



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE FOMENTO

MINISTERIO
DE MEDIO AMBIENTE
Y MEDIO RURAL
Y MARINO

CEDEX

CENTRO DE ESTUDIOS
Y EXPERIMENTACIÓN
DE OBRAS PÚBLICAS

INFORME TÉCNICO

para

Ministerio de Fomento

Organismo Público Puertos del Estado

ESTUDIO DE ONDAS LARGAS EN LA DÁRSENA EXTERIOR DEL PUERTO DE ALICANTE

INFORME FINAL

TOMO ÚNICO

Clave CEDEX: 24-410-5-006

Madrid, 2010

Centro de Estudios de Puertos y Costas



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE FOMENTO

MINISTERIO
DE MEDIO AMBIENTE
Y MEDIO RURAL
Y MARINO

CEDEX
CENTRO DE ESTUDIOS
Y EXPERIMENTACIÓN
DE OBRAS PÚBLICAS

TÍTULO:

**ESTUDIO DE ONDAS LARGAS EN LA DÁRSENA EXTERIOR
DEL PUERTO DE ALICANTE**

**INFORME FINAL
TOMO ÚNICO**

CLIENTE:

PUERTOS DEL ESTADO

EL PRESENTE INFORME CONSTITUYE UN DOCUMENTO OFICIAL DE ESTE TRABAJO Y, DE ACUERDO CON LAS NORMAS GENERALES DEL ORGANISMO, SU ENTREGA SUPONE EL CUMPLIMIENTO DE LAS ACTUACIONES TÉCNICAS DEL MISMO REFERENTES A LA MATERIA OBJETO DEL INFORME.

VALIDEZ OFICIAL

VISTO EL CONTENIDO DEL INFORME Y SIENDO ACORDE CON LAS CLAUSULAS DEL CONVENIO DE COLABORACION CORRESPONDIENTE, SE PROPONE AUTORIZAR SU EMISIÓN.

EL DIRECTOR DEL CENTRO DE ESTUDIOS
DE PUERTOS Y COSTAS

Fdo.: José María Grassa Garrido

AUTORIZA LA EMISIÓN DEL INFORME:

Madrid, 2010

EL DIRECTOR DEL CEDEX

Fdo.: Mariano Navas Gutiérrez

SÓLO SON INFORMES OFICIALES DEL CENTRO DE ESTUDIOS Y EXPERIMENTACIÓN DE OBRAS PÚBLICAS (CEDEX) LOS REFRENDADOS POR SU DIRECCIÓN GENERAL.

ÍNDICE

1. Introducción y objetivos del estudio de ondas largas
2. Planteamiento general del estudio
 - 2.1 Campaña de medida de oleaje y onda larga en la dársena exterior..
 - 2.2 Datos de Oleaje de la Boya de Alicante
 - 2.3 Ensayos de ruido blanco. Metodología
3. Resultados de los ensayos de ruido blanco con el Modelo MIKE21BW
 - 3.1 Ensayo de la configuración actual
 - 3.2 Ensayo de la configuración futura
4. Ensayos Monocromáticos
5. Resumen y conclusiones
6. Anejo de Graficas

1. INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES

La Autoridad Portuaria de Alicante (APA) tiene en proyecto un conjunto de actuaciones para remodelar la dársena exterior a fin de adaptarla a futuras necesidades. Para tal fin solicitó a Puertos del Estado (PE) la realización de una serie de estudios para analizar las condiciones de agitación y resonancia (onda larga) en la futura dársena exterior que resulte de las obras de remodelación. Estos estudios a petición de PE se han desarrollado durante los últimos meses en distintos Sectores del Centro de Estudios de Puertos y Costas (CEPYC) perteneciente al CEDEX, y han consistido fundamentalmente en la realización de una campaña de medida de oleaje y onda larga y en la realización de ensayos matemáticos de agitación y onda larga.

El presente informe forma parte del conjunto de estudios realizados en el CEPYC y tiene por objeto el estudio de la onda larga en la dársena exterior identificando mediante ensayos matemáticos las frecuencias de resonancia de la configuración actual y futura de esta dársena, contrastar los resultados de los ensayos con los datos de campo, y finalmente determinar mediante el análisis de los resultados numéricos las modificaciones que experimentarían las frecuencias de resonancia y los coeficientes de amplificación con la obras de remodelación.

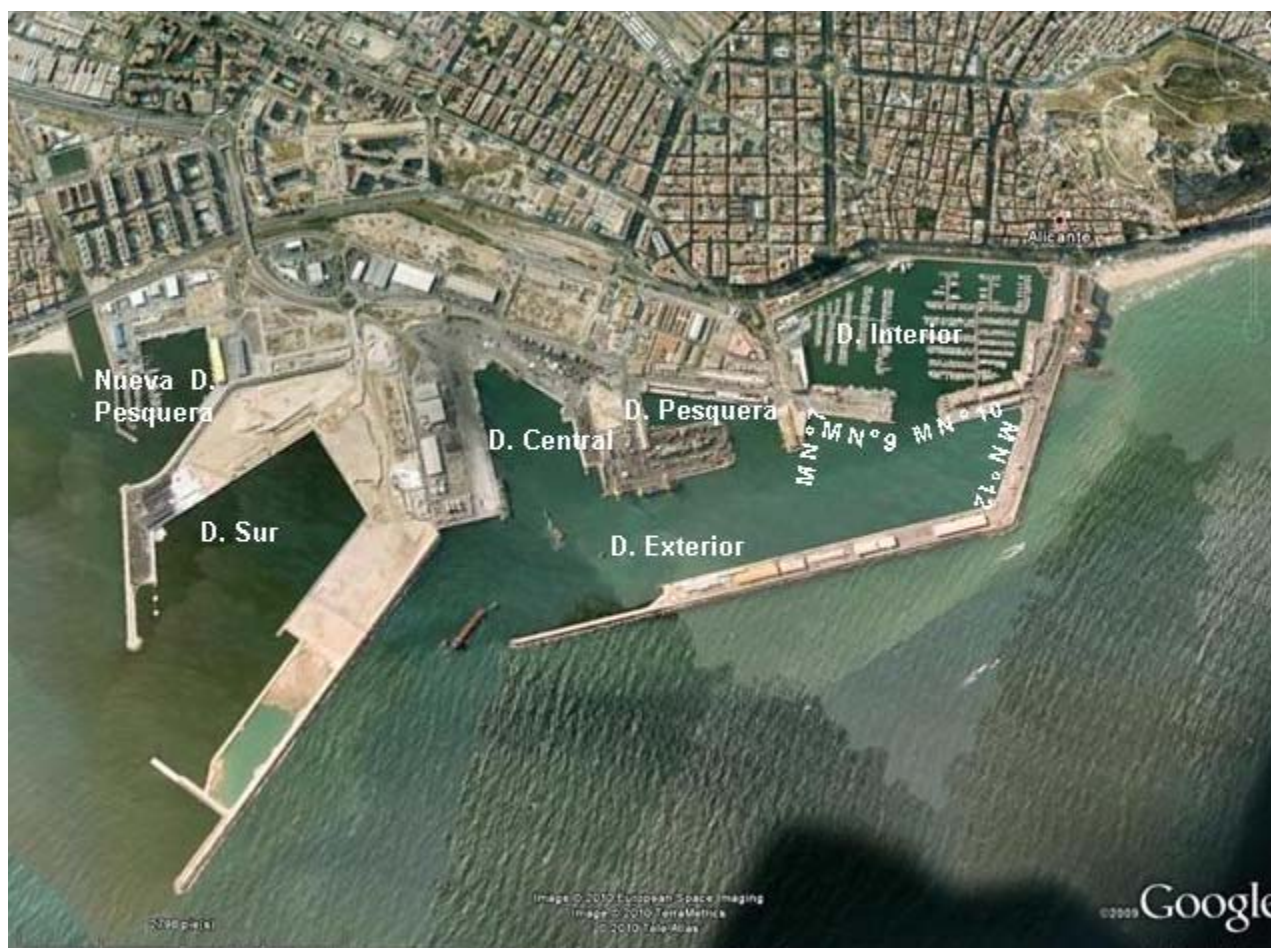


Figura 1.1 Puerto de Alicante

2. OBJETIVOS Y PLANTEAMIENTO GENERAL DEL ESTUDIO.

El objetivo de este estudio es analizar la influencia de las obras de remodelación de la dársena exterior del Puerto de Alicante en los modos de oscilación de esta dársena, mediante la realización de ensayos numéricos que permiten detectar cuales son las frecuencias de resonancia de las configuraciones actual y de la futura, después de la ejecución de las obras. Estos ensayos se han realizado con el módulo de Boussinesq del modelo MIKE21. Los datos registrados en la dársena exterior durante la campaña de tres meses de duración que ha llevado a cabo el Sector de Medidas en la Naturaleza del CEPYC, permitirán validar los resultados de los ensayos numéricos.

De forma resumida el planteamiento general de este estudio consiste en cinco puntos que se desarrollan en los correspondientes apartados. En el primer apartado se resume brevemente la campaña de toma de datos de oleaje y onda larga en la dársena exterior y los resultados más destacados. En el segundo apartado se describe la metodología de ensayos numéricos de ruido blanco empleada en este estudio para detectar las frecuencias de resonancia de las configuraciones actual y futura de la dársena exterior. En el tercer apartado se presentan los resultados de los ensayos numéricos, se analizan y se seleccionan las frecuencias de resonancia con mayores coeficientes de amplificación para hacer ensayos monocromáticos. Estos ensayos monocromáticos se describen en el cuarto apartado de este informe. Finalmente en el último apartado, se hace un resumen del trabajo y se presentan las conclusiones.

2.1 Campaña de oleaje y onda larga en la dársena exterior de Alicante realizado por el Sector de Medidas en la Naturaleza del CEPYC.

Los trabajos realizados en la campaña de tres meses de toma de datos en la naturaleza se pueden resumir en los siguientes puntos (ver informe técnico “Obtención y Análisis de datos para minimizar la agitación en la Dársena exterior del Puerto de Alicante”, Clave CEDEX: 26-409-5-001))

- Instalación de sistemas medidores (Figura 2.1.1):

1. Perfilador y medidor de oleaje Doppler (ADCP) en la zona del muelle 14 (Latitud: 38° 20' 14.02"; Longitud 0° 28' 52.87").
2. Sensor de ondas largas (SP) en el cantil del muelle 12 (Latitud: 38 20 18.79; Longitud 0° 28' 43.85").



Figura 2.1.1

- Obtención de datos, análisis y correlaciones del oleaje exterior registrado por la boya direccional de Alicante, la agitación interior y las corrientes. La duración de la toma de datos ha sido de tres meses desde el 17 de Noviembre de 2009 hasta el 25 de Febrero de 2010.

- Análisis conjunto de toda la información y elección de los eventos más importantes en base a la agitación registrada y al clima del oleaje exterior.

A continuación se presentan los resultados más destacados de la campaña de toma de datos obtenidos con el sensor de presión:

1- Matriz de alturas - períodos de los datos de oleaje del sensor de presión.

Esta es una tabla de doble entrada, donde en cada celda se representa el porcentaje de concurrencia de la altura y período correspondiente. La última columna muestra el porcentaje total de las alturas de cada intervalo de alturas y la última fila muestra el porcentaje total de los períodos de cada intervalo.

Tabla 2.1.1 Matriz Alturas – Periodos de Oleaje (Hs -Tp); Sensor de presión- Campaña: 11/2009 - 2/2010														
	0 2	2 3	3 4	4 5	5 6	6 7	7 8	8 9	9 10	10 11	11 12	12 13	13 14	Total
0.00-0.05	0	0.13	0.22	0.26	0.17	0.09	0.04	0	0	0	0	0	0	0.91
0.05-0.10	0	1.04	7.42	4.95	3.08	9.29	2.52	0.22	0.3	0	0	0	0	28.8
0.10-0.15	0	0.22	4.56	5.21	5.82	9.94	1.78	0.13	2.04	0	0	0	0	29.7
0.15-0.20	0	0.09	1.74	4.64	3.82	6.51	2.34	0.04	1.61	0.09	0	0	0	20.9
0.20-0.25	0	0	0.43	2.47	2.17	2.56	1	0.09	1.61	0	0	0.09	0	10.4
0.25-0.30	0	0	0.13	0.61	1.26	1.17	0.61	0.43	0.69	0	0.04	0.09	0	5.03
0.30-0.35	0	0	0	0.52	0.56	0.87	0.35	0.09	0.17	0	0	0.26	0	2.82
0.35-0.40	0	0	0	0.04	0.04	0.3	0.3	0	0	0	0	0.09	0	0.78
0.40-0.45	0	0	0.04	0.04	0.04	0	0.09	0.04	0.17	0	0	0	0	0.43
0.45-0.50	0	0	0	0	0	0.04	0	0.04	0.04	0	0	0	0	0.13
0.50-0.55	0	0	0	0	0	0	0	0	0.09	0	0	0	0	0.09
Total	0	1.48	14.5	18.8	17.0	30.8	9.03	1.09	6.73	0.09	0.04	0.52	0	100

2 – Matriz de alturas - períodos de los datos de onda larga procesados a partir de la señal registrada del sensor de presión. En esta matriz los intervalos se han escogido de acuerdo con las características de los datos de onda larga.

Tabla 2.1.2 Matriz Alturas – Periodos de OL (Hs -Tp) - Sensor de presión - Campaña:11/2009 - 2/2010																		
	0 20	20 40	40 60	60 80	80 100	100 120	120 140	140 160	160 180	180 200	200 220	220 240	240 260	260 280	280 300	340 380	500 2060	Total
0.000 0.025	0	8.69	1.13	0.63	3.15	2.90	0.63	0	0	0.25	1.01	9.07	3.4	0.25	0	0.25	29	60.3
0.025 0.050	0	3.78	0.38	0.38	4.91	3.78	0.13	0.25	0.13	0.13	0.64	8.69	1.39	0.25	0.13	0	6.8	32.8
0.050 0.075	0	0	0	0	1.26	1.01	0.13	0	0	0	0.13	1.26	0.13	0	0	0	0	3.9
0.075 0.100	0	0	0	0	0.38	0.13	0	0	0	0	0.25	0.76	0	0	0	0	0	1.51
0.100 0.125	0	0	0.13	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0	0	0	0	0	0.63
0.125 0.150	0	0	0	0	0	0	0.13	0	0	0	0	0.38	0	0	0	0	0	0.5
0.150 0.175	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.13	0.13	0	0	0	0	0	0.25
0.175 0.200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.200 0.225	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.13	0	0	0	0	0	0	0.13
Total	0	12.5	1.64	1.01	9.7	7.81	1.01	0.25	0.13	0.38	3.27	0.78	4.91	0.5	0.13	0.25	35.8	100



CEDEX

3- Análisis de etapas significativas en las que ha habido episodios importantes de onda larga con otras menos significativas. Entre las primeras se encuentran los días: 14 y 15 de diciembre de 2009, y 8 y 27 de Enero de 2010.

Tabla 2.1.3 Días 14 y 15 de Diciembre de 2009

Fecha		Boya de Alicante (Oleaje)			Sensor de Presión (Oleaje)		Sensor de Presión (OL)		ADCP (Oleaje)
Día	Hora	Hs(m)	Tp(s)	Dir.	Tp(s)	H(m)	Tp(s)	Hs(m)	Hs(m)
14	10	2.1	8	78	8.8	0.27			
14	11	2.3	7.4	75	8.8	0.29			0.27
14	12	2.4	7.7	74	9.1	0.31	97.5	0.079	
14	13	2.3	7.7	71	9.1	0.31			0.28
14	14	2.1	7.7	69	9.1	0.24			
14	15	1.8	9.5	65	7.5	0.21	228	0.087	0.20
14	16	2	10.5	55	9.1	0.21			
14	17	2.2	10	57	9.8	0.22			0.23
14	18	2.7	10.7	62	9.8	0.23	228	0.131	
14	19	2.4	11.6	62	11.6	0.27			0.29
14	20	2.9	11.1	66	12.8	0.23			
14	21	2.6	11.8	65	12.2	0.23	215	0.158	0.33
14	22	3	12.2	64	12.2	0.31			
14	23	2.8	12.7	66	12.2	0.32			0.28
15	0	2.8	11.7	65	12.8	0.37	205	0.205	
15	1	2.5	12.9	67	12.8	0.37			0.31
15	2	2.3	12.3	66	12.8	0.32			
15	3	2.1	12.5	69	12.8	0.35	228	0.159	0.22
15	4	2.4	13	72	12.2	0.31			
15	5	2.4	12.7	74	12.2	0.3			0.36
15	6	2.3	10.8	70	12.1	0.29	228	0.146	
15	7	2.1	11.8	69	9.5	0.27			0.36
15	8	2.1	10.3	71	12.8	0.25			

Tabla 2.1.4 Día 8 de Enero de 2010

Fecha		Boya de Alicante (Oleaje)			Sensor de Presión (Oleaje)		Sensor de Presión (OL)		ADCP (Oleaje)
Día	Hora	Hs(m)	Tp(s)	Dir.	Tp(s)	Hs(m)	Tp (s)	Hs(m)	Hs(m)
8	5	1.3	12.4	90	9.1	0.24			0.33
8	6	1.5	11.7	79	9.1	0.22	228	0.098	0.32
8	7	1.5	12	74	9.5	0.2			0.30
8	8	1.6	12.1	69	9.1	0.19			0.26
8	9	1.7	11.5	64	9.5	0.2	228	0.10	0.28
8	10	1.4	11.8	60	3.3	0.21			0.22
8	11	1.5	10	57	9.5	0.16			0.22
8	12	1.4	11.5	56	9.8	0.17	228	0.113	0.26

8	13	1.5	10.6	51	9.8	0.17			0.25
8	14	1.6	11.8	56	9.8	0.19			0.38
8	15	1.7	11.1	62	9.8	0.21	108	0.1	0.27
8	16	1.7	11.8	65	9.8	0.23			0.28
8	17	1.7	11.1	66	9.8	0.21			0.24
8	18	1.5	12.1	59	9.8	0.21	228	0.101	0.29
8	19	1.3	11.7	57	9.8	0.18			0.24
8	20	1.3	11.4	58	9.5	0.18			0.25
8	21	1.4	12.2	57	9.5	0.15	228	0.088	0.24
8	22	1.4	11.5	34	9.5	0.16			0.30
8	23	1.3	9.7	21	9.1	0.14			0.29

Tabla 2.1.5 Día 27 de Enero de 2010

Fecha		Boya de Alicante (Oleaje)			Sensor de Presión (Oleaje)		Sensor de Presión (OL)		ADCP (Oleaje)
Día	Hora	Hs(m)	Tp(s)	Dir.	Tp(s)	Hs(m)	Tp(s)	Hs(m)	Hs(m)
27	0	2.1	9.6	71	7.6	0.229	105	0.07	
27	1	1.8	9.9	74	7.5	0.233			
27	2	1.8	9.1	73	7.2	0.216			
27	3	1.7	8.9	74	7.5	0.226	85.3	0.06	
27	4	1.8	9.8	74	7.4	0.218			0.20
27	5	1.7	9.2	73	6.9	0.215			
27	6	1.8	9.1	74	6.4	0.217	85.3	0.06	0.24
27	7	1.8	9.4	70	6.2	0.241			
27	8	1.9	8.6	69	6.6	0.24			0.23
27	9	1.8	8.1	73	7.1	0.227	108	0.05	
27	10	2	9.1	71	6.7	0.226			0.26
27	11	2	7.4	70	6.9	0.26			
27	12	2	8	68	7.2	0.242	228	0.05	0.27
27	13	2.2	7.1	68	6.6	0.238			
27	14	2	8.2	69	7.1	0.229			0.33
27	15	2.2	8.3	73	7.3	0.243	108	0.05	
27	16	2.4	8.7	70	7.5	0.274			
27	17	2.6	8.2	70	6.8	0.307			
27	18	2.3	7.8	71	7.3	0.261	102	0.05	
27	19	2.2	10	67	7.1	0.261			
27	20	2.1	9.5	70	7.5	0.276			0.23
27	21	2	7.9	70	6.8	0.289	93.1	0.05	
27	22	1.9	9.3	70	7.6	0.255			0.25
27	0	2.1	9.6	71	7.6	0.229			



CEDEX

Tabla 2.1.6 Día 17 de Noviembre de 2009

Fecha		Boya de Alicante (Oleaje)			Sensor de Presión (Oleaje)		Sensor de Presión (OL)		ADCP (Oleaje)
Día	Hora	Hs(m)	Tp(s)	Dir.	Tp(s)	Hs(m)	Tp(s)	Hs(m)	Hs(m)
17	17	0.2	3.3	163	3.5	0.051			
17	18	0.3	4.8	158	5	0.063	20.9	0.02	
17	19	0.4	5	166	4.5	0.148			
17	20	0.6	5.8	165	4.7	0.178			
17	21	0.8	5.8	166	5.6	0.237	512	0.02	0.27
17	22	0.7	5.4	162	5.1	0.24			
17	23	0.5	5.1	156	5.1	0.233			0.28
18	0	0.4	4.9	158	4.7	0.234	683	0.02	

Tabla 2.1.7 Día 23 de Diciembre de 2009

Fecha		Boya de Alicante (Oleaje)			Sensor de Presión (Oleaje)		Sensor de Presión (OL)		ADCP (Oleaje)
Día	Hora	Hs(m)	Tp(s)	Dir.	Tp(s)	Hs(m)	Tp(s)	Hs(m)	Hs(m)
23	0	1.1	6.2	177	7.5	0.301	228	0.03	0.28
23	1	1.1	6.7	177	7.5	0.294			0.30
23	2	1.0	6.3	174	7.5	0.269			0.29
23	3	1.0	6	173	7.5	0.279	683	0.03	0.27
23	4	0.9	6.6	174	7.5	0.253			0.26
23	5	0.8	6.5	171	7.5	0.229			0.24
23	6	0.8	6.9	174	6.4	0.203	228	0.03	0.23
23	7	0.8	6	174	7.5	0.21			0.23
23	8	0.9	5.3	177	7.5	0.217			0.21
23	9	1.0	5.5	178	6.4	0.25	228	0.04	0.38
23	10	1.0	5.5	177	5.8	0.262			0.33
23	11	0.8	5.2	171	5.1	0.243			0.33
23	12	0.9	5.4	168	5.1	0.27	256	0.04	0.28
23	13	1.0	5.3	172	5.1	0.27			0.30
23	14	1.4	6.1	177	6.4	0.385			0.40
23	15	1.7	5.8	183	6.4	0.39	228	0.04	0.41
23	16	1.6	6.4	180	7.5	0.447			0.45
23	17	1.4	5.9	179	7.3	0.398			0.36
23	18	1.4	6.1	181	6.7	0.343	228	0.03	0.42
23	19	1.4	6	179	6.4	0.32			0.43
23	20	1.1	5.6	178	5.1	0.305			0.36
23	21	1.0	5.2	178	6.4	0.307	228	0.03	0.33
23	22	1.0	6	176	6.4	0.261			0.32
23	23	0.9	5.4	176	5.1	0.253			0.34

Tabla 2.1.8 Día 27 de Diciembre de 2009								
Diciembre 2009		Boya de Alicante (Oleaje)			Sensor de Presión (Oleaje)		Sensor de presión (OL)	
Día	Hora	Hs(m)	Tp(s)	Dir.	Hs(m)	Tp(s)	Top(s)	Hs(m)
27	0	0.4	4.4	166	4.6	0.173	683	0.02
27	1	0.4	4.9	167	5.8	0.173		
27	2	0.3	4.4	167	3.6	0.159		
27	3	0.4	4.7	166	4.3	0.145	683	0.01
27	4	0.4	4.8	181	4.3	0.159		
27	5	0.5	5.5	178	4.7	0.196		
27	6	0.4	5.2	184	4.9	0.232	683	0.02
27	7	0.4	5.4	192	5.2	0.221		
27	8	0.4	4.5	203	5.1	0.195		
27	9	0.5	3.5	216	5.1	0.189	683	0.01

2.2 Datos de Oleaje de la Boya de Alicante correspondientes al periodo: Noviembre 2006 – Enero 2010

En la Figura 2.2.1 se presentan los porcentajes de presentación de los oleajes registrados por la boya de Alicante de una rosa de 16 puntas y en las gráficas siguientes los histogramas de alturas significantes H_m0 y períodos óptimos T_p de los sectores comprendidos entre los sectores N y S, considerados los más representativos dada la orientación de la línea de costa donde está situado el Puerto de Alicante. Los sectores con mayores porcentajes de presentación son: E(28.34%), ESE(17.09%), ENE(16.31%) y S(11.51%).

Boya de Alicante	
Latitud	38° 14.9' N
Longitud	0° 25.1' W
Profundidad	52m
Fecha de Fondeo	Noviembre 2006
Sensor de oleaje	direccional

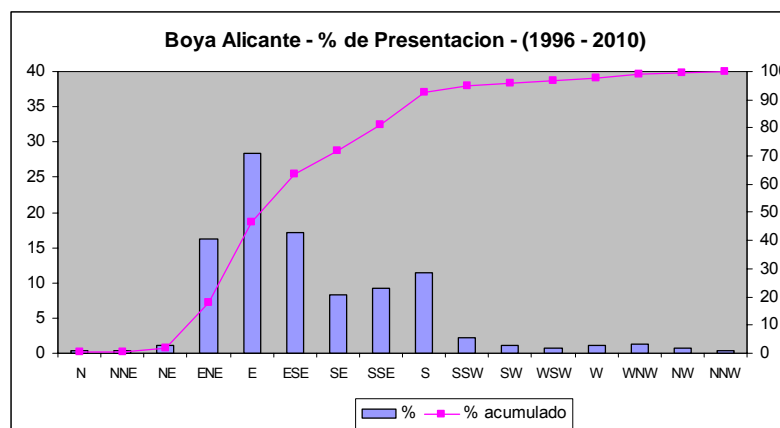


Figura 2.2.1 Boya de Alicante

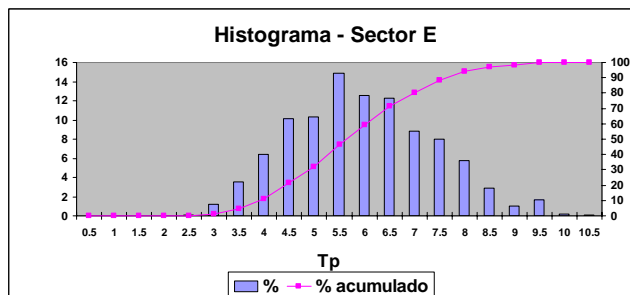
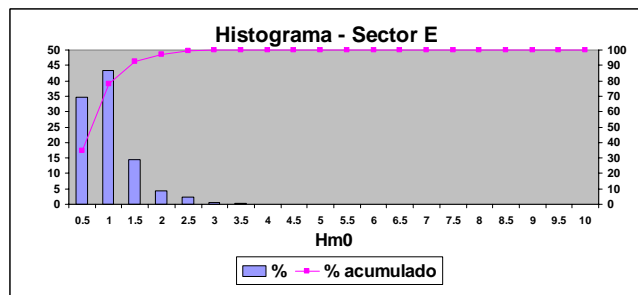
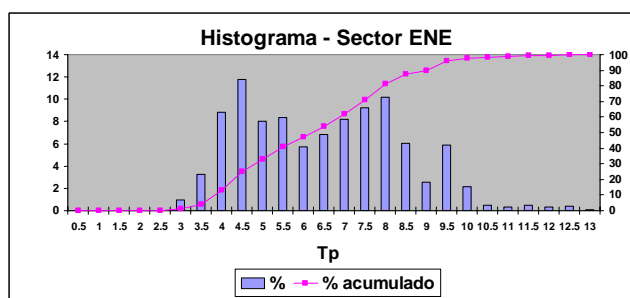
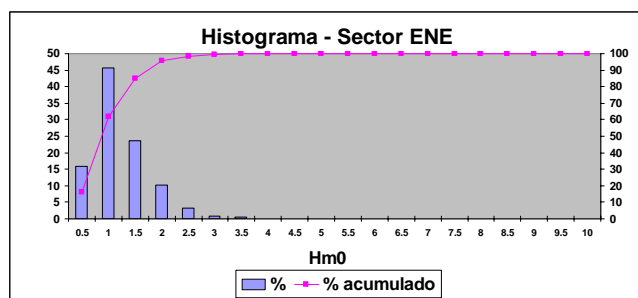
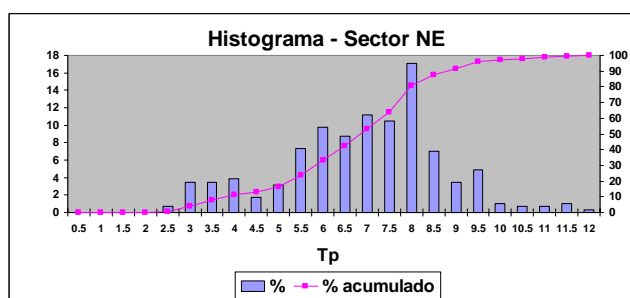
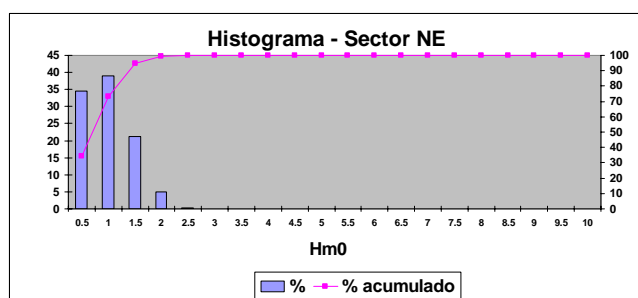
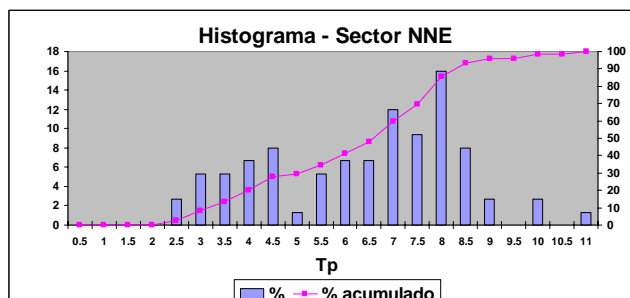
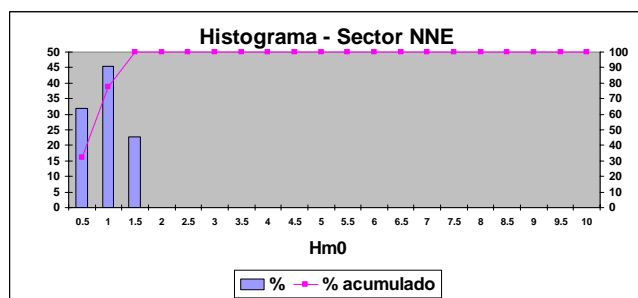
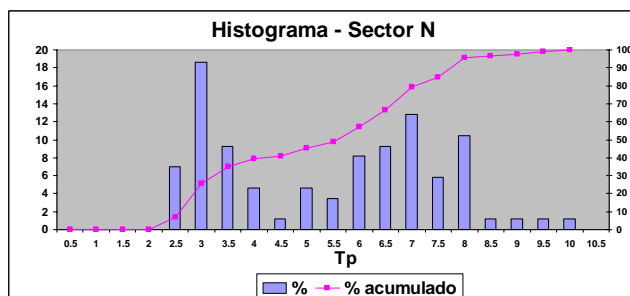
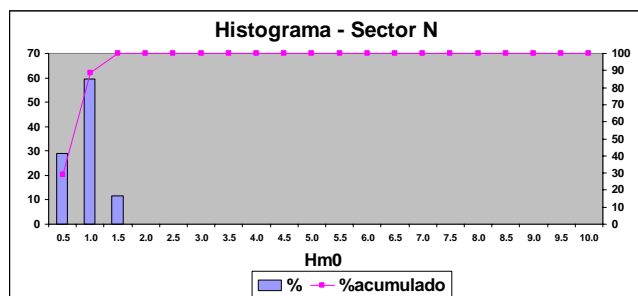


Figura 2.2.2 Histogramas de los Sectores N, NNE, NE, ENE Y E de la Boya de Alicante

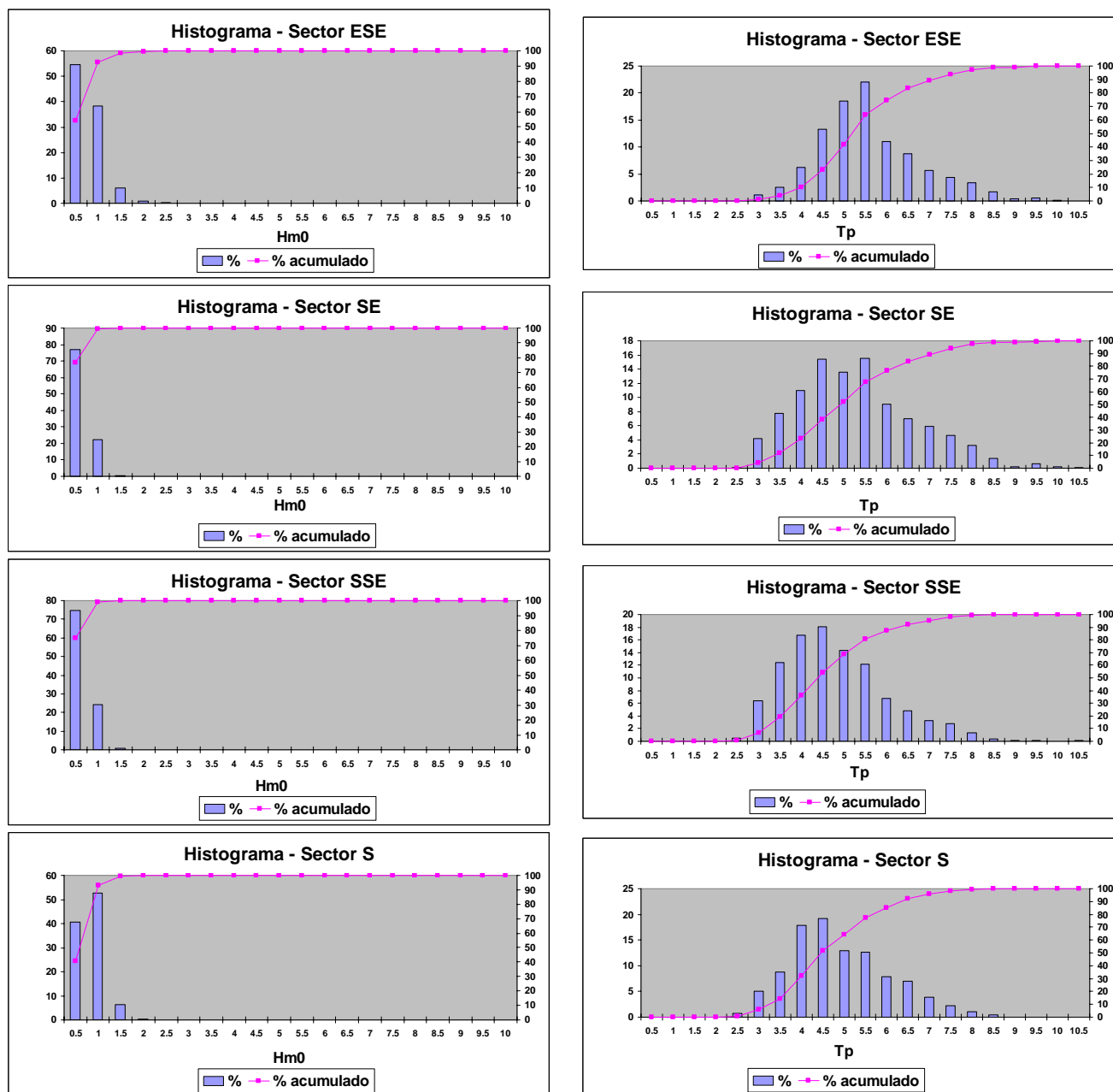


Figura 2.2.3 Histogramas de los Sectores ESE, SE, SSE y S de la Boya de Alicante

Destaca en los histogramas de los sectores considerados la baja presentación de oleajes con períodos óptimos (T_p) superiores a 10s. De acuerdo con los episodios significativos de onda larga sucedidos durante la campaña en la dársena exterior, los oleajes de estas características, $T_p > 10s$, producen oscilaciones apreciables en el interior de la dársena de períodos superiores a 200s.

Para el rango de períodos óptimos de oleaje inferiores a 10s, las oscilaciones de largo período asociadas son inferiores a 100s, de acuerdo con la campaña de datos.

2.3 Ensayos de ruido blanco en el Puerto de Alicante realizados con el modelo MIKE21BW

Los ensayos de ruido blanco tienen por objeto investigar cuales son potencialmente las frecuencias naturales de resonancia de una configuración portuaria. Un espectro de ruido blanco está caracterizado por tener una densidad de energía constante en un rango de frecuencias. Aunque una señal obtenida de un espectro de ruido blanco no representa un estado natural del mar, las simulaciones con una señal de ruido blanco son una herramienta muy eficiente para detectar los períodos resonantes de una configuración portuaria.

Hay que tener muy claro que un espectro de ruido blanco representa un estado sintético del mar y por lo tanto los resultados de los ensayos matemáticos solo se pueden utilizar para establecer los períodos naturales de oscilación. Es decir, no se puede concluir únicamente en base a los resultados de los ensayos de ruido blanco si se puede o no producir oscilaciones de largo período o resonancias en el interior de la dársena en condiciones de oleaje natural. Este fenómeno solo se puede concluir utilizando señales de oleaje real, registrados en la naturaleza.

En este estudio se han realizado dos ensayos de ruido blanco, el primero con la configuración actual del Puerto de Alicante y un segundo ensayo con la configuración futura del puerto que contempla las obras de remodelación de la dársena exterior.

El motivo de realizar dos ensayos consiste en analizar la influencia de las obras en el esquema global de las oscilaciones del Puerto. Durante tres meses se ha estado midiendo sistemáticamente la agitación y onda larga en la dársena exterior, por lo que se dispone de información reciente de estos fenómenos para validar el ensayo de ruido blanco con la configuración actual. Hay que determinar posteriormente si la modificación de la planta de la dársena exterior alterará sustancialmente los modos de oscilación.

MALLAS DE CÁLCULO

Las mallas de cálculo que se han utilizado en cada uno de los ensayos de ruido blanco están representadas en las Figuras 2.3.1 y 2.3.3, y según se puede observar abarcan una zona muy amplia alrededor del Puerto, sus ejes tienen orientación SE y una discretización espacial de 9m. En las Figuras 2.3.2 y 2.3.4 se muestran en detalle las configuraciones actual y futura del Puerto de Alicante, que contempla esta última el relleno de la antigua dársena pesquera y la creación de un pequeño recinto protegido al fondo de la dársena exterior.

La discretización espacial de 9m cumple sobradamente la condición impuesta por los requisitos del modelo en el sentido de que las longitudes de onda de todas las olas individuales estén definidas por 7-10 incrementos de malla y al mismo tiempo permita definir adecuadamente el contorno de las instalaciones portuarias.

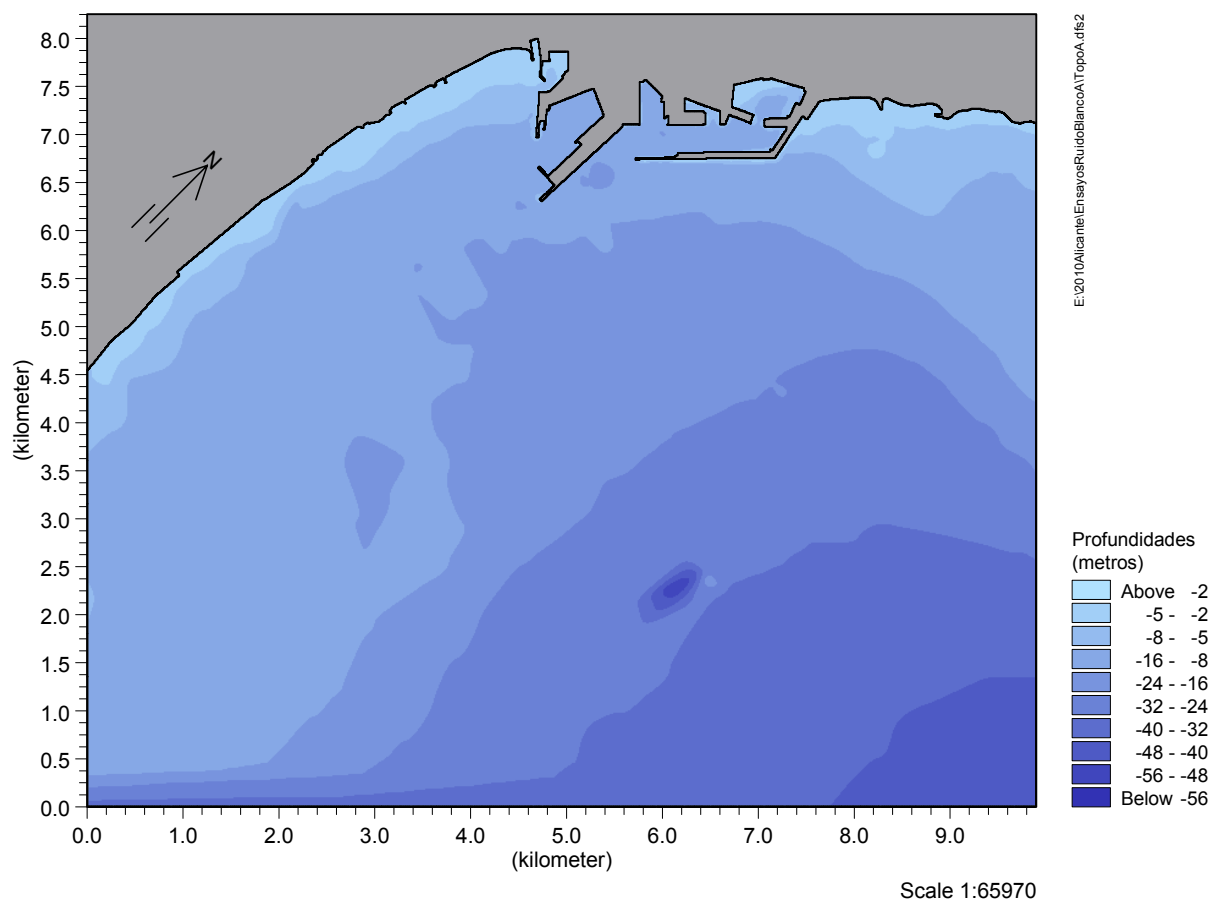


Figura 2.3.1 Malla de cálculo de la configuración actual

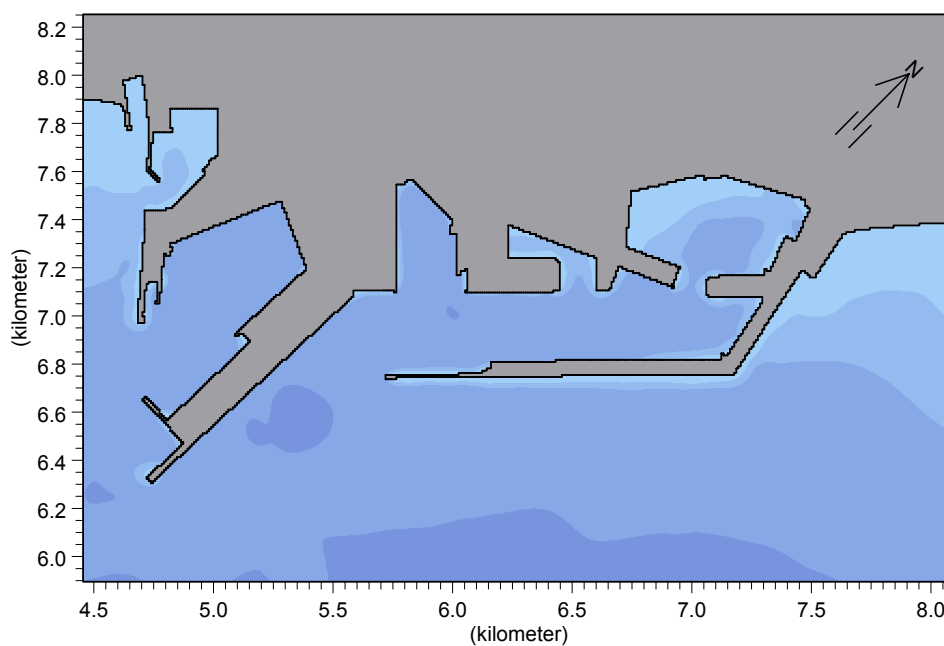


Figura 2.3.2 Detalle de la malla e cálculo de la configuración actual

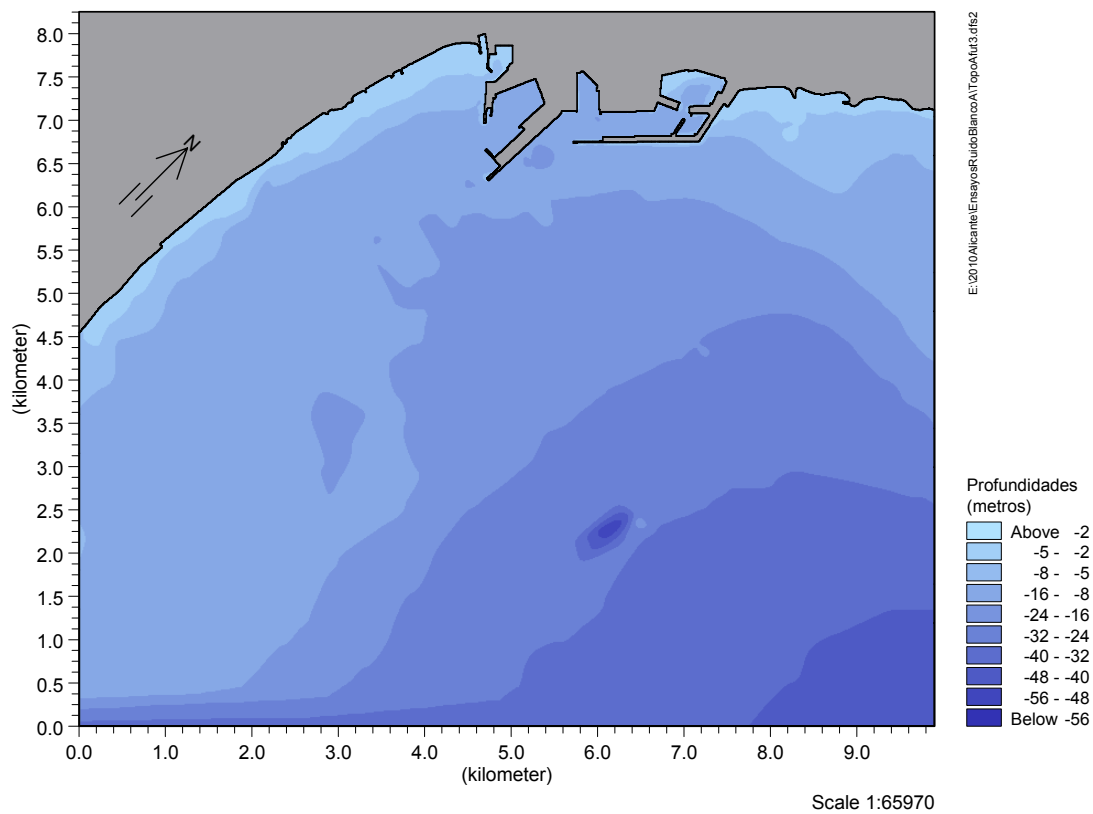


Figura 2.3.3 Malla de cálculo de la configuración futura

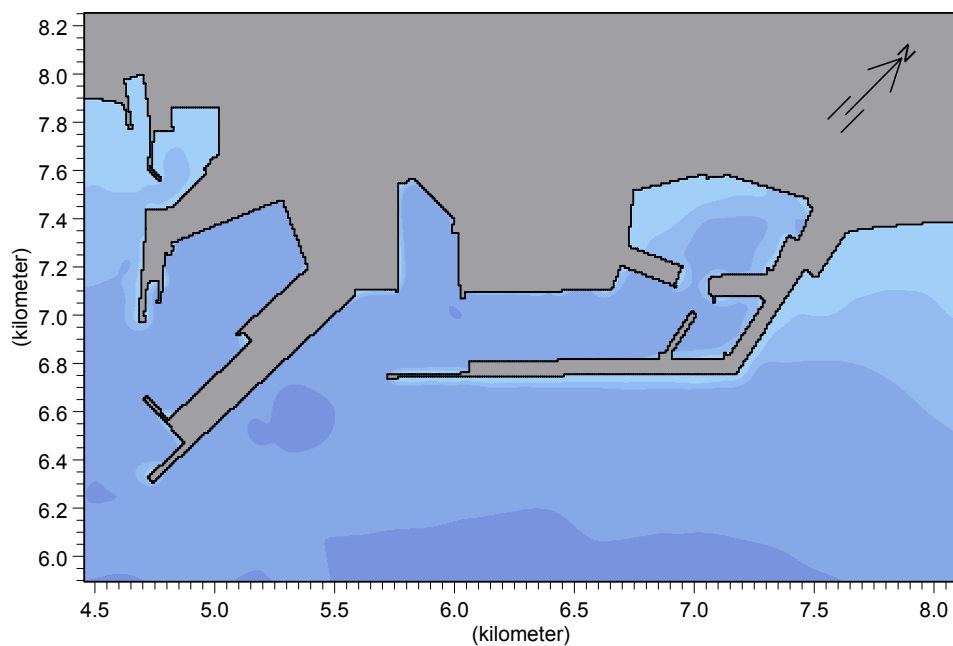


Figura 2.3.4 Detalle de la malla de cálculo de la configuración futura.

ESPECTRO DE RUIDO BLANCO

El espectro de ruido blanco utilizado en este trabajo tiene energía constante desde los 20s ($= 1 / f_{\max}$) hasta los 1000s ($= 1 / f_{\min}$), igual a $S(f) = 0.004 \text{ m}^2 \text{ s}$ (Figura 2.3.5). A partir de este espectro se obtiene un registro de oleaje escalar con unas variaciones de nivel de aproximadamente 6cm que se utilizará como registro de oleaje en los ensayo numéricos (Figura 2.3.6).

$$H_s = 4\sqrt{S(f) * (f_{\max} - f_{\min})} = 0.06\text{m}$$

El registro de oleaje se obtiene utilizando el algoritmo FFT^{-1} del espectro de ruido blanco. Teniendo en cuenta la relación inversa entre la longitud del registro (T) y la resolución del espectro discreto ($\Delta f = 1/T$), para aumentar ésta, a fin de precisar lo mejor posible los períodos resonantes, la simulación numérica ha de ser lo más larga posible. Para compaginar y compensar ambos conceptos se seleccionó una duración igual a $T = 32768 \Delta t \text{ s}$, donde Δt está determinado por las condiciones de estabilidad del esquema numérico del modelo matemático. Esto determina un $\Delta f = 0.000076294\text{hz}$.

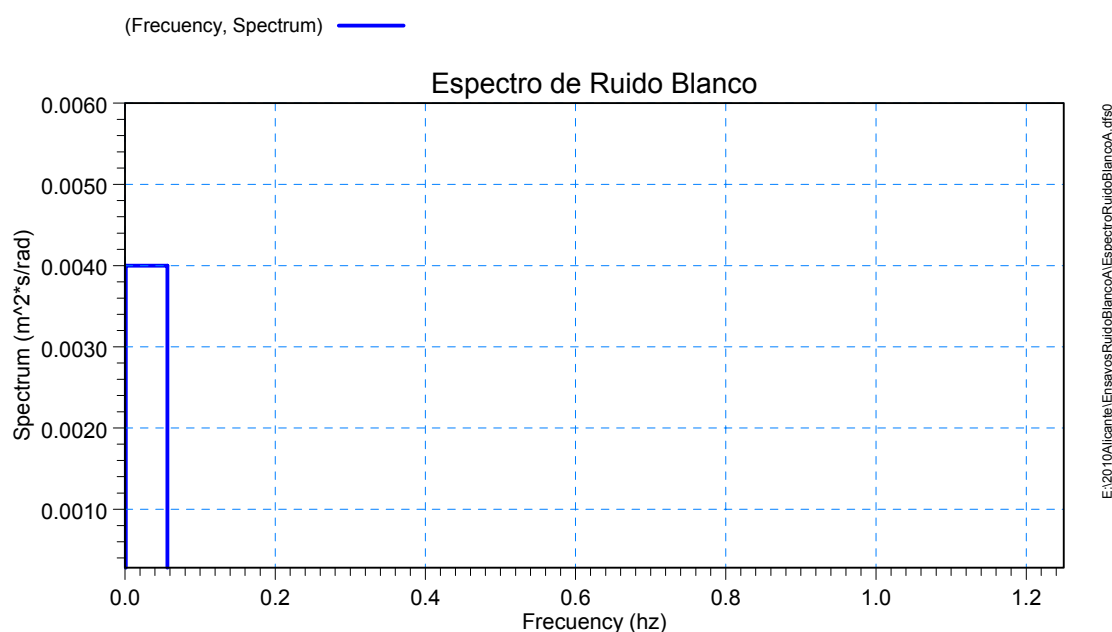


Figura 2.3.5 Espectro de ruido blanco

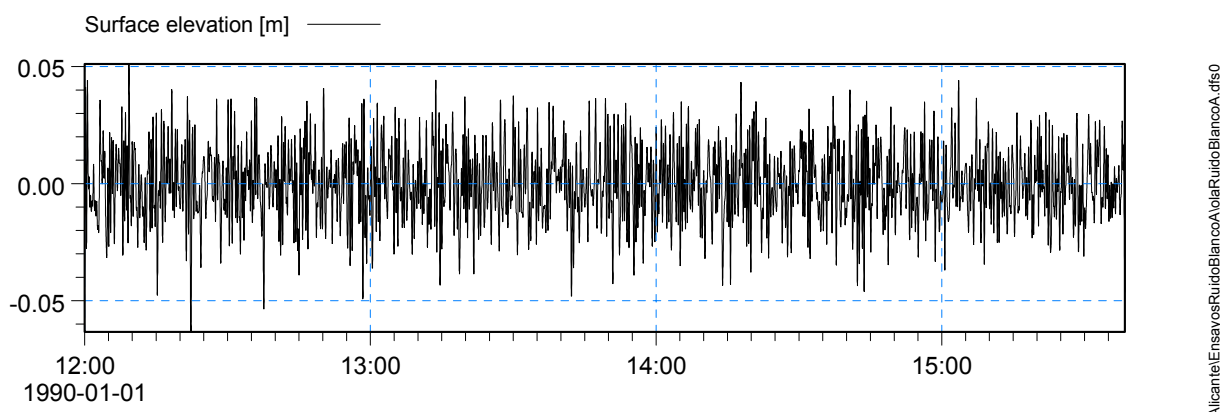


Figura 2.3.6 Registro obtenido a partir del espectro de ruido blanco

En los ensayos numéricos de ruido blanco se ha utilizado la versión clásica o estándar de las ecuaciones de Boussinesq ya que los períodos de oleaje generados del espectro de ruido blanco cumplen sobradamente la condición de aplicación de las ecuaciones del modelo: (profundidad (h) / Longitud de onda (L) < 0.22) en todo el rango de profundidades del área de estudio.

La resolución temporal, por otra parte ha de ser suficientemente pequeña para resolver las olas de menor período y además, en combinación con la discretización espacial, ha de verificar que el número de Courant debe ser: $Cr = \Delta t (gh)^{1/2} / \Delta x < 1$. Para cumplir ambos requisitos se ha utilizado una discretización temporal igual a $\Delta t = 0.4s$.

PUNTOS DE CONTROL

A partir del análisis espectral de las series temporales de elevaciones de la superficie libre obtenidas en los ensayos matemáticos en una serie de puntos de control seleccionados en el interior de las dársenas del Puerto de Alicante, se puede determinar los períodos naturales de oscilación de estas dársenas. Estos puntos están situados en las proximidades de las paredes o contornos de las dársenas, que es donde se producen los antinodos de las oscilaciones resonantes. En la Tabla 2.3.1 se enumeran los puntos de control seleccionados y en las Figuras 2.3.7 y 2.3.8 se muestran su situación en cada una de las mallas utilizadas en los ensayos de ruido blanco.

Para cuantificar las amplificaciones que experimentan las amplitudes de los períodos resonantes respecto de la amplitud constante impuesta a todos los períodos en el registro de entrada, se calculan en cada uno de los puntos de control los coeficientes de amplificación que se definen como el cociente entre la amplitud calculada por el modelo y la amplitud de la señal de entrada, de cada una de las frecuencias f_i del espectro de ruido blanco,:

$$\text{Amplificación } (f_i) = \frac{A(f_i)}{A_0} = \sqrt{\frac{S(f_i)}{S_0}}$$

Siendo S_0 la densidad de energía constante del espectro de ruido blanco y $S(f_i)$ la obtenida en el punto de control; A_0 y $A(f_i)$ la amplitud de la onda de período $1/f_i$ en el registro de oleaje de entrada y en el registro de oleaje calculado.

Los resultados obtenidos en los dos ensayos de ruido blanco: espectros sin suavizar y gráficas de coeficientes de amplificación, se presentan en el último apartado 6 de figuras. Delante de estas gráficas se representan las series temporales en las sondas de control obtenidas en los dos ensayos de ruido blanco.

Tabla 2.3.1. Puntos de control ensayo de ruido blanco	
Puntos	Dársena - Posición
P1	Exterior- ángulo mulles nº 12 y nº 10
P2	Exterior – Posición mareógrafo.
P3	Exterior – ángulo muelles nº 12 y nº14
P4	Exterior- Cara interior del dique de abrigo
P5	Interior – Pared del fondo de la dársena
P6	Interior – Muelle Este
P7	Interior – Muelle Oeste
P8	Antigua D. Pesquera – Fondo
P9	Antigua D. Pesquera – Frente a bocana
P10	Central – Fondo dársena
P11	Central – Pared Lateral
P12	Sur – Fondo dársena
P13	Sur – Pared Lateral
P14	Pesquera – Fondo dársena
P15	Pesquera – Pared Lateral

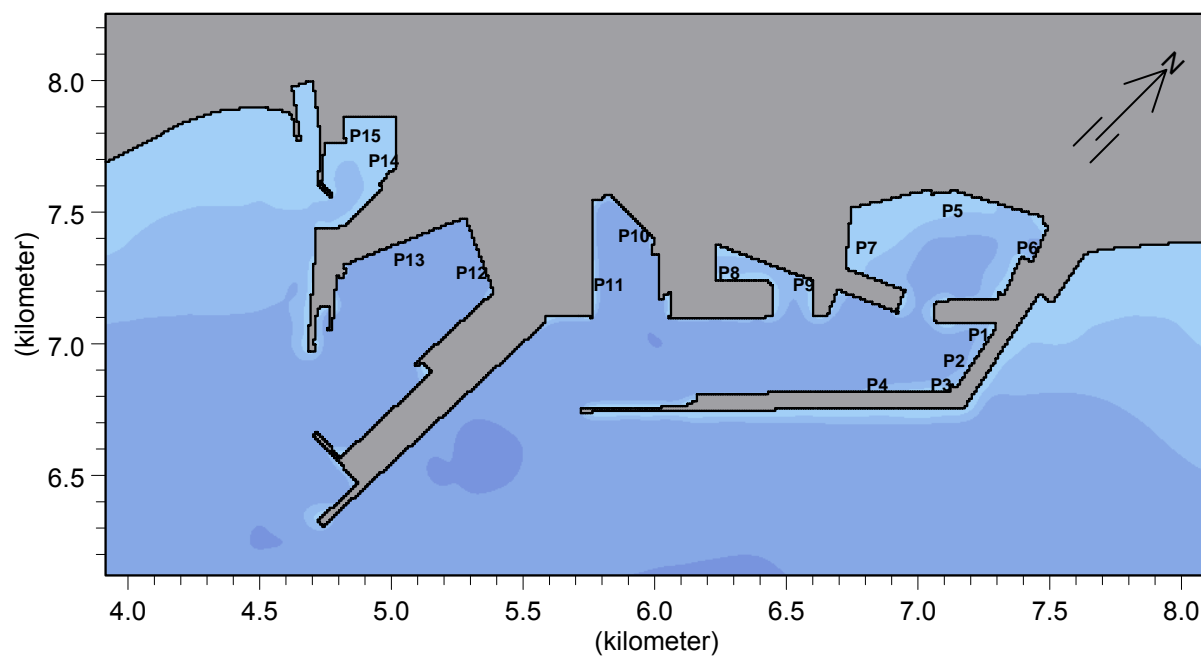


Figura 2.3.7 Puntos de control en la configuración actual

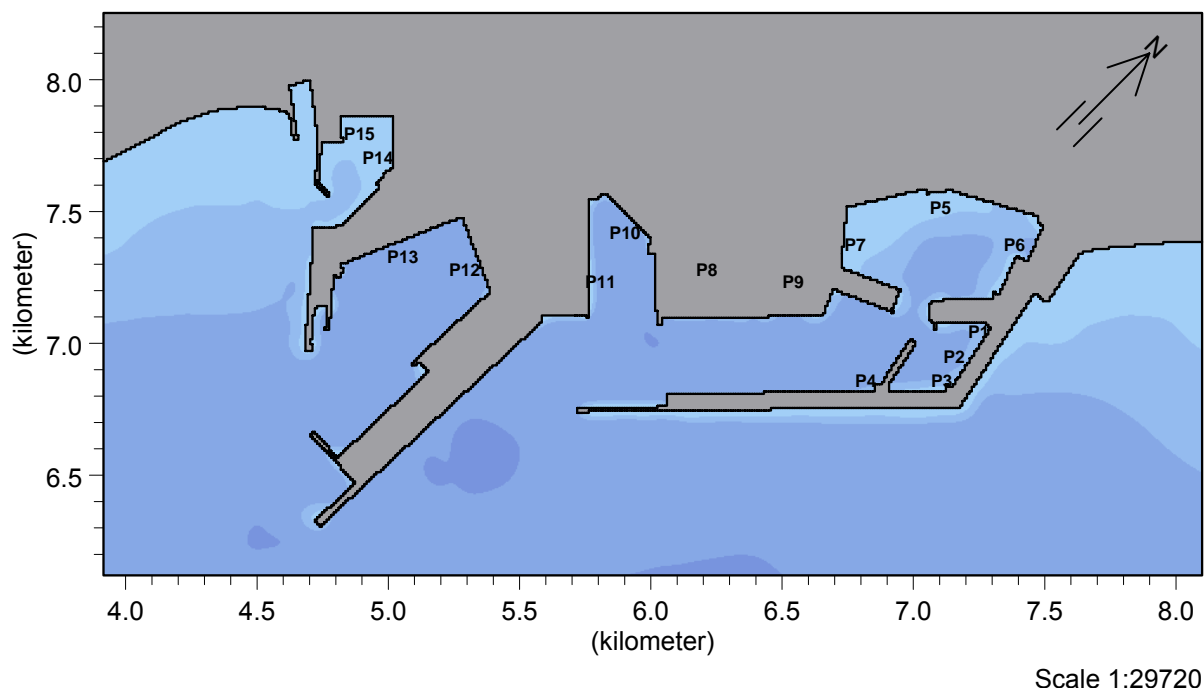


Figura 2.3.8 Puntos de control en la configuración futura

3. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE RUIDO BLANCO

En las gráficas de las Figuras 3.1 a 3.3 se representan las series temporales obtenidas en los quince puntos de control considerados en el ensayo de ruido blanco de la configuración actual, situados cuatro de ellos en la dársena exterior y los restantes en las distintas dársenas del puerto (Figuras 2.3.7). En la mayoría de las series temporales representadas se observa una variación de largo período del nivel medio. Esta variación resulta más apreciable en los puntos de control de la dársena interior y pesquera.

En las gráficas de las Figuras 3.4 a 3.6 se representan las correspondientes series temporales obtenidas en los puntos de control del ensayo de ruido blanco de la configuración futura.

Estas variaciones de largo período del nivel medio que se observan en las gráficas de las series temporales de elevaciones de la superficie se ponen de manifiesto en los espectros de estas series. En las Figuras 3.7 a 3.9 se representan los espectros sin suavizar de las series temporales obtenidas en los puntos de control del ensayo de ruido blanco de la configuración actual y en las Figuras 3.10 a 3.12 los espectros superpuestos obtenidos en los puntos de control en los dos ensayos de ruido blanco realizados, con la configuración actual y la futura. Dado que la antigua dársena pesquera se rellena en la configuración futura, no hay series temporales en los dos puntos de control de esta dársena en el ensayo de ruido blanco de la configuración futura ni por tanto tampoco sus espectros.

Para dar una cierta uniformidad a las gráficas de los espectros, se ha utilizado el mismo fondo de escala del eje de ordenadas para todos los puntos de control situados en el interior de cada una de las dársenas, con excepción del punto de control P1 de la dársena exterior, en donde

como se puede apreciar, algunas frecuencias experimentan un incremento de la densidad de energía muy superior al resto de los otros puntos de control P2 a P4 situados en dicha dársena.

En las gráficas de las Figuras 3.13 y 3.14 se representan los coeficientes de amplificación obtenidos a partir del cociente de las densidades espectrales de las series obtenidas en los ensayos de ruido blanco de la configuración actual respecto de las densidades de la señal sintética de entrada. De igual forma en las Figuras 3.15 y 3.16 se representan los coeficientes de amplificación obtenidos en los puntos de control en el ensayo de ruido blanco de la configuración futura.

ESPECTROS EN LOS PUNTOS DE CONTROL DE LA CONFIGURACIÓN ACTUAL

En los espectros sin suavizar de los puntos de control P1 y P2 del ensayo de ruido blanco de la configuración actual (Figura 3.7) se observa un incremento importante de la densidad de energía de las frecuencias entorno a 0.010hz, respecto de la energía constante de estas frecuencias en la señal sintética de entrada (Figura 2.3.5)

Menos significativo aunque también importante es el incremento de la densidad de energía en torno a la frecuencia 0.004hz en los tres puntos de control P1, P2 y P3 de la dársena exterior.

Aunque el resto de las dársenas que conforman el puerto de Alicante no son el objetivo directo de este estudio, dada la importancia que la geometría tiene en este fenómeno físico, se han situado también puntos de control en las demás dársenas del puerto: interior, pesquera, central, sur y nueva dársena pesquera (Figuras 2.3.7 y 2.3.8).

De acuerdo con este planteamiento, se observa en dos puntos de control de la dársena interior P5 y P6 un incremento de la densidad de energía de las frecuencias próximas a 0.010 hz , aunque de menor magnitud que en la dársena exterior.

En los espectros de los puntos de control P8 y P9, en la dársena pesquera, se aprecia un incremento importante de energía, superior en orden de magnitud al observado en el punto P1, entorno a la frecuencia 0.004hz en el punto P8 y a la frecuencia 0.011hz en el punto P9.

En el resto de las dársenas del puerto de Alicante, aunque también se observa que aumenta la densidad de energía entorno a ciertas frecuencias, estos incrementos son inferiores a los detectados en las dársenas exterior y pesquera.

ESPECTROS EN LOS PUNTOS DE CONTROL DE LA CONFIGURACIÓN FUTURA

La representación gráfica de los espectros superpuestos en cada punto de control, Figuras 3.10 a 3.12, correspondientes a los dos ensayos de ruido blanco realizados de las configuraciones actual y futuras revelan claramente cómo influye la obra de remodelación de la dársena exterior, y por tanto la geometría de esta dársena, en las frecuencias de resonancia.

Salta a primera vista que las frecuencias que incrementan de forma apreciable su energía son distintas en la configuración futura a las frecuencias que aumentan su energía en la configuración actual.

En concreto las frecuencias entorno a 0.010hz en los espectros de los puntos de control P1 y P2 no experimentan un incremento de energía, sin embargo aparecen unos picos muy pronunciados en las frecuencias 0.004hz y 0.005hz., que si bien también aparecían en los espectros de estos puntos en el ensayo de la configuración actual, en el de la configuración futura destacan mucho más. Además hay que señalar que estos dos picos aparecen de forma muy marcada en los tres puntos de control P1, P2 y P3 que están dentro de la pequeña

dársena que está prevista construir al fondo de la dársena exterior. Sin embargo en el espectro del punto P4, exterior a esta dársena, estos dos picos casi desaparecen.

En la dársena interior sin embargo, no se modifican las frecuencias que incrementan la densidad de energía, aunque sí se modifican los incrementos de energía de estas frecuencias respecto del experimentado en el ensayo de la configuración actual. En concreto el incremento de energía de la frecuencia 0.010hz es bastante mayor con la configuración futura en los puntos de control P6 y P7.

Como ya se indicó la dársena pesquera se rellena en la configuración futura, y por tanto no se han extraído series temporales en los dos puntos interiores en el ensayo de la configuración futura

En el resto de las dársenas: Central, Sur y Pesquera, se observa que al igual que en la dársena interior, las frecuencias que experimentan un incremento de energía no se modifican respecto del ensayo de ruido blanco de la configuración actual. Únicamente la frecuencia 0.007hz en el punto de control 11, situado en la dársena central, incrementa su densidad de energía de una forma importante respecto del incremento que experimenta en el ensayo de la configuración actual.

COEFICIENTES DE AMPLIFICACIÓN DE LA CONFIGURACIÓN ACTUAL Y FUTURA.

Para cuantificar el aumento de las amplitudes de las ondas que se corresponden con los incrementos de las densidades de energía observados en los espectros, se han calculado los coeficientes de amplificación en cada punto de control utilizando la expresión que se indica en el apartado 2.3 y que utiliza las densidades espectrales de la señal obtenida en cada ensayo y de la densidad constante de la señal sintética de entrada..

Para simplificar el análisis de los coeficientes de amplificación, se han suavizado los espectros de las series temporales de elevaciones de la superficie libre antes de calcular dichos coeficientes.

En las Figuras 3.13 se presentan los coeficientes de amplificación obtenidos en los cuatro puntos de control de la dársena exterior en el ensayo de ruido blanco de configuración actual y en la Figura 3.14 los coeficientes de amplificación del resto de los puntos de control obtenidos en este ensayo. De igual forma en la Figura 3.15 se presentan los coeficientes de amplificación obtenidos en los puntos de control de la dársena exterior en el ensayo de ruido blanco de la configuración futura y en la Figura 3.16 la del resto de los puntos de control de este ensayo. En todas las gráficas se ha empleado un eje de abscisas de períodos en lugar de frecuencias para mejorar su interpretación.

En cada una de las gráficas se puede apreciar de una forma cuantitativa la amplificación que experimentan las amplitudes de las distintas ondas que forman la señal sintética de entrada respecto a la amplitud constante de las mismas en la señal de entrada.

En base a estas gráficas se seleccionaran las frecuencias de los ensayos monocromáticos que se efectuarán en el siguiente apartado y que permitirán determinar el modo de oscilación resonante, visualizando el número de nodos y antinodos que se originan.

Este apartado del trabajo se ha centrado particularmente en los puntos de control situados en la dársena exterior y más concretamente en el punto P2, que coincide con la posición del sensor de presión instalado durante tres meses en esta posición.

En la gráfica de coeficientes de amplificación en el punto P2 de la Figura 3.13 se observa la amplificación importante de una banda de períodos entorno a 100s, obteniéndose el pico en 94s, y de otra banda de períodos entorno a 252s. Estos dos períodos 94s y 252s se ensayarán por tanto primero con la configuración actual y después con la configuración futura para comprobar que con esta última disminuye la amplificación que experimental estos períodos, según se desprende de las gráficas de amplificaciones de los puntos P1 y P2 en la Figura 3.15.

Así mismo en la grafica de coeficientes de amplificación en el punto P2 de la Figura 3.15, que recoge los resultados del ensayo de la configuración futura, se aprecia una amplificación importante de los períodos de 205 y 273s en los puntos de control P1 y P2. Por este motivo se ensayarán estos dos períodos para visualizar el número de nodos y antinodos ó tipo de armónico que se produce.

En el apartado final se analizará la influencia que puede tener el que los períodos naturales de oscilación de la configuración futura de la dársena exterior se hayan desplazado hacia períodos mayores respecto a la configuración actual.

4. ENSAYOS MONOCROMÁTICOS

Los ensayos monocromáticos se han realizado con el modelo MIKE21BW, al igual que los ensayos de ruido blanco, con la versión de ecuaciones estándar de Boussinesq, cuyo rango de aplicación (h (profundidad) / L_0 (longitud de onda en aguas profundas) < 0.22) se verifica ampliamente para ondas de largo período. Así mismo la discretización espacial (Δx) y temporal (Δt) de las ecuaciones y del área de estudio empleada en las simulaciones anteriores son también válidas para estos ensayos: $\Delta x = 9\text{m}$ y $\Delta t = 0.4$ y por tanto se han utilizado en los ensayos monocromáticos las mallas de cálculo de la configuración actual y futura empleadas en aquellos ensayos.

Como señal de entrada de estos ensayos se utilizan ondas monocromáticas cuyo período se selecciona entre aquellos que en los ensayos de ruido blanco han experimentado una amplificación de energía importante respecto de la señal sintética de entrada y que por tanto se pueden considerar períodos naturales de resonancia de la dársena exterior del puerto.

Estos ensayos tienen por finalidad detectar el esquema de oscilación periódica, longitudinal o transversal, y calcular a cual de los modos de oscilación de las fórmulas teóricas se corresponde

- Los modos propios de oscilación longitudinales T_n en una dársena rectangular de longitud ℓ_B abierta por uno de sus extremos y profundidad constante h :

$$T_n = \frac{4\ell_B}{(2n+1)\sqrt{gh}}; \quad n = 0,1,2,\dots$$

El primer modo de oscilación longitudinal ($n = 0$) corresponde a un antinodo ó máxima elevación de la superficie y velocidad nula en el fondo de la dársena y un nodo ó elevación nula de la superficie y máxima velocidad de las partículas en la bocana. La longitud de onda es $4\ell_B$. Para los modos de orden superior $n > 1$, el fondo de la dársena, que es el borde cerrado, es el antinodo y la bocana o borde abierto el nodo y entre estos dos puntos hay n nodos.

- Los modos propios de oscilación transversal T_n , en una dársena rectangular de longitud ℓ_B entre paredes y profundidad h :

$$T_n = \frac{2\ell_B}{n\sqrt{gh}}; \quad n = 1, 2, \dots$$

El primer modo de oscilación transversal ($n = 1$) tiene dos antinodos en los dos extremos y un nodo en el punto medio $L/2$ y la longitud de onda es $2\ell_B$.

Los modos de orden superior $n > 1$ siempre hay un antinodo en cada uno de los extremos cerrados y n nodos interiores.

La altura de las señales de entrada monocromáticas es de 0.06m y la duración temporal de los ensayos de 3.6 horas para dar tiempo suficiente a que se alcance un estado cuasi-estacionario y que se produzcan todos los fenómenos físicos tan complejos que se originan en el fenómenos de resonancia.

Del análisis de los coeficientes de amplificación obtenidos en la dársena exterior, se seleccionaron los períodos 94s y 252s para los ensayos monocromáticos con la configuración actual y futura y los períodos 205s y 273s para los ensayos monocromáticos de la configuración futura de la dársena exterior.

Los ensayos matemáticos proporcionan la elevación de la superficie libre en cada uno de los nodos y en cada paso de tiempo a lo largo de la simulación. En cada ensayo monocromático se ha guardado la elevación de la superficie en todos los nodos de la malla y en todos los pasos de tiempo durante 30 minutos para realizar un video de cada ensayo. Estos videos se incorporan al CD que acompaña este informe y permiten visualizar de una forma muy gráfica los resultados de cada ensayo.

Además de los videos de cada ensayo monocromático se presentan las siguientes gráficas:

- Detalle de la señal sinusoidal de entrada del ensayo matemático
- Elevación de la superficie en dos instantes a lo largo de un ciclo completo del período de resonancia a que se refiere el ensayo en cada caso. (Figuras 4.1.1 a 4.1.7 y 4.2.1 a 4.2.7)
- Series temporales obtenidas en los puntos de control situados en la dársena exterior con la señal monocromática de entrada superpuesta (en color verde) (Figuras 4.3.1 a 4.3.7).

5. RESUMEN Y CONCLUSIONES

La Autoridad Portuaria de Alicante (APA) tiene en proyecto remodelar la dársena exterior y para tal fin Puertos del Estado ha solicitado al CEPYC la realización de una serie de estudios para determinar las condiciones de agitación y onda larga de la futura dársena exterior una vez finalizadas las obras de remodelación. Estos estudios han consistido fundamentalmente en una campaña de medida de oleaje y onda larga en esta dársena y en la realización de ensayos numéricos de agitación y onda larga encaminados a la consecución de los objetivos mencionados.

El presente informe forma parte del conjunto de estudios realizados en el CEPYC y tiene por objeto analizar la onda larga en la dársena exterior del Puerto de Alicante mediante ensayos matemáticos que determinen las frecuencias naturales de resonancia de la configuración actual de la dársena exterior, validando los resultados de los ensayos con los datos de campo y determinar las modificaciones que experimentarán las frecuencias de resonancia y los coeficientes de amplificación después de las obras de remodelación. Finalmente se han realizado ensayos monocromáticos de las frecuencias que han destacado por tener un coeficiente de amplificación importante en los ensayos de ruido blanco de ambas configuraciones.

Los ensayos numéricos se han realizado con el módulo de Boussinesq del modelo MIKE21, desarrollado en el DHI (Danish Hydraulic Institute).

CAMPAÑA DE DATOS EN LA NATURALEZA

En el primer punto del segundo apartado de este informe se hizo un breve resumen de la campaña de toma de datos realizada por el Sector de Medidas en la Naturaleza del CEPYC, de tres meses de duración, en la dársena exterior y de los resultados más destacados en cuanto a onda larga se refiere.

En esta campaña se instaló un perfilador y medidor de oleaje Doppler en el muelle nº14 en el dique de abrigo y un sensor de presión en el cantil del muelle nº12.

Los resultados más destacados de esta campaña son la matriz de alturas – periodos de oleaje registrados por el sensor de presión, la matriz de alturas – períodos de onda larga procesados a partir de la señal registrada del sensor de presión y finalmente varios episodios importantes de onda larga a lo largo de los tres meses que duró la campaña de medida, entre los que se encuentran los días 14 y 15 de Diciembre de 2009 y 8 y 27 de Enero 2010.

En los episodios más destacados de onda larga que se presentaron los días 14 y 15 de Diciembre y 8 de Enero de 2010 se observa que la onda larga procesada tiene un período de 228s, que en algunas ocasiones puede ser algo inferior, 215 y 205s y una altura que oscila entre los 8cm y 20cm.

Los oleajes registrados por la Boya de Alicante, simultáneos con estos datos destacados de onda larga, proceden de los sectores NE y ENE, las alturas significantes son superiores a 2.5m y los períodos óptimos están entre 11s y 12s.

En el episodio del 27 de Enero de 2010, los períodos de onda larga están entorno a los 80, 90 y 100s, con alturas inferiores a las señaladas anteriormente, entorno a 5cm aproximadamente.

Los oleajes de la boya de Alicante simultáneos con esta fecha proceden de las mismas direcciones que las ya indicadas, es decir NE y ENE, si bien la altura significativa y los períodos óptimos son inferiores, aproximadamente de 2m de altura y entre 8s y 9s de período óptimo.

DATOS DE LA BOYA DE ALICANTE.

En el segundo punto del segundo apartado se presenta una estadística de los datos de oleaje registrados por la boya de Alicante durante un período que abarca desde 1996 a 2010. Esta estadística incluye los porcentajes de presentación de los sectores de una rosa de 16 puntas y los histogramas de altura significativa (H_s) y períodos óptimos (T_p) de los sectores comprendidos entre las direcciones N y S, considerados las más representativas para este estudio dada la alineación de la costa en las proximidades del puerto.

En los histogramas de períodos óptimos correspondientes a los sectores del primer cuadrante se aprecia claramente que este parámetro alcanza valores altos, aunque su frecuencia de presentación es relativamente baja, siendo el porcentaje de datos de períodos óptimos iguales o superiores a 10s igual a 1.16% (N), 4% (NNE), 3.83% (NE), 4.18% (ENE) y 0.27% (E).

ENSAYOS DE RUIDO BLANCO

Los ensayos de ruido blanco tienen por objetivo investigar las frecuencias naturales de resonancia de una configuración portuaria. En estos ensayos la señal de entrada se obtiene de un espectro caracterizado por una densidad de energía constante en un rango de frecuencias, y representan un estado sintético del mar. Hay que dejar claro que los ensayos de ruido blanco se utilizan para establecer los períodos naturales de oscilación, pero no se puede concluir que se van a producir oscilaciones de largo período o resonancias en el interior de las dársenas en condiciones de oleaje natural.

Como ya se indicó en el planteamiento general, el objetivo de este estudio consiste en investigar las frecuencias de resonancia de la configuración futura de la dársena exterior y comparar estas frecuencias con las de la configuración actual, que se pueden validar con los datos de onda larga procesados del sensor de presión.

En efecto la APA ha comentado la existencia de fenómenos de resonancia en la dársena exterior y en concreto en el ángulo que forman los muelles nº 12 y nº 10.

Estos ensayos se han realizado con el módulo de Boussinesq del modelo MIKE21. Se han utilizado la versión clásica de las ecuaciones ya que los períodos de la señal sintética de entrada cumplen sobradamente la condición de aplicación de las ecuaciones del modelo ($h/L_0 < 0.22$).

PUNTOS DE CONTROL DE LOS ENSAYOS DE RUIDO BLANCO

Antes de ejecutar los ensayos, hay que seleccionar un conjunto de puntos de control en el interior de las dársenas, donde se guardarán las series temporales de elevación de la superficie libre, cuyo análisis espectral proporcionará los coeficientes de amplificación de cada una de las bandas de frecuencias analizadas.

Estos puntos de control se sitúan en las proximidades de las paredes o contornos de las dársenas, que es donde se producen los antinodos de las oscilaciones resonantes. El punto P2 se ha situado en la posición donde estuvo instalado el sensor de presión durante la campaña y el punto P1 en la posición donde APA ha observado los fenómenos de resonancia.

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE RUIDO BLANCO

En cada uno de los ensayos de ruido blanco con las configuraciones actual y futura del Puerto de Alicante se obtienen en primer lugar las series temporales de elevación de la superficie libre en todos los puntos de control seleccionados.

A partir de las series temporales de elevaciones de la superficie libre se calculan los espectros sin suavizar. Los espectros del ensayo de la configuración actual se han representado de forma individualizada y los espectros del ensayo de la configuración futura se han representado conjuntamente con el correspondiente del ensayo de la configuración actual, con la finalidad de visualizar las diferencias entre ambos ensayos.

Finalmente se han obtenido y representado los coeficientes de amplificación en los puntos de control de los dos ensayos de ruido blanco.

En los espectros obtenidos en los cuatro puntos de control situados en la dársena exterior, se observa un incremento muy importante de la densidad de energía en un amplio conjunto de frecuencias entorno a 0.010hz y muy especialmente en los puntos de control P1 y P2.

La representación gráfica de los espectros superpuestos correspondientes a los puntos P1 a P4, revelan claramente la influencia de las obras de remodelación de la dársena exterior en las frecuencias de resonancia. Se observa en concreto en la gráfica del punto P2 un incremento muy señalado de las densidades de energía de las frecuencias 0.004hz y 0.005hz, que ya aparecían también en el ensayo de la configuración actual aunque de forma menos significativa.

En las graficas de los coeficientes de amplificación se aprecia de forma cuantitativa la amplificación que experimentan las amplitudes de las ondas que forman la señal sintética en cada uno de los puntos de control respecto de la amplitud constante de todas las frecuencias en el registro de entrada.

En base a estas graficas se seleccionaron las frecuencias de los ensayos monocromáticos que se efectuaron en apartado 4, para visualizar el armónico que entra en resonancia y donde se producen los nodos y los antinodos.

Considerando en concreto las gráficas de los coeficientes de amplificación en el punto P2, situado en la posición del sensor de presión, se han ensayado los períodos 94s y 252s con la configuración actual y futura y los períodos 205s y 273s, que se corresponden con los picos de estas gráficas en el punto P2, con la configuración futura.

Los ensayos monocromáticos proporcionan la elevación de la superficie en cada uno de los nodos y en cada paso de tiempo a lo largo de la simulación, y se han ensayado también con el módulo de Boussinesq del modelo MIKE21.

De cada ensayo monocromático se ha preparado un video que visualiza los resultados de cada ensayo, y se adjunta con el CD que acompaña a este informe.

Así mismo se representa gráficamente la elevación de la superficie en dos instantes de la simulación separados un semiperiodo de tiempo, coincidiendo con la aparición de los máximos y mínimos en las posiciones de los antinodos.

También se presentan las series temporales registradas en los cuatro puntos de control P1 a P4 de la dársena exterior con la señal monocromática de entrada superpuesta (en color verde).

De la visualización de los videos y las graficas se desprenden las siguientes conclusiones.

- Efectivamente en el ensayo de la configuración actual de la dársena exterior, el ensayo monocromático de $T=94s$ pone de manifiesto la existencia de una oscilación resonante en el interior del puerto en la que se observa cuatro antinodos: en los dos extremos de la antigua dársena pesquera y en los ángulos formados por los muelles nº 10 y 12 y por los muelles nº 7 y 9 en la dársena exterior. Los dos antinodos en la dársena pesquera y los dos antinodos en la dársena exterior están en oposición de fase.
- La amplificación que experimenta la amplitud de la señal obtenida en los puntos de control respecto a la amplitud de la señal de entrada es el orden de 10 en el punto P1 y algo menos en los otros tres puntos.
- En los el ensayo monocromático $T=94s$ de la configuración futura de la dársena exterior, ya no se aprecia la amplificación o resonancia de la señal de entrada, como se pone de manifiesto en las graficas en dos dimensiones de la elevación de la superficie y las representaciones de las series temporales de los puntos de control, de lo que se deduce que la futura disposición de la dársena es favorable para que no se produzcan fenómenos de resonancia de períodos entorno al período ensayado.
- El ensayo monocromático $T=252s$ con la configuración actual, indica que se produce una oscilación resonante de tipo longitudinal entre el fondo de la antigua dársena pesquera y el tramo medio del dique de abrigo exterior, que de una forma no convencional, afecta también al muelle nº 12 en el fondo de la dársena exterior.
- El ensayo monocromático $T=252s$ con la configuración futura no solo persiste sino que el fenómeno de resonancia aumenta, aunque con un esquema de disposición de los nodos y antinodos distinto del que se da con la configuración actual, ya que la dársena pesquera se ha rellenado en la denominada configuración futura. Este ensayo monocromático muestra un fenómeno de resonancia entre el muelle nº 12, del fondo de la dársena exterior, y el tramo medio del dique de abrigo de tipo longitudinal que correspondería al armónico fundamental o primer modo de oscilación.
- El ensayo monocromático $T=252s$ y los ensayos $T=205s$ y $273s$ realizados con la configuración futura, donde estos dos últimos períodos se corresponden con los dos picos observados en los espectros de los puntos de control P1, P2 y P3, concuerdan en la existencia de oscilaciones de resonancia de tipo longitudinal entre el muelle nº 12 de la dársena exterior y una posición intermedia del dique de abrigo.
- De acuerdo con la campaña de toma de datos en la naturaleza, la existencia de fenómenos de onda larga en el sensor de presión están asociados o son simultáneos a la existencia de oleajes en la Boya de Alicante procedentes de los sectores NE – ENE, con alturas significantes importantes y períodos óptimos superiores a 10s. Si acudimos a la tabla de datos de la Boya de Alicante, el porcentaje de oleajes con períodos óptimos superiores a 10s que procedan de estos dos sectores es relativamente pequeño, 3.83% (NE) y 4.18% (ENE). A su vez el porcentaje de presentación de estos sectores es 1.10 % (NE) y 16.31 (ENE).

Dado que no se dispone de una estadística de ondas largas en el interior del Puerto de Alicante, ya que en la campaña de datos se han producido solo tres episodios significativos, y puesto que cualquier modificación del interior del recinto abrigado modificará la respuesta a los períodos de onda larga, lo único que se puede reseñar de cara a la toma de decisiones es que, asumiendo que el origen de las ondas larga es el oleaje exterior, la remodelación del puerto propuesta por la APA no es aconsejable para las condiciones de oleaje menos frecuentes (Top



CEDEX

> 10s) . Sin embargo para las condiciones reinantes $T_{op} < 10s$ la modificación del interior del puerto en la disposición ensayada mejora apreciablemente las condiciones actuales.

Madrid, 2010

La Directora del trabajo



Fdo.: D^a Alicia Navarro Sáez
Lda. Coordinadora de Programas

Examinado y conforme,

VºBº



Fdo.: D^a M^a Jesús Martín Soldevilla
Dra. en Ciencias Químicas
Jefe del Área de Estudios Portuarios



Fdo. José M^a Grassa Garrido
DIRECTOR DEL CEPYC

Ensayos de Ruido Blanco Series temporales en los Puntos de Control

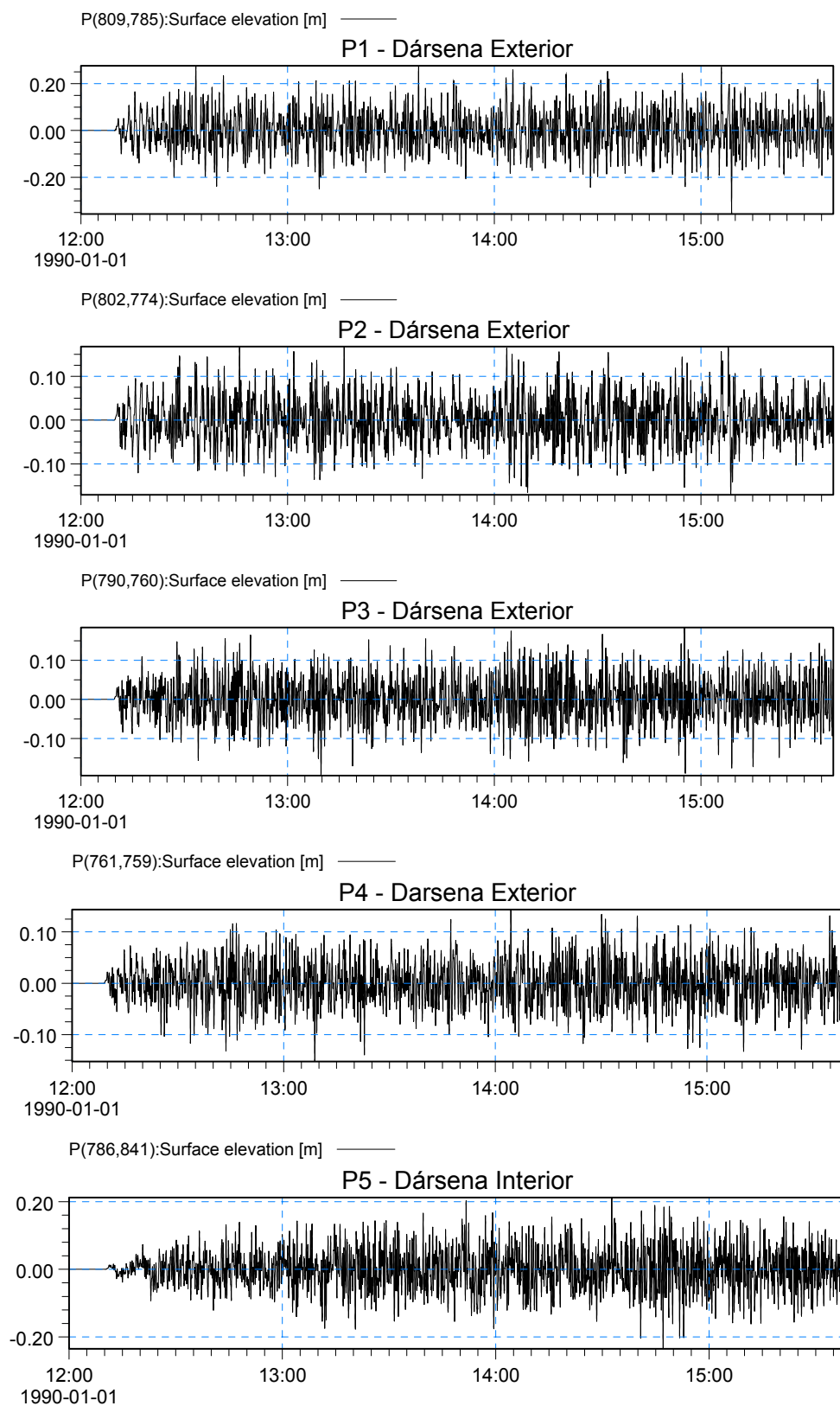


Figura 3.1 Series temporales en los puntos de control.1 a 5 CONFIGURACIÓN ACTUAL.

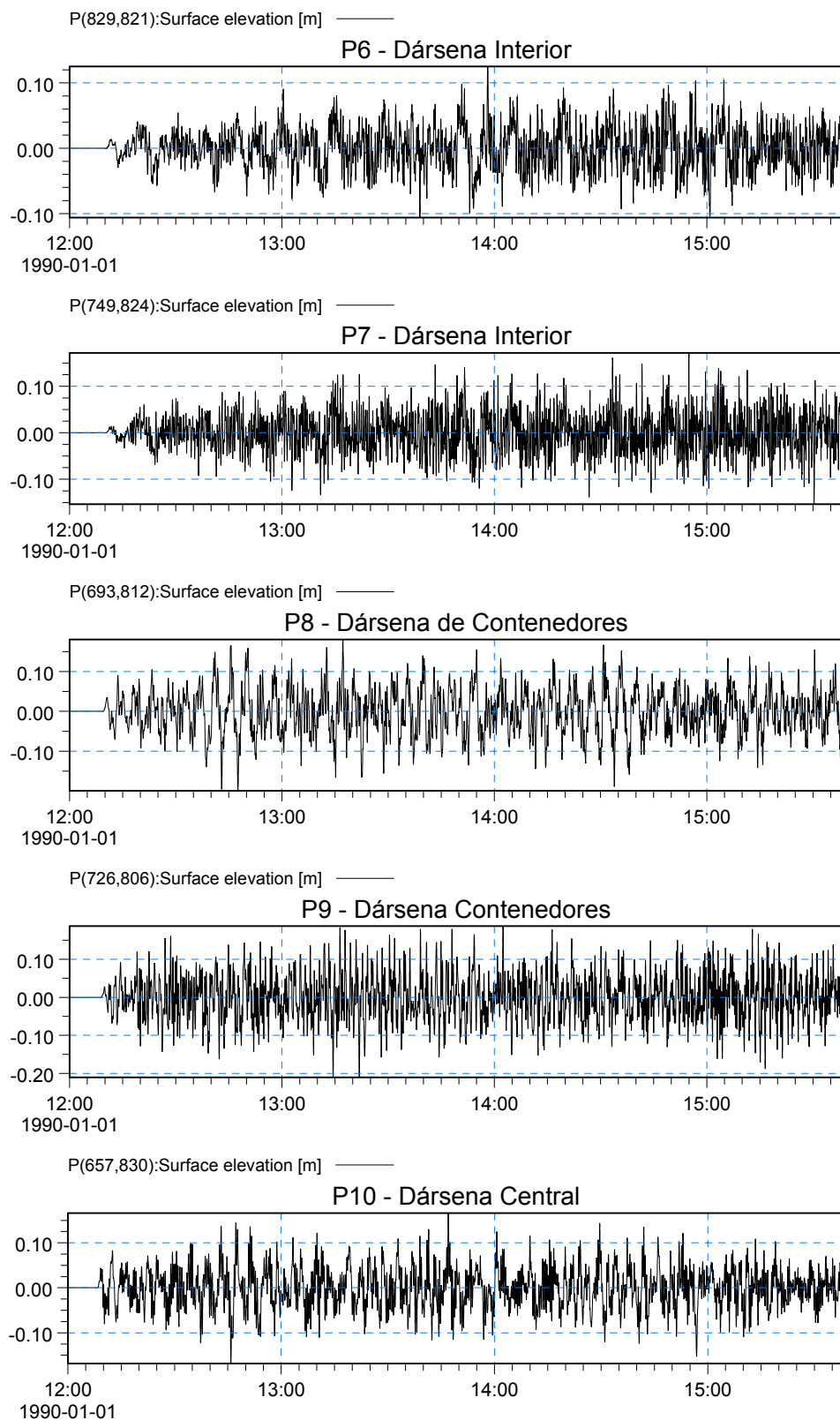


Figura 3.2 Series temporales en los puntos de control 6 a 10. CONFIGURACIÓN ACTUAL

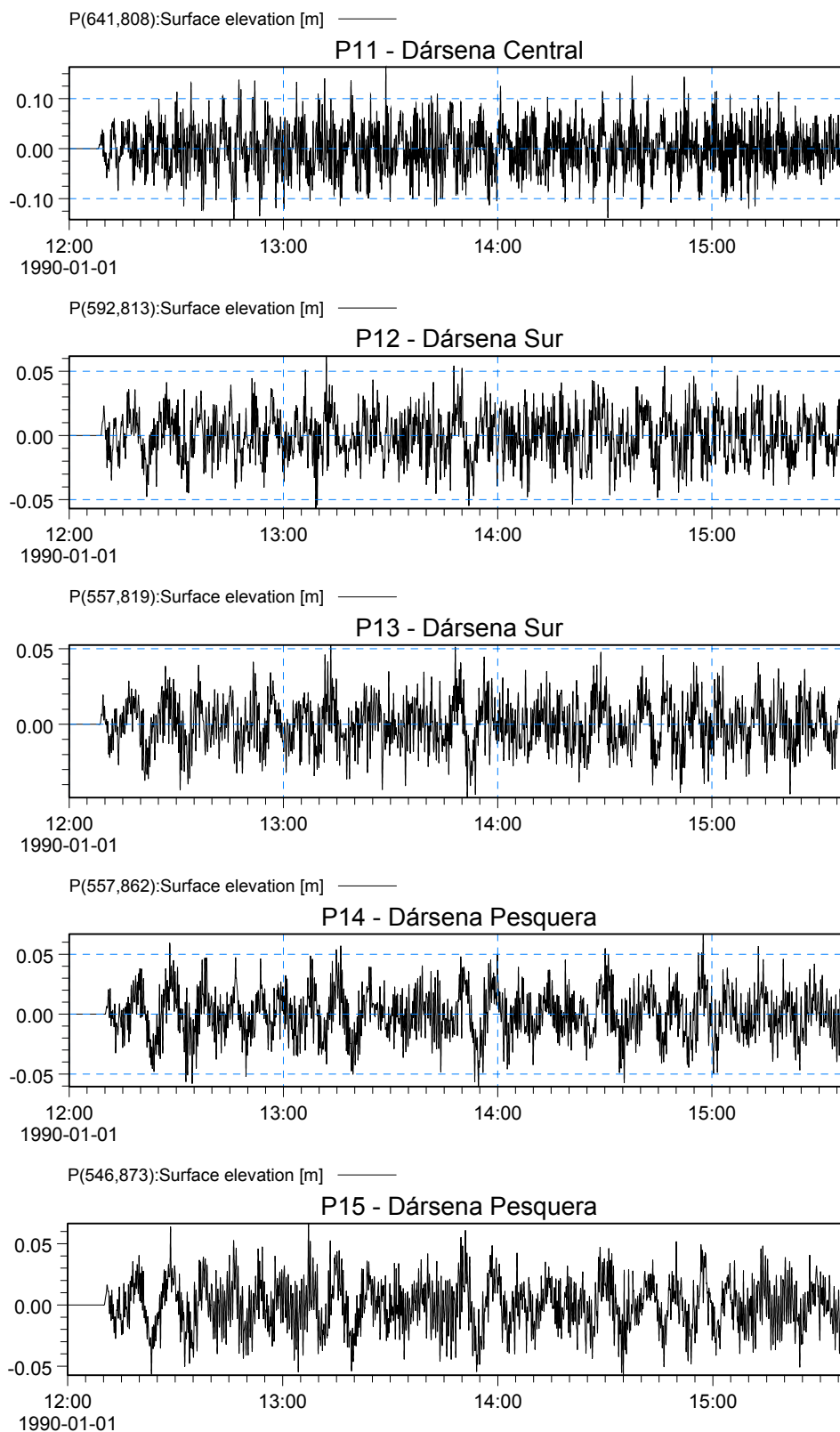


Figura 3.3 Series temporales en los puntos de control 10 a 15. CONFIGURACIÓN ACTUAL

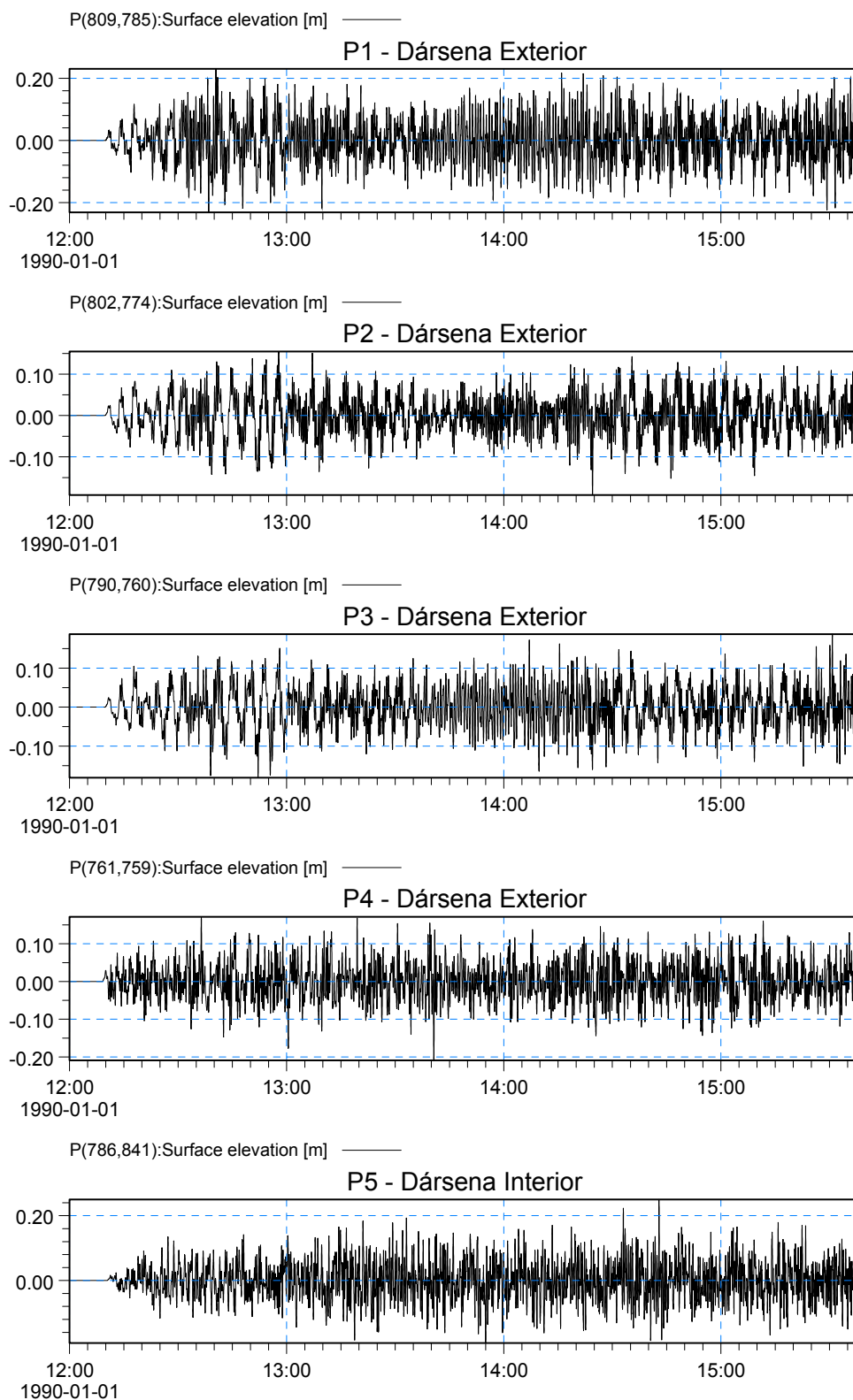


Figura 3.4 Series temporales en los puntos de control 1 a 5. CONFIGURACIÓN FUTURA

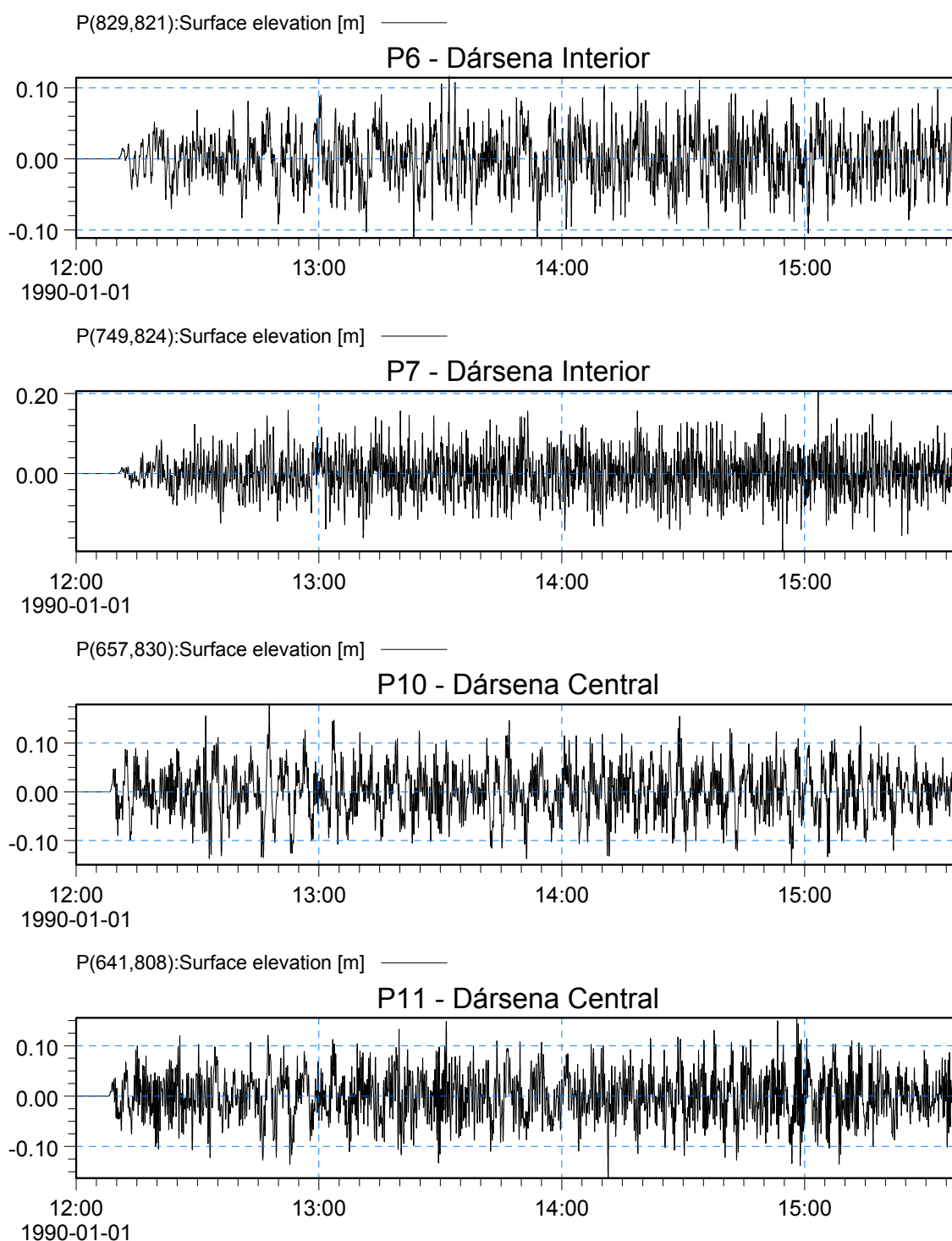


Figura 3.5 Series temporales en los puntos de control 6-7 y 10-11. CONFIGURACIÓN FUTURA

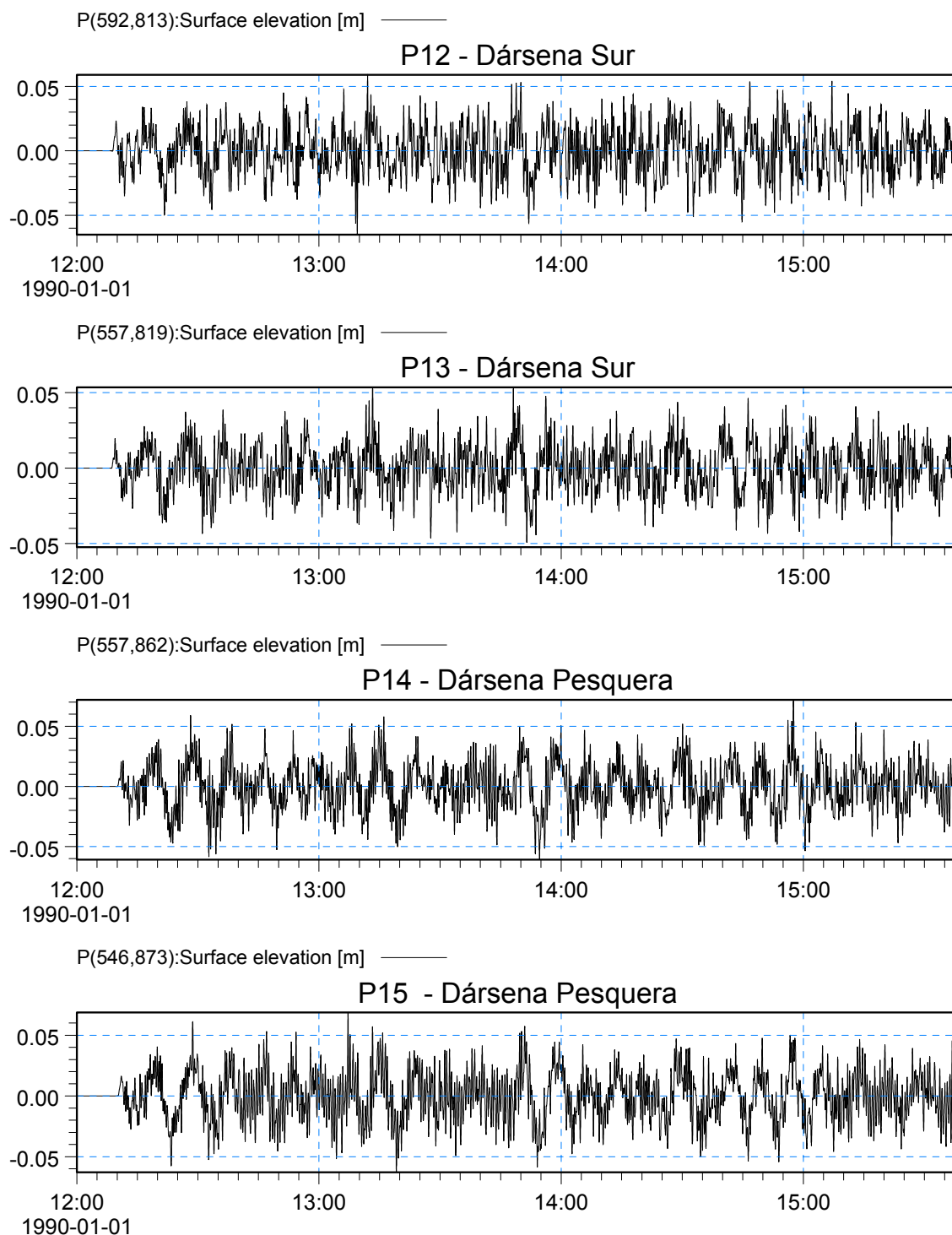


Figura 3.6 Series temporales en los puntos de control 12 a 15. CONFIGURACIÓN FUTURA

Ensayos de Ruido Blanco Espectros sin suavizar de los Puntos de Control

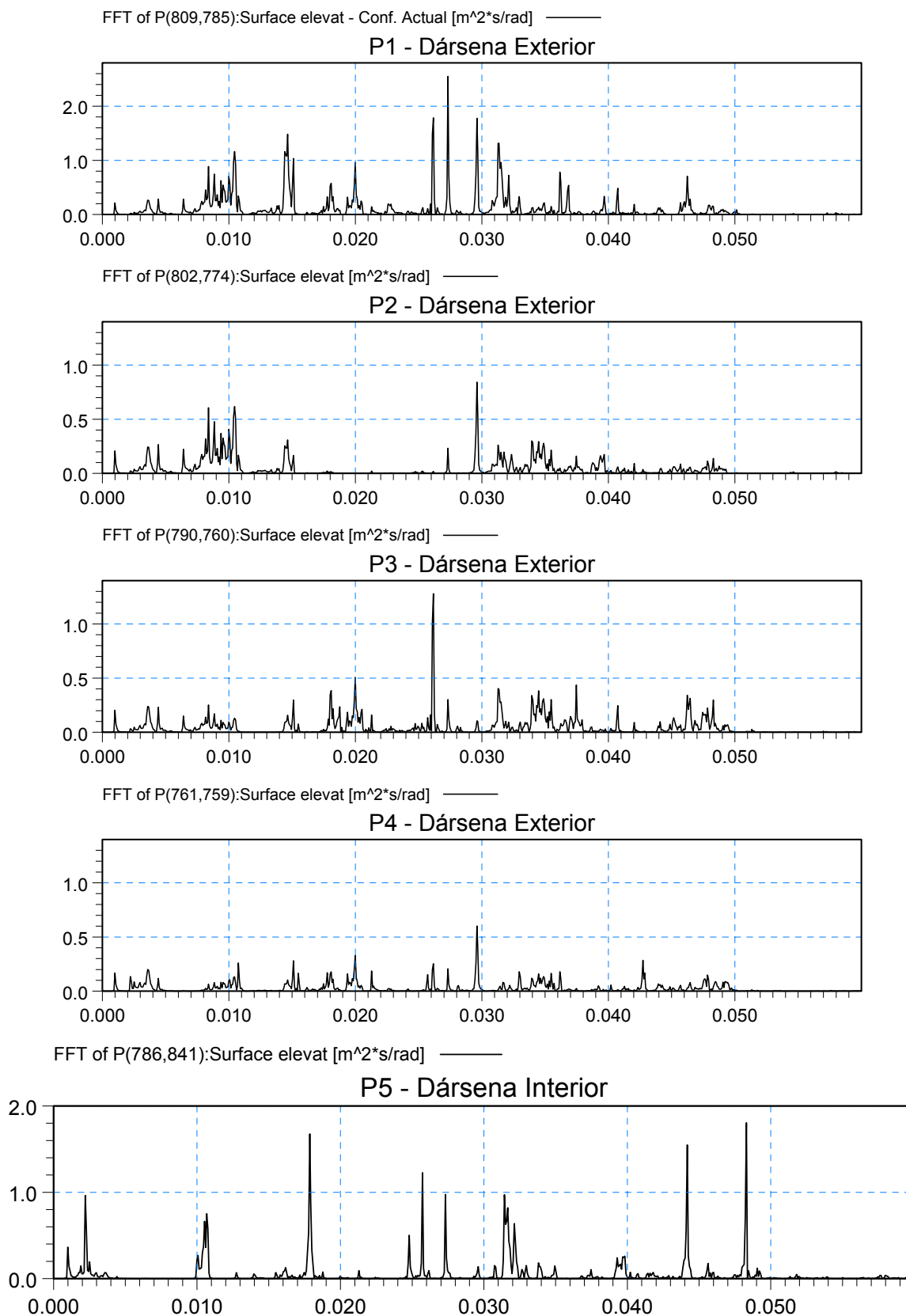


Figura 3.7 Espectros de las series temporales de elevación de la superficie en los puntos de control 1 a 5 del ensayo de ruido blanco de la configuración actual

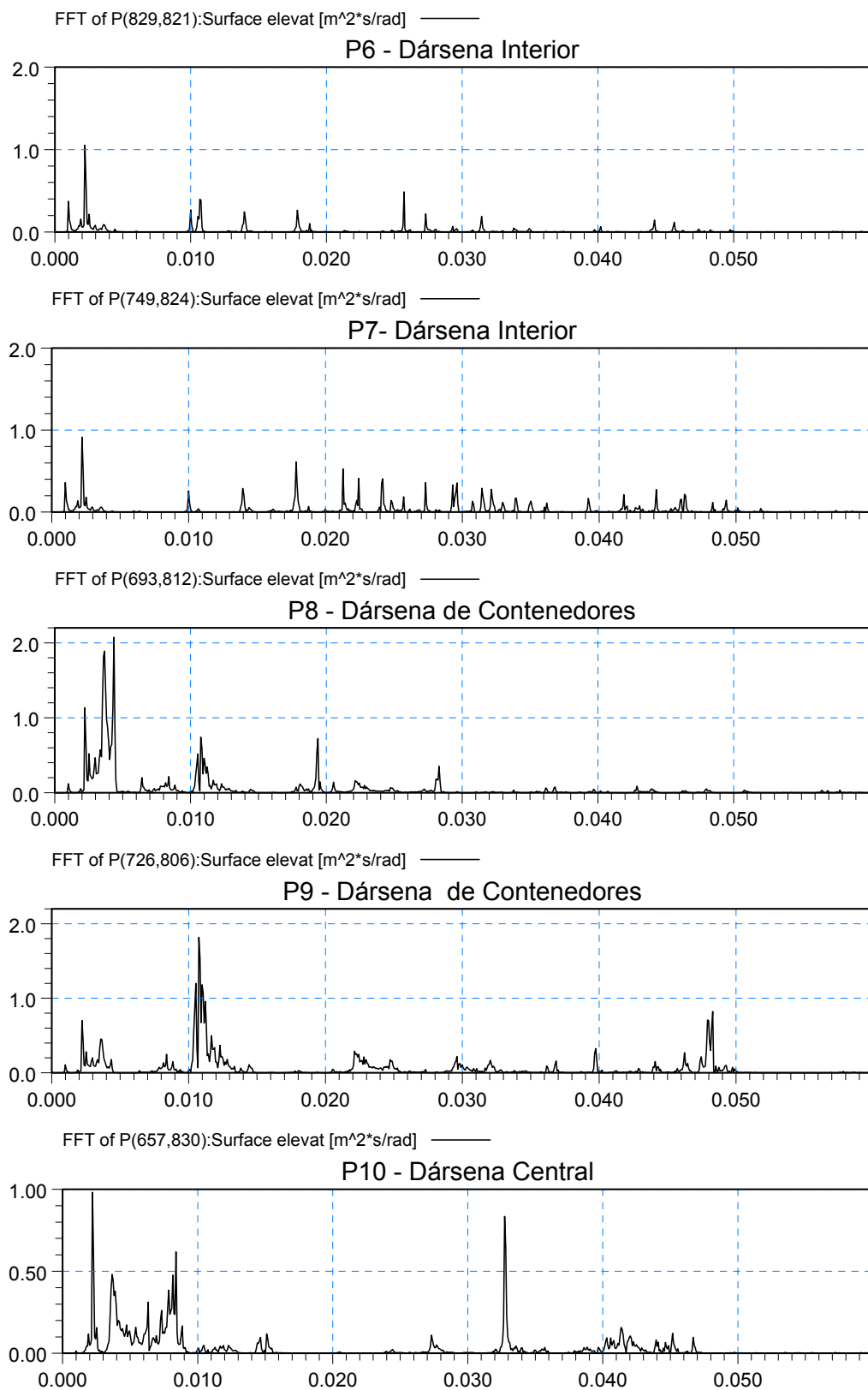


Figura 3.8 Espectros de las series temporales de elevación de la superficie en los puntos de control 6 a 10 del ensayo ruido blanco de la configuración actual

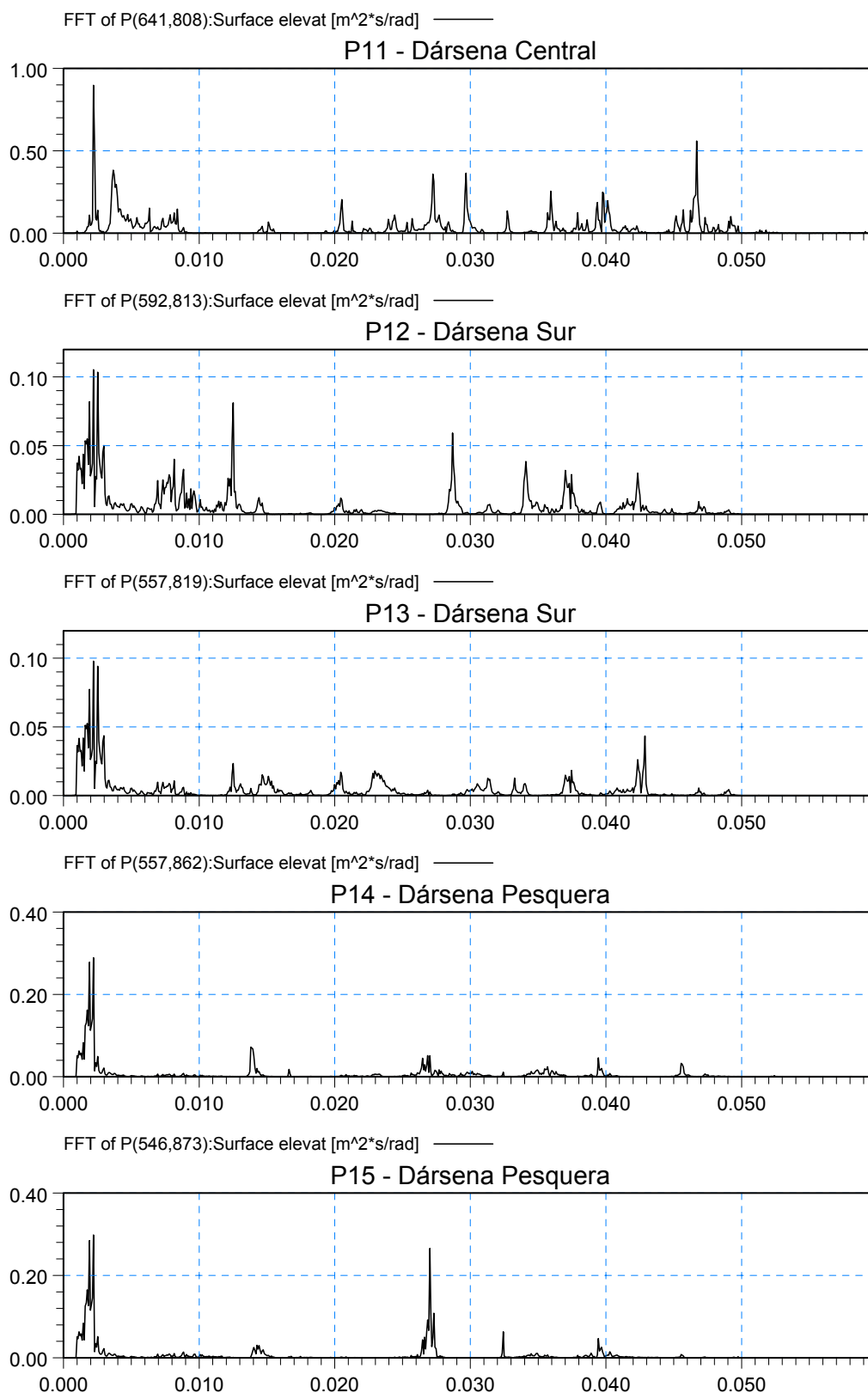


Figura 3.9 Espectros de las series temporales de elevación de la superficie en los puntos de control 11 a 15 del ensayo de ruido blanco de la configuración actual

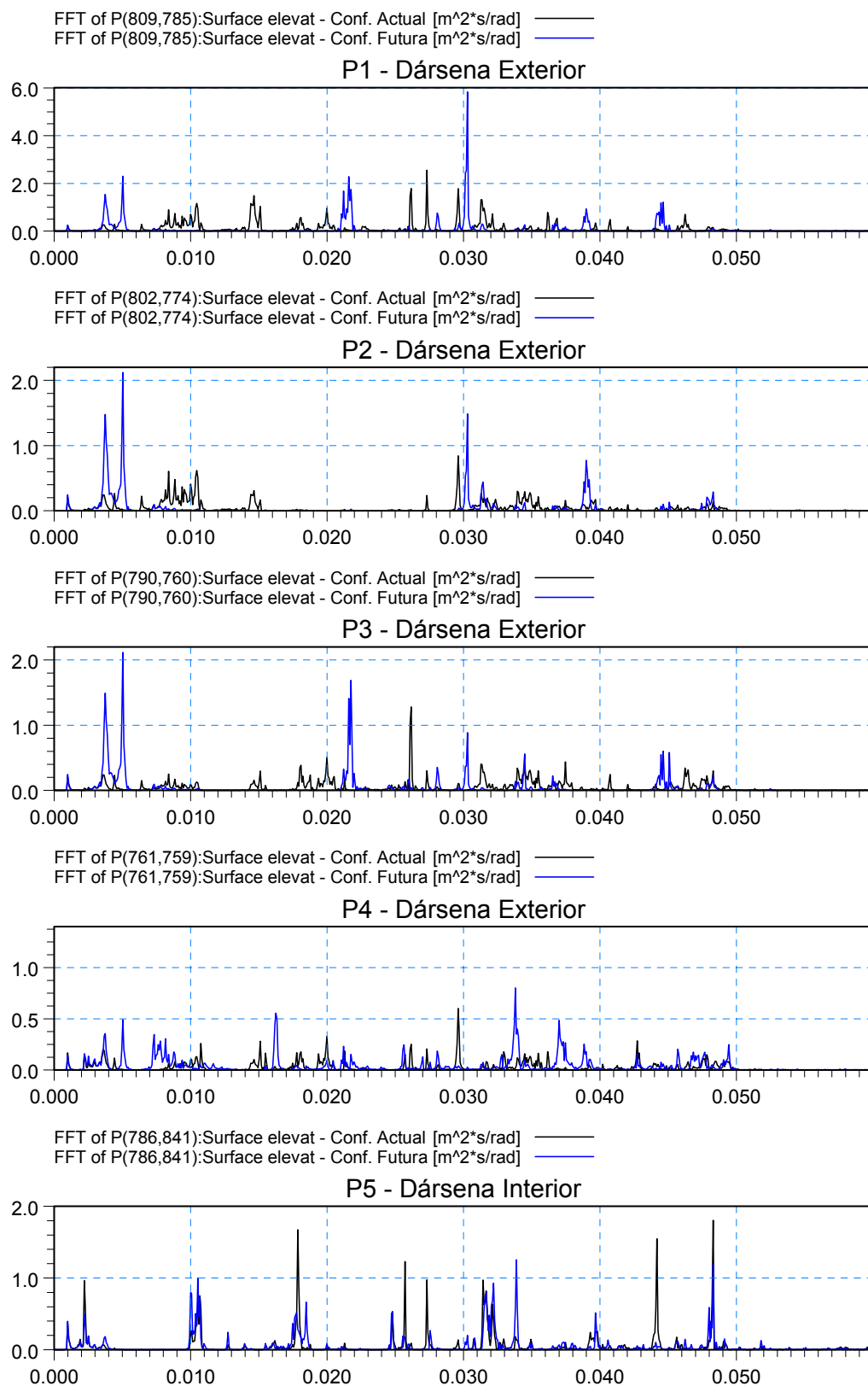


Figura 3.10 Espectros superpuestos de las series temporales de elevación de la superficie en los puntos de control 1 a 5 de los ensayos de ruido blanco de la configuración actual y futura.

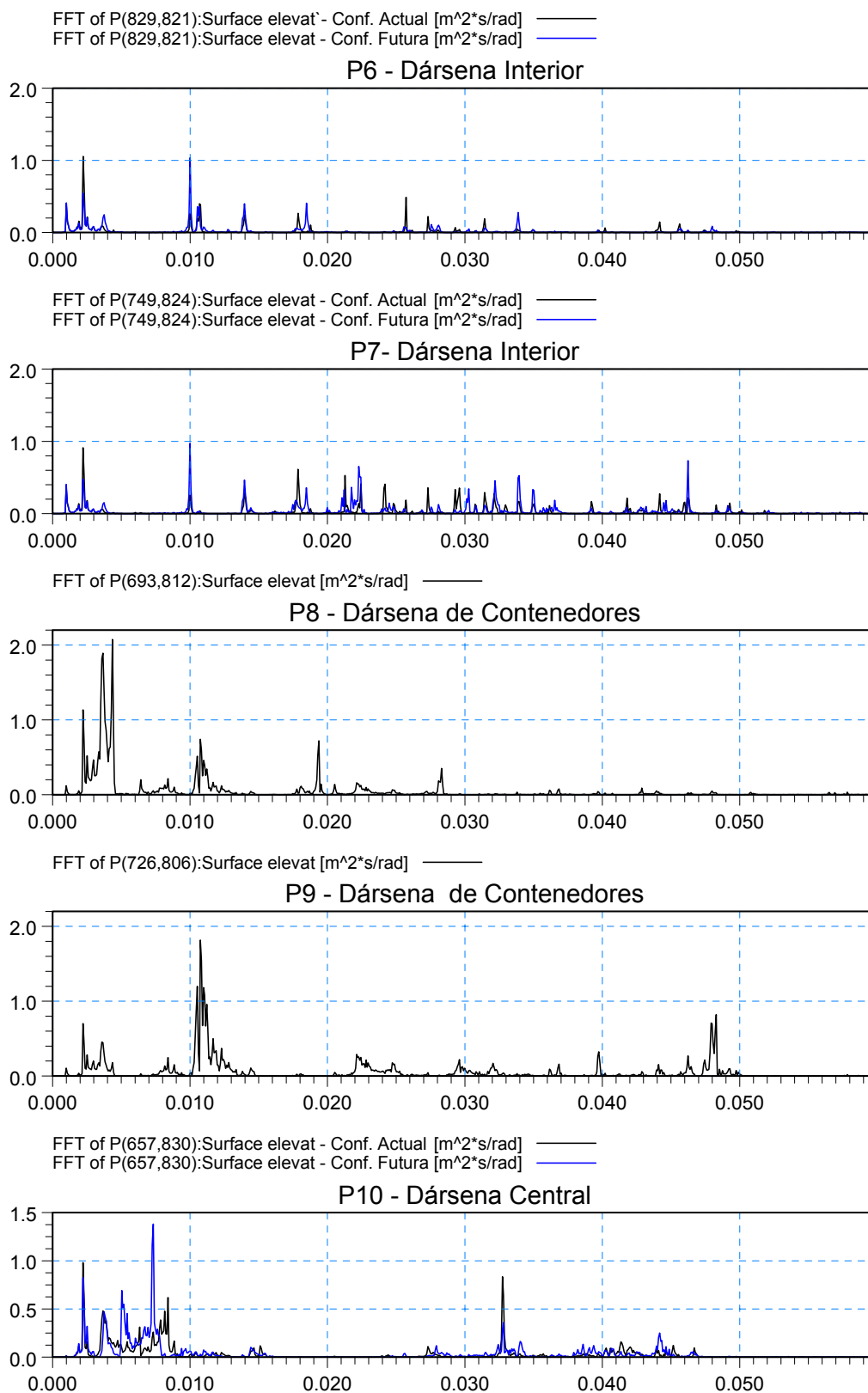


Figura 3.11 Espectros superpuestos de las series temporales de elevación de la superficie en los puntos de control 6 a 10 de los ensayos de ruido blanco de la configuración actual y futura

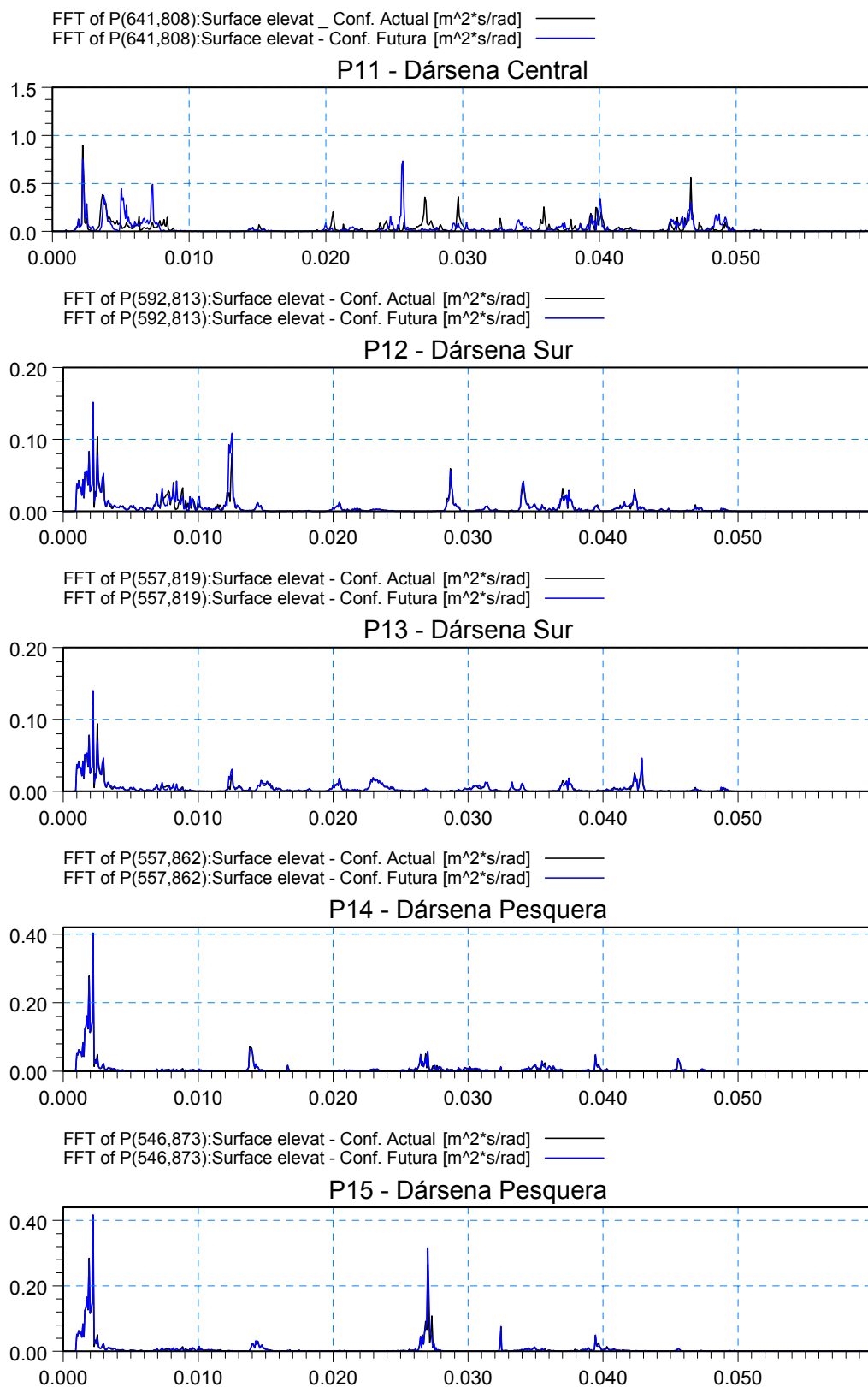


Figura 3.12 Espectros superpuestos de las series temporales de elevación de la superficie en los puntos de control 10 a 15 de los ensayos de ruido blanco de la configuración actual y



CEDEX

futura

Ensayos de Ruido Blanco

Coeficientes de Amplificación de los Puntos de Control

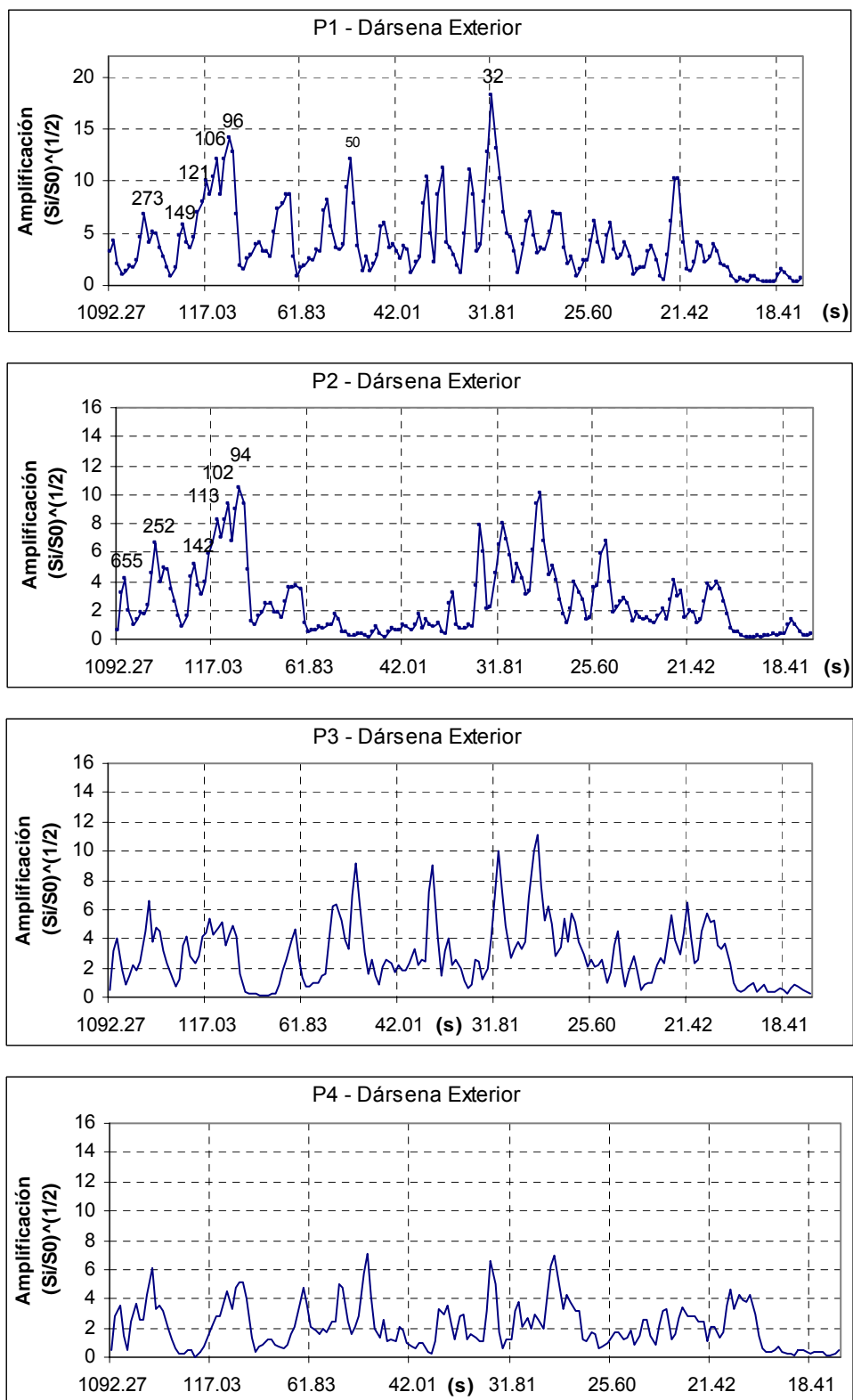


Figura 3.13 Coeficientes de amplificación en los puntos de control 1 a 4 de la dársena exterior.
CONFIGURACIÓN ACTUAL DEL PUERTO DE ALICANTE

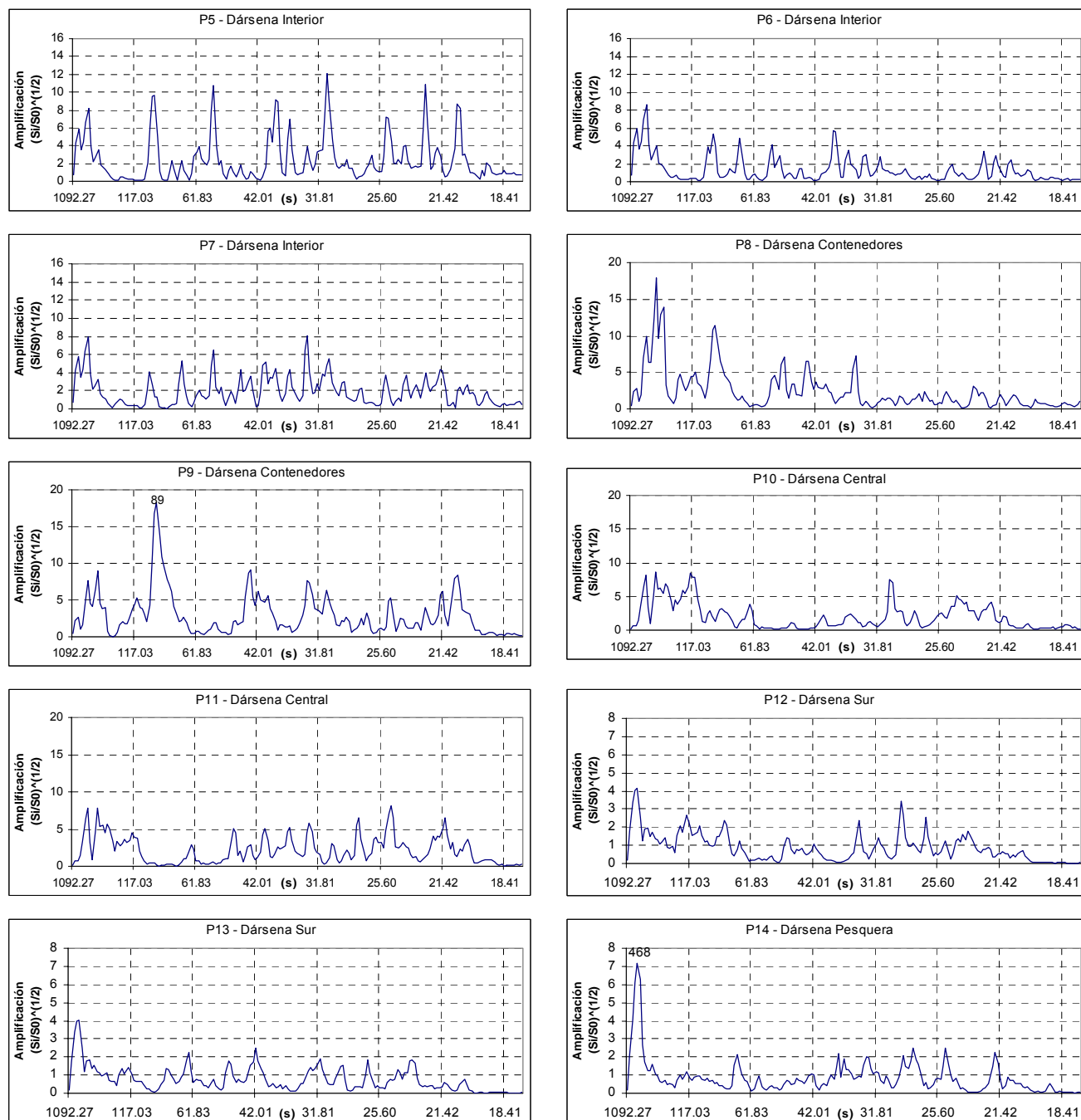


Figura 3.14 Coeficientes de amplificación en los puntos de control 5 a 15.
CONFIGURACIÓN ACTUAL DEL PUERTO DE ALICANTE

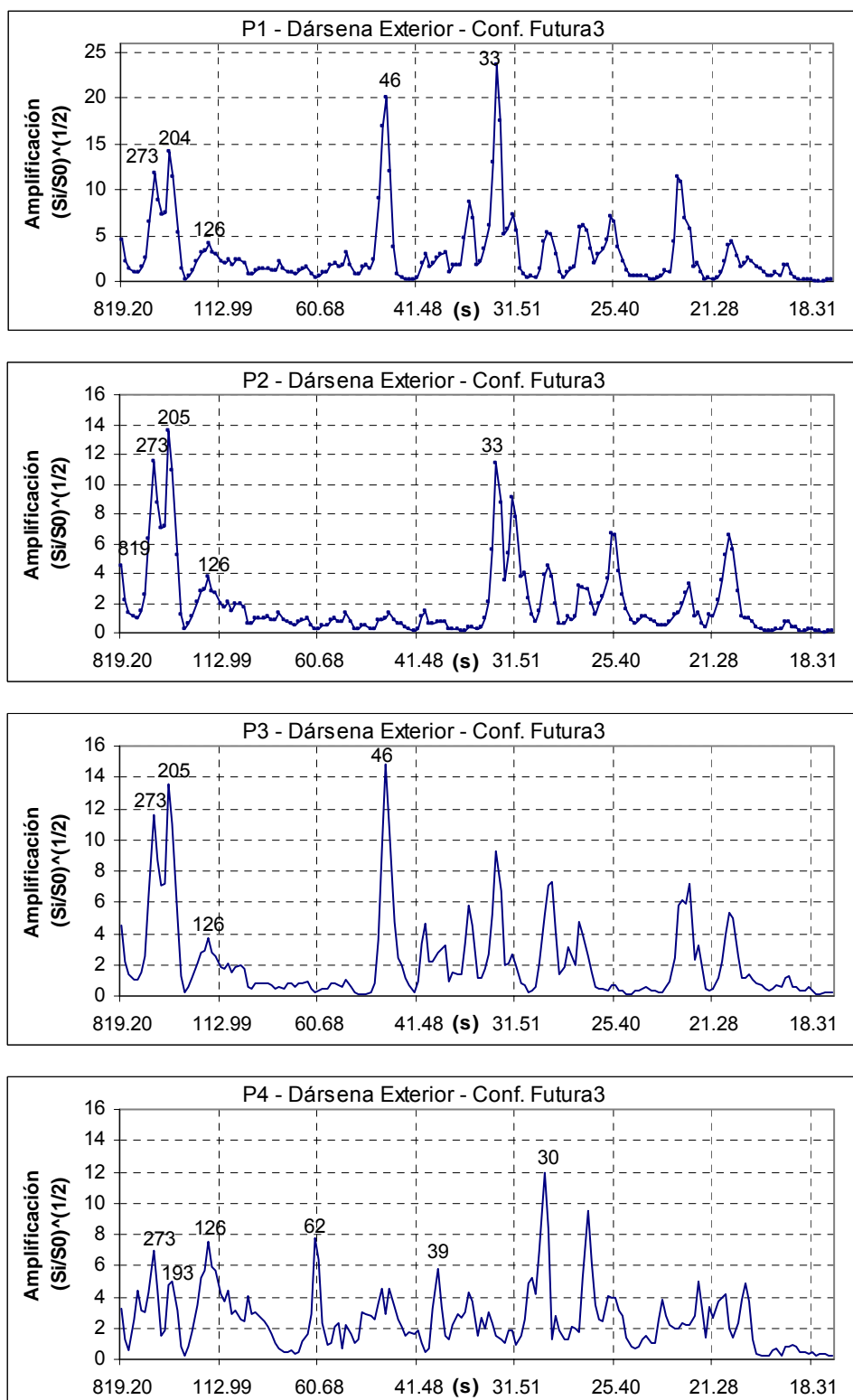


Figura 3.15 Coeficientes de amplificación en los puntos de control 1 a 4 de la dársena exterior.
CONFIGURACIÓN FUTURA DEL PUERTO DE ALICANTE

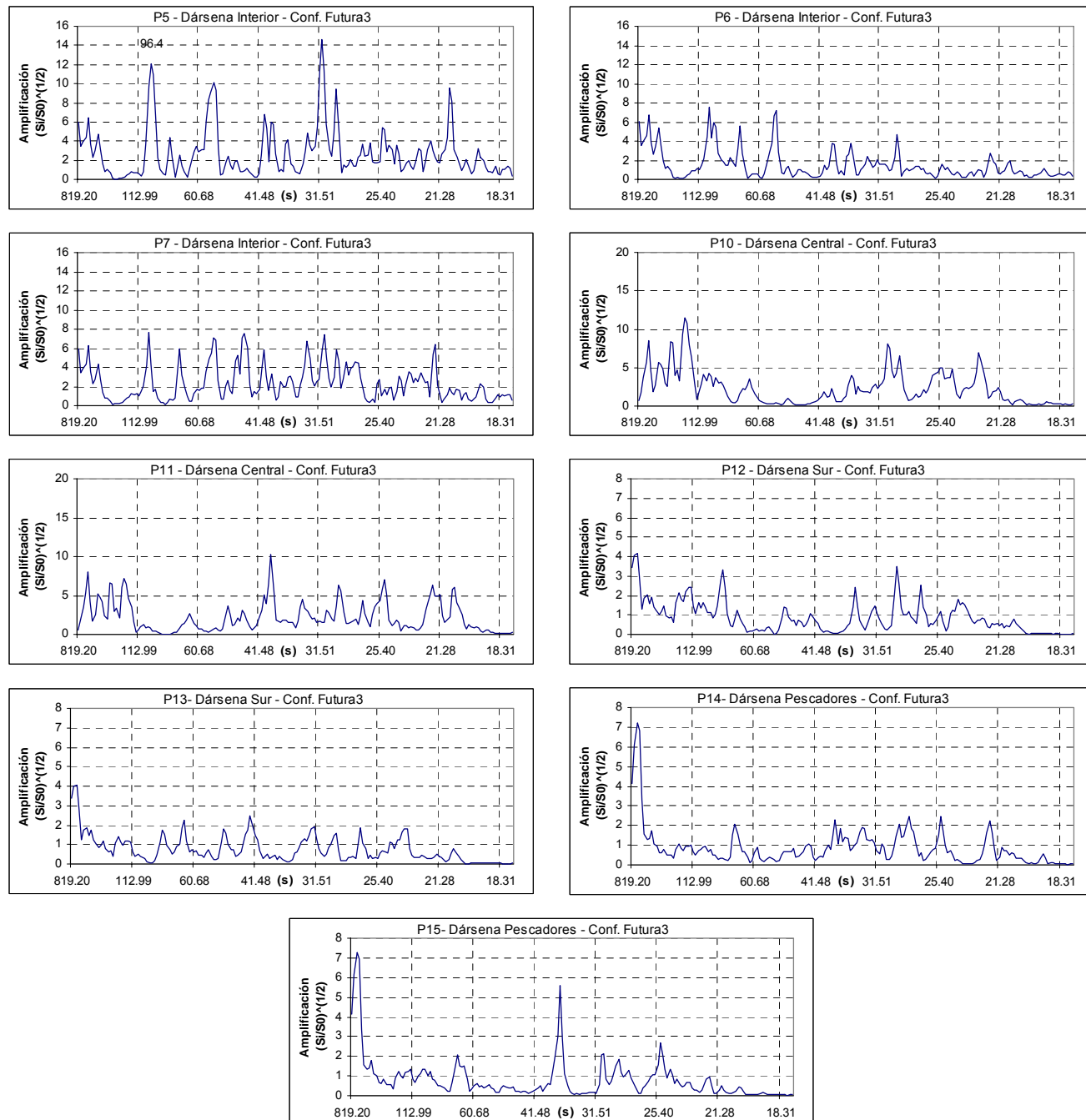


Figura 3.16 Coeficientes de amplificación en los puntos de control 5 a 15.
CONFIGURACIÓN FUTURA DEL PUERTO DE ALICANTE

Ensayos Monocromáticos

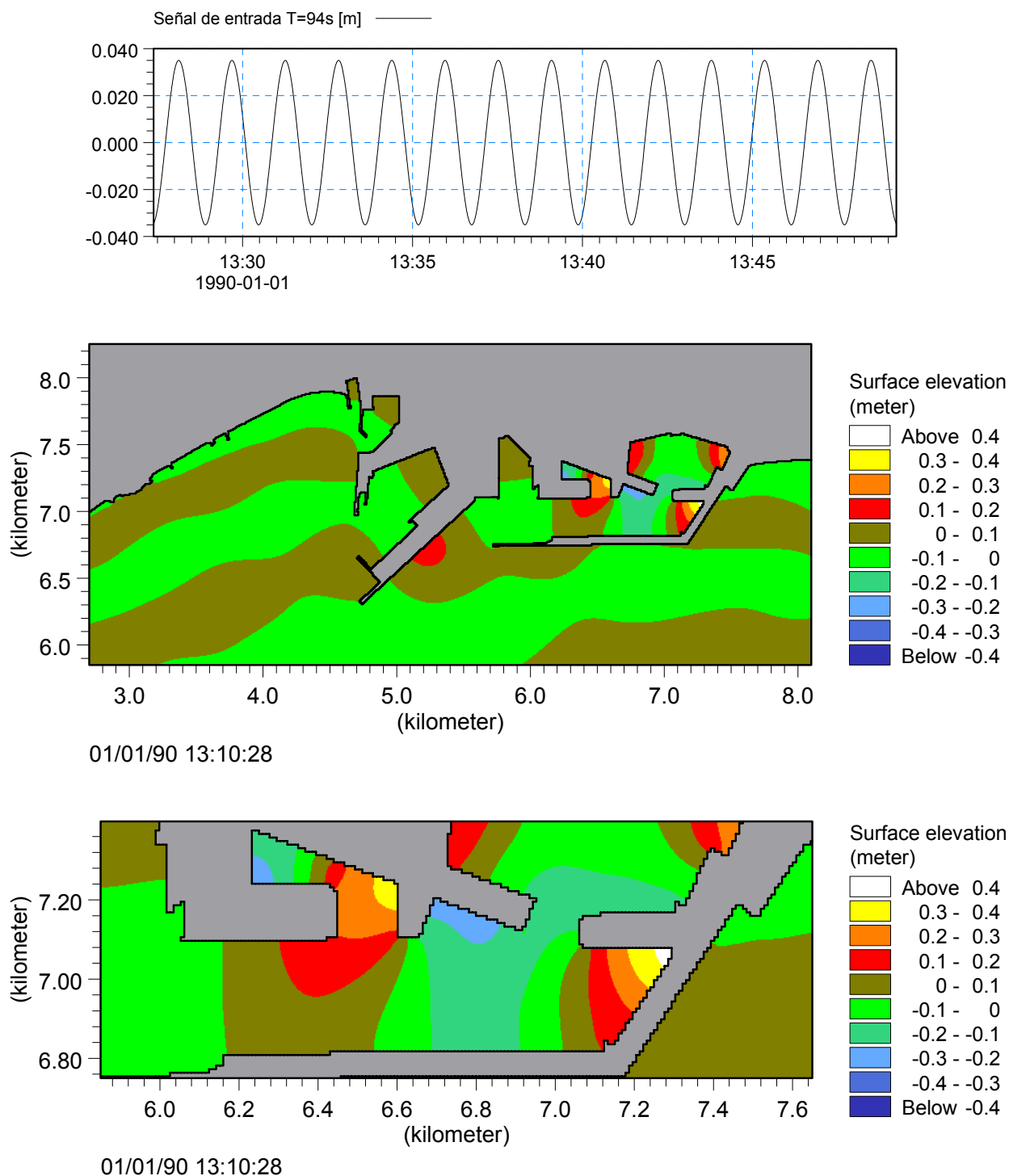
CONFIGURACIÓN ACTUAL. ENSAYO MONOCROMÁTICO T=94s

Figura 4.1.1. Detalle del registro de entrada monocromático. Elevación de la superficie libre y detalle de la dársena exterior.

CONFIGURACIÓN ACTUAL. ENSAYO MONOCROMÁTICO T=94s

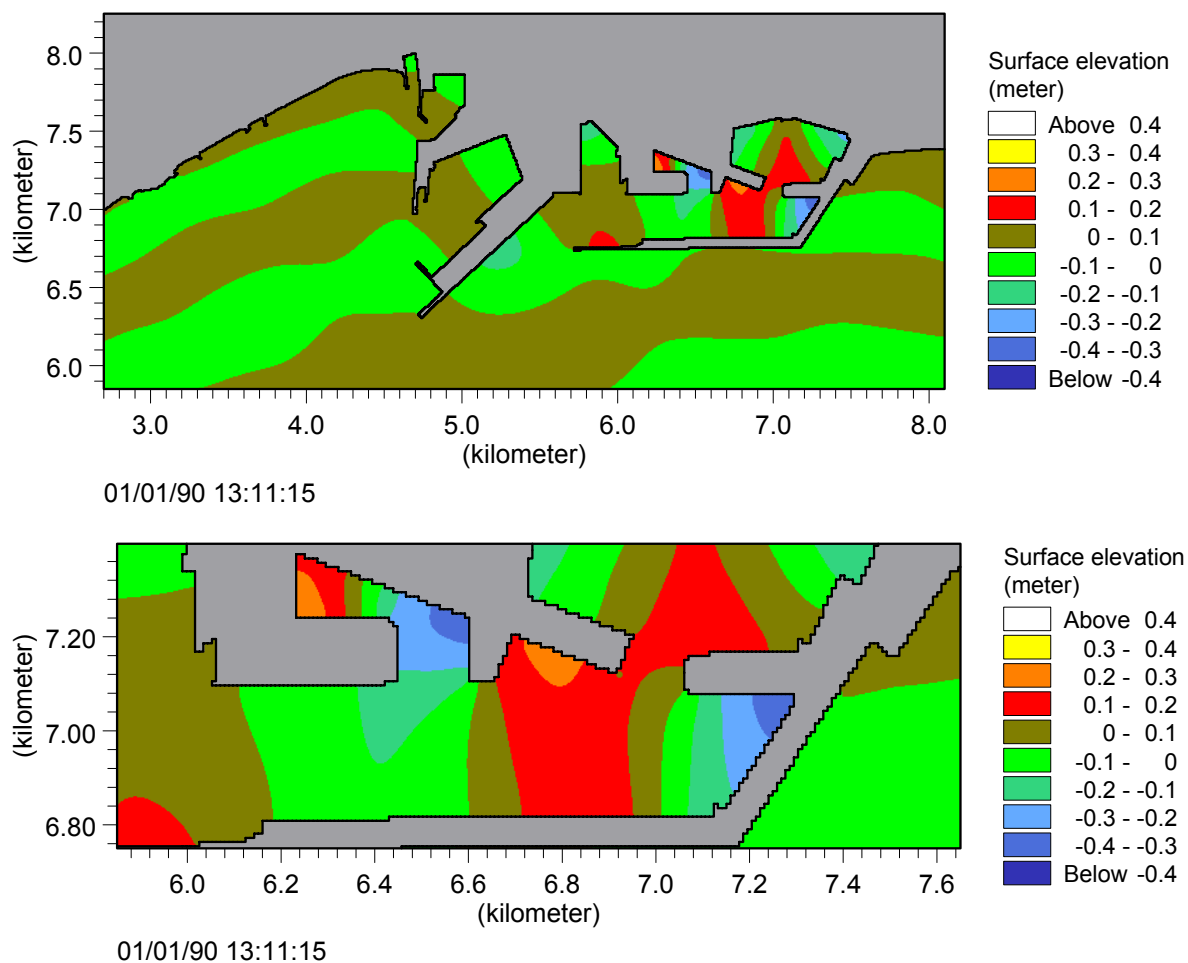


Figura 4.1.2 Elevación de la superficie libre en un semiperiodo de tiempo después y detalle de la dársena exterior

CONFIGURACIÓN ACTUAL. ENSAYO MONOCROMÁTICO T=94s

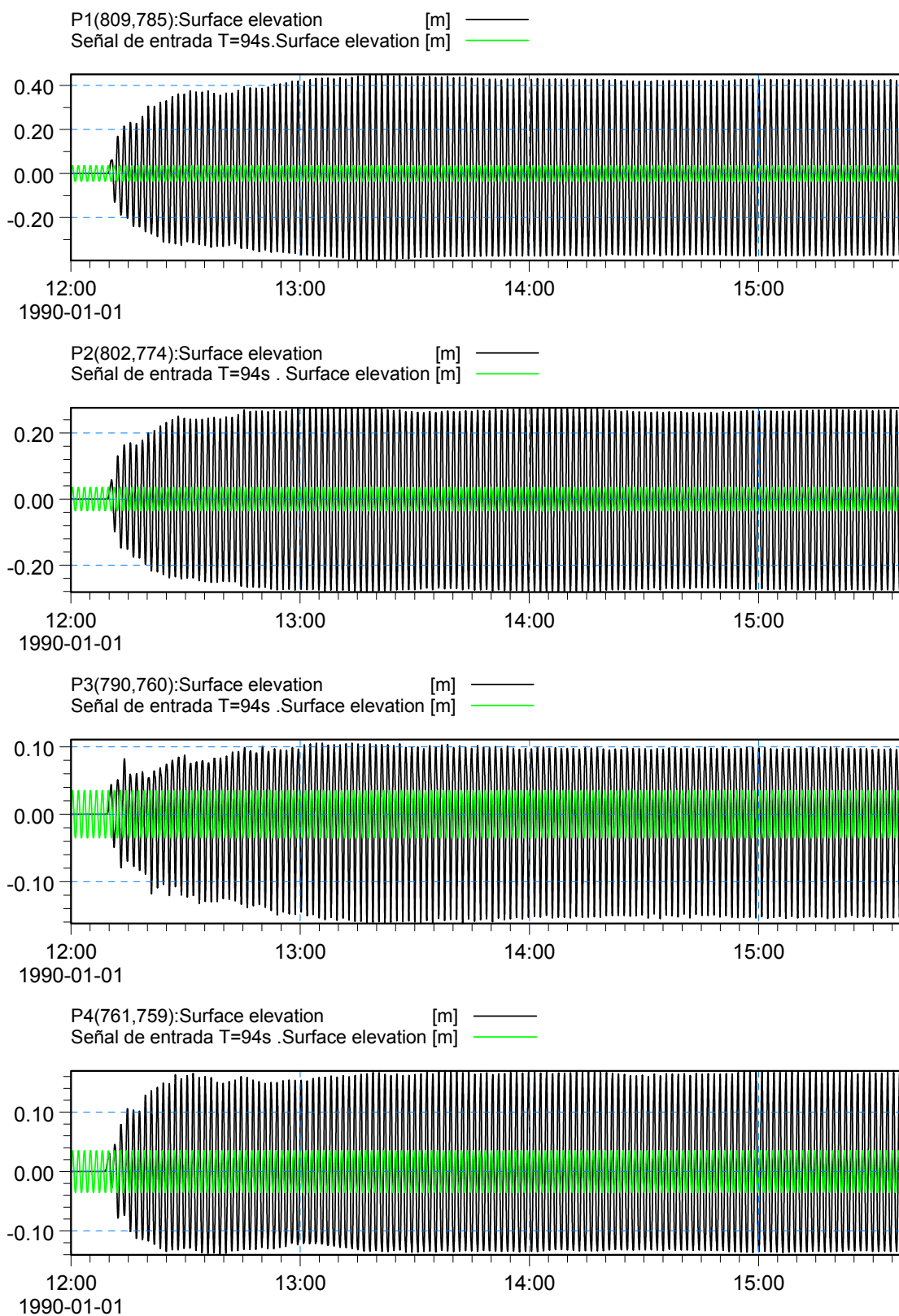


Figura 4.1.3 Series temporales extraídas en los puntos de control 1 a 4 de la dársena exterior y señal de entrada superpuesta (color verde)

CONFIGURACIÓN FUTURA. ENSAYO MONOCROMÁTICO T=94s

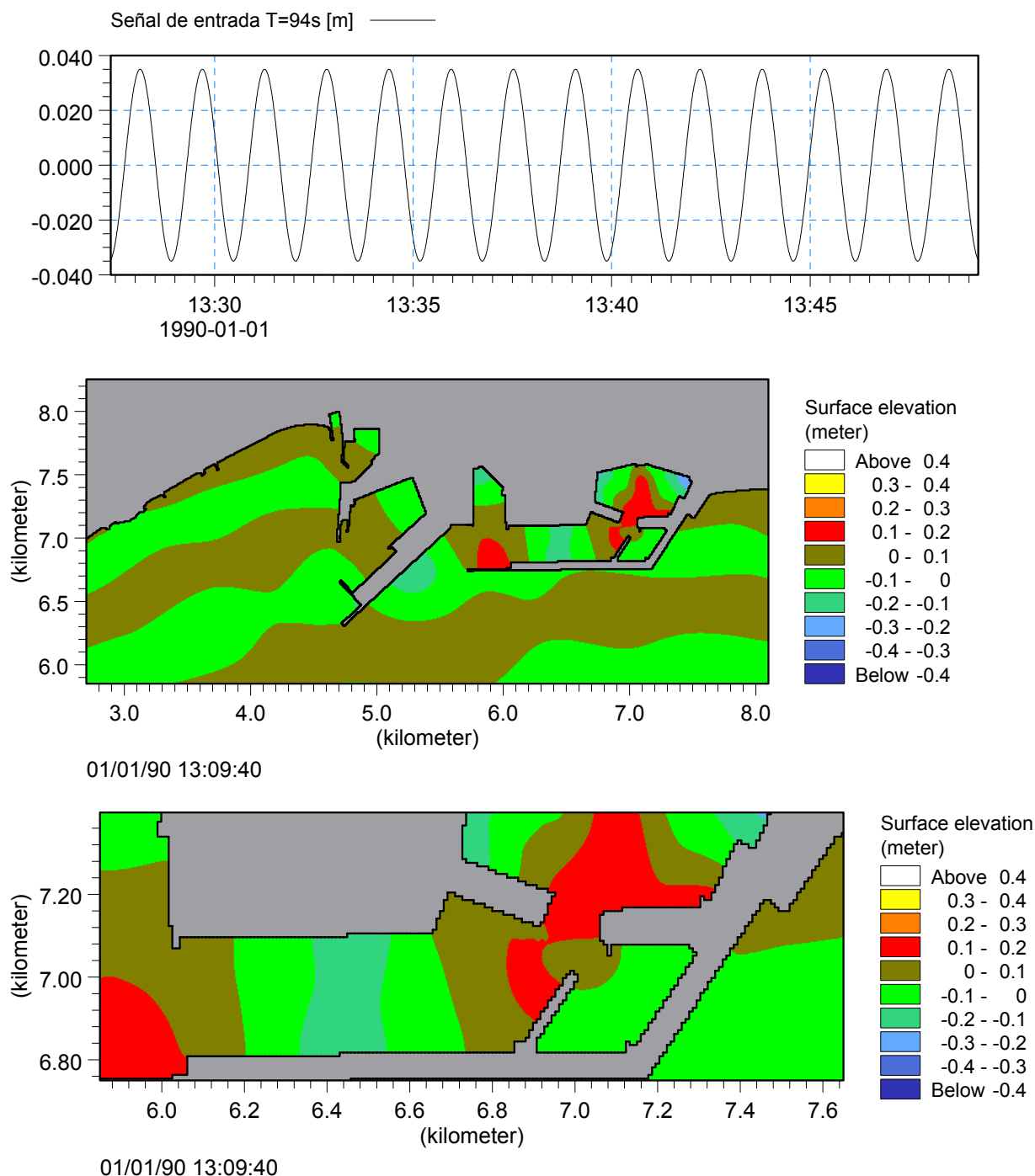


Figura 4.2.1. Detalle del registro de entrada monocromático. Elevación de la superficie libre y detalle de la dársena exterior.

CONFIGURACIÓN FUTURA. ENSAYO MONOCROMÁTICO T=94s

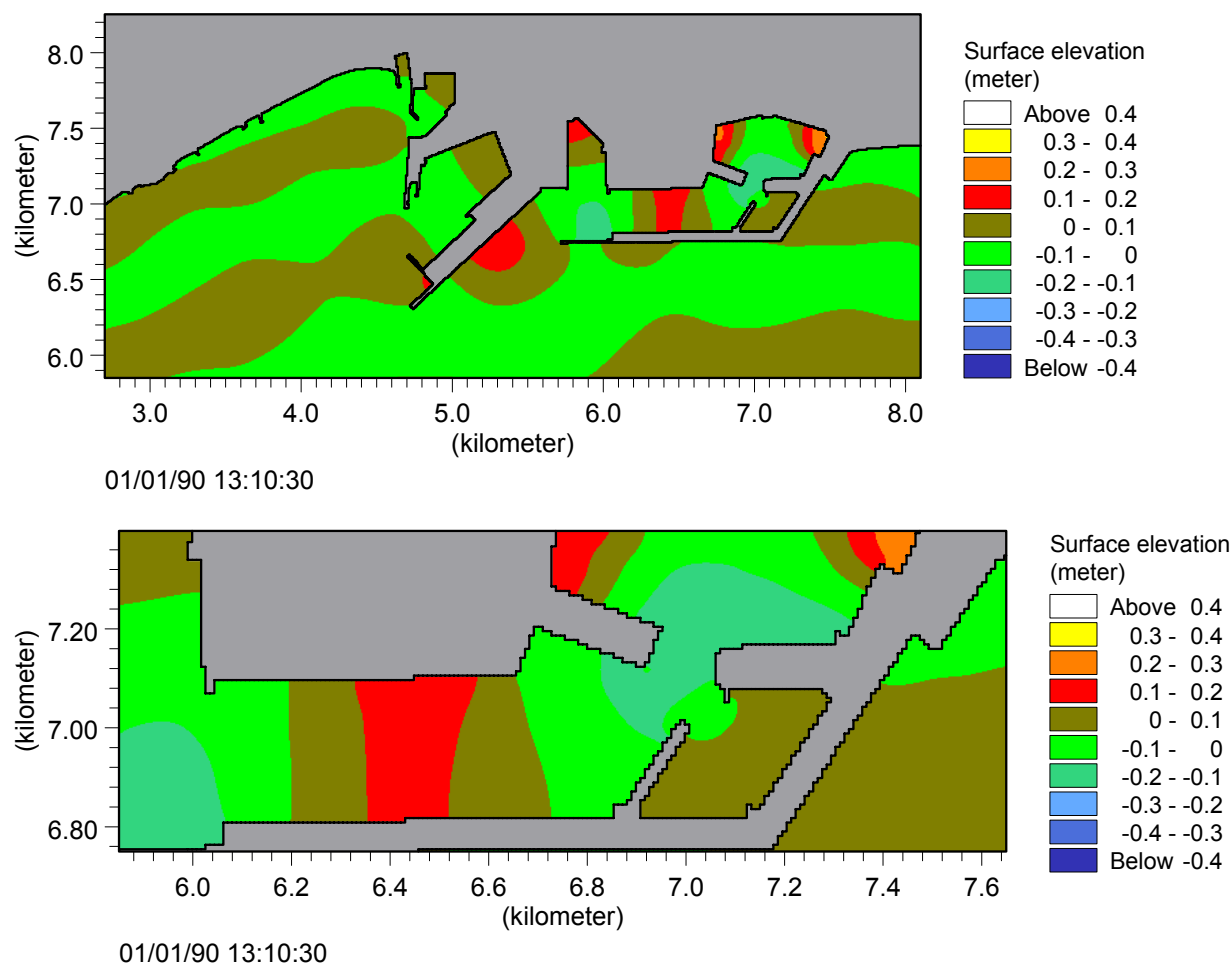


Figura 4.2.2 Elevación de la superficie libre en un semiperiodo de tiempo después y detalle de la dársena exterior.

CONFIGURACIÓN FUTURA. ENSAYO MONOCROMÁTICO T=94s

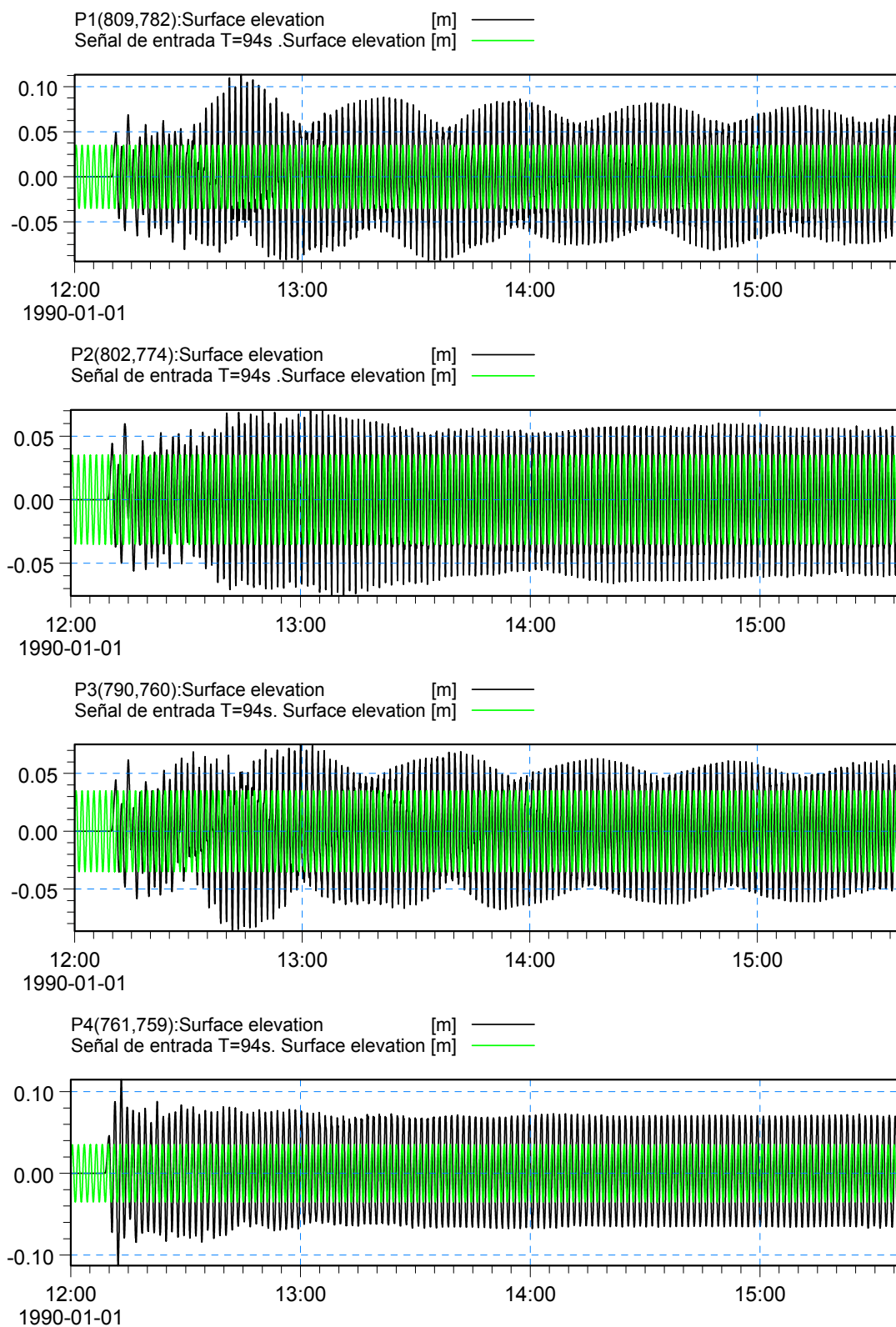


Figura 4.2.3 Series temporales extraídas en los puntos de control 1 a 4 de la dársena exterior y señal de entrada superpuesta (color verde)

CONFIGURACIÓN ACTUAL. ENSAYO MONOCROMÁTICO T= 252s

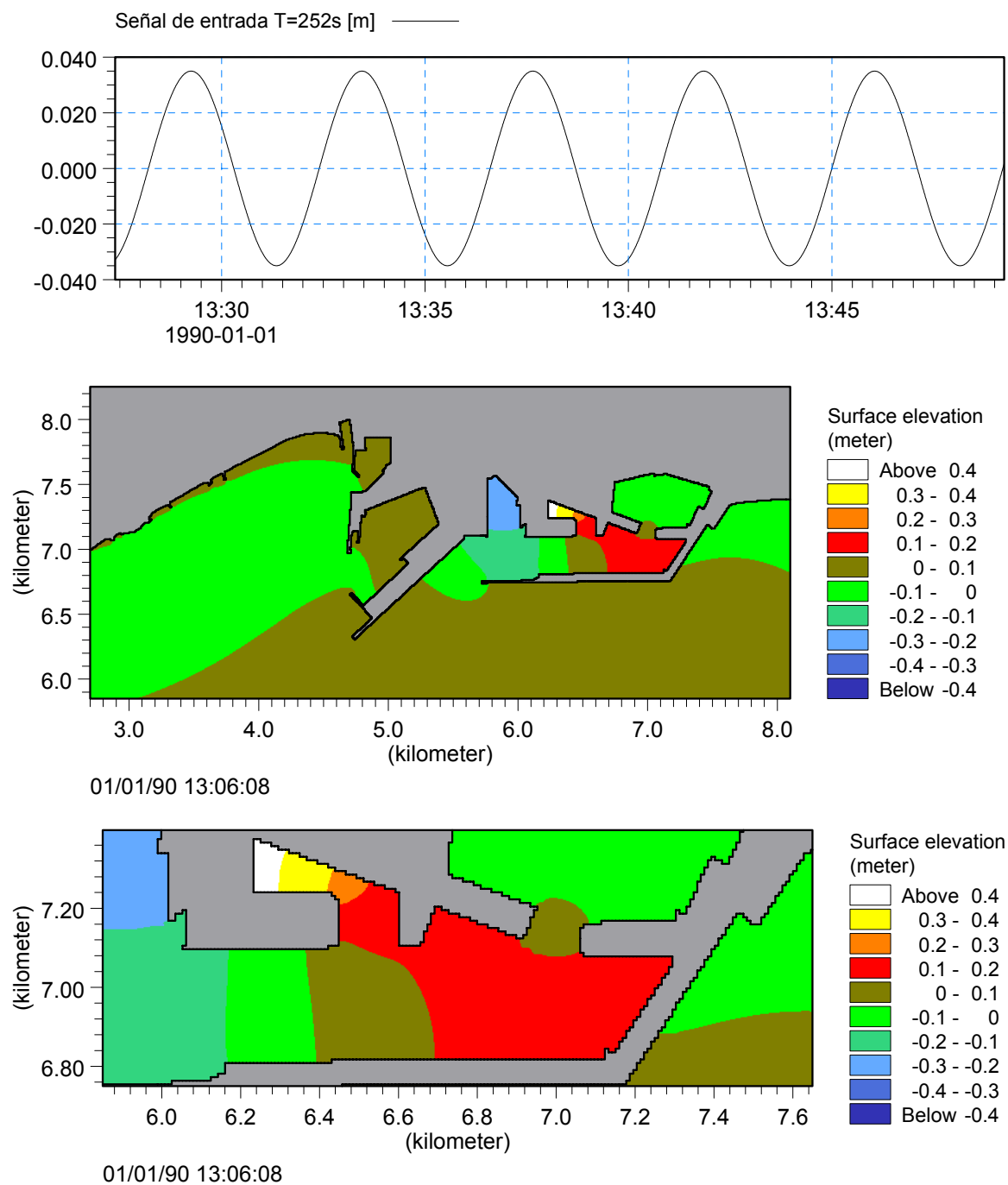


Figura 4.3.1. Detalle del registro de entrada monocrómico. Elevación de la superficie libre y detalle de la dársena exterior.

CONFIGURACIÓN ACTUAL. ENSAYO MONOCROMÁTICO T=252s

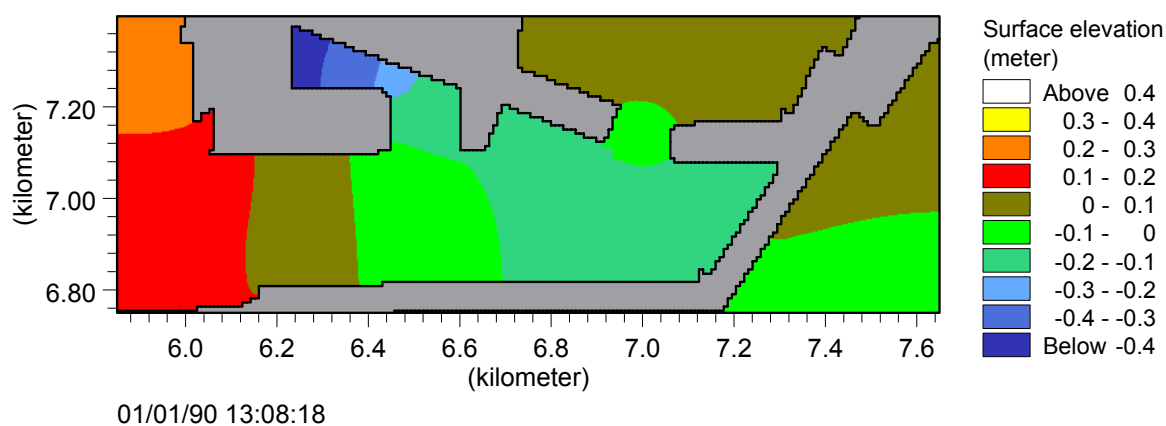
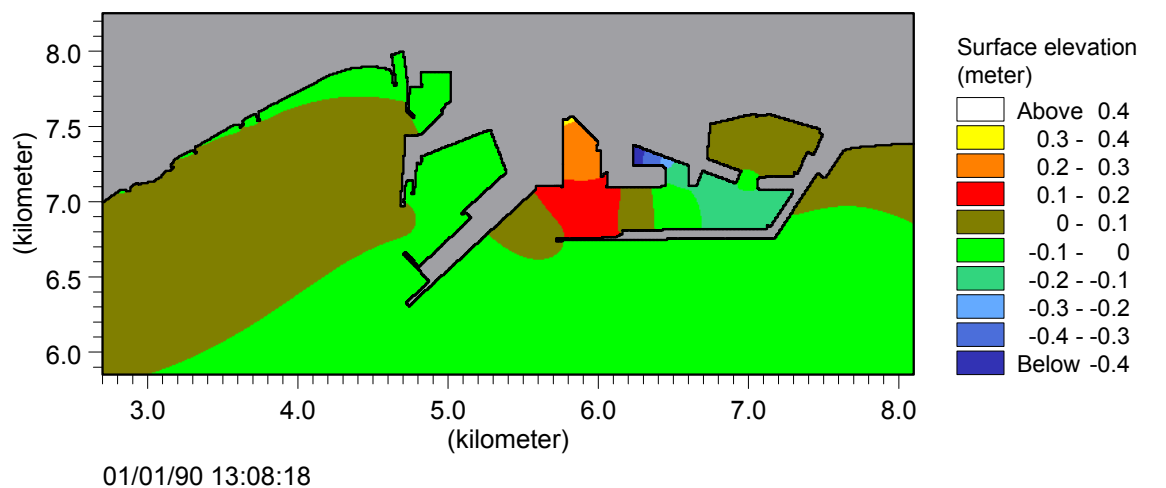


Figura 4.3.2 Elevación de la superficie libre en un semiperiodo de tiempo después y detalle de la dársena exterior.

CONFIGURACIÓN ACTUAL. ENSAYO MONOCROMÁTICO T=252s

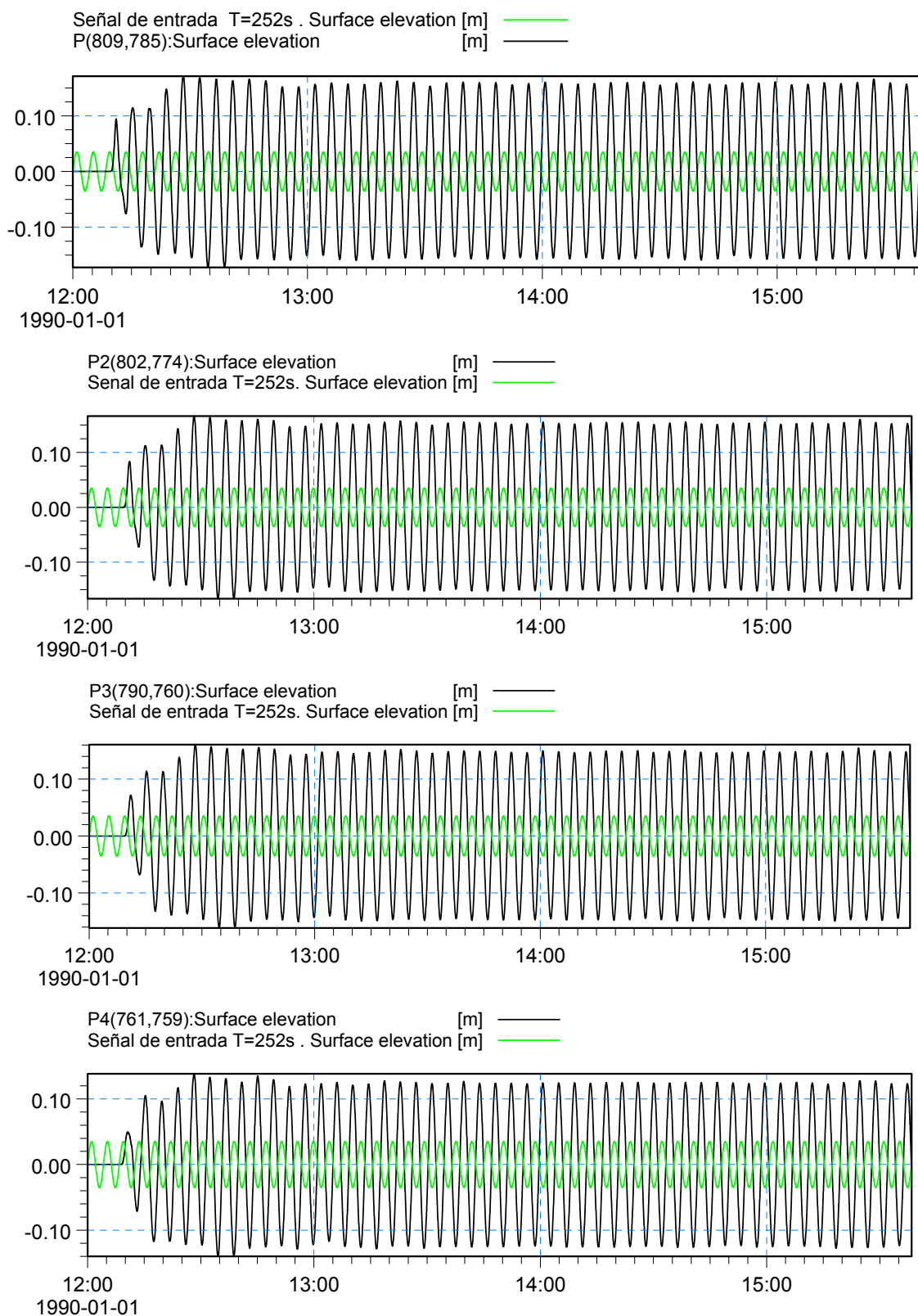


Figura 4.3.3 Series temporales extraídas en los puntos de control 1 a 4 de la dársena exterior y señal de entrada superpuesta (color verde)

CONFIGURACIÓN FUTURA. ENSAYO MONOCROMÁTICO T=252s

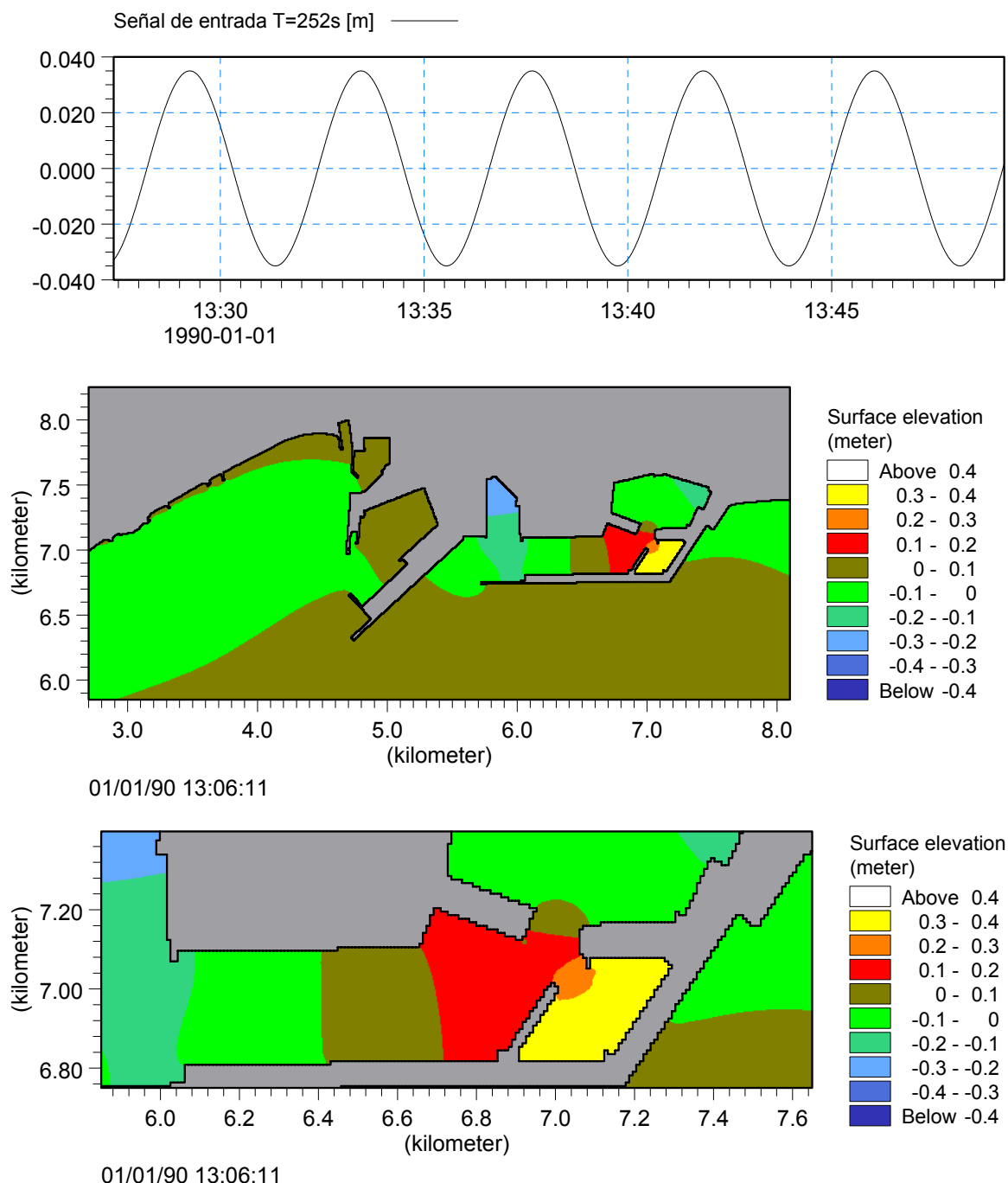


Figura 4.4.1. Detalle del registro de entrada monocromático. Elevación de la superficie libre y detalle de la dársena exterior.

CONFIGURACIÓN FUTURA. ENSAYO MONOCROMÁTICO T=252s

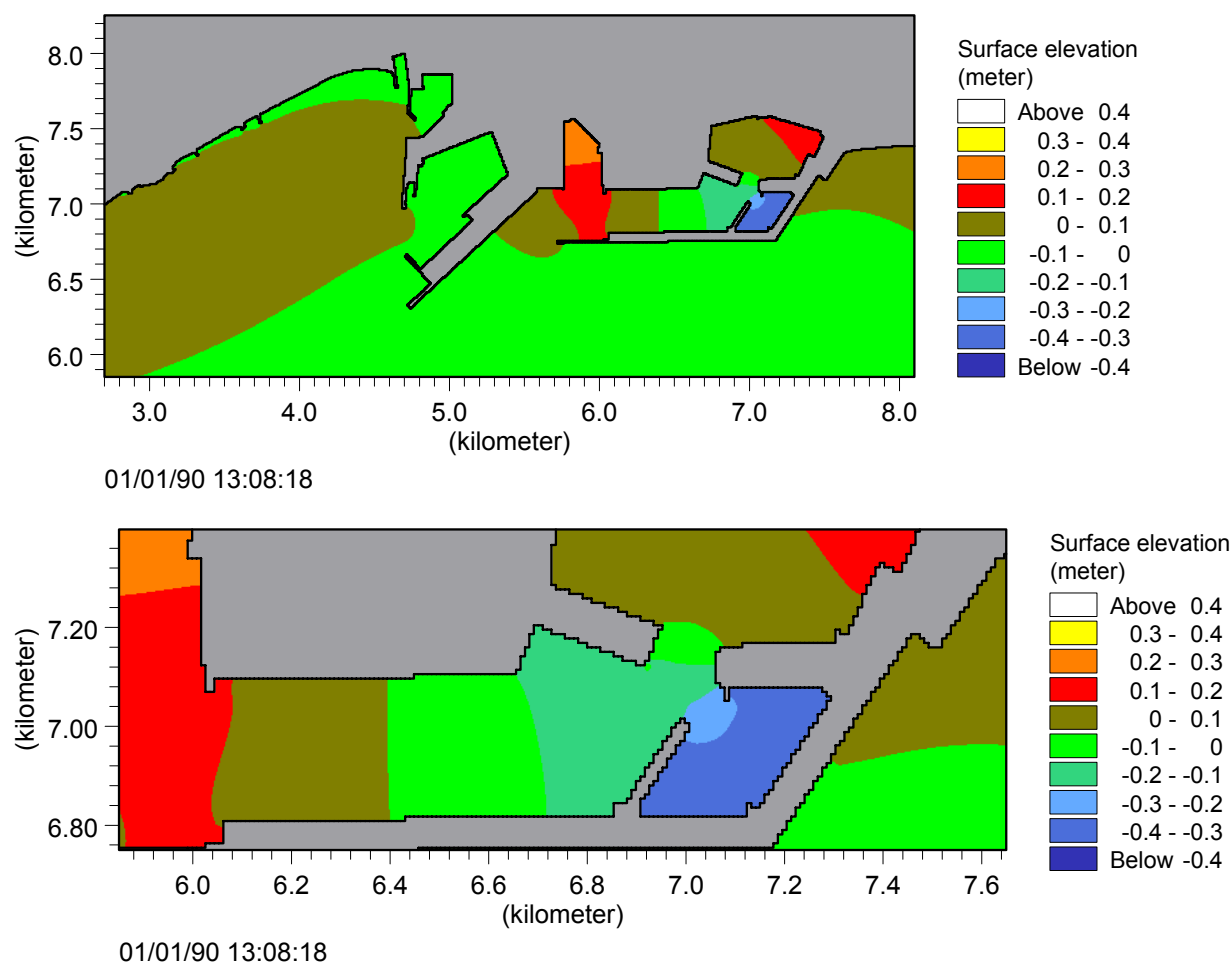


Figura 4.4.2 Elevación de la superficie libre en un semiperiodo de tiempo después y detalle de la dársena exterior.

CONFIGURACIÓN FUTURA. ENSAYO MONOCROMÁTICO T=252s

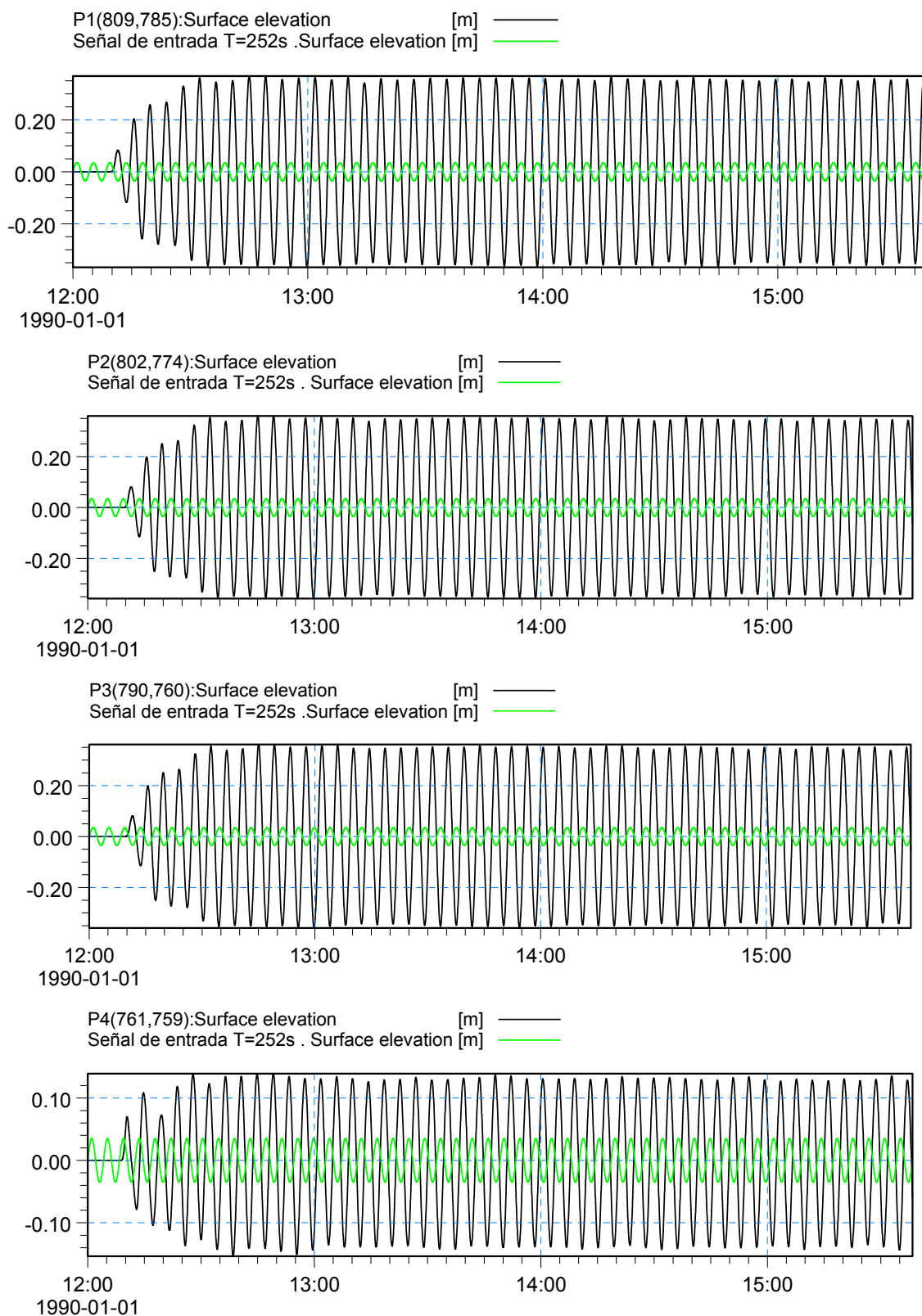


Figura 4.4.3 Series temporales extraídas en los puntos de control 1 a 4 de la dársena exterior y señal de entrada superpuesta (color verde)

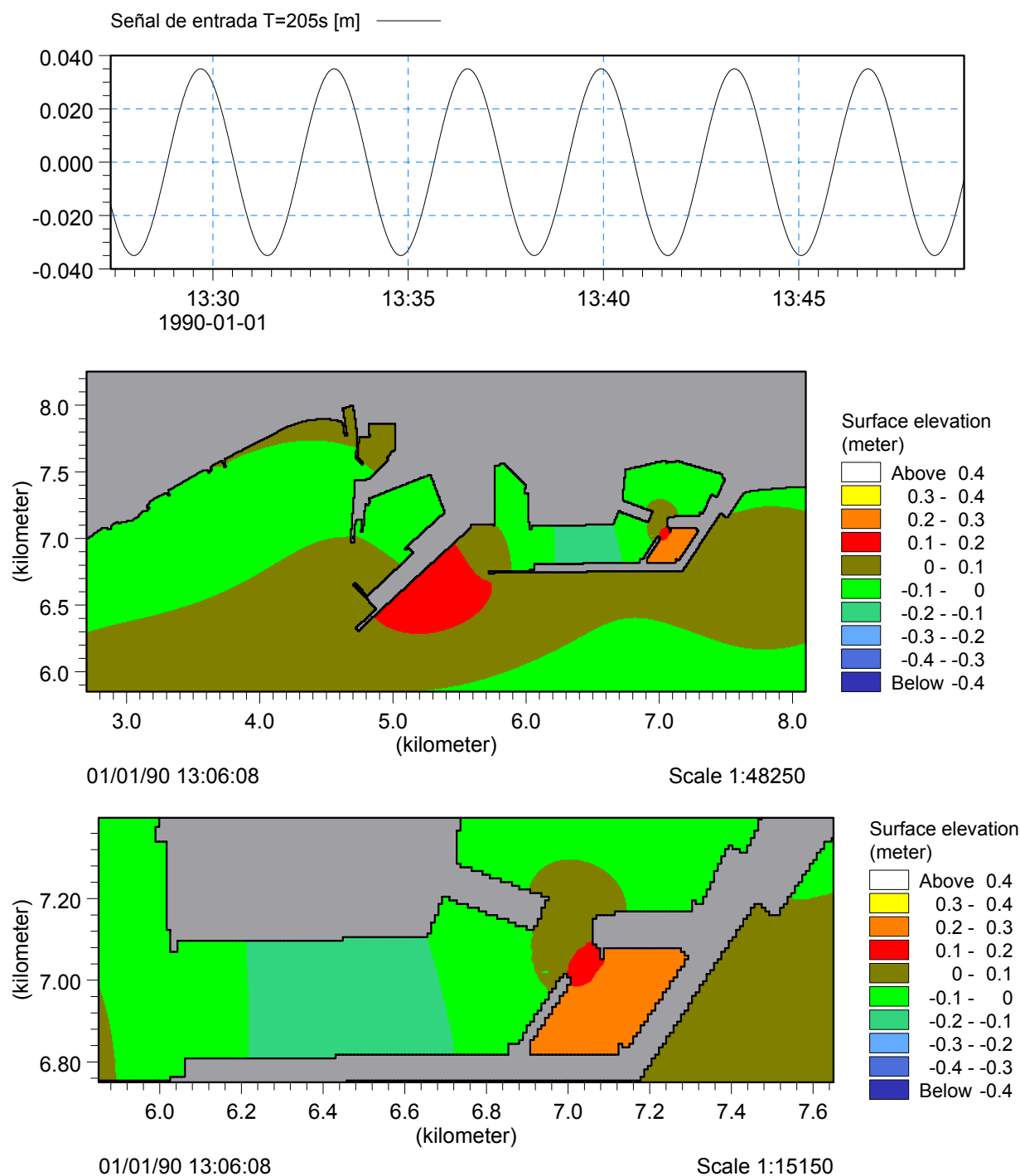
CONFIGURACIÓN FUTURA. ENSAYO MONOCROMÁTICO T=205s

Figura 4.5.1. Detalle del registro de entrada monocromático. Elevación de la superficie libre y detalle de la dársena exterior.

CONFIGURACIÓN FUTURA. ENSAYO MONOCROMÁTICO T=205s

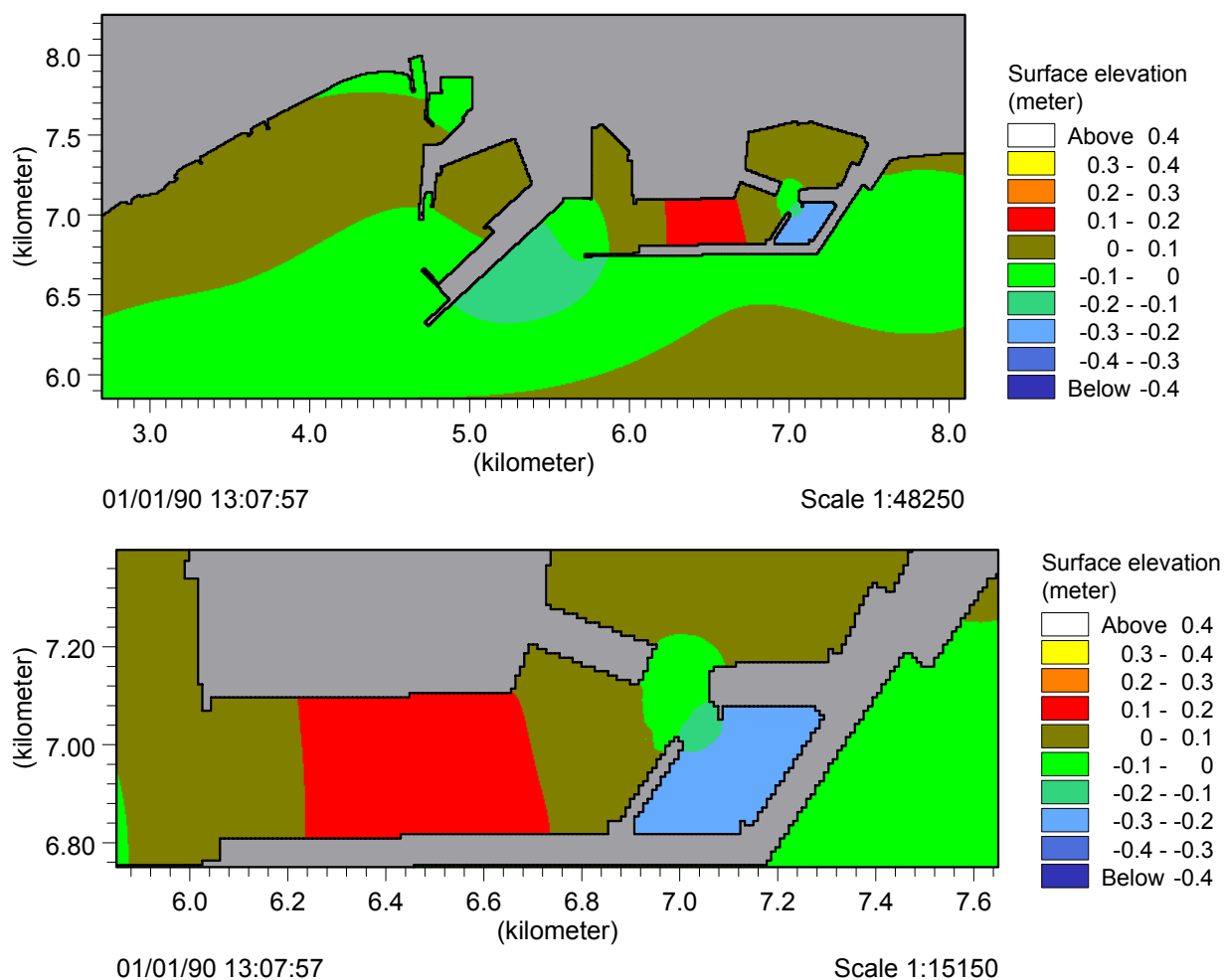


Figura 4.5.2 Elevación de la superficie libre en un semiperiodo de tiempo después y detalle de la dársena exterior.

CONFIGURACIÓN FUTURA. ENSAYO MONOCROMÁTICO T=205s

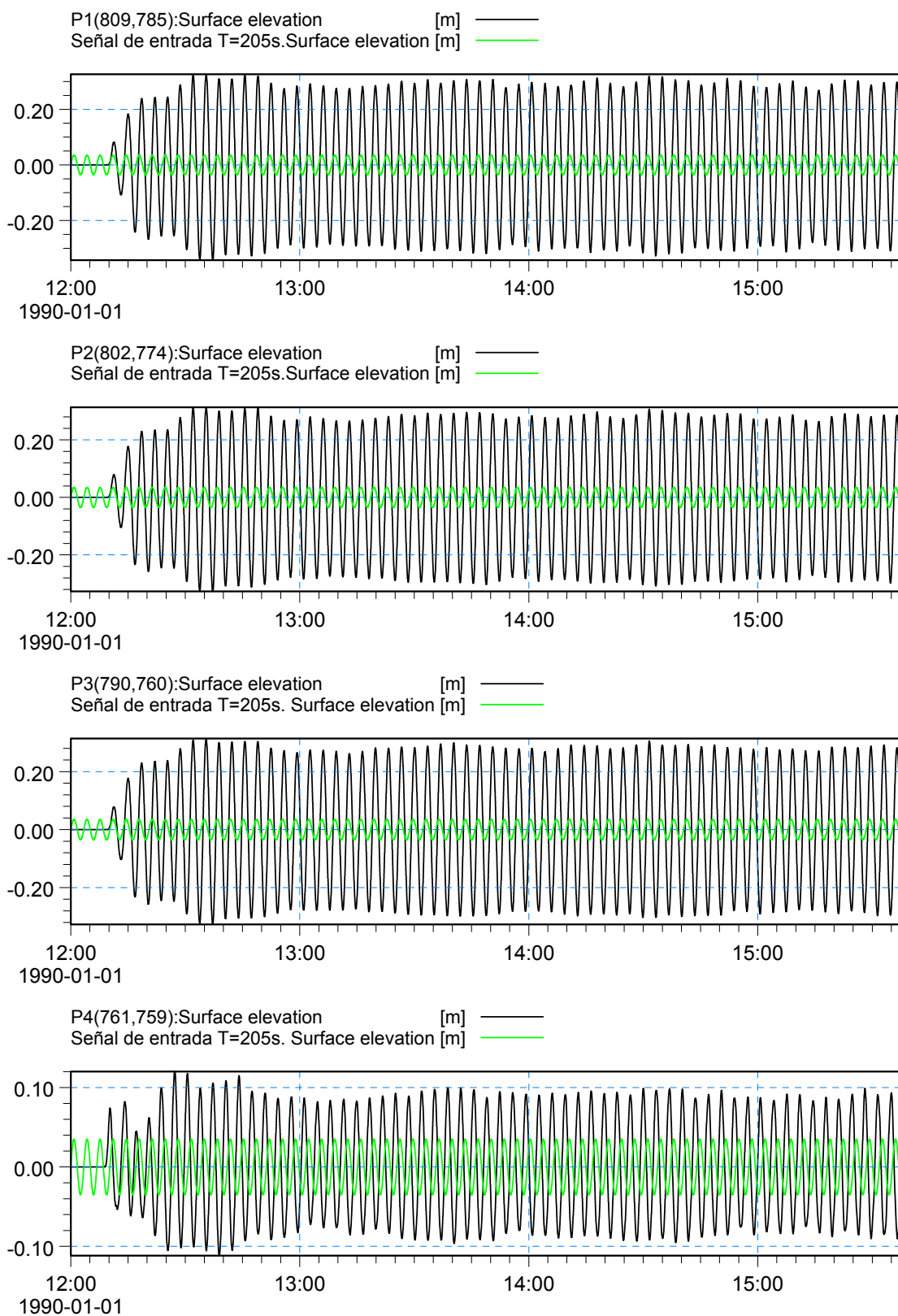


Figura 4.5.3 Series temporales extraídas en los puntos de control 1 a 4 de la dársena exterior y señal de entrada superpuesta (color verde)

CONFIGURACIÓN FUTURA. ENSAYO MONOCROMÁTICO T=273s

Señal de entrada T=273s [m] ———

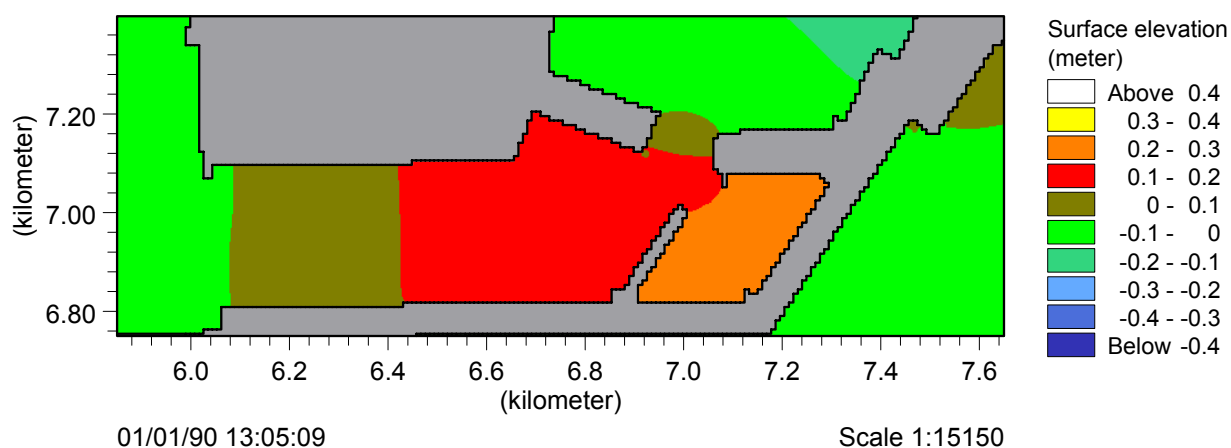
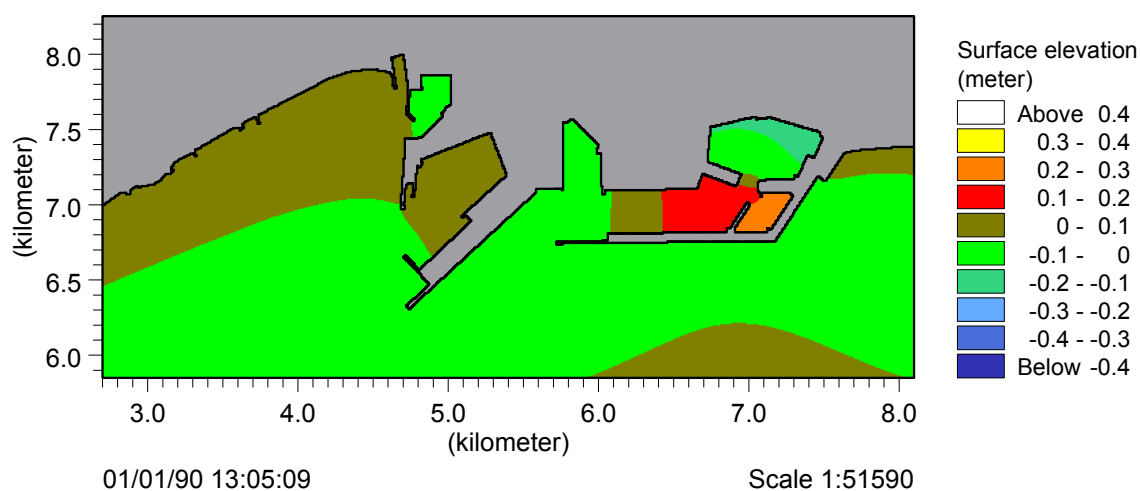
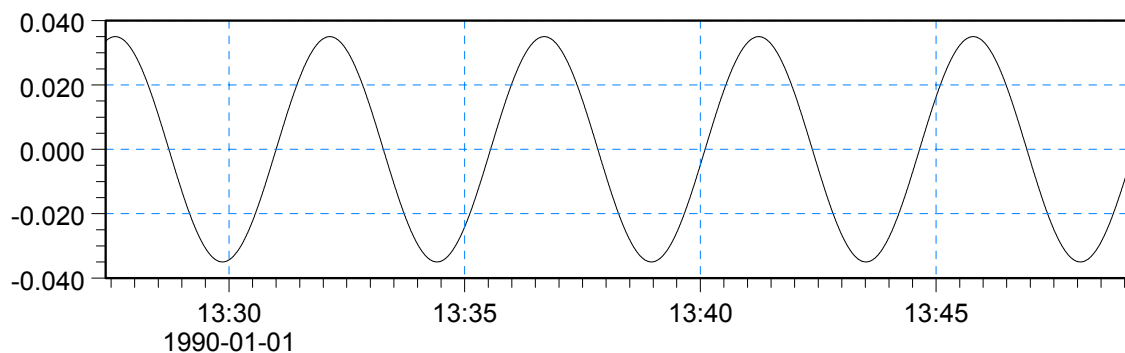


Figura 4.6.1. Detalle del registro de entrada monocromático. Elevación de la superficie libre y detalle de la dársena exterior.

CONFIGURACIÓN FUTURA. ENSAYO MONOCROMÁTICO T=273s

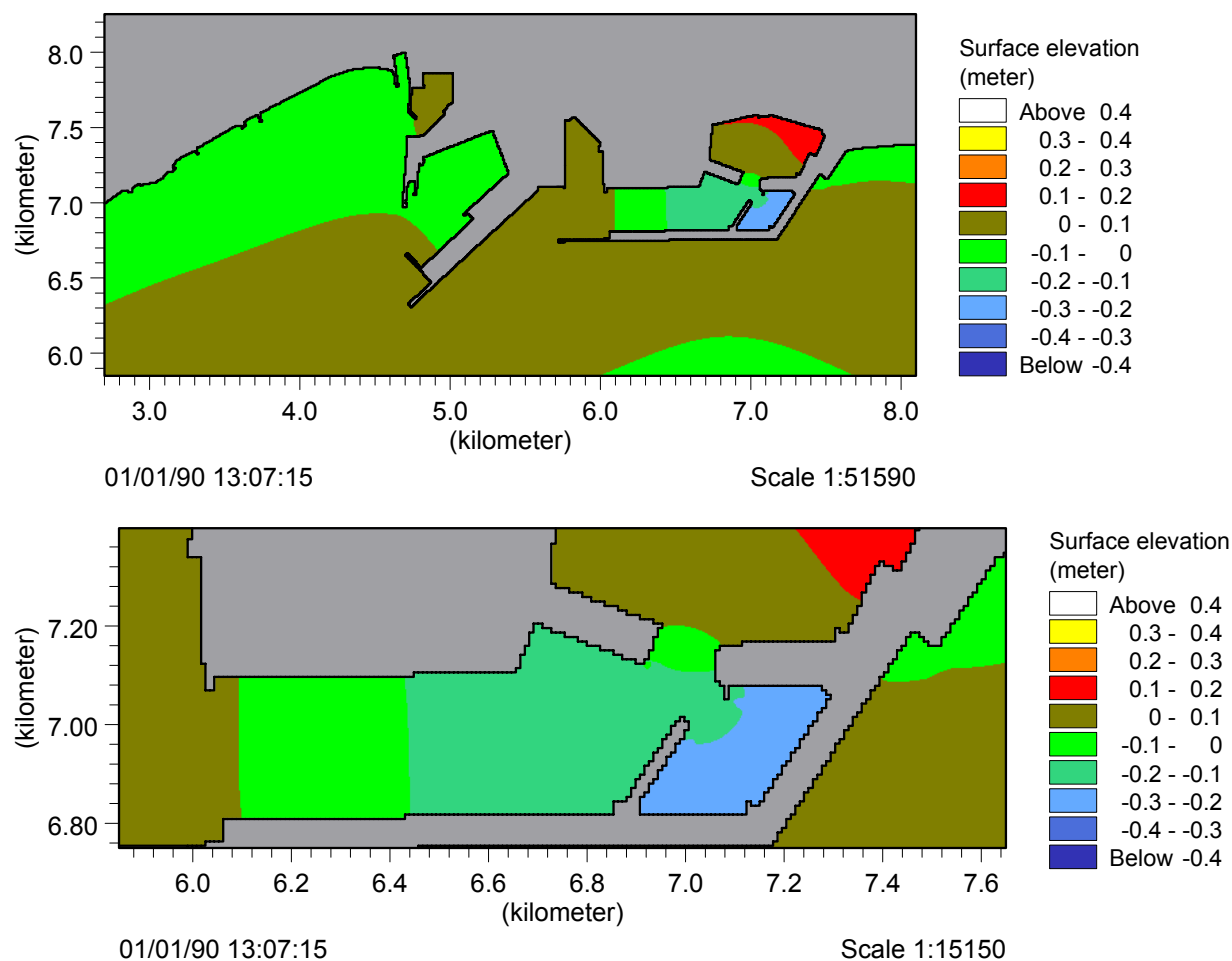


Figura 4.6.2 Elevación de la superficie libre en un semiperiodo de tiempo después y detalle de la dársena exterior.

CONFIGURACIÓN FUTURA. ENSAYO MONOCROMÁTICO T=273s

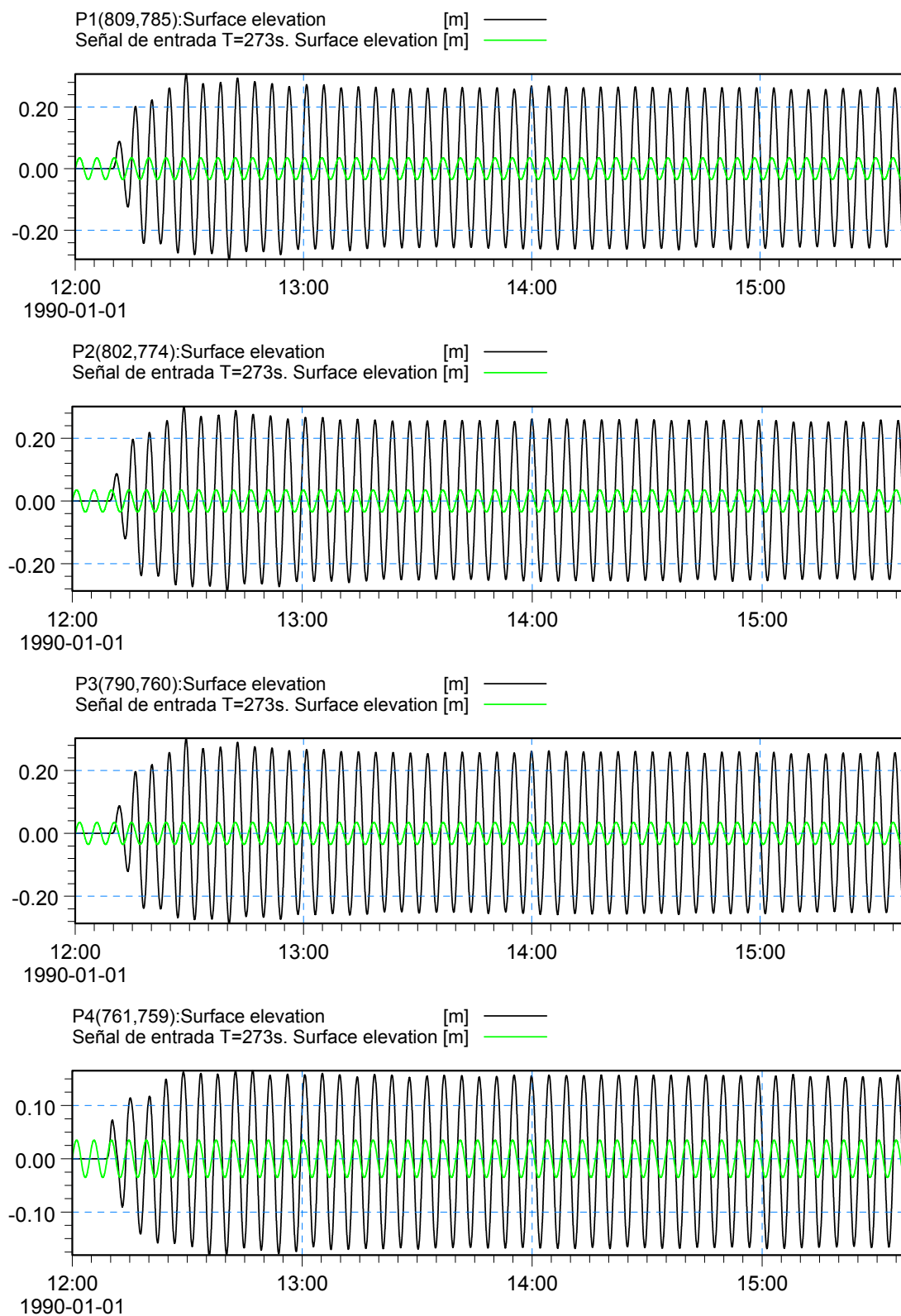


Figura 4.6.3 Series temporales extraídas en los puntos de control 1 a 4 de la dársena exterior y señal de entrada superpuesta (color verde)