

ESTUDIO DE AGITACION EN EL PUERTO DE SANTA CRUZ DE TENERIFE

MARIA JESUS MARTIN SOLDEVILLA (*)

RESUMEN. Independientemente de la técnica empleada, cualquier estudio de agitación requiere una caracterización climática previa de la zona de interés.

Puesto que el estudio de clima marítimo correspondiente se realiza con los datos tomados en la naturaleza, bien de forma visual, en aguas profundas, bien registrados por sensores, en las proximidades de costa, la fiabilidad del estudio realizado depende, en gran medida, de la calidad de los datos utilizados.

El estudio de agitación interior se ha realizado con el modelo matemático S21MK8. Este modelo es un sistema de modelación numérica para las variaciones de nivel del agua y de flujos en estuarios, bahías, puertos y áreas costeras.

La utilización de modelos numéricos en estos estudios representa ciertas ventajas respecto a los clásicos modelos físicos, ya que permiten obtener respuestas de gran fiabilidad en muy poco tiempo y con un coste mucho menor.

ABSTRACT. *Regardless of the technique used, any kind of agitation study requires a prior climatic characterization of the area in question.*

*As the study of the corresponding maritime climate is carried out using data taken *in situ*, either visually—in deep water—or recorded by sensors—near the coast—the reliability of the study carried out depends, to a great extent, on the quality of the data used.*

The study of interior agitation has been carried out using the S21MK8 mathematical model. This model is a system of numerical modelling for variations of water-level and of flows in estuaries, bays, harbours and coastal areas.

The use of numerical models in these studies has certain advantages over classical physical models, because they facilitate very reliable data in a short space of time and are a lot cheaper.

1. ANTECEDENTES Y OBJETO DEL TRABAJO

La Junta del Puerto de Santa Cruz de Tenerife tiene en proyecto construir un nuevo muelle, denominado muelle del Bufadero, en la actual dársena Nordeste del Puerto de Tenerife.

Con objeto de determinar la viabilidad de las distintas alternativas la citada Junta solicitó al Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX) que, por medio del Centro de Estudios de Puertos y Costas (CEPYC), se realizaran una serie de ensayos en modelo matemático.

2. PLANTEAMIENTO GENERAL

Para abordar el trabajo se comenzó realizando un estudio de clima marítimo de la zona con objeto de evaluar las características del oleaje en el área de interés.

Dicho estudio, desglosado en el análisis estadístico, del que se determina la frecuencia de presentación de los oleajes a ensayar (tanto en dirección como en altura

de ola), y en los ensayos de propagación, que permiten conocer la evolución del oleaje propagado; junto con los coeficientes de agitación resultantes de la aplicación del modelo suministran la información necesaria para determinar la validez de cada una de las alternativas ensayadas.

En total se efectuaron 9 simulaciones correspondientes a 9 configuraciones con un tipo de oleaje.

En el test número 1 se simuló una configuración ensayada en modelo en físico en el CEPYC (1983) a fin de comprobar la validez de aplicación del modelo matemático. El objeto de esta comprobación obedece a que, debido al gradiente de profundidades que presenta la dársena de estudio (0 m a 60 m), nos situamos en las condiciones límites de aplicación del modelo utilizado. La similitud entre los resultados obtenidos con ambos tipos de modelos determinaron la validez de aplicación del mismo para los fines estimativos perseguidos.

El test número 2 corresponde a la configuración actual del Puerto, utilizándose como referencia para determinar la mejora o peora que cada una de las alternativas ensayadas supone en cuanto a condiciones de agitación interior.

(*) Doctora en Ciencias Químicas. Centro de Estudios de Puertos y Costas del CEDEX (MOPU).

Los tests 3 a 9, corresponden a los ensayos realizados con las distintas configuraciones propuestas.

3. CLIMA MARITIMO

La caracterización estadística del oleaje en la zona de estudio se ha realizado a partir de los datos visuales de oleaje almacenados en el Banco de Datos del CEPYC, suministrados por el National Climatic Data Center de Asheville (North Carolina), correspondientes a la cuadrícula.

27.3° a 29.3° N
15.0° a 17.0° N

Los datos comprendidos en la misma están divididos, según el tipo de oleaje, en Sea y en Swell con un total de observaciones:

	SEA	SWELL
Número observaciones válidas ..	38.078	26.909
Calmas	2.084	2.451

Dada la orientación de costa y de los diques del Este y Sur, el Puerto de Santa Cruz de Tenerife, situado en el punto de coordenadas (28.48° N-16.23° W), se encuentra protegido de la incidencia directa del oleaje fuera del sector S-S40W si no es tras un proceso de difracción.

Teniendo en cuenta este hecho los regímenes se calcularon para dicho sector que es el de mayor incidencia en cuanto a agitación interior.

Las observaciones correspondientes se ajustaron a la función de distribución lognormal y la frecuencia de presentación del mismo se calculó englobando las calmas en un sector adicional. Con estas premisas las frecuencias de presentación son:

	SSW	RESTO
SWELL	2,43 %	97,57 %
SEA	1,10 %	98,90 %

Conocidas las características del oleaje en mar profunda es necesario establecer una relación con las correspondientes en profundidades reducidas. Dicha relación se determinó a partir de los ensayos de propagación que permiten conocer tanto la dirección como el coeficiente refracción y shoaling (atenuación o aumento) del oleaje propagado en el punto de interés.

Los estudios de propagación se realizaron para un oleaje de período 10 seg. y dirección S30W y SSW, esta última por ser la utilizada en el ensayo físico de comprobación. Los resultados obtenidos fueron:

DIRECCION ALTA MAR	DIRECCION PROF. REDUCIDA	kr
S-30-W	S-26.0°-W	0,53
SSW	S-21.5°-W	0,85

4. ESTUDIOS DE AGITACION

Se realizaron 8 tests (2 a 9) considerando un oleaje de dirección S-30-W en profundidades indefinidas y un test con oleaje del SSW, también referido a alta mar, con objeto de comprobar la validez de los resultados obtenidos.

Puesto que el modelo exige el empleo de una malla con uno de sus ejes coincidente con el frente del oleaje a ensayar la malla se ha orientado, en todas las simulaciones, con el eje de ordenadas en la dirección del frente.

El oleaje simulado a la entrada del modelo lo constituye la serie temporal obtenida del ajuste a un espectro JONSWAP de parámetros: $H_s = 1,5$ m, $T_p = 10$ seg., $T_{m10} = 9$ seg., $\gamma = 3,3$, $\alpha_g = 0,07$ y $\sigma_g = 0,09$.

A. DIRECCION SSW. TEST DE COMPROBACION

En la Figura 1 se presenta la configuración en planta de la alternativa ensayada correspondiente a la reproducida en modelo físico en el CEPYC. Los resultados obtenidos representados en forma bidimensional, referentes al coeficiente de agitación, se recogen en las Figura 2 y 3 para el modelo físico y matemático respectivamente. La similitud de los resultados obtenidos con ambos deter-

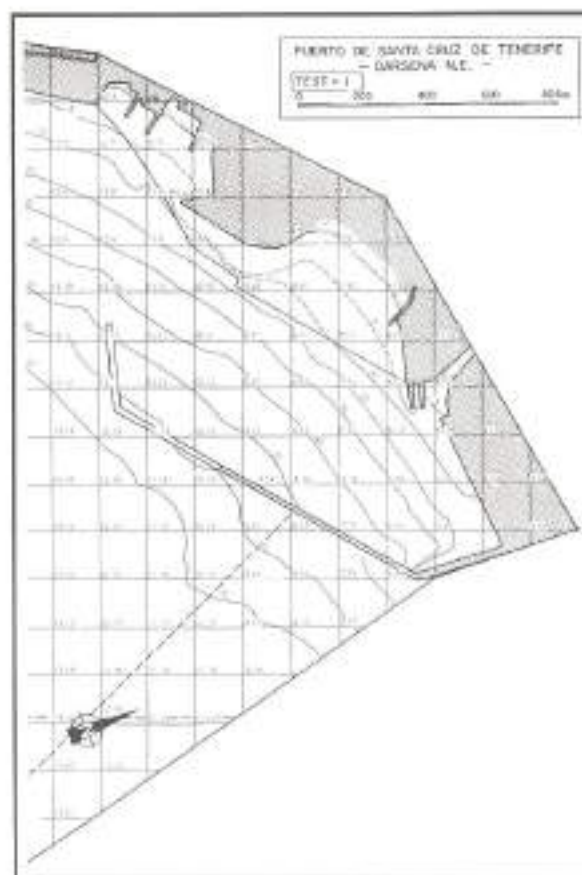


FIGURA 1.



El camino más corto para trazar una carretera



TRIVIUM

es un sistema integrado para el cálculo geométrico de ejes de carretera, que permite al ingeniero de caminos resolver los siguientes problemas, inherentes al proyecto de una vía de transporte:

- Definición geométrica del eje.
- Obtención de coordenadas de puntos del eje, o de líneas o puntos asociados a uno o varios ejes.
- Cálculo de los datos necesarios para el replanteo de la carretera.
- Cálculo del longitudinal de una carretera.
- Definición de la sección transversal de la plataforma y obtención de las cotas de puntos característicos de la misma.



- Cálculo de las áreas y volúmenes de desmonte terraplén.
- Cálculo de las zonas de ocupación.
- Diagrama de masas.
- Dibujo automático de plantas, longitudinales y perfiles transversales.
- Definición de modelos digitales del terreno, para su utilización en los problemas de carreteras.

LPR
CONSULTING DE INFORMÁTICA, S.R.

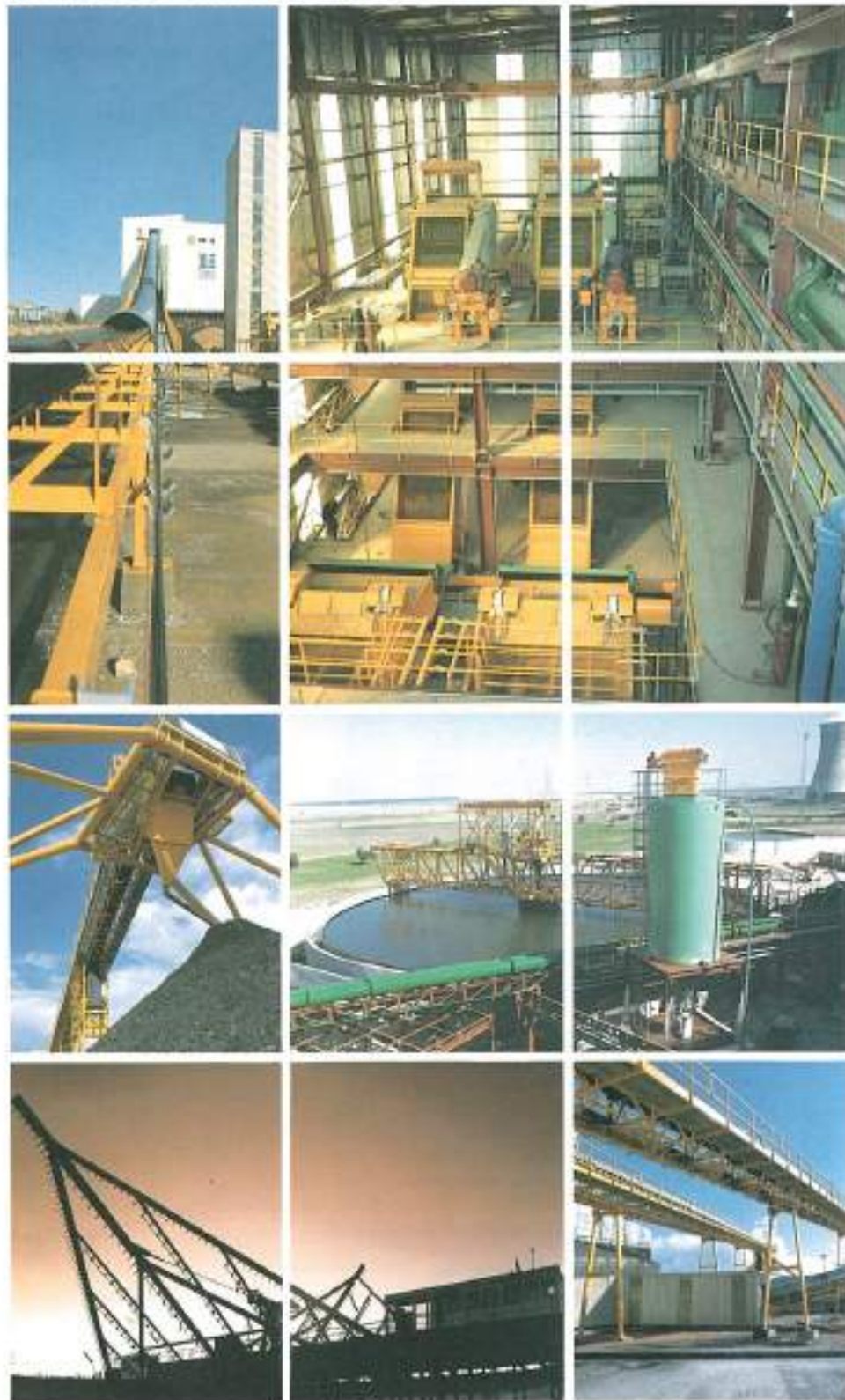
Edificio Calderín, 5 - 5.ª A.
Vía. 871 85 93, 871 87 37 y 871 87 77. Telex 42079
ROTE-E. Fax 768 94 34. 28020 MADRID



PLANTAS DE TRATAMIENTO DE MINERALES

Los procesos de tratamiento y utilización de los minerales exigen una serie de instalaciones para almacenamiento, clasificación, homogeneización, lavado, etc., que forman parte de la gama de instalaciones "llave en mano" que IMENOSA viene desarrollando.

- Plantas de trituración, molienda, y cribado.
- Plantas de fosfatos, bauxitas, separadores electromagnéticos.
- Plantas de flotación y de separación por medio de ciclones.
- Lavaderos de minerales, plantas complementarias de las Centrales Térmicas en el caso de lavaderos de lignitos, o plantas de proceso en el caso de explotaciones auríferas, de uranio u otras.



imenoSa
INDUSTRIAS MECANICAS DEL NOROESTE, S.A.
GRUPO INI

Apartado 397 - 15480 FERROL
Tel. (981) 34 30 11
Telex 85534 AIND-E
Telefax (981) 34 32 58

Zurbarán, 28 - 28010 MADRID
Tel. (91) 410 71 97
Telex 44749 IMENO-E
Telefax (91) 410 73 94



FIGURA 2.

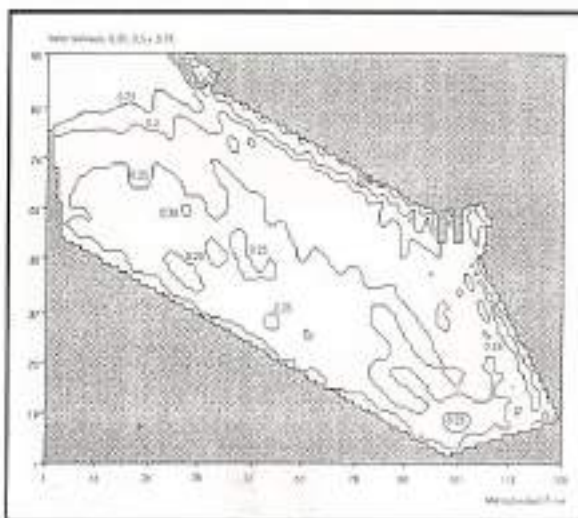


FIGURA 3. Tenerife, test 1.

minan la validez de aplicación del modelo matemático a la dársena de estudio.

B. DIRECCION S-30-W

Considerando un oleaje de estas características se realizaron los tests 2 a 9.

La configuración en planta de la situación actual del Puerto de Santa Cruz de Tenerife se representa en la Figura 4 en donde también se incluyen las zonas de muelle utilizadas en los estudios comparativos.

Los resultados obtenidos tras la aplicación del modelo expresados en isofleas de isoagitación se presentan en la Figura 5.

En la Figura 6 se presentan, sobre la planta considerada en el test número 3, las modificaciones que, en cuanto a calado interior, supone la construcción del nuevo muelle.

Los cambios introducidos, respecto a la situación actual, básicamente son:

- En la zona del nuevo muelle dragado a 15 m a partir de la batimetría de la misma profundidad.
- Dragado a 10 m, también a partir de la batimetría

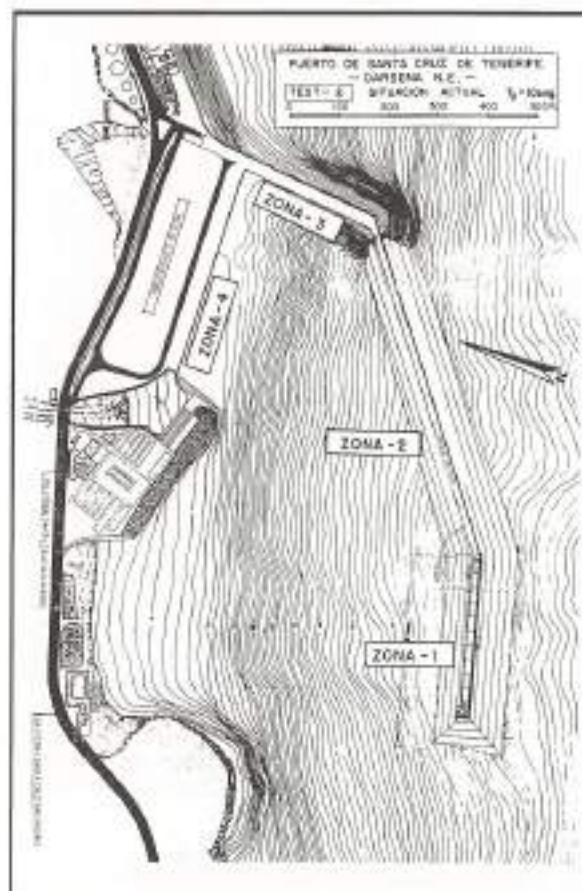


FIGURA 4.

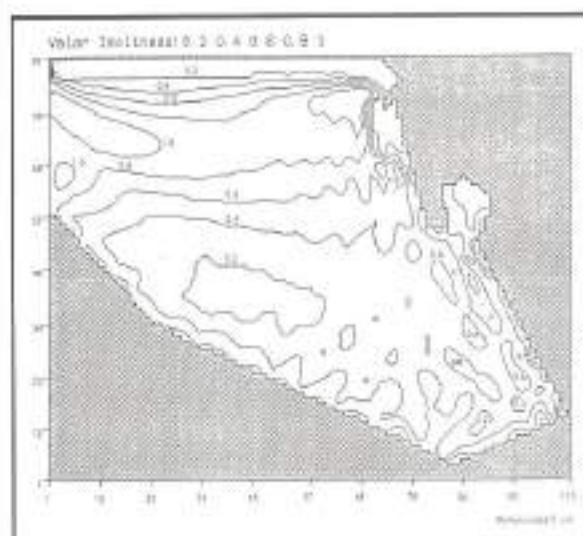


FIGURA 5. Tenerife, test 2 H_s/H_o .

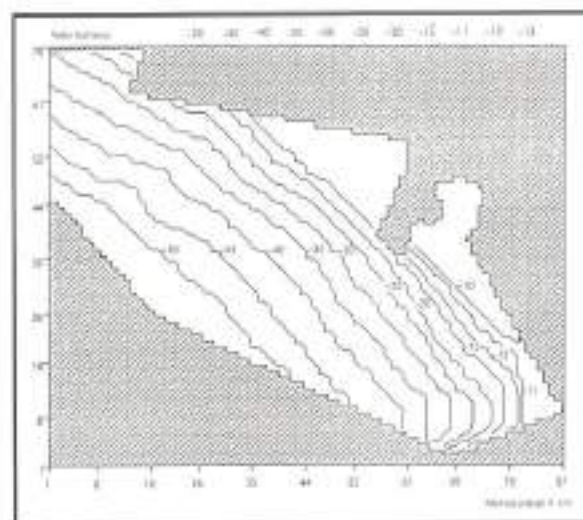


FIGURA 6. Tenerife, test 2.

correspondiente, en la parte interior del puerto más próxima a la zona de contenedores.

La batimetría resultante fue la considerada en todas las alternativas ensayadas.

Los resultados obtenidos tras la aplicación del modelo en los ensayos 3 a 9, expresados en isótopos de coeficiente de agitación se recogen en las Figuras 7 a 13 respectivamente.

5. COMPARACION DE LOS RESULTADOS

La comparación de las distintas alternativas con respecto a la situación actual en las zonas de muelle indicadas

en la Figura 4 se realizó considerando el porcentaje de variación de las condiciones medias de agitación interior. Los resultados obtenidos se recogen en la Tabla 1 correspondiendo el valor de referencia (100 %) al obtenido en la situación actual. Obviamente los valores negativos indican disminución de la agitación y aumento los positivos.

Las condiciones generales de agitación interior se evaluaron en términos de las horas que al cabo del año se excede una determinada altura de ola. El cálculo se efectuó a partir del coeficiente medio de agitación obtenido para todo el interior de la dársena, tras la aplicación del modelo; del coeficiente de refracción y shoaling

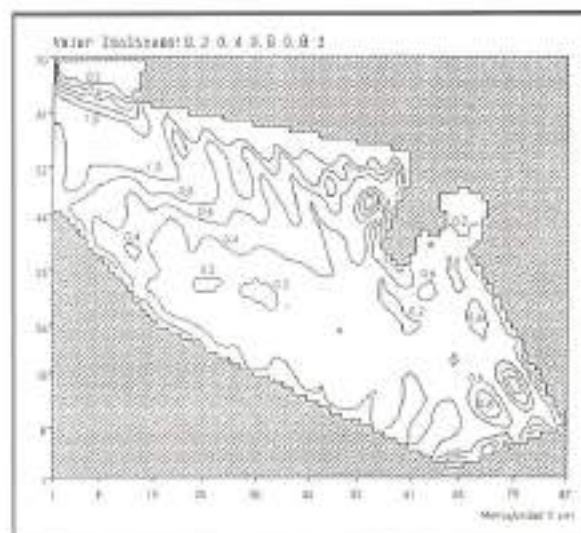


FIGURA 7. Tenerife, test 3 H_s/H_o .

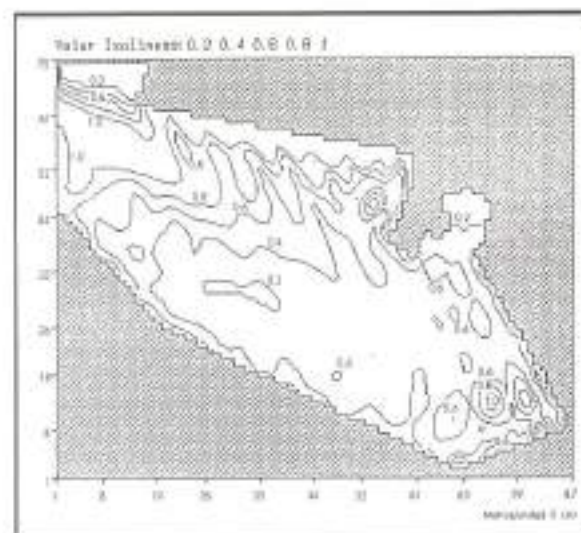


FIGURA 8. Tenerife, test 4.

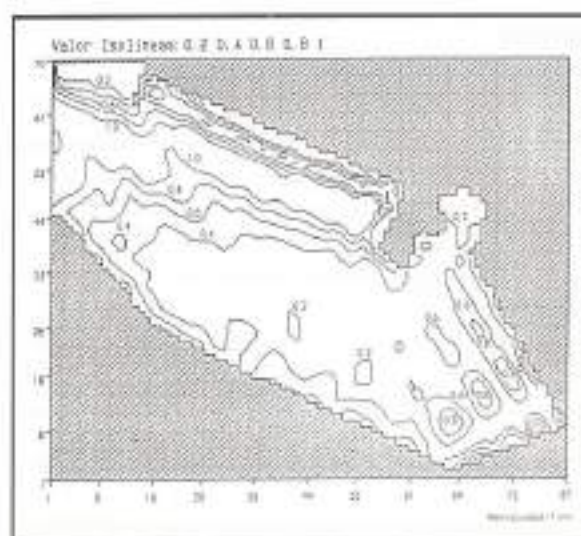


FIGURA 9. Tenerife, rast 5 HsiHo.

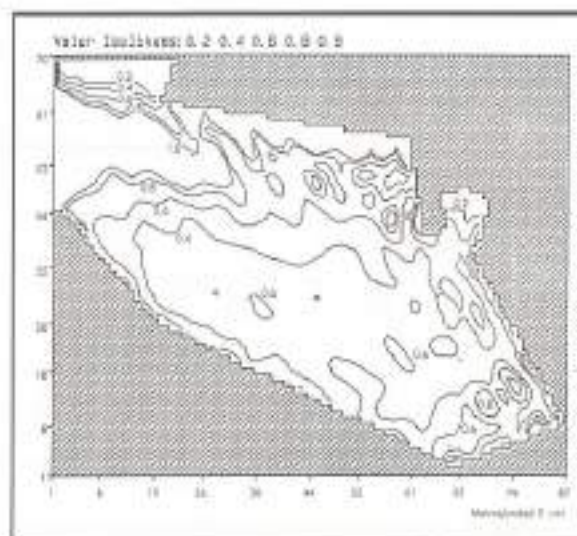


FIGURA 11. Tanarife, test 7 Hg/Ho

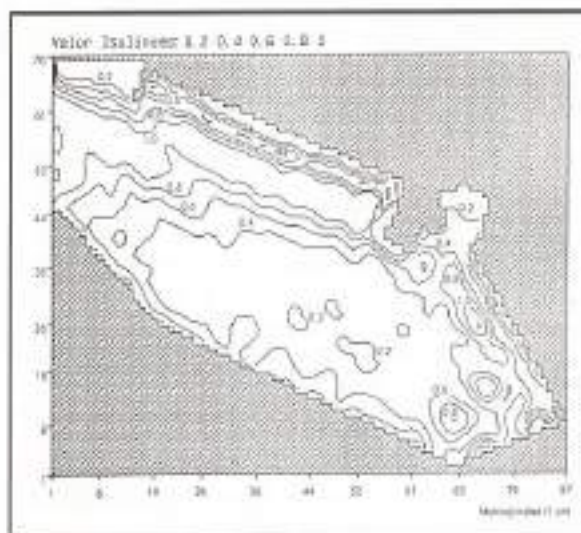
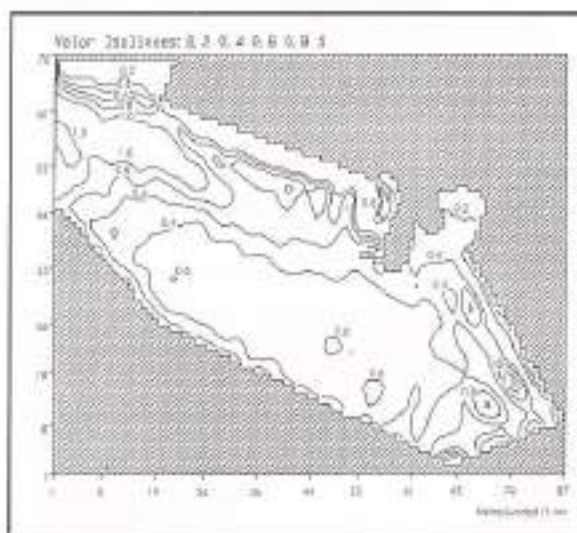


FIGURA 10. Tenerife, nest ♂ Hs/Mu.

FIGURA 12. Tensões, test 8 H₂/H₂O

proporcionado por los ensayos de propagación, y del análisis estadístico realizado con las observaciones visuales Sea y Swell. Los resultados obtenidos se recogen en la Tabla 2. La altura de ola de excedencia considerada fue 0.30 m.

6. CONCLUSIONES

— La construcción del nuevo muelle supone un aumento generalizado de las condiciones medias de agitación interior puesto que supone sustituir una zona amortiguadora del oleaje, como es una playa, por un paramento reflejante como es el nuevo muelle. Su orientación

determinará la cantidad de energía por él reflejada así como la distribución espacial de las condiciones de agitación interior.

— En las alternativas ensayadas parte de la energía reflejada por el nuevo muelle es interferida por el espigón que partiendo de Navasa avanza en dirección NW-SE, aproximadamente.

— Con esta solución el muelle del Bufadero no resulta abrigado del oleaje exterior en la dársena considerada.

— Desde el punto de vista de los muelles ya existentes la eficacia general del sistema nuevo muelle-espigón

ZONA	% VARIACION							
	TEST							
	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0,519 100 %	15,2	15,2	19,6	18,9	14,4	16,0	14,8
2	0,409 100 %	-10,7	-11,5	0,2	-1,0	-7,1	-10,0	-7,3
3	0,398 100 %	-12,0	-10,5	-10,3	14,6	-2,8	-9,0	-5,0
4	0,408 100 %	-10,0	-5,9	-14,2	5,9	3,7	1,0	12,5

TABLA 1.

TEST	H	H ₀	H ₀ = H ₀ /K _r	SEA		SWELL		HORAS/AÑO
				A = F ₁ (Hv), Fr	A = P _{resto}	A = F ₂ (Hv), Fr	A = P _{resto}	
2	0,436	0,688	1,30	0,0204	0,9961	0,0066	0,9933	73
3	0,508	0,590	1,11	0,0190	0,9947	0,0055	0,9945	94
4	0,512	0,586	1,10	0,0189	0,9946	0,0055	0,9945	95
5	0,533	0,563	1,06	0,0186	0,9942	0,0053	0,9947	100
6	0,553	0,542	1,02	0,0182	0,9939	0,0051	0,9949	105
7	0,529	0,567	1,07	0,0187	0,9935	0,0053	0,9947	106
8	0,542	0,553	1,04	0,0185	0,9942	0,0052	0,9948	101
9	0,554	0,542	1,02	0,0182	0,9939	0,0051	0,9949	105

TABLA 2.

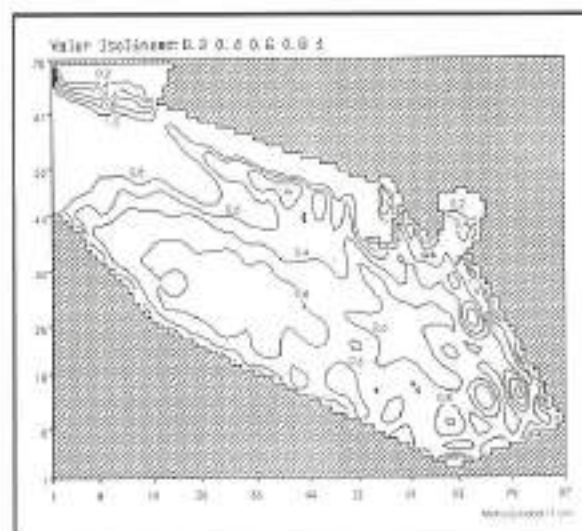


FIGURA 13. Tenerife, test 9 Hv/H₀.

y la distribución espacial de la agitación resultante depende, esencialmente, de la orientación, longitud y características reflejantes del espigón, pero, en general, si consideramos dos grandes áreas en la dársena, la exte-

rior, constituida por las zonas 1 y 2 de la Figura 4, y la interior, formada por las zonas 3 y 4, la mejora en una de ellas no implica la de la otra y viceversa.

— Por lo que se refiere a otras direcciones, distintas de la ensayada, la construcción del muelle también se traducirá en un aumento de la agitación interior por las zonas indicadas en la primera conclusión, si bien dada la orientación presumible del nuevo muelle y la configuración del dique exterior, es de suponer que el mayor impacto se produzca sobre las zonas 1 y 2.

REFERENCIAS

- ANG, A. H. S. y TANG, W. H. (1984). «Probability concepts in engineering planning and design», vol. I y II. John-Wiley, New York.
- GRAAUW, A. D. (1986). «Wave statistics based on ships observations», Coastal Eng., 10:105-118.
- HOGGEN, N. y LUMB, P. E. (1967). «Ocean wave statistics». HMSO London.
- LARSEN, J. y DANCY, H. (1983). «Open boundaries in short waves simulations—a new approach», Coastal Eng., 7:285-297.
- MADSEN, P. A. (1988). «Wave reflection from vertical permeable wave absorbers», Coastal Eng., 7:381-396.
- MARTIN SOLDEVILLA (1988). «Estudio de agitación en el Puerto de Santa Cruz de Tenerife». Centro de Estudios de Puertos y Costas (CEDEX). Clave: 234309054. (Sin publicar.)