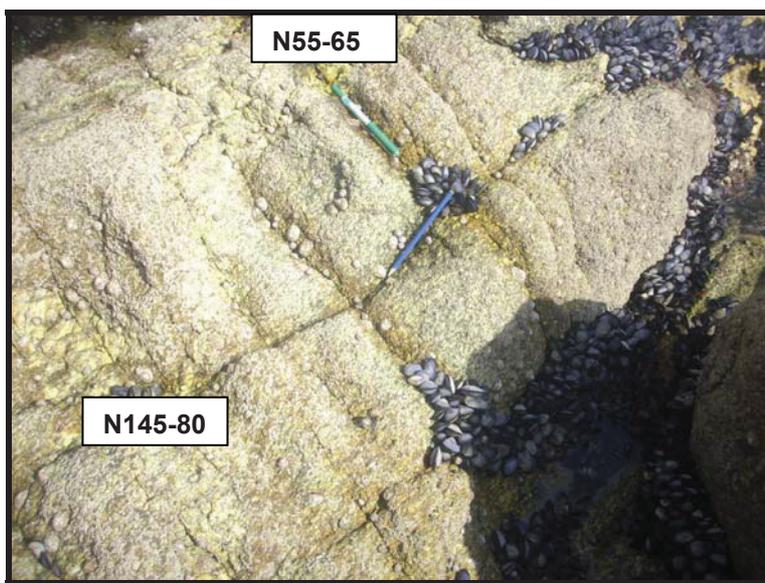
Gráfico de correlación para el martillo Schmidt entre resistencia a compresión, densidad de la roca y rebote (Miller, 1965).

Para la correlación de datos, según proyecto nos encontraríamos con una roca cuya densidad se estaría en torno a 2,65 t/m<sup>3</sup>. Por tanto, a partir de una media estadística la mayor parte de los ensayos arrojan valores de entre 25 y 50 MPa, pudiendo clasificar el macizo rocoso, según la ISRM, como moderadamente duro.

**-Fracturación**

Este granito, tal y como se ha señalado anteriormente, es producto de la granitización hercínica en Galicia Occidental.

En la zona objeto de estudio se han reconocido fundamentalmente dos familias principales de diaclasas, cuya descripción se realiza a continuación:

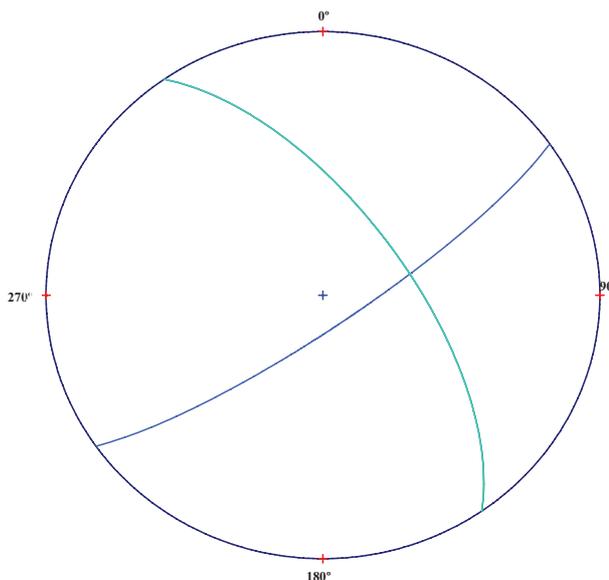


Detalle de las familias más importantes en la zona de actuación.

Estas familias se representan a continuación mediante la proyección de Schmidt:

Familia J1 (N55 - 65)

Familia J2 (N145 - 80)

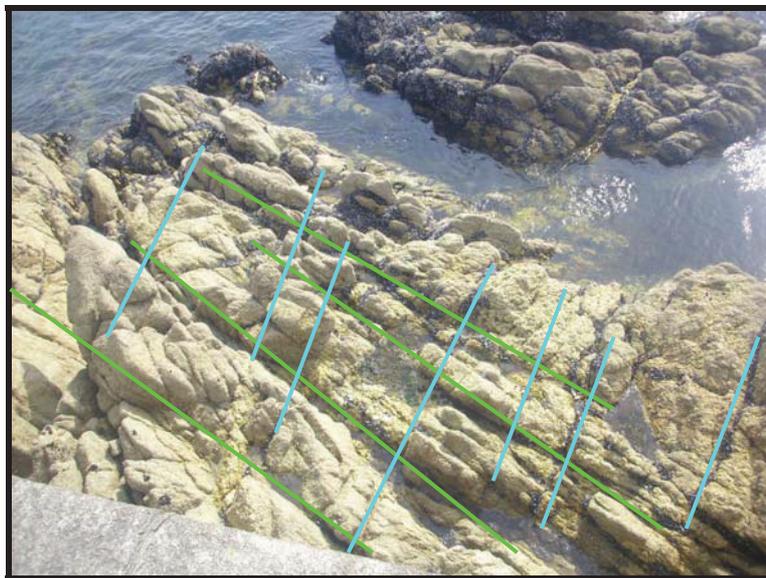


Como puede observarse en la representación gráfica de la orientación de la familia J1 y la familia J2 se interceptan dando lugar a una estructura del medio rocoso de tipo tabular con una dimensión mucho menor que las otras dos.

Estas familias presentan una continuidad o persistencia muy elevada. De este modo estaríamos ante familias cuya continuidad supera los 10 metros, clasificándose según la tabla “Descripción de la Continuidad (ISRM, 1981)” como de alta o muy alta continuidad.

En cuanto al espaciado, definido como la distancia entre dos planos de discontinuidad consecutivos y de la misma familia, arroja valores medios de entre 60-200 mm, clasificándose como juntas según la tabla anteriormente mencionada y llegando en el peor de los casos a presentar un comportamiento típico de materiales granulares debido a que la red de fracturación es muy densa.

Otro de los parámetros observados en las juntas es la rugosidad. En el caso que nos ocupa los perfiles de rugosidad detectados en la familia tienen que ver en gran medida con el macizo al que afectan. Tal y como se ha señalado con anterioridad se trata de un granito de grano grueso lo cual provocará perfiles de alteración ondulados de tipo rugoso. Por lo general las juntas no presentan aberturas significativas, encontrándose parcialmente abiertas en el peor de los casos y con las paredes recubiertas de óxidos o leves pátinas de arcilla.



Disposición de la red de fracturación que afecta al macizo rocoso existente.

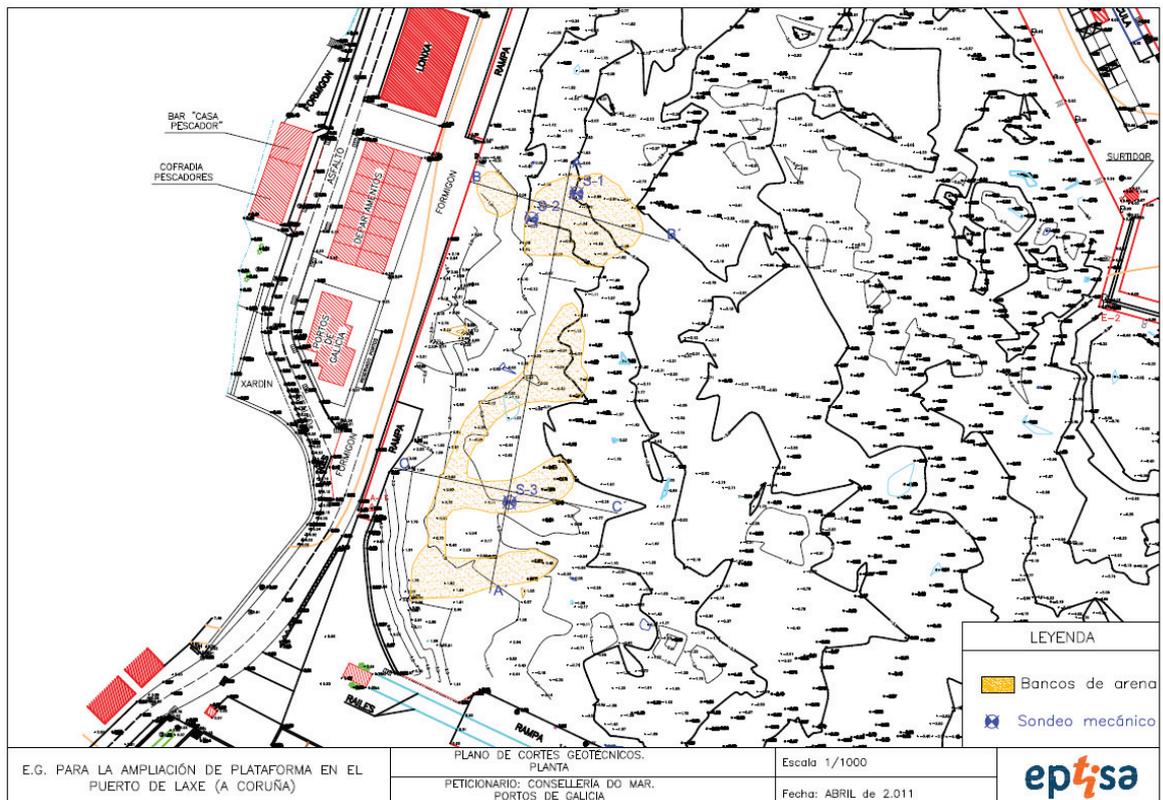
## 5. COMENTARIOS SOBRE LAS CONDICIONES DE EXCAVACIÓN HASTA LA COTA -4,00 M

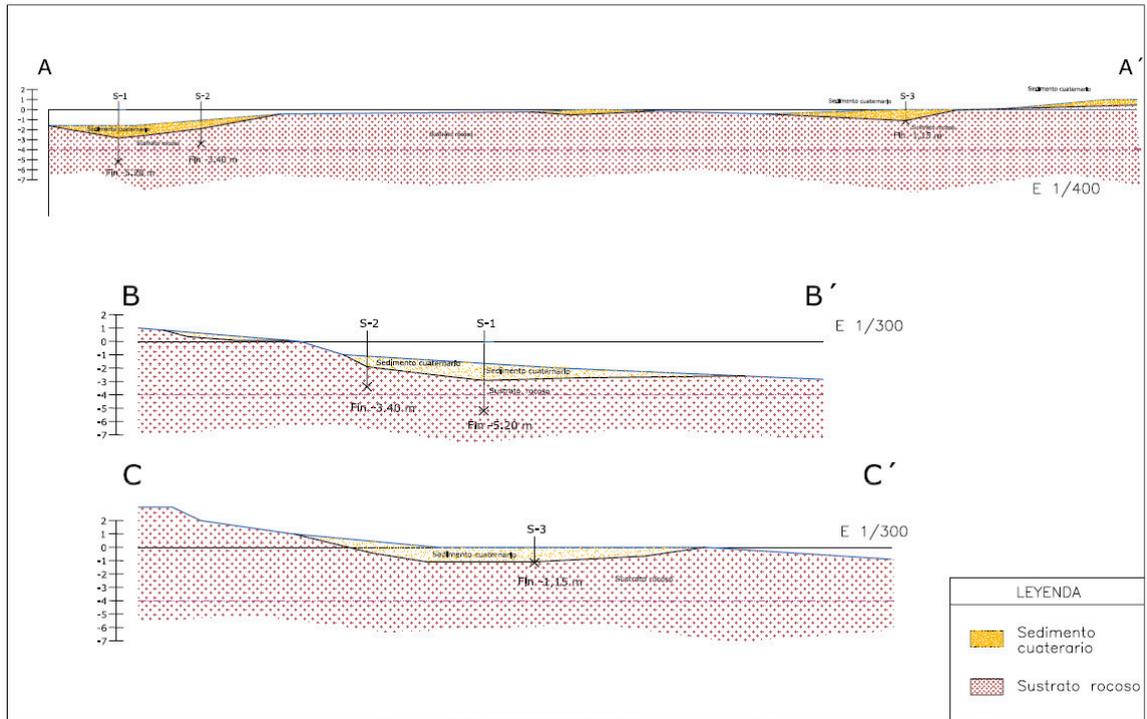
A partir de los trabajos realizados en el año 2011 se ha establecido una columna litológica formada por:

- arenas finas de composición fundamentalmente silíceas con intercalaciones de limos arenosos. Estos materiales presentan potencias muy escasas (nunca superiores a 1,50 metros en las inmediaciones de los puntos perforados)
- sustrato hercínico de naturaleza granítica con un grado de meteorización moderado o inferior (grado III).

En los sondeos, el macizo rocoso presenta un grado de fracturación alto, con un RQD medio no superior al 10%, de manera esporádica se observan tramos con una mayor calidad, como el perforado entre la cota -3,2 a -4,3 del sondeo S-1, con un RQD del 70%. En los afloramientos rocosos superficiales, el RQD está próximo al 60%.

La cartografía de la zona se presenta en el anejo III y se reproduce a continuación:



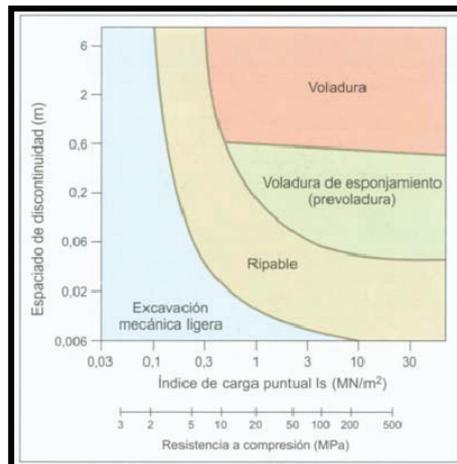


**EXCAVACIÓN**

Tal y como puede observarse en los cortes geológicos, la presencia de materiales fácilmente excavables, representados por los sedimentos cuaternarios, es escasa, de tal modo que la mayoría de la obra va a afectar a materiales rocosos. El sustrato rocoso se encuentra más fracturado en la zona más superficial, mejorando su calidad en los afloramientos que se han observado superficialmente.

Por lo que respecta a la excavabilidad del macizo rocoso, ésta viene determinada por su grado de fracturación, la presencia de familias de discontinuidades y su resistencia a compresión simple.

Teniendo en cuenta la clasificación propuesta por Franklin que relaciona la resistencia a compresión simple y el espaciado entre fracturas, el macizo rocoso estaría en el campo de la voladura.



**Clasificación de macizos rocosos para su arranque y excavación, según Franklin et al. (1971).**

Otro método para determinar el grado de ripabilidad de un macizo rocoso es el propuesto por Weaver (1975) y que se basa en la valoración de 7 factores característicos del sustrato rocoso en cuestión. Siguiendo las especificaciones de este método, el macizo rocoso aflorante en la zona objeto de estudio se podría clasificar como una roca de Clase III, es decir, muy difícil de ripar.

CLASE DE ROCA	I	II	III	IV	V
DESCRIPCIÓN	Roca muy buena	Roca buena	Roca media	Roca mala	Roca muy mala
VELOCIDAD SÍSMICA (m/s)	> 2150	2150-1850	1850-1500	1500-1200	1200-450
Valoración	26	24	20	12	5
DUREZA	Roca extr. dura	Roca muy dura	Roca dura	Roca blanda	Roca muy blanda
Valoración	10	5	2	1	0
ALTERACIÓN	Sana	Ligeramente alterada	Alterada	Muy alterada	Completamente alterada
Valoración	9	7	5	3	1
ESPACIADO DE JUNTAS (mm)	> 3000	3000-1000	1000-300	300-50	< 50
Valoración	30	25	20	10	5
CONTINUIDAD JUNTAS	Discontinuas	Poco continuas	Continuas sin relleno	Continua con algún relleno	Continua con relleno
Valoración	5	5	3	0	0
RELLENO EN LAS JUNTAS	Cerradas	Algo separadas	Separación < 1 mm	Relleno < 5 mm	Relleno > 5 mm
Valoración	5	5	4	3	1
ORIENTACIÓN DE DIRECCIÓN Y BUZAMIENTO	Muy desfavorable	Desfavorable	Poco desfavorable	Favorable	Muy favorable
Valoración	15	13	10	5	3
VALORACIÓN TOTAL	100-90	90-70 *	70-50	50-25	< 25
VALORACIÓN DE LA RIPABILIDAD	Voladura	Extr. difícil de ripar. Voladura	Muy difícil de ripar	Difícil de ripar	Fácilmente ripable
SELECCIÓN DE MAQUINARIA	--	DD9G/D9G	D9/D8	D8/D7	D7
POTENCIA (CV)	--	770/385	385/270	270/180	180
kW	--	575/290	290/200	200/135	135

\* La puntuación por encima de 75 se considera como no ripable sin prevoladura.

#### Clasificación del macizo rocoso según Weaver (1975).

Más recientemente Scoble y Muftuoglu (1984) clasifican los medios rocosos en función de su excavación definiendo un “Índice de Excavabilidad” combinando cuatro parámetros geomecánicos.

PARÁMETROS	CLASES DE MACIZOS ROCOSOS				
	1	2	3	4	5
ALTERACIÓN	INTENSA	ALTA	MODERADA	LIGERA	NULA
Valoración (W)	< 0	5	15	20	25
RESISTENCIA DE LA ROCA (MPa)	< 20	20 - 60	40 - 60	60 - 100	> 100
COMPRESIÓN SIMPLE (MPa) I <sub>s</sub> (50)	< 0,5	0,5 - 1,5	1,5 - 2,0	2 - 3,5	> 3,5
Valoración (S)	0	10	15	20	25
SEPARACIÓN ENTRE DIACLASAS (m)	0,3	0,6 - 1,5	0,6 - 1,5	1,5 - 2	> 2
Valoración (J)	5	15	30	45	50
POTENCIA DE ESTRATOS (m)	< 0,1	0,1 - 0,3	0,3 - 0,6	0,6 - 1,5	> 1,5
Valoración (B)	0	5	10	20	30

#### Índice de excavabilidad según Scoble y Muftuoglu (1984)

NOTA TÉCNICA: CONDICIONES DE EXCAVABILIDAD HASTA LA COTA -4,00 EN EL PUERTO DE LAXE - A CORUÑA

Teniendo en cuenta las características del macizo rocoso descrito en los sondeos efectuados se podría clasificar como un sustrato de Clase 4 (difícil).

CLASE	FACILIDAD DE EXCAVACIÓN	ÍNDICE (W+S+J+B)	EQUIPO DE EXCAVACIÓN	MODELOS DE EQUIPOS EMPLEADOS
1	MUY FÁCIL	< 40	TRACTORES DE RIPADO	A. Tractor (Cat. D8) B. Dragalina > 5 m <sup>3</sup> (Lima 2400) C. Excavadora de cables > 3 m <sup>3</sup> (Ruston Bucyrus 71 RB)
2	FÁCIL	40 - 50	DRAGALINAS EXCAVADORAS	A. Tractor (Cat. D9) B. Dragalina > 8 m <sup>3</sup> (Marion 195) C. Excavadora de cables > 5 m <sup>3</sup> (Ruston Bucyrus 150 RB)
3	MODERADAMENTE DIFÍCIL	50 - 60	DRAGALINAS	A. Tractor - Excavadora - Pala Cargadora (Cat. D9) B. Excavadora hidráulica > 3 m <sup>3</sup> (Cat. 245)
4	DIFÍCIL	60 - 70	EXCAVADORAS	A. Tractor - Excavadora - Pala Cargadora (Cat. D10) B. Excavadora hidráulica > 3 m <sup>3</sup> (Cat. 245 ó O&K RH40)
5	MUY DIFÍCIL	70 - 95	EXCAVADORAS	Excavadora hidráulica > 3 m <sup>3</sup> (Cat. 245 ó O&K RH40)
6	EXTREMADAMENTE DIFÍCIL	95 - 100		Demag H111 Excavadoras Poclain 1000 CK hidráulicas P & H 1200 > 7 m <sup>3</sup> R H 75
7	MARGINAL SIN VOLADURA	> 100		Demag H 185 Excavadoras Demag H 241 hidráulicas O & K RH300 > 10 m <sup>3</sup>

---

**Equipo de excavación a emplear a partir de la clasificación de Scoble y Muftuoglu (1984)**

Esta situación de excavación deberá valorarse teniendo en cuenta las dificultades inherentes a una obra submarina.

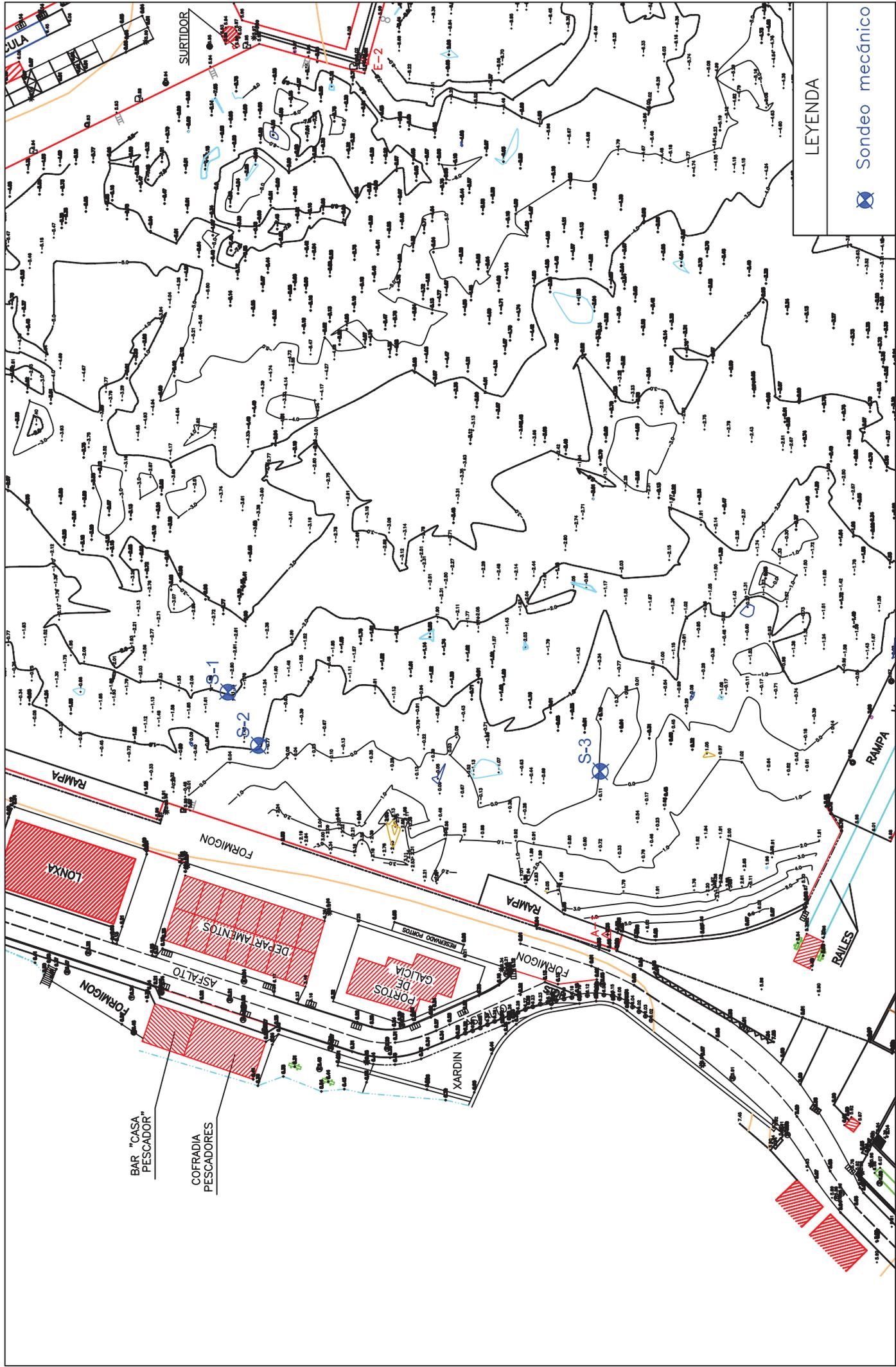
Vilaboá, a 27 de Mayo de 2014.-



VºBº.   
SOFIA SECO PARDO  
DIRECTORA DE OFICINA TÉCNICA  
ICCyP

  
Fdo.: ANA MARÍA PLAZA  
Geóloga

## **ANEJO I. Planta de situación de la investigación**



LEYENDA

Sondeo mecánico

PLANO DE INVESTIGACIÓN GEOTÉCNICA.  
 PETICIONARIO: CONSELLERÍA DO MAR.  
 PORTOS DE GALICIA

E.G. PARA LA AMPLIACIÓN DE PLATAFORMA EN EL  
 PUERTO DE LAXE (A CORUÑA)

Escala 1/1000

Fecha: ABRIL de 2.011





## **ANEJO II. Registro de los sondeos**

---

NOTA TÉCNICA: CONDICIONES DE EXCAVABILIDAD HASTA LA COTA -4,00 EN EL PUERTO DE LAXE - A  
CORUÑA

N/REFERENCIA: EG-3561

Anejos



**LOCALIZACION:**  
E.G. PARA LA AMPLIACIÓN DE PLATAFORMA EN EL PUERTO DE LAXE - A CORUÑA

**PETICIONARIO:**  
PORTOS DE GALICIA

**COORDENADAS**

X=  
Y=  
Z= -1,90

**SONDEO S-1**

**HOJA N° 1 DE 1**

**FECHA:** 30/03/2011

**N° REG.:** ESI-41134

DIAM. Y TIPO DE PERF.	COTA (m)	ESPESOR DEL ESTRATO(m)	CORTE LITOLÓGICO	NATURALEZA Y DESCRIPCIÓN DEL TERRENO	% RECUPERACIÓN DE TESTIGO	R Q D	GRADO DE FRACTURACIÓN	GRADO DE METEORIZACIÓN	DIR. JUNTAS	BUZ. JUNTAS	ESPACIADO (cm)	RUGOSIDAD	TIPO DE RELLENO	ESPESOR (mm)	MUESTRAS	ENSAYO FRANKLIN (Kp/cm <sup>2</sup> )	OTROS ENSAYOS
	0,90																
	-1,90																
	0,80			ARENA GRIS, MUY FINA CON FRECUENTES INTERCALACIONES NEGRAS DE LIMO NO PLÁSTICO CON ABUNDANTE MATERIA ORGÁNICA.											X	ES-22671	
	-2,70			GRAVAS REDONDEADAS - ANGULOSAS													
	-2,90	0,20		MACIZO HERCÍNICO DE NATURALEZA GRANÍTICA, GRANO MEDIO GRUESO, DE DOS MICAS QUE HASTA -3,20 ES GRADO IV Y A PARTIR DE -3,20 ES III (MODERADAMENTE METEORIZADO).											X	ES-22672	
	2,30			A PARTIR DE -4,30 A -4,90 DIQUE DE CUARZO MUY FRACTURADO DEJANDO PASO DE NUEVO A SUSTRATO GRANÍTICO.					J	10	8	OX	<1				
									J	15	10	OX	<1				
									J	70	8	OX	>1				
									J	70	8	OX	>1				
	-5,20								J	80	6	XL	>1				
				FIN SONDEO COTA -5,20 m													

SITUACIÓN SONDEO S-1



SITUACIÓN SONDEO S-1



SONDEO S-1 Caja 1



SONDEO S-1 Caja 2





**LOCALIZACION:**  
E.G. PARA LA AMPLIACIÓN DE PLATAFORMA EN EL PUERTODE LAXE - A CORUÑA

**PETICIONARIO:**  
PORTOS DE GALICIA

**COORDENADAS**

X=  
Y=  
Z= -1,40

**SONDEO S-2**  
**HOJA N° 1 DE 1**

**FECHA:** 31/03/2011 **N° REG.:** ESI-41135

DIAM. Y TIPO DE PERF.	COTA (m)	ESPEJOR DEL ESTRATO(m)	CORTE LITOLOGICO	NATURALEZA Y DESCRIPCION DEL TERRENO	% RECUPERACION DE TESTIGO	R Q D	GRADO DE FRACTURACION	GRADO DE METEORIZACION	DIR. JUNTAS	BUZ. JUNTAS	ESPACIADO (cm)	RUGOSIDAD	TIPO DE RELLENO	ESPEJOR (mm)	MUESTRAS	ENSAYO FRANKLIN (Kp/cm2)	OTROS ENSAYOS
	0,40																
	-1,40																
	0,50			ARENA FINA GRIS CORRESPONDIENTE A UN MEDIO MARINO. EN LA BASE GRAVAS CENTIMÉTRICAS.													ES-22673
	-1,90																
	1,50			SUSTRTO ROCOSO GRANÍTICO DE GRANO MEDIO Y DOS MICAS, MUY FRACTURADO.					J	35			10 OX	<1			
				JUSTAS OXIDADAS.					J	40			6 OX	<1			
	-3,40								J	60			6 OX	<1			
				FIN SONDEO COTA -3,40 m													

SITUACIÓN SONDEO S-2



SITUACIÓN SONDEO S-2



SONDEO S-2 Caja 1





SITUACIÓN SONDEO S-3



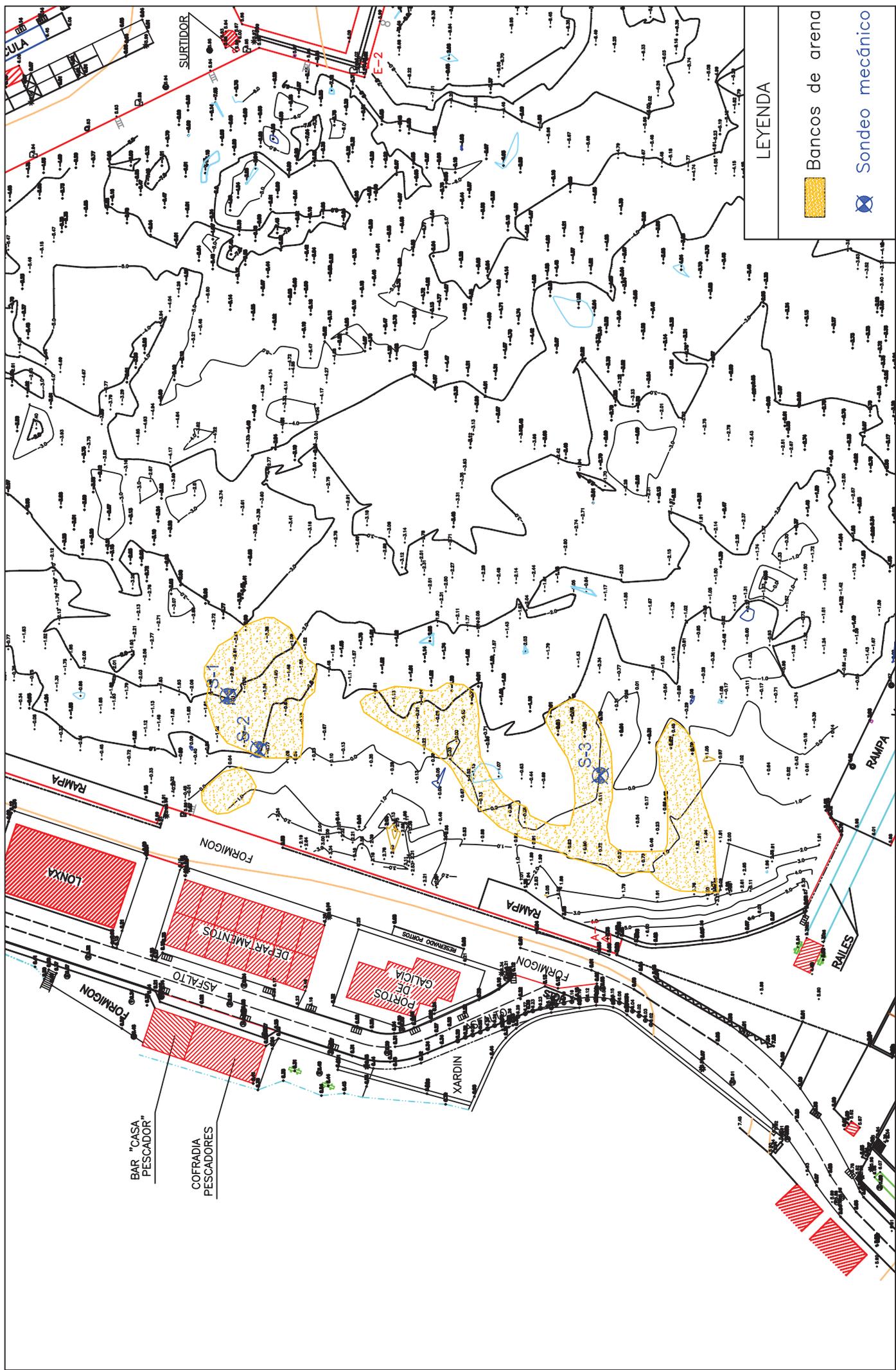
SITUACIÓN SONDEO S-3



SONDEO S-3 Caja 1



## **ANEJO III. Cartografía geológica de la zona**



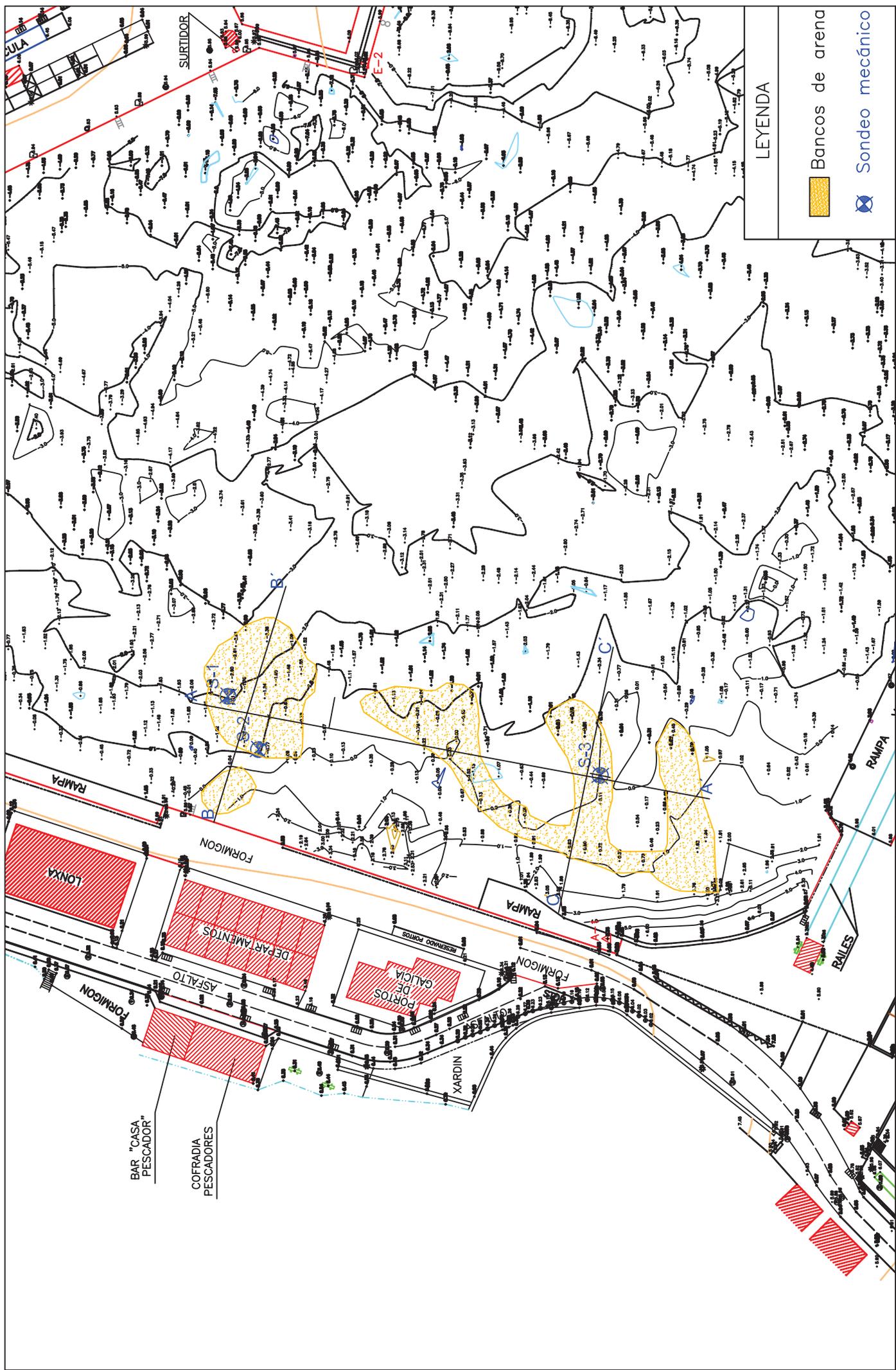
LEYENDA

- Bancos de arena
- Sondeo mecánico

<p>E.G. PARA LA AMPLIACIÓN DE PLATAFORMA EN EL PUERTO DE LAXE (A CORUÑA)</p>	<p>PLANO DE CARTOGRAFÍA GEOTÉCNICA</p>
<p>Fecha: ABRIL de 2.011</p>	<p>Escala 1/1000</p>
<p>PETICIONARIO: CONSELLERÍA DO MAR. PORTOS DE GALICIA</p>	



## **ANEJO IV. Cortes geológico-geotécnicos**



LEYENDA

- Bancos de arena
- Sondeo mecánico



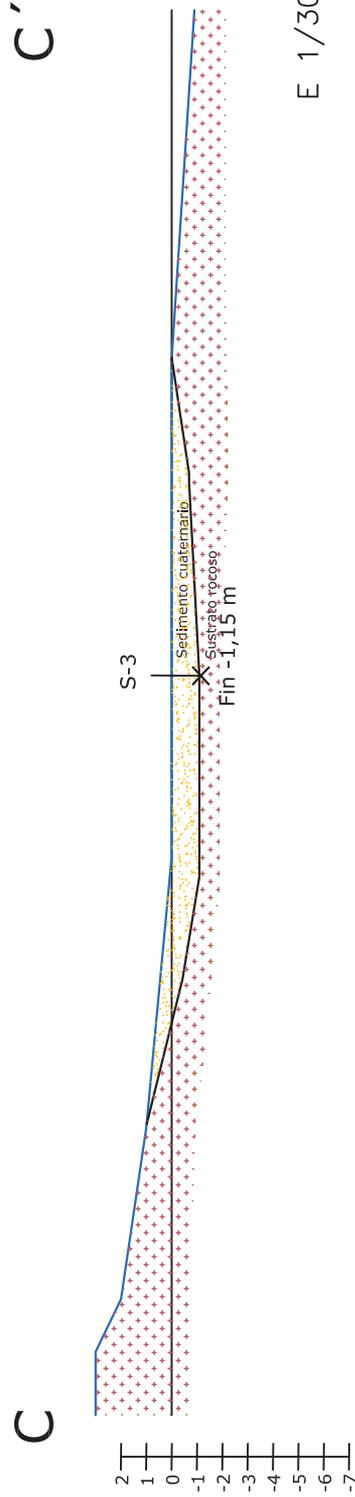
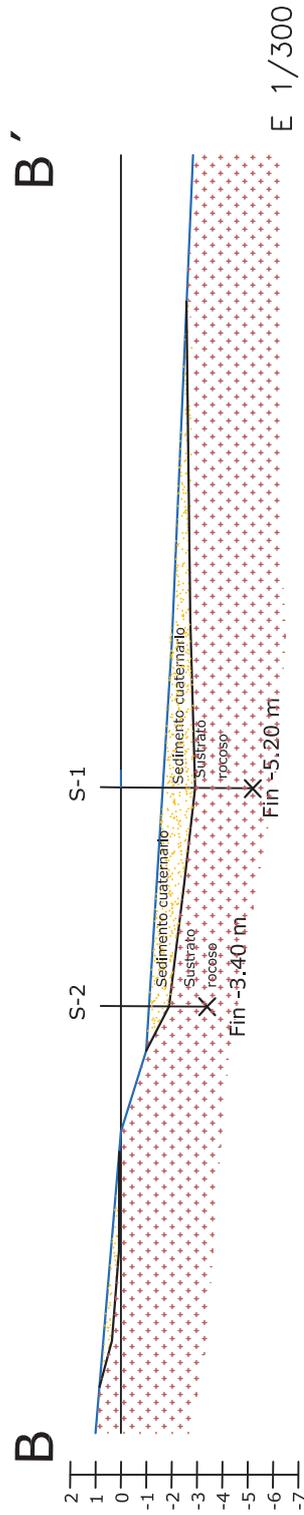
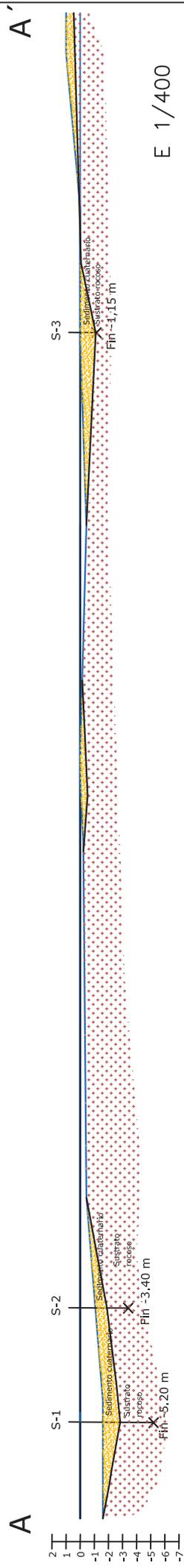
Escala 1/1000

Fecha: ABRIL de 2.011

PLANO DE CORTES GEOTÉCNICOS.  
PLANTA

PETICIONARIO: CONSELLERÍA DO MAR.  
PORTOS DE GALICIA

E.G. PARA LA AMPLIACIÓN DE PLATAFORMA EN EL  
PUERTO DE LAXE (A CORUÑA)



LEYENDA

 Sedimento cuaternario

 Sustrato rocoso

E.G. PARA LA AMPLIACIÓN DE PLATAFORMA EN EL PUERTO DE LAXE (A CORUÑA)

PLANO DE CORTES GEOTÉCNICOS.  
CORTES  
PETICIONARIO: CONSELLERÍA DO MAR.  
PORTOS DE GALICIA

Escala: Varias

Fecha: ABRIL de 2.011

**epi**sa



ANTEPROYECTO DE:

**DRAGADO EN EL PUERTO DE LAXE**

**DEL DOCUMENTO Nº 1 – MEMORIA Y ANEJOS**

**ANEJOS A LA MEMORIA:**

ANEJO Nº 5 – CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL DE DRAGADO

## **ANEJO Nº 5: CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL DE DRAGADO**

**DRAGADO EN EL PUERTO DE LAXE  
LAXE, A CORUÑA**

### **INDICE:**

1	INTRODUCCION.....	2
1.1	OBJETIVOS.....	2
1.2	ORGANIZACIÓN DEL DOCUMENTO.....	2
2	INFORME DE EPTISA.....	3
2.1	CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL DE DRAGADO.....	3
2.2	INFORME DE EPTISA.....	3

# **ANEJO Nº 5: CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL DE DRAGADO**

## **DRAGADO EN EL PUERTO DE LAXE LAXE, A CORUÑA**

### **1 INTRODUCCION.**

#### **1.1 OBJETIVOS.**

El objetivo del presente documento la caracterización del material de dragado según las Directrices para la caracterización del material de dragado y su reubicación en el dominio público marítimo terrestre (2015) para las obras de de DRAGADO EN EL PUERTO DE LAXE (A CORUÑA).

#### **1.2 ORGANIZACIÓN DEL DOCUMENTO.**

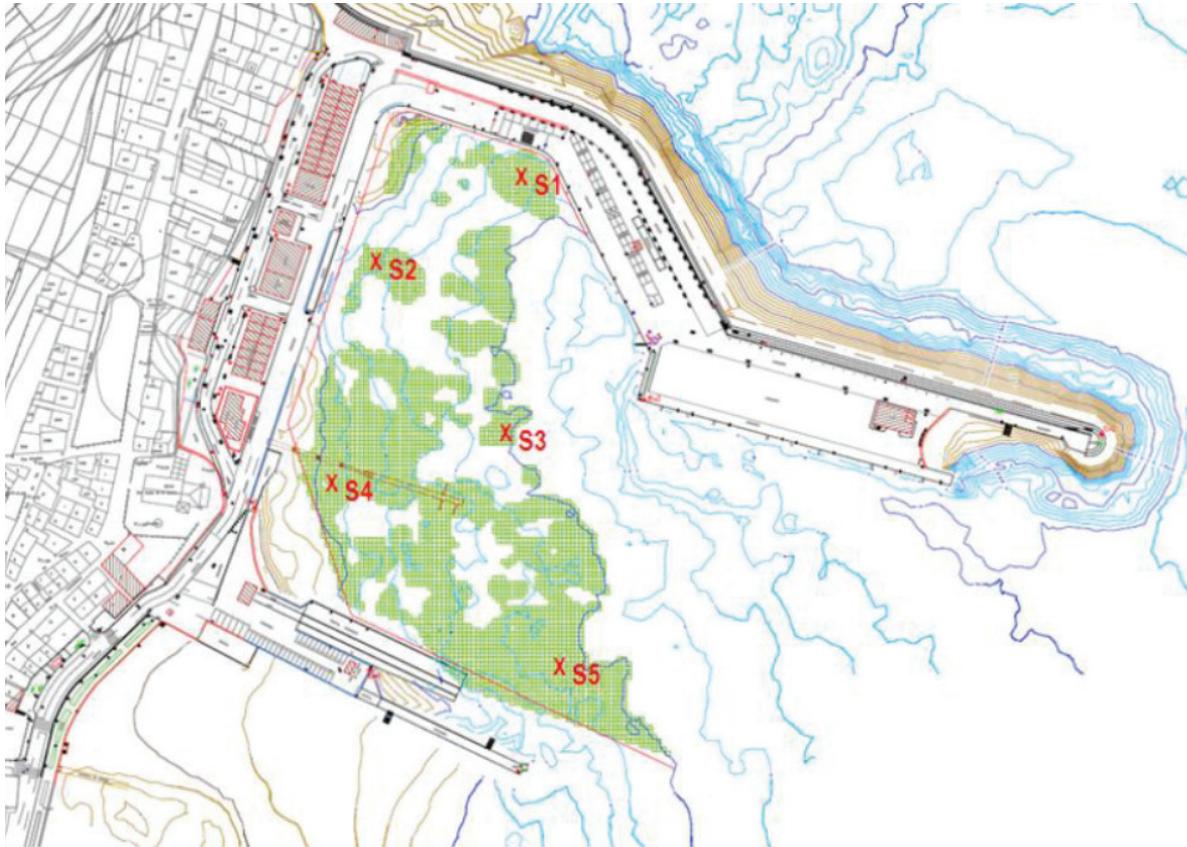
El presente documento esta estructurado de la siguiente manera:

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

## 2 INFORME DE EPTISA

### 2.1 CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL DE DRAGADO

Los puntos de muestreo se han distribuido homogéneamente por la zona de dragado.



El 28 de mayo de 2014 se procedió a la toma de muestras de sedimentos superficiales en las estaciones marcadas empleando una draga manual del tipo Van Veen.

### 2.2 INFORME DE EPTISA

Adjunto se incluye el informe completo elaborado por Eptisa que justifica dicha caracterización del material de dragado, ensayos de laboratorio realizados, metodología y resultados obtenidos, que justifican este proyecto.