

Ingeniería Civil

NÚM. 153/2009

ISSN: 0213-8468



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE FOMENTO

MINISTERIO
DE MEDIO AMBIENTE
Y MEDIO RURAL
Y MARINO

CEDEX
CENTRO DE ESTUDIOS
Y EXPERIMENTACIÓN
DE OBRAS PÚBLICAS



COMITÉ DE REDACCIÓN

Presidente

Antonio Sánchez Trujillano

Secretario

Tomás Moreno Sanz

Vocales

Lucía Beloqui Urmeneta

Enrique Dapena García

Víctor Elviro García

Antonio Lechuga Alvaro

M^a Angeles de Pablo Sanmartín

Amparo Precioso de Murga

Francisco Javier Sainz de Cueto Torres

Francisco Sinis Fernández

Isabel Vilches Dueñas

REDACCIÓN

Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas
Alfonso XII, 3 - 28014 Madrid - Telf.: 913 35 72 69 - Fax: 913 35 72 49
e-mail: ingcivil@cedex.es

El Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX) no se hace responsable de las opiniones, teorías o datos publicados en los artículos de Ingeniería Civil, siendo ello responsabilidad exclusiva de sus autores.

COORDINACIÓN DE PUBLICIDAD

Manuel Pombo Martínez

PUBLICIDAD

Oronse, 6 - Telfs.: 915 55 36 93 - Fax: 915 56 40 60 - 28020 Madrid
e-mail: revistacivil@terra.es

PRECIO DE ESTE EJEMPLAR: 12,25€

I.S.S.N.: 0213-8468 - N.I.P.O.: 163-09-009-4
Depósito Legal: M-28150-1971 - AUTOEDICIÓN Y PUBLICIDAD



NUESTRA PORTADA: Dique de Botafoc (Ibiza).

SUMARIO

PRESIÓN DEL FRENTE DE TUNELADORAS EPB PARA EL CONTROL DE SUBSIDENCIAS EN TÚNELES URBANOS. APLICACIÓN A LAS OBRAS DEL COLECTOR DE ABRONIGALES (MADRID) Y LÍNEA 9 (BARCELONA). Gabriel Bona López	3
ANÁLISIS DE MOVIMIENTOS Y ACELERACIONES PROVOCADOS POR LAS ACCIONES DEL OLEAJE Y DE LOS BUQUES EN EL DIQUE DE BOTAFOC (IBIZA). José Luis Almazán Gárate, Ángel Matías Mateos, Armando Parada González, Jorge Martín Jimenez, Eric Iribarren Lasconateguy y José Ramón Amorós Serret	15
COMPORTAMIENTO DE UN GEOSINTÉTICO UTILIZADO EN EL DRENAJE DE UN EMBALSE. A. Leiro y M. Blanco	29
COMPORTAMIENTO DE GEOMEMBRANAS SINTÉTICAS INSTALADAS EN EL CAMPO EXPERIMENTAL DE EL SALTADERO. Manuel Blanco, Escolástico Aguiar, Tatiana Vara, Florencio García, Jesús Soriano y Francisca Castillo	37
ESTRATEGIAS DEL SECTOR DEL TRANSPORTE Y SU IMPACTO EN LA CALIDAD DEL AIRE Y EN LOS GASES DE EFECTO INVERNADERO. Laura Crespo García y Ana Portillo Jiménez-Landi	45
CARACTERIZACIÓN DE POSIBLES FENÓMENOS DE RESONANCIA EN LA FUTURA DÁRSENA EXTERIOR DE LEVANTE DEL PUERTO DE MÁLAGA MEDIANTE MODELACIÓN NUMÉRICA. M. García Mañes y M ^a . J. Martín Soldevilla	55
ESTUDIO DE TRANSFERENCIA DE INFORMACIÓN ENTRE LA RED EXTERIOR DE OLEAJE Y LA RED COSTERA. MATRICES DE TRANSFERENCIA EN LA POSICIÓN DE LA BOYA DE LANGOSTEIRA. Alicia Navarro Sáez, M ^a Jesús Martín Soldevilla y Marta Alfonso	65
DESCRIPCIÓN DEL "ANUARIO DE AFOROS 2005-2006. CONFEDERACIONES HIDROGRÁFICAS" Y TRATAMIENTO DE LOS DATOS. Mirta Dimas Suárez, M ^a Ángeles Bejarano Vinagre, Armando Espina Argüello, Luis Quintas Ripoll, Sara Martínez García, Fernando Pastor Argüello	75
ALGUNAS PROPUESTAS DE ACTUACIÓN PARA LA GESTIÓN DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS EN LA PROVINCIA DE JAÉN. Fco. Javier González Márquez	85
ESTUDIO DE UN SISTEMA DE DETECCIÓN TIPO PÓRTICO PARA SU APLICACIÓN EN LA INDUSTRIA DEL METAL. L. Pujol, S. Lara-Calleja, M. J. Suárez-Navarro y J. A. González-González	91
CONTROL DE CALIDAD EN LOS ENSAYOS DE SISTEMAS DE CONTENCIÓN DE VEHÍCULOS. INTERCOMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LOS ENSAYOS. Santiago López Ramos	99
FÁBRICA Y COMPORTAMIENTO GEOTÉCNICO DE LAS ARCILLAS VOLCÁNICAS DE XALAPA, MÉXICO. Oscar Lenz	111

projar

MALLA VOLUMÉTRICA TRINTER para la Revegetación de Taludes



Escucha, Asesora, Soluciona

www.projar.es | 96 159 74 80

projar

Presión del frente de tuneladoras EPB para el control de subsidencias en túneles urbanos. Aplicación a las obras del colector de Abroñigales (Madrid) y línea 9 (Barcelona)

GABRIEL BONA LÓPEZ (*)

RESUMEN En tres túneles excavados con tuneladoras EPB, uno situado en Madrid correspondiente al Nuevo Colector de Abroñigales y los otros dos, situados en Barcelona correspondientes a dos tramos de la línea 9 del metro de Barcelona, se han analizado los datos geológicos-geotécnicos de los terrenos excavados, los resultados de la instrumentación colocada en superficie y los datos propios de las tuneladoras, con el fin de proponer correlaciones con la magnitud de los asentos.

TUNNEL BORING MACHINE (EPB) FACE PRESSURE IN THE CONTROL OF SETTLEMENTS OF URBAN TUNNELS – APPLICATIONS TO THE PROJECTS OF THE ABRONIGALES SEWAGE (MADRID) AND LINE 9 OF THE BARCELONA UNDERGROUND

ABSTRACT *In three tunnels excavated with tunnel boring machines (EPB), one located in Madrid corresponding to the New Collector of Abroñigales and the other two located in Barcelona corresponding to two sections of line 9 of the Barcelona underground, the geologic-geotechnical data of the excavation materials has been analyzed, the results of the instrumentation placed at ground level and the data characteristic of the TBM, with the purpose of proposing correlations with the magnitude of the settlements.*

Palabras clave: Túnel, TBM, Asientos, Pérdida de suelo, Presión en el frente.

Keywords: Túnel, TBM, Settlements, Ground loss, Earth pressure.

1. INTRODUCCIÓN

En este artículo se analizan los datos geológicos-geotécnicos de la traza de varios túneles, los resultados de la instrumentación colocada en superficie y los datos operativos de las distintas máquinas tuneladoras. Con el objetivo de evaluar los mecanismos de producción de asentos en superficie a la vista de los valores obtenidos en los datos analizados y proponer correlaciones con la magnitud de los asentos (cuantificados por la pérdida de suelo definida como el área encerrada por la cubeta de asentos).

2. DESCRIPCIÓN DE LAS OBRAS

Las obras recogidas en esta comunicación consisten en la ejecución de tres túneles, uno hidráulico y dos ferroviarios.

Los túneles se han excavado o se están excavando con tuneladoras EPB (Earth Pressure Balance). El modo de excavación de estas tuneladoras con equilibrio de presión de tierras suministra un soporte permanente del frente de excavación equilibrando la presión en la cámara de tierras con la presión que el terreno ejerce contra el frente de la máquina.

Uno de los túneles, cuya excavación se encuentra finalizada, se sitúa en la zona sur de Madrid, y corresponde al Nuevo Colector de By-Pass de Abroñigales.

Los otros dos túneles pertenecen a la línea 9 del Metropolitano de Barcelona, que se encuentra en estos momentos en construcción. Uno de los túneles es el correspondiente al tramo 6A1 entre el P.K. 4+500 y la terminal entre pistas, denominado L9-6A1 en la figura 2. Mientras que el otro tramo, corresponde al acceso al triángulo ferroviario y en este túnel nos referiremos solo a los subtramos comprendidos entre el P.K. 1+173 y el P.K. 1+707 y el comprendido entre el P.K. 1+863 y la estación de Sagrera/Meridiana, denominado L9T en la figura 2.

(*) Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Jefe de Proyectos del Dpto. de Geotecnia II. D.T. de Ferrovial-Agromán, S.A.



FIGURA 1. Planta situación túnel colector de Abroñigales.

2.1. TÚNEL NUEVO COLECTOR DE BY-PASS DE ABRONIGALES

Su inicio se sitúa en la M-30, al oeste del puente de los tres ojos (puente del ferrocarril) en el barrio del Puente de Vallecas. El trazado discurre en túnel hasta alcanzar la zona donde se ha ubicado el estanque de tormentas de Abroñigales, situado al sur de Mercamadrid y próximo a la E.R.A.R. de la Gavia, donde finaliza, con una longitud de 4.800 m.

La excavación de la tuneladora se ha realizado con un diámetro de 7,66 m.

2.2. TÚNEL LÍNEA 9 DEL METRO DE BARCELONA TRAMO: P.K. 1+173 Y P.K. 1+707

Tiene su origen en el pozo de Treball en Vía Trajana y finaliza en el inicio del pozo de Crenament, con una longitud de 530 m. La tuneladora tiene un diámetro de excavación de 11,95 m.



FIGURA 2. Planta situación túneles línea 9 del metro de Barcelona.

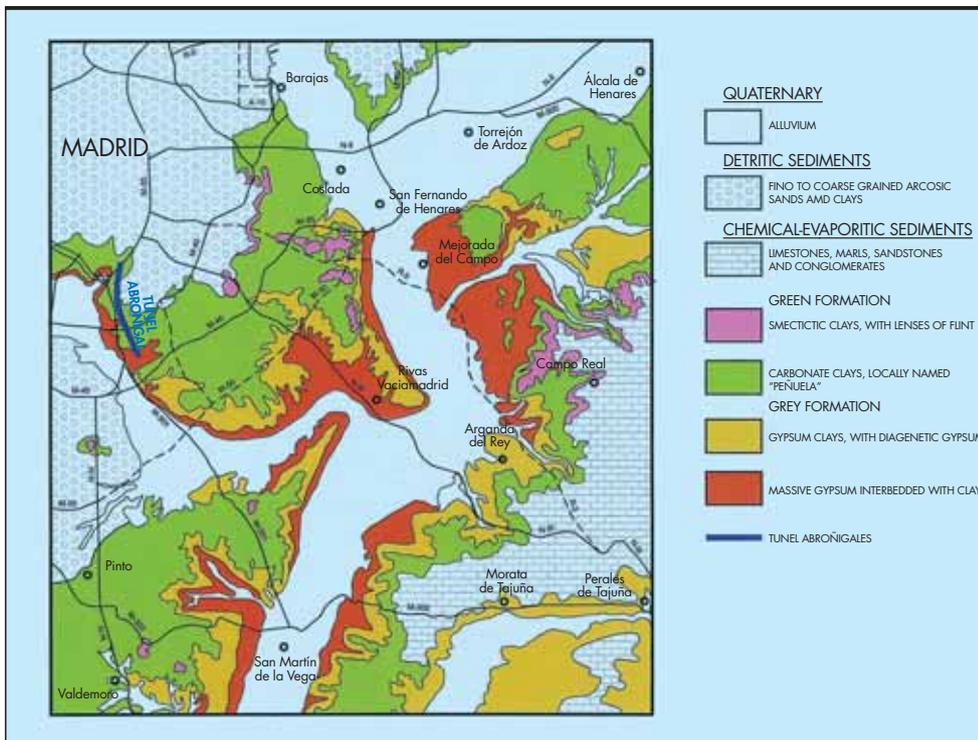


FIGURA 3. Planta geológica de la facies químico-evaporítica de Madrid.

2.3. TÚNEL LÍNEA 9 DEL METRO DE BARCELONA TRAMO: P.K. 1+800 Y ESTACIÓN DE SAGRERA/MERIDIANA

Tiene su origen en P.K. 1+863, en el pozo de extracción de tierras y finaliza en la estación de Sagrera/Meridiana, con una longitud de 1100 metros.

La tuneladora tiene un diámetro de excavación de 11,95 m.

2.4. TÚNEL LÍNEA 9 DEL METRO DE BARCELONA TRAMO 6A1

Tiene su origen en la estación terminal entre pistas y finaliza en el P.K. 4+500, con una longitud de 4500 metros.

La tuneladora tiene un diámetro de excavación de 9,4 m.

3. GEOLOGÍA

La zona de estudio del túnel del colector de Abroñigales (véase la figura 3) se encuadra en el sector central de la Cuenca Terciaria del Tajo, que constituye una amplia cubeta sedimentaria en cuyo interior se desarrolla un sistema deposicional de tipo lacustre con predominio de una sedimentación de tipo química. Esta dinámica ha condicionado (junto con otros factores como el clima, alteraciones en el basamento y naturaleza del área madre) los sedimentos, así como la composición y distribución de las distintas unidades sedimentarias que rellenan la cuenca dentro de las que se producen numerosos y variados cambios de facies.

Dentro de la ciudad de Madrid, y más particularmente en la zona donde se han desarrollado las obras en cuestión, las formaciones que se encuentran han sido peñuelas y yesos. No hay contactos netos entre estas formaciones sino que son cambios más o menos graduales de facies, lo que se traduce en zonas en las que los diferentes materiales están intercalados.

Las formaciones terciarias están parcialmente recubiertas por depósitos cuaternarios, formados por materiales de diferentes orígenes: coluviales, conos de deyección y aluviales.

Sobre todos estos materiales existen zonas con rellenos contemporáneos (antrópicos).

No se ha definido un nivel freático general y continuo, dada la naturaleza variable tanto en profundidad como en extensión, en que se presentan los diferentes niveles acuíferos a lo largo de todo el trazado, generalmente aislados. Esta situación es típica de los suelos de Madrid.

La traza en estudio de la línea 9 del metro de Barcelona (véase figura 4) se sitúa en el área existente entre la desembocadura del río Llobregat y la llanura litoral situada al noroeste de la desembocadura del río Besòs y al noroeste de la Cordillera Litoral. Una parte del recorrido discurre por el contacto entre el llano de Barcelona y los materiales paleozoicos de la Cordillera de Collserola.

Dentro de la ciudad de Barcelona, y más particularmente en las zonas donde se han desarrollado las obras en cuestión, las formaciones geológicas presentes corresponden a materiales de edad Pliocena y Cuaternaria.

Los materiales de edad Pliocénica, corresponden a argilitas y limolitas grises, en la parte superior se tornan más arenosas y de color verde. También se han presentado, en zonas muy localizadas, por debajo de los materiales Pliocénicos granodioritas meteorizadas.

En los materiales cuaternarios podemos distinguir varios niveles, y en orden de edad, del más antiguo al más moderno podemos encontrar: Un primer nivel, formado por gravas en matriz arenosa o arcillosa. El siguiente nivel es esta constituido por arcillas con algunas gravas y un último nivel, formado por limos con gravas dispersas de origen coluvial.

Sobre todos estos materiales existen zonas con rellenos contemporáneos (antrópicos).

El nivel freático se sitúa en general entre los 3 y los 5 metros de profundidad, por lo que toda la excavación de los túneles se realizara bajo el nivel freático.

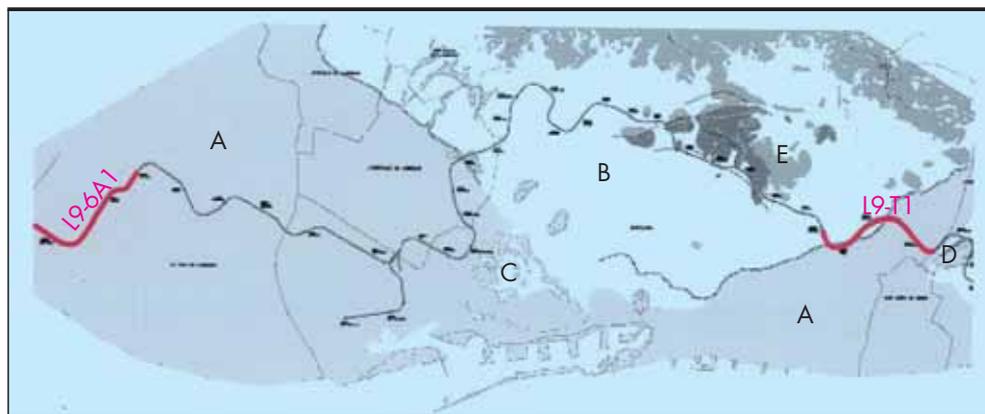


FIGURA 4. Planta geológica Línea 9 Metropolitano de Barcelona, A: Llanuras deltaicas del río Besós y Llobregat (Holoceno), B: Llano de Barcelona (Pleistoceno), C: Colinas de Montjuïc (Plioceno), D: Colina de Llefià (Mioceno), E: Colinas de Monterols (Paleozoico).

4. DESCRIPCIÓN GEOTÉCNICA DE LA TRAZA

El túnel del colector de Abroñigales se ha excavado en peñuela hasta el P.K. 1+280. A partir de aquí hasta el P.K. 2+260 los materiales de la excavación han sido peñuela y yesos. Y desde este último punto hasta el final del túnel, la excavación se ha realizado solo en la formación yesífera. El recubrimiento de terreno sobre la clave ha estado comprendido entre 4 m. y 44 m.

El túnel de la línea 9 correspondiente al tramo Pou de Treball hasta el Pou de Crenament, se sitúa entre el P.K. 1+173 hasta el P.K. 1+460 en limos arenosos, arenas limosas y gravas, y en los últimos 100 metros la contrabóveda se sitúa en las granodioritas meteorizadas. Desde el anterior P.K. hasta el P.K. 1+707, el túnel se sitúa en gravas, limolitas y argilitas, excepto en los primeros 70 metros, donde la contrabóveda se excava en la granodiorita meteorizada. El recubrimiento de terreno sobre la clave varía entre 5 m. y 23 m.

El túnel de la línea 9 comprendido entre el P.K. 1+865 y la estación de Sagrera/Meridiana, discurre entre el P.K. 1+860 hasta el P.K. 2+3700 por arcillas, limos y gravas. Y desde este P.K. hasta el final del tramo, el túnel se sitúa en gravas, limolitas y argilitas. El recubrimiento de terreno sobre la clave varía entre 11 m. y 36 m.

5. ESTIMACIÓN DE LA PERDIDA DE SUELO Y COMPARACIÓN CON LA PRESIÓN EN EL FRENTE DEL ESCUDO

La pérdida de suelo real correspondiente al paso de los diversos túneles recogidos en este artículo, se ha estimado a partir de los resultados obtenidos en el retroanálisis realizado a las cubetas de asientos que se deducen de las mediciones realizadas en la instrumentación colocada en estos túneles. La definición de estas curvas de asientos, se ha realizado mediante un procedimiento iterativo, mediante el cual se ajusta una curva de Gauss a los valores de asientos obtenidos en la instrumentación. Esta curva queda totalmente definida a través del parámetro i y de la pérdida de suelo V_s . Por tanto, variando estos parámetros se varía la curva hasta obtener la mejor adaptación a los valores reales obtenidos en la instrumentación.

A título de ejemplo, en la figura 5 se recoge una de las distintas curvas de asiento obtenidas a partir de los resultados de la instrumentación.

En la figura 6, se recoge la evolución de la presión de tierras en el frente antes, cuando cruza y después de pasar por una de las secciones de instrumentación colocadas en el trazado.

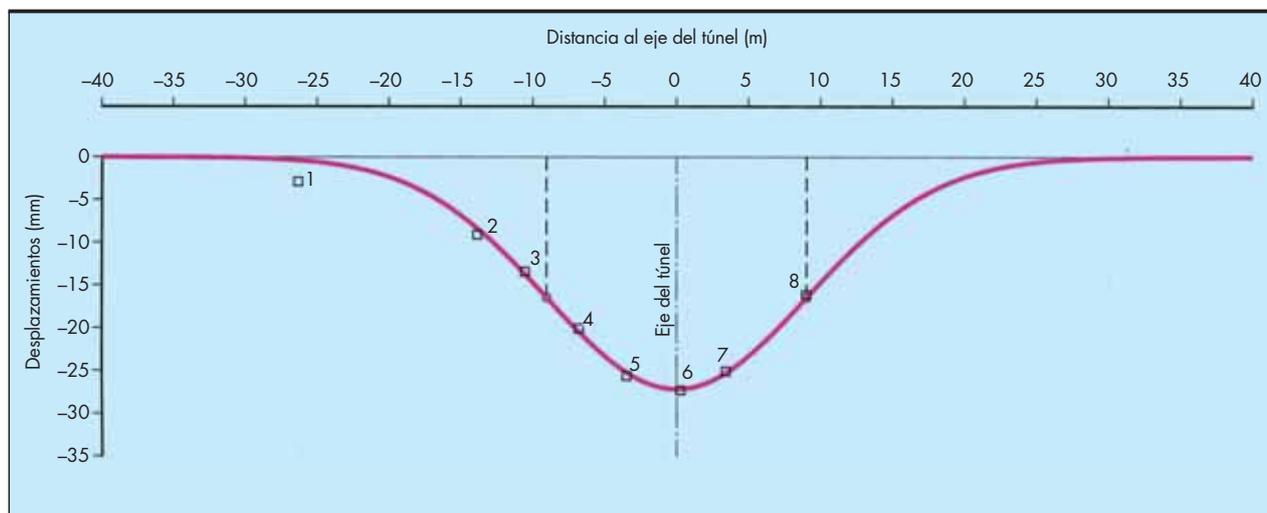


FIGURA 5. Ejemplo de subsidencias medidas y ajuste a curva de Gauss de una sección excavada con tuneladora EPB.

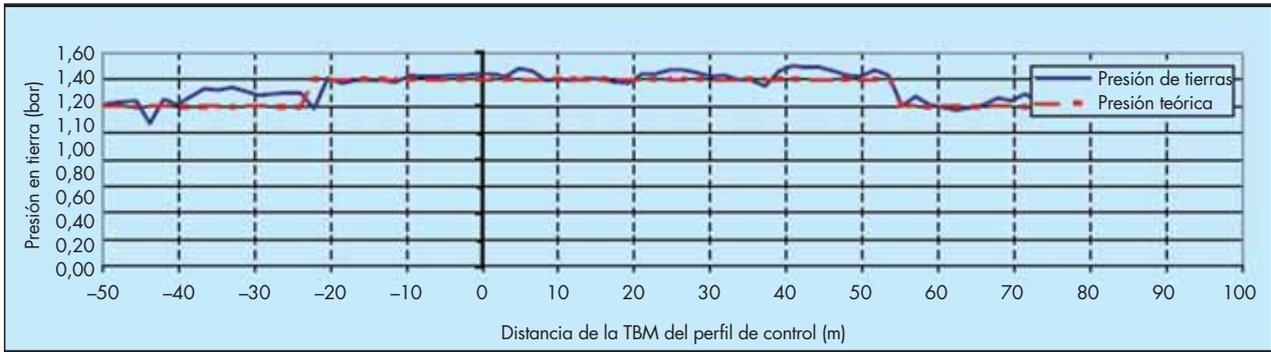


FIGURA 6. Medidas presión de tierras en el frente en una sección de instrumentación.

En las tablas 1 y 2, se recogen los resultados del retroanálisis realizado. En esta tabla también se indica la presión en el frente del escudo y los materiales excavados.

De estas tablas se desprende, que se produce una reducción en los valores de la pérdida de suelo a medida que aumenta la profundidad del túnel. Mientras que si compara-

TABLA 1. Túnel Colector Abroñigales. Perdidas de Suelo y Presión en el Frente.

Prof. Eje Túnel (m)	Perdida Suelo V_s (%)	K	Presión Frente (bar)	Materiales Excavados
23,62	0,404	0,650	0,30	Peñuelas
31,37	0,275	0,293	0,35	Peñuelas
31,69	0,270	0,384	0,37	Peñuelas
20,50	0,059	0,439	0,20	Formación Yesífera
20,90	0,055	0,497	0,22	Formación Yesífera
25,50	0,026	0,411	0,27	Formación Yesífera

Prof. Eje Túnel (m)	Perdida Suelo V_s (%)	K	Presión Frente (bar)	Materiales Excavados
15,6	0,556	0,535	1,11	Limos y Arenas
17,3	0,225	0,329	1,42	Limos y Arenas
18,0	0,152	0,412	1,51	Limos y Arenas
26,0	0,092	0,297	0,62	Arenas, Limolitas y Argilitas
27,1	0,083	0,202	0,79	Arenas, Limolitas y Argilitas
27,7	0,073	0,242	0,86	Arenas, Limolitas y Argilitas
18,0	0,042	0,350	1,25	Arcillas, Limos y Gravas
18,5	0,038	0,689	1,39	Arcillas, Limos y Gravas
19,0	0,027	0,285	1,44	Arcillas, Limos y Gravas
25,3	0,101	0,870	1,35	Gravas, Limolitas y Argilitas
29,9	0,091	0,361	1,66	Gravas, Limolitas y Argilitas
33,7	0,082	0,402	1,73	Gravas, Limolitas y Argilitas
37,8	0,285	0,784	2,09	Limolitas y Argilitas
39,7	0,205	0,642	2,20	Limolitas y Argilitas
41,4	0,162	0,618	2,26	Limolitas y Argilitas

TABLA 2. Túnel Línea 9. Perdidas de Suelo y Presión en el Frente.

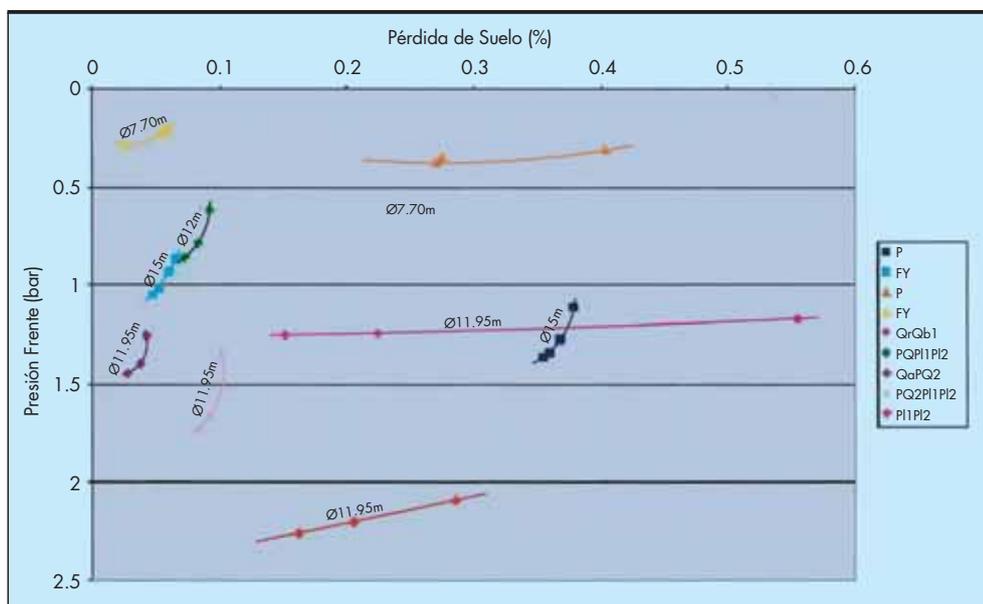


FIGURA 7. Pérdida de suelo medidas en función de la presión del frente, el diámetro del túnel y el terreno de excavación. P: Peñuelas; FY: Formación yesífera; Qr Qb1: Limos y arenas; PQ, P11, P12: Arenas, limolitas y argilitas; Qa PQ2: Arcillas, limos y gravas; PQ2, P11, P12: Gravas, limolitas y argilitas y P11, P12: Limolitas y argilitas.

mos la profundidad del túnel y con la presión en el frente, esta aumenta al aumentar la profundidad del túnel.

En la figura 7, se recoge la evolución de la pérdida de suelo con la presión en el frente del escudo. En esta figura, también se han superpuesto los valores de la pérdida de suelo y presión en el frente obtenidos en la excavación del túnel norte del by-pass sur de la M-30 (Bona et al., 2007).

En esta figura se observa, que las distintas curvas muestran una reducción de la pérdida de suelo al aumentar la presión en el frente. Este hecho era de prever, ya que uno de los factores que influye en los valores de la pérdida de suelo, además de la naturaleza del terreno y la posición del nivel freático, es la presión en el frente del escudo.

6. EVALUACIÓN DEL COEFICIENTE DE ESTABILIDAD DEL FRENTE

Para evaluar la estabilidad del frente de excavación de un túnel circular se ha empleado el método numérico de las fajas de Jambu, en el que se determina la seguridad a la estabilidad del frente suponiendo líneas de rotura cónicas que pasan por la contrabóveda.

Se ha realizado un cálculo en 3D, considerándose los cálculos para una faja de un metro de anchura. El proceso de cálculo es similar al desarrollado para el cálculo de la esta-

bilidad de taludes, con la salvedad de considerar la acción del terreno situado en la parte frontal y por encima de la clave del túnel y la existencia de una presión en el frente.

En las tablas 3 y 4 se recogen los resultados de la evaluación del factor de estabilidad del frente (F) realizados para todas las secciones recogidas en las tablas 1 y 2.

Del análisis de las tablas se puede observar que el valor de la pérdida de suelo disminuye a medida que aumenta el factor de estabilidad del frente. Y en el caso de la presión del frente, esta aumenta a la vez que aumenta el valor del factor de estabilidad del frente.

7. MODELO NÚMÉRICO TRIDIMENSIONAL DEL EFECTO DE LA PRESIÓN DEL FRENTE EN LAS SUBSIDENCIAS

Para determinar la correspondencia entre el asiento en superficie y el coeficiente de seguridad a la estabilidad del frente del túnel, se ha realizado una simulación numérica tridimensional de la construcción de un túnel mediante tuneladora EPB (Simic, 2008).

En este apartado se describen los cálculos realizados que permitirán evaluar la relación existente entre la presión en el frente de excavación de la tuneladora y la distribución de asientos en superficie que produce el paso de la misma. Para ello, se utiliza el caso real correspondiente al P.K. 3+300 del

Prof. Eje Túnel (m)	Pérdida Suelo V _s (%)	Presión Frente (bar)	F	Materiales Excavados
23,62	0,404	0,30	1,749	Peñuelas
31,37	0,275	0,35	1,790	Peñuelas
31,69	0,270	0,37	1,795	Peñuelas
20,50	0,059	0,20	2,096	Formación Yesífera
20,90	0,055	0,22	2,124	Formación Yesífera
25,50	0,026	0,27	2,194	Formación Yesífera

TABLA 3. Túnel Colector Abroñigales. Comparación Parámetros Excavación Túnel.

Prof. Eje Túnel (m)	Perdida Suelo V_s (%)	Presión Frente (bar)	F	Materiales Excavados
15,6	0,556	1,11	1,093	Limos y Arenas
17,3	0,225	1,42	1,128	Limos y Arenas
18,0	0,152	1,51	1,158	Limos y Arenas
26,0	0,092	0,62	1,184	Arenas, Limolitas y Argilitas
27,1	0,083	0,79	1,206	Arenas, Limolitas y Argilitas
27,7	0,073	0,86	1,234	Arenas, Limolitas y Argilitas
18,0	0,042	1,25	1,118	Arcillas, Limos y Gravas
18,5	0,038	1,39	1,144	Arcillas, Limos y Gravas
19,0	0,027	1,44	1,159	Arcillas, Limos y Gravas
25,3	0,101	1,35	1,276	Gravas, Limolitas y Argilitas
29,9	0,091	1,66	1,283	Gravas, Limolitas y Argilitas
33,7	0,082	1,73	1,322	Gravas, Limolitas y Argilitas
37,8	0,285	2,09	1,455	Limolitas y Argilitas
39,7	0,205	2,20	1,478	Limolitas y Argilitas
41,4	0,162	2,26	1,499	Limolitas y Argilitas

TABLA 4. Túnel Línea 9. Comparación Parámetros Excavación Túnel.

trazado del tramo 6A1 de la Línea 9 de Metro de Barcelona.

Los cálculos se han realizado mediante un modelo de diferencias finitas tridimensional implementado a través del programa comercial FLAC^{3D}, de HClitasca.

El perfil del terreno se recoge en la figura 8. En esta figura, también se define la profundidad del túnel, que tendrá un diámetro de excavación de 9,40 m.

El modelo elegido es una representación del entorno de túnel hasta la superficie de forma paralelepédica, que aprovecha la simetría espacial existente. En este caso el modelo consta de unos 46400 elementos, y sus medidas son de 105x100x38 m. La construcción secuencial se simula en avances de 1 m de longitud, una vez pasada la zona inicial necesaria para eliminar los efectos del borde $Y=0$. En la fi-

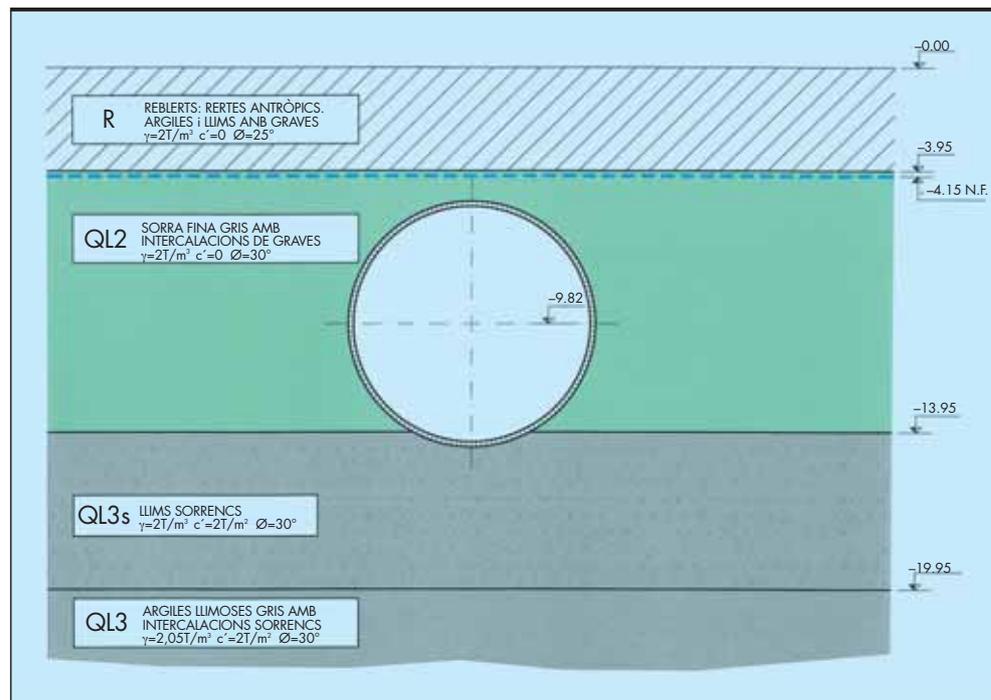


FIGURA 8. Perfil del terreno.

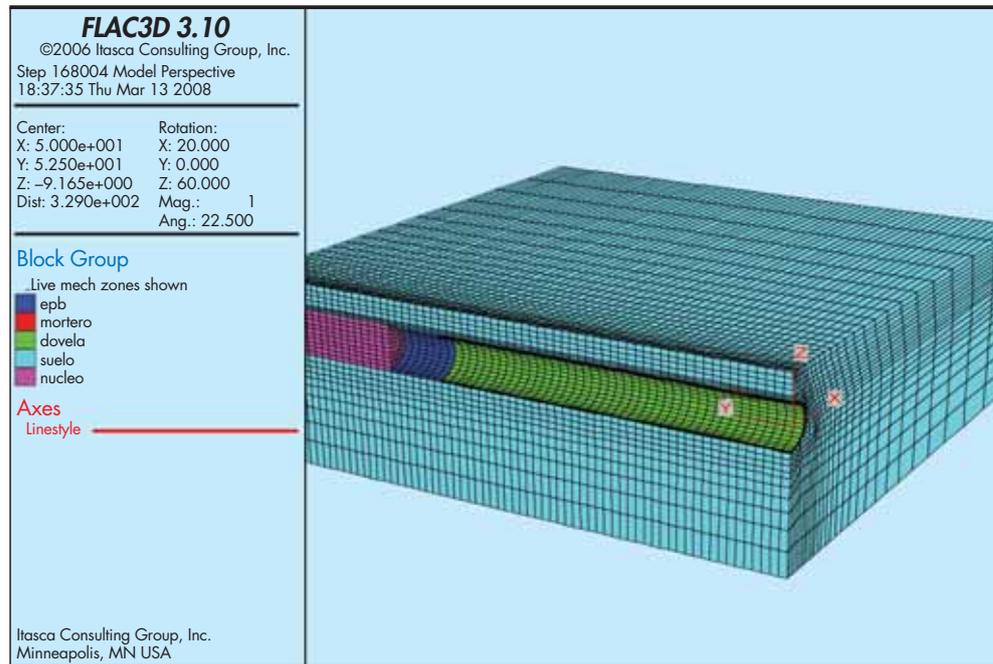


FIGURA 9. Modelo 3D de excavación mediante EPB.

gura 9, se recoge el aspecto general del modelo, una vez atravesada la longitud suficiente para conocer la cubeta alejada del frente, que es el estado final de cada cálculo realizado.

Se han analizado 6 situaciones distintas, cada una de ellas con una distinta presión en cabeza de la tuneladora. Y en cada una de estas situaciones, se ha obtenido la cubeta de asientos –a distancia infinita del frente de excavación– en función de dicha presión en el frente.

En la figura 10, se recogen las cubetas de asientos obtenidas en cada uno de las hipótesis de cálculo consideradas.

El siguiente paso, consiste en realizar un ajuste de cada una de las cubetas de asientos obtenidas en los cálculos realizados, siguiendo el método propuesto por Peck (1969) para estimar la pérdida de suelo en cada caso. En la figura 11, se recoge a título de ejemplo una de las cubetas obtenida en el ajuste realizado y se superpone con la cubeta de asientos obtenida en los cálculos de FLAC.

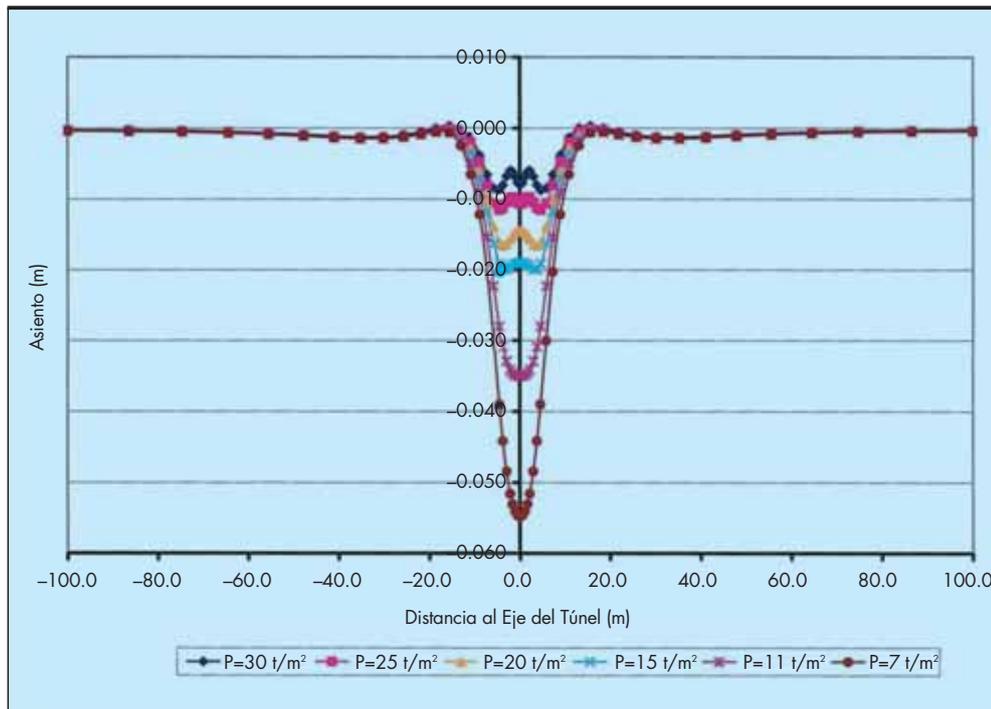


FIGURA 10. Cubetas de asientos.

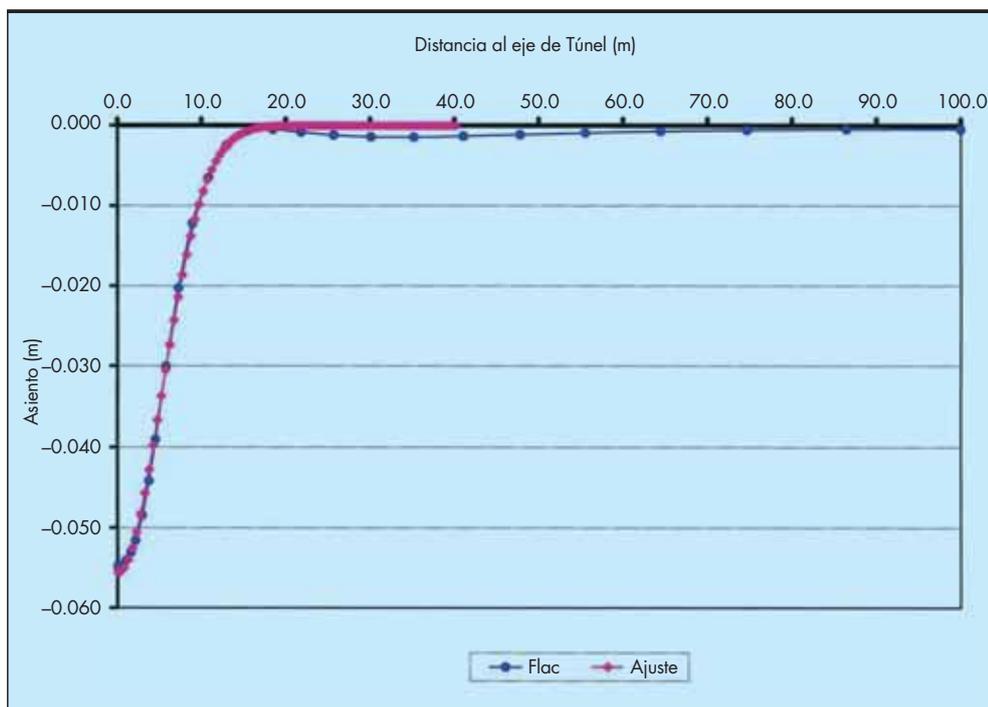


FIGURA 11. Comparación de las cubetas de asientos obtenidas por el ajuste con el método de Peck y la obtenida en los cálculos de FLAC.

Los resultados del ajuste realizado, se resumen en la tabla 5. También en esta tabla se adjuntan los valores de los coeficientes de estabilidad del frente.

De los resultados recogidos en la tabla 5, se pone de manifiesto que a medida que aumenta la presión en el frente del túnel, disminuye la pérdida de suelo. Mientras que, al aumentar la presión en el frente también aumenta el valor del coeficiente de estabilidad del frente. Este hecho está en consonancia con los resultados obtenidos en los apartados anteriores.

8. CONCLUSIONES

En las obras descritas, que cubren un amplio rango de comportamiento geotécnico (gravas, arenas, arcillas y yesos), de diámetros de la máquina (7,6 m.; 9,4 m.; 11,95 m. y 15 m.) y de profundidades de los túneles, se ha analizado el meca-

nismo de producción de los asientos en función de las características geotécnicas del terreno y la presión del frente, llegando a la conclusión de que tanto el coeficiente de seguridad de la estabilidad del frente como la presión en el frente presentan una buena correlación con la pérdida de suelo, como se recoge en las figuras siguientes.

En la figura 12 puede verse la correlación entre la pérdida de suelo y el coeficiente de estabilidad del frente. Y en la figura 13, se muestra la correlación obtenida entre la presión en el frente y la pérdida de suelo. También se han superpuesto en estas figuras, la correspondencia, obtenida, en el modelo numérico descrito en el apartado anterior. Como cabía de esperar, las distintas curvas muestran una reducción de la pérdida de suelo al aumentar tanto el valor del coeficiente de estabilidad del frente como el valor de la presión en el frente. Los datos correspondientes a túneles excavados en arcillas duras y margas yesíferas ponen de manifiesto menores asientos y una reducción más fuerte de la pérdida de suelo con el factor de seguridad del frente o con la presión en el frente respecto de los datos de los túneles excavados en suelos blandos.

Como conclusión podemos decir, que un aspecto muy importante de las operaciones de las tuneladoras de frente cerrado es el control del frente de excavación con el fin de minimizar las afecciones en el terreno circundante debidas a los asientos.

9. AGRADECIMIENTOS

El autor desea agradecer a todas las entidades que han permitido disponer de los datos y publicar estas conclusiones de las distintas obras recogida en este artículo.

De modo particular deseamos expresar nuestro agradecimiento a la Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental del Ayuntamiento de Madrid en lo que concierne al colector de Abroñigales y a GISA en lo que se refiere a la Línea 9 del Metro de Barcelona.

Presión Frente (T/m ²)	Perdida de Suelo (%)	Coefficiente de Estabilidad
30	0.272	1,519
25	0.323	1,392
20	0.445	1,274
15	0.530	1,165
11	0.694	1,083
7	1.049	1,006

TABLA 5. Modelo FLAC 3D. Valores de la Perdida de Suelo y del Coeficiente de Estabilidad del Frente.

FIGURA 12. Pérdida de suelo de cubetas de asientos medidas en casos reales, en función del coeficiente de seguridad del frente y las características del túnel (Simic, 2008).

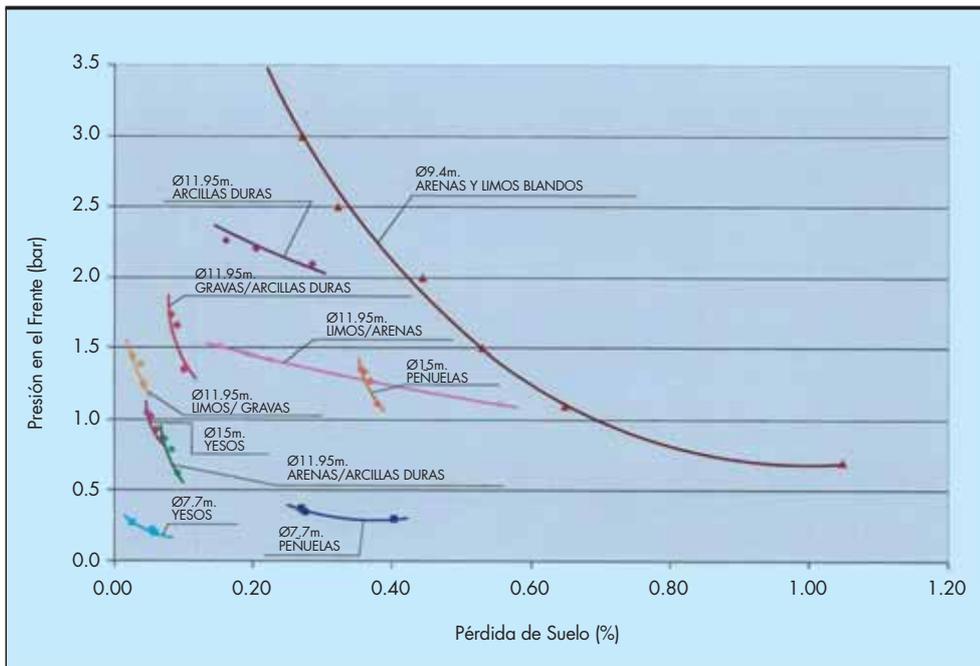
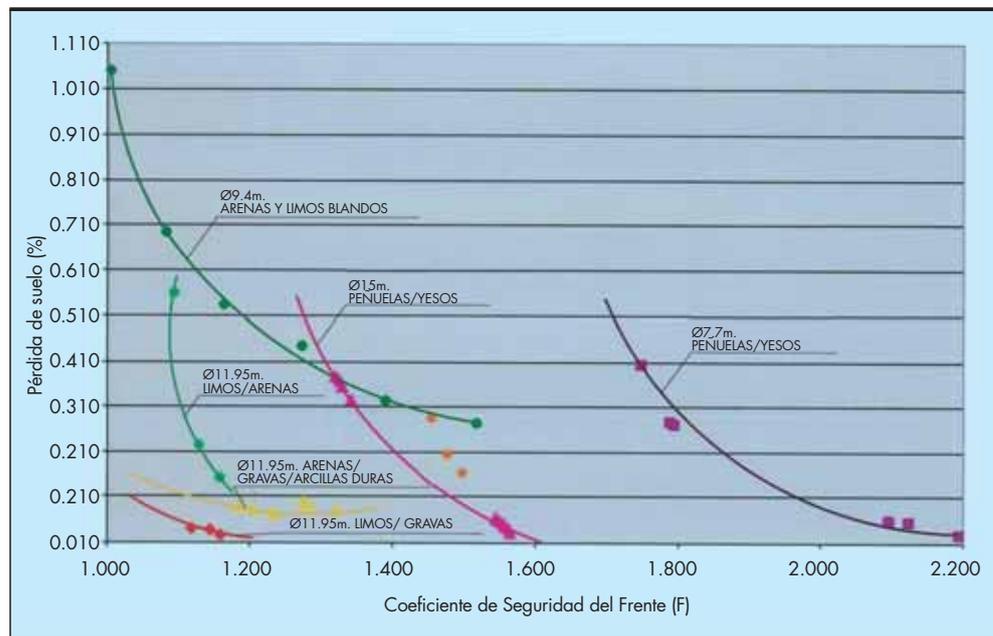
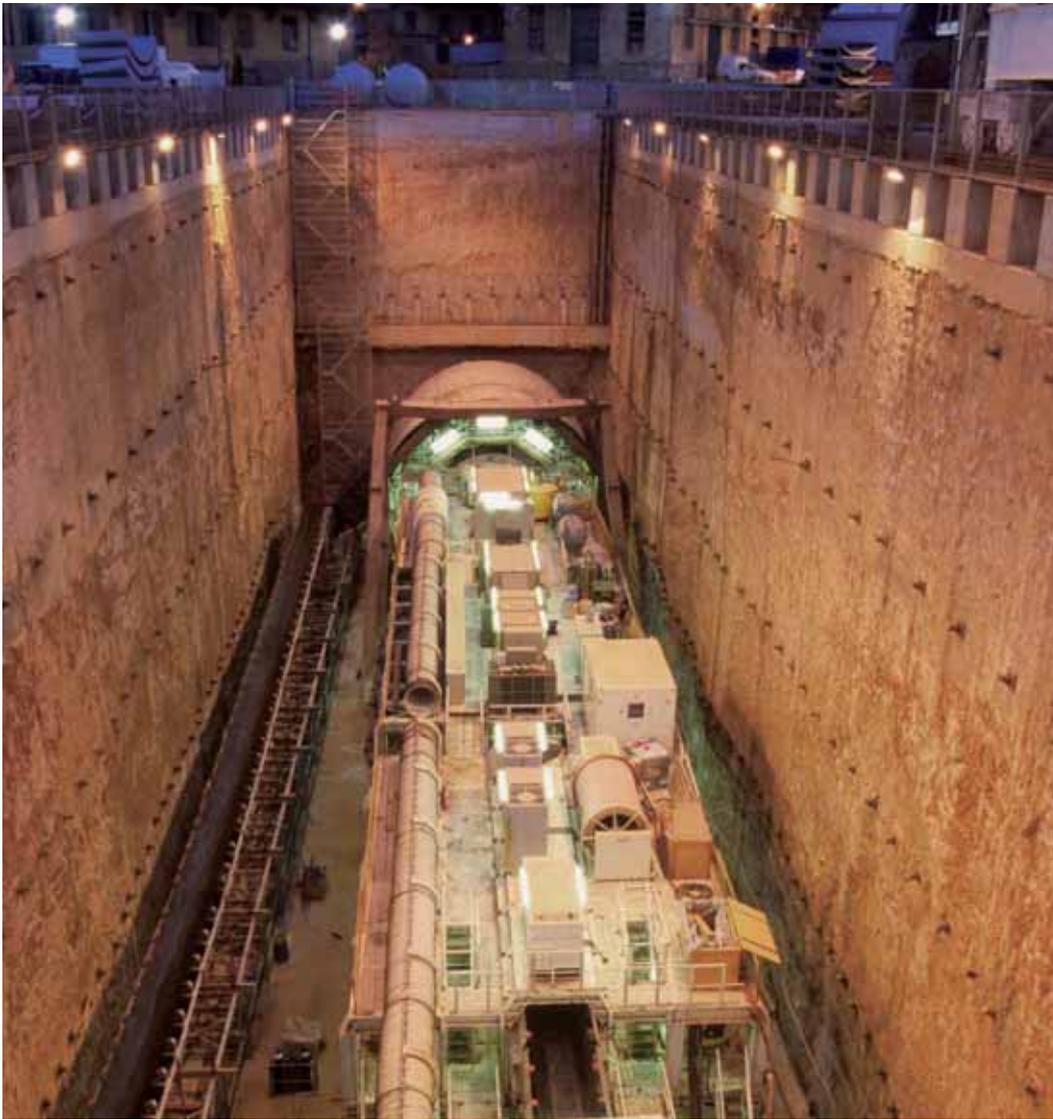


FIGURA 13. Pérdida de suelo de cubetas de asientos medidas en casos reales, en función de la presión en el frente de excavación y las características del túnel (Simic, 2008).

10. REFERENCIAS

1. Bona, G; Simic, D (2007). Asientos provocados por tuneladoras de presión de tierras en las facies químico-evaporíticas del sur de Madrid. Congreso Internacional AE-TOS 2007. Madrid
2. Buxó, P. (2003). L9, Nueva línea de Metro de Barcelona. Aspectos geotécnicos del trazado. II Jornadas del CRE-CIT, Barcelona.
3. Melis, M. (2006). Túneles en rocas blandas sobreconsolidadas. El problema de la estabilidad del frente. ROP, Madrid.
4. Oteo, C. (1982). Subsistencia debida a túneles. Curso sobre túneles. CEDEX. Madrid
5. Peck, R.B. (1969). Deep excavations and tunnelling in soft ground. *Proc. 7th Int. Conf. on Soil Mech. And Found Eng.* Mexico.
6. Simic, D. (2008). Tuneladoras de frente cerrado. Presiones en el frente y asientos inducidos. Jornada Técnica de Túneles con EPB. Simulación y control de la tuneladora. UPC, Barcelona.



SERVICIOS LLEVADOS
A CABO POR EL ÁREA
DE TERRENO,
OBRAS SUBTERRÁNEAS
Y ESTRUCTURAS

- Estudios económicos y de viabilidad
- Estudios medioambientales
- Estudios informativos
- Diseño conceptual e ingeniería básica
- Diseño previo y planes maestros
- Ingeniería de detalle y construcción
- Proyectos de rehabilitación y restauración
- Concesiones
- Dirección y supervisión de obras

LÍNEA 9 DEL METRO DE BARCELONA.

Tramo: Sagrera TAV-Gorg

La línea L9 presenta una serie de características que la hacen diferente del resto de líneas de la Red de Metro de Barcelona. En el diseño del túnel y las estaciones ha influido, de forma determinante, el corto plazo previsto para la entrada en servicio de esta línea.

El proyecto constructivo corresponde al subtramo Sagrera TAV-Gorg, dentro del denominado Tramo 4t de la línea L9: Sagrera-Can Zam-Gorg.

Este subtramo tiene una longitud total de 4.633 metros y comprende cinco estaciones, Once de Septiembre y Bon Pastor, en el término municipal de Barcelona, y Llefia, La Salud y Gorg, en el municipio de Badalona.



Intecsa-Inarsa

Grupo SNC-Lavalin



INTECSA-INARSA, S. A.
Santa Leonor, 32. 28037 Madrid
Tel.: +34 91 567 38 00
Fax: +34 91 567 38 01
general@intecsa-inarsa.es
general@sncavalin.com
www.intecsa-inarsa.es



BARCELONA: CUATRO ESCUDOS EPB CONSTRUIDOS POR HERRENKNECHT PARA LA LÍNEA DE METRO MÁS LARGA DE EUROPA

BARCELONA | ESPAÑA

DATOS DEL PROYECTO

CLIENTE



Escudo EPB S-221

Diámetro: 12.060 mm

Potencia instalada:

4.000 kW

Longitud del túnel:

1x 5.380 m, 1x 3.140 m

Geología: granodiorita,

arenas, limos, gravas

U.T.E. GORG

(Acciona Infraestructuras S.A., Dragados S.A., Sorigue Acsa Obras e Infraestructuras S.A., COMSA - Constructora de Obras Municipales S.A.)



Escudo EPB S-442

Diámetro: 12.060 mm

Potencia instalada: 4.000 kW

Longitud del túnel: 3.600 m

Geología: limolitas, gravas,

calizas

U.T.E. GORG

(Acciona Infraestructuras S.A., Dragados S.A., Sorigue Acsa Obras e Infraestructuras S.A., COMSA - Constructora de Obras Municipales S.A.)



Escudo EPB S-279

Diámetro: 9.370 mm

Potencia instalada: 3.600 kW

Longitud del túnel:

1x 1.350 m, 1x 8.200 m

Geología: arcillas, arenas,

limos

U.T.E. Tunneladora

Metro (FCC Construcción S.A., Ferroviál-Agroman S.A., Obrascón Huarte Lain S.A., Copisa, Scrinser S.A.)



Escudo EPB S-461

Diámetro: 9.370 mm

Potencia instalada: 3.600 kW

Longitud del túnel: 4.107 m

Geología: arenas, arcillas,

limolitas

U.T.E. Tunneladora

Metro (FCC Construcción S.A., Ferroviál-Agroman S.A., Obrascón Huarte Lain S.A., Copisa, Scrinser S.A.)

En Barcelona se trabaja intensamente en la ampliación de la red de metro. Solamente para la construcción de la línea 9, se encuentran en servicio cuatro escudos de presión de tierras construidos por Herrenknecht, dos en el segmento norte y dos en el segmento sur, los cuales logran un rendimiento máximo de hasta 60 metros en 24 horas o 1.000 metros en 30 días.

El escudo S-221 (Ø 12.060 mm), en el momento de iniciar la excavación el escudo EPB más grande del mundo, perfora desde 2003 la parte norte del trayecto. Desde febrero de 2009 es apoyado por el escudo S-442 de idéntico tamaño, el cual se ensambla en la obra – en un pozo de sólo 27 metros de diámetro. A causa del poco espacio disponible, el montaje de la máquina se realiza de forma modular, de modo que el escudo pueda comenzar con la perforación, mientras los remolques se ensamblan por etapas.

Al finalizar los trabajos de construcción, la línea 9 conectará el aeropuerto ubicado al sur de Barcelona con el municipio de Santa Coloma de Gramenet en el norte. Con una longitud total de 43 kilómetros y 49 estaciones, será la línea de metro más larga de Europa.



Análisis de movimientos y aceleraciones provocados por las acciones del oleaje y de los buques en el dique de Botafoc (Ibiza)

JOSÉ LUIS ALMAZÁN GÁRATE (*), ÁNGEL MATÍAS MATEOS (**), ARMANDO PARADA GONZÁLEZ (***), JORGE MARTÍN JIMENEZ (***), ERIC IRIBARREN LASCONATEGUY (****) y JOSÉ RAMÓN AMORÓS SERRET (*****)

RESUMEN El reciente desarrollo de la instrumentación diseñada para proporcionar datos de aceleraciones y movimientos del cajón número 8 del dique Botafoc (Ibiza), perteneciente a la Autoridad Portuaria de Baleares (Puertos del Estado), en conjunción con datos procedentes de una instrumentación compuesta por sensores de presión existente en el paramento vertical, proporciona un novedoso medio para analizar la respuesta estructural del cajón, no sólo ante la acción del oleaje, sino también ante los efectos producidos por las maniobras de los buques en el muelle.

Como la medición de estas aceleraciones y velocidades angulares se hace a altas frecuencias (de hasta 400 Hz), podemos proporcionar datos válidos acerca del comportamiento estructural y de los movimientos reales del cajón, tratando de correlacionar este comportamiento con los resultados obtenidos por el grupo de trabajo PROVERBS (Probabilistic design of vertical breakwaters, MAST III EU Programme), y generando una base de datos estadística de movimientos que deben considerarse para enriquecer los conocimientos en este ámbito.

Además, la posibilidad de registrar los efectos causados por las maniobras de atraque-desatraque-estancia de los buques, abre un nuevo punto de vista al diseño estructural de un dique-muelle, siendo también de gran interés para los diseñadores de obras marítimas y para la correcta definición de las maniobras del buque en el muelle.

MOVEMENTS AND ACCELERATION ANALYSIS DUE TO WAVES AND SHIP MOORING AT BOTAFOC SEAWALL (IBIZA)

ABSTRACT *The recent deployment of new instrumentation designed to provide accelerations and angular velocities from caisson #8 at Botafoc seawall, Ibiza, along with an existing pressure sensor instrumentation at the vertical wall, provides a way to record and process data of the structural response, not only to waves, but also to effects caused by ship mooring operations at Botafoc seawall.*

As the measurement of these angular speeds and accelerations is programmed with sampling frequencies up to 400 Hz, and by integrating all data through time we may provide suitable data of the structural behaviour of the caisson. This behaviour is tried to be correlated with the PROVERBS working group achievements (Probabilistic design of vertical breakwaters, MAST III EU Programme), generating a statistical movement database that must be used to improve knowledge on this subject.

Also the possibility to record the effects caused by the different ship mooring operations is a new point of view of the complete structural design of a seawall-wharf, which is considered an interesting matter for coastal designers as well for a correct ship mooring processes definition.

Palabras clave: Instrumentación, Dique vertical, Cajón, Oleaje, Sensor de presión, Aceleración, Movimiento, Buque, Solicitaciones estructurales, Respuesta estructural.

Keywords: Instrumentation, Vertical seawall, Caisson, Wave, Pressure sensor, Acceleration, Movement, Ship, Structural requirements, Structural response.

(*) Dr. Ing. de Caminos, Canales y Puertos. Universidad Politécnica de Madrid.

(**) Ing. de Caminos, Canales y Puertos. Director de la Autoridad Portuaria de Baleares.

(***) Ing. de Caminos, Canales y Puertos. Autoridad Portuaria de Baleares.

(****) Ing. de Caminos, Canales y Puertos. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

(*****) Ing. de Caminos, Canales y Puertos. Centro de Estudios de Puertos y Costas (CEDEX. Ministerio de Fomento).



FIGURA 1. Situación del cajón instrumentado en el Dique de Botafoc (A.P de Ibiza).

1. INTRODUCCIÓN

El Dique de Botafoc, inaugurado el 15 de abril de 2003, fue realizado para proporcionar adecuado abrigo a toda la zona ocupada por el espejo de agua del Puerto, afectado por los temporales del sur y sureste y prestar atraque a tráficos de combustibles líquidos que operaban en los muelles comerciales situados junto al casco urbano con la consiguiente mejora de la seguridad para la población residente, facilitando a su vez que sobre el muelle adosado al dique pueden atracar grandes buques que fondeaban fuera de las aguas abrigadas. Este dique parte del Faro de mismo nombre con orientación Este a Oeste y está constituido por cajones fondeados a la cota $-19,50$ m.

Durante su construcción se previeron alojamientos para instrumentar dos secciones idénticas en el cajón número ocho con el objetivo inicial de comprobar los coeficientes de seguridad al vuelco y deslizamiento del dique, y en un segundo estadio, desarrollar teorías que ligen las fuerzas actuantes sobre el dique con los movimientos reales del cajón.

La instrumentación instalada en el Dique de Botafoc en el año 2002 cuenta con dos secciones idénticas. En cada una de las secciones instrumentadas se instalaron doce sensores de presión y subpresión, ubicados en los tres paramentos en contacto con el agua a diferentes cotas, tal y como se muestra en la figura 1, 7 sensores en el paramento vertical entre las cotas $-12,00$ m. y $+5,00$ m., 4 sensores de subpresión, y otro sensor adicional en el paramento abrigado y a cota $-4,00$ m. para medir la presión hidrostática real y de la eventual agitación interior presente en la dársena abrigada.

Además, y para registrar los movimientos sufridos en el cajón, se instaló en una de las secciones un sistema de medida totalmente independiente y autónomo del anterior, capaz de medir los movimientos angulares del cajón y sus aceleraciones en torno a los tres ejes cartesianos, reconstituyendo los seis grados de libertad que presenta el cajón en su movimiento como sólido rígido. En esencia, este sistema consta de tres inclinómetros de alta precisión en montaje triaxial y tres acelerómetros en montaje ortogonal. Este instrumento de medida móvil y transportable diseñado por Almazán Ingenieros, estudia los seis grados de

libertad de movimientos para cualquier elemento rígido susceptible de desplazamientos y giros, en ingeniería marítima.

2. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE MEDIDA

Como ya se ha dicho, la segunda caseta (la más alejada del Faro de Botafoc) situada sobre el Dique de Botafoc, además de los sensores de presión para esa sección, dispone de un sistema de medida capaz de registrar tanto los giros como las aceleraciones que sobre él se produzcan y, por tanto, de los posibles movimientos del cajón.

Para comprender mejor los resultados dados por el sistema, que se muestran a continuación, es necesario tener en cuenta el convenio adoptado sobre la nomenclatura de sus ejes de referencia y de los sentidos de los giros alrededor estos últimos. En el gráfico siguiente, además de las medidas físicas del equipo, se puede observar el sistema de ejes y de sentidos de giro.

Como podemos apreciar, las aceleraciones serán positivas cuando estén orientadas según la parte positiva del eje correspondiente y los giros serán positivos cuando se cumpla la ley del sacacorchos.

El Sistema se instaló con su eje X hacia el mar y perpendicularmente al eje longitudinal del dique, con su eje Y paralelamente al dique hacia el morro, y con el eje Z según la vertical hacia abajo.

3. DESCRIPCIÓN DEL PROCESADO DE DATOS

Entre los recientes desarrollos de éste equipo de investigación en relación con la instrumentación de Botacoc, destaca el software desarrollado recientemente para el análisis de los datos proporcionados por el sistema inercial para periodos largos de tiempo. El referido software trata las ingentes cantidades de datos suministrados por este sistema, que toma datos de los seis parámetros medidos a más de 200 Hz.

Gracias a este nuevo desarrollo, se pueden calcular, al igual que se hace con los datos de presiones medidos en los tres paramentos del cajón en contacto con el agua, estadísti-

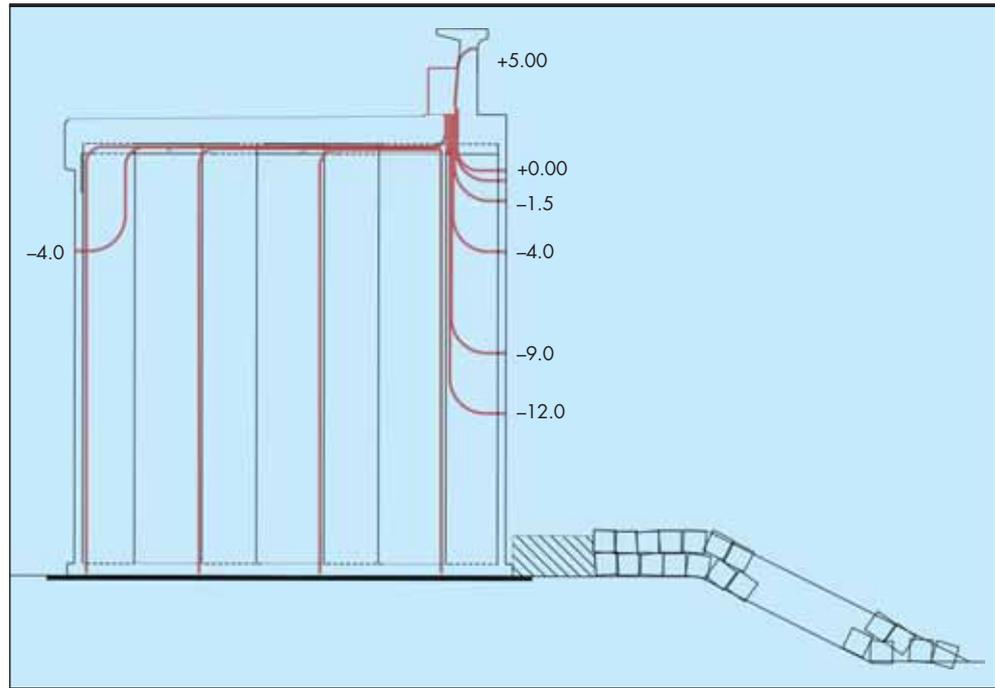


FIGURA 2. Sección instrumentada con doce sensores de presión y subpresión.

cas sobre las medidas del sistema inercial para un periodo largo de tiempo, siendo además posible comparar las estadísticas realizadas sobre los sensores de presión con los movimientos registrados en el cajón.

El procesado de datos calcula, para una muestra correspondiente a un cierto periodo de medida, la media, el calor máximo y el valor mínimo para el parámetro elegido entre los seis que mide el sistema.

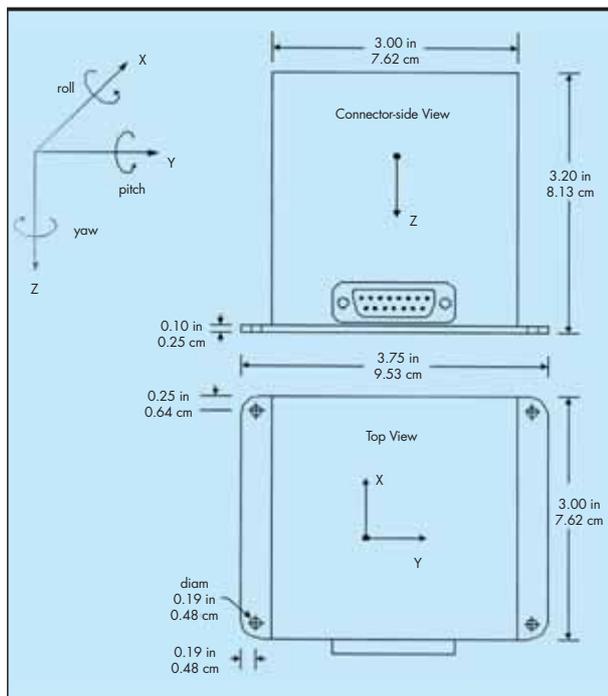


FIGURA 3. Sistema de ejes y de sentidos de giro.

4. ESTADÍSTICAS DE LOS DATOS RECOGIDOS POR EL SISTEMA INERCIAL

En los gráficos que se incluyen a continuación se muestra la gráfica de máximos y mínimos para el mes de abril de 2008 (tomado como ejemplo para esta comunicación), obtenidos a partir de muestras de 90 segundos de duración (aproximadamente 18000 registros) del parámetro “aceleración sobre el eje X”, eje éste sobre el que los movimientos están menos coartados.

En ella se observan perfectamente varios estados:

- Existe una banda de “ruido electrónico” que corresponde a la situación en la que el dique no se mueve debido a la no existencia de oleaje suficiente (por ejemplo el día 25).
- Se aprecian periodos en los que el oleaje mueve el dique de forma apreciable por encima del umbral de movimiento del mismo, reflejando en el gráfico valores por encima de la banda de ruido electrónico (por ejemplo los días 11, 17 y 18).
- Por último, existen periodos muy cortos en los que se registran movimientos por encima del umbral de ruido, que, probablemente, parecen corresponder con acciones de barcos que están atracando o permanecen en éste muelle (por ejemplo, y como se verá con más detalle a continuación, el día 9).

El gráfico referido se muestra como figura 4.

5. CORRELACIÓN ENTRE OLAJE Y MOVIMIENTOS REGISTRADOS EN EL CAJÓN

El oleaje presente en el dique de Botafoc en abril de 2008, presenta una serie de máximos a lo largo del mes, en los días 2, 4, 7-8, 10-11, 16-17, 18, 20, y 29, que se muestran en el siguiente gráfico (figura 5) junto con la altura de ola significativa (deducida a partir de las presiones registradas por el

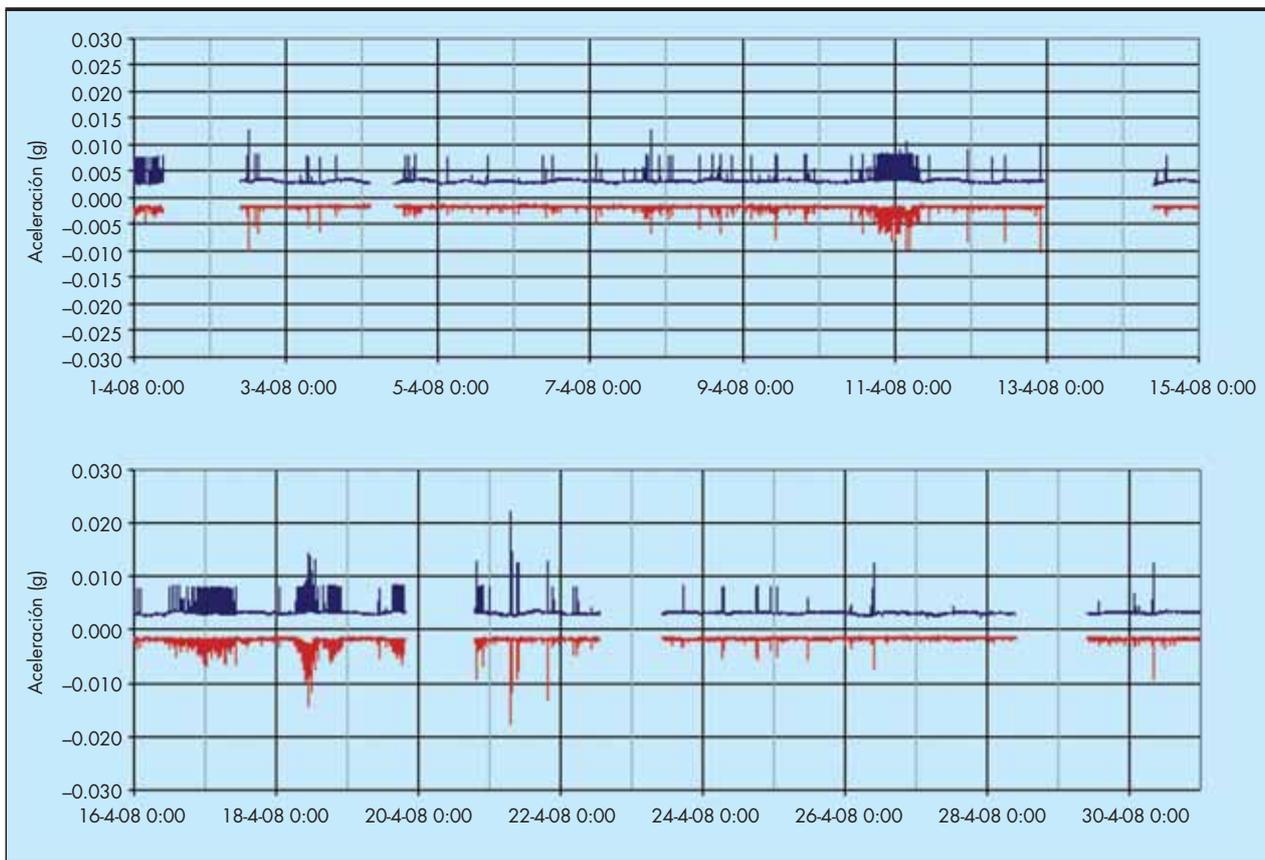


FIGURA 4. Máximos (azul) y mínimos (rojo) obtenidos de muestras de 90 segundos extraídas del parámetro "aceleración en X".

sensor número 2) y el periodo de pico (tomado promediando los periodos medidos en Capdepera y Mahón por las boyas de Puertos del Estado) de cada uno de estos periodos.

Por otra parte, y a la vista del gráfico de estadísticas obtenido para el parámetro "aceleración en el eje X", y a efectos de movimientos en el cajón, se observa como existen pe-

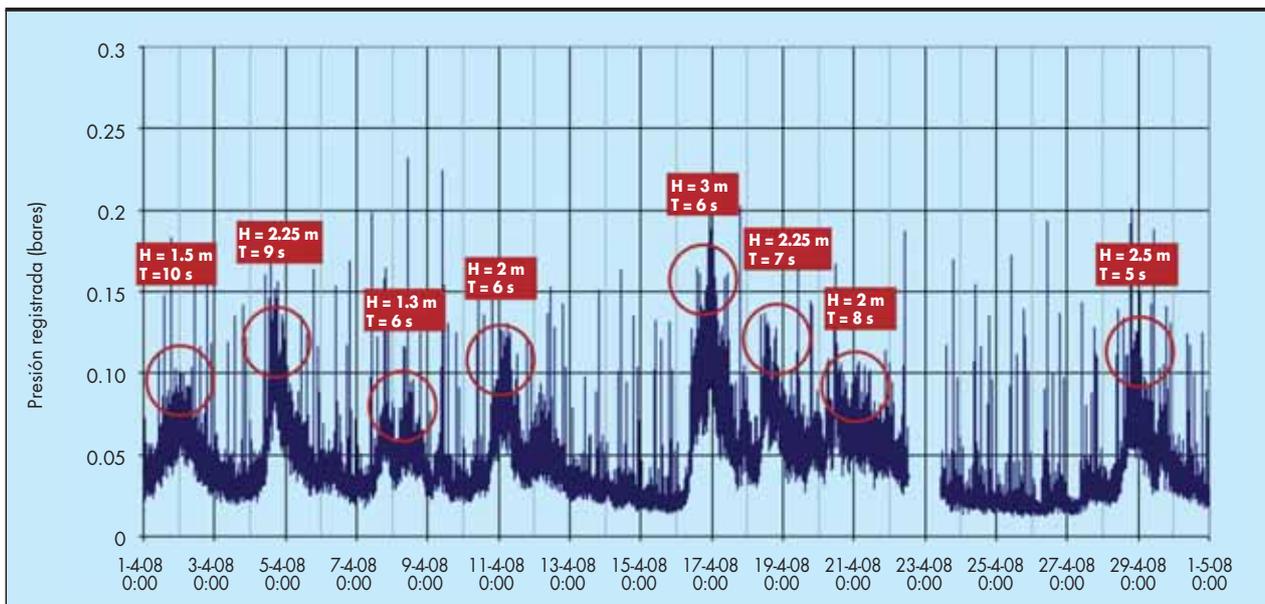


FIGURA 5. Valor (Máximo-Mínimo) obtenido de las estadísticas cada 90 segundos del registro del sensor 5 de la sección 2 del 1/4/08 al 1/5/08.



FIGURA 6.

riodos en los que el oleaje mueve el dique de forma apreciable por encima del umbral de ruido electrónico.

Esto ocurre los días 1, 10-11, 16-17, 18, y 19-20, teniendo en cuenta además que no se dispone de registro en alrededor de los días 2, 13, 20, 23 y 25.

El la figura 6 se muestra el gráfico de estadísticas obtenido para el parámetro “aceleración en el eje X” junto con la

altura de ola significativa (deducida a partir de las presiones registradas por el sensor número 2) y el periodo de pico (tomado promediando los periodos medidos en Capdepera y Mahón por las boyas de Puertos del Estado) de cada uno de estos periodos.

Estudiando la correlación entre ambos gráficos se puede construir la tabla 1.

Evento destacado registrado el día	H (m)	T (s)	Se refleja en las estadísticas de presiones	Se refleja en las estadísticas de movimientos
1	0.75	10	NO	SI
2	1.50	10	SI	No hay datos
4	2.25	9	SI	NO
7-8	1.30	6	SI	NO
10-11	2.00	6	SI	SI
16-17	3.00	6	SI	SI
18	2.25	7	SI	SI
19-20	2.00	8	SI	SI (Registro parcial)
29	2.50	5	SI	No hay datos

TABLA 1.

A la vista de la tabla 1 se intuye que existe un “umbral de oleaje” a partir del cual el dique se mueve, pudiéndose estimar este valor de oleaje en el exterior del dique que produce movimiento en unos 2 metros de altura de ola. Esto es cierto en la mayor parte de los casos estudiados excepto en el evento registrado el día 1 por el sistema inercial, el cual registra movimiento con un oleaje de tan solo 0.75 metros.

Estos resultados deben ser interpretados con cautela ya que, actualmente, no se dispone de un instrumento de medida directa del oleaje en el exterior del dique de Botafoc que mida los tres parámetros fundamentales para este tipo de estudios (altura de ola, periodo y dirección de incidencia del oleaje sobre el dique).

Además, al igual que es posible (aunque aproximado) deducir, tanto la altura de ola en el exterior del dique a partir de los datos de los sensores de presión, como el periodo a partir de los datos de las boyas de Capdepera y Mahón, no se conoce en absoluto la dirección de incidencia del oleaje sobre el dique, parámetro éste que puede hacer que el dique se mueva con un oleaje de poca altura de ola pero que incida frontalmente haciendo que el dique entre en un proceso de “resonancia” (pudiendo ser ésta la causa del movimiento registrado el día 1 de abril de 2008), o que un oleaje de gran altura de ola incidiendo de forma muy oblicua no produzca ningún movimiento en el dique.

6. CORRELACIÓN ENTRE ATRAQUE-ESTANCIA DE BUQUES Y MOVIMIENTOS REGISTRADOS

A la vista de los gráficos de estadísticas mostrados anteriormente para el parámetro “aceleración en el eje X”, se observa como existen periodos muy cortos en los que se registran movimientos por encima del umbral de ruido.

Estos movimientos puntuales parece que se producen por las acciones del buque sobre el cajón, bien en el momento de su atraque-desatraque o bien durante el tiempo que permanece amarrado.

Debido a que no se dispone en la actualidad de ningún sistema de medida de la tensión en las amarras, pero si se dispone de un registro de atraques-desatraques de barcos en el Dique de Botafoc, se ha centrado el análisis en estos últimos, si bien

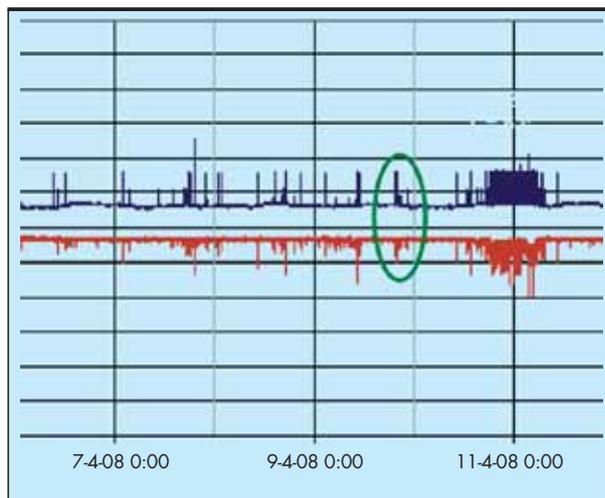


FIGURA 7.

resulta evidente que cuando un barco está atracado y existe un cierto oleaje en el interior de la dársena se producen, como así lo muestran los registros del sistema inercial, tiros en estas amarras que provocan movimientos en el dique.

Para el mes de abril de 2008, el registro de entradas-salidas de barcos en el Dique de Botafoc es el mostrado en la tabla de la página siguiente.

Se ha centrado el análisis en el atraque del buque de mayor eslora que ha registrado su entrada en el Dique de Botafoc, el Castillo de Trujillo.

En el estadillo de estancias en el Dique de Botafoc la entrada del Castillo de Trujillo aparece a las 19:40 del 9 de abril de 2008. A la vista del gráfico de estadísticas del parámetro “aceleración en el eje X” vemos que existe un evento puntual, mas o menos, a esa hora. En la figura 7 se muestra este evento.

Realizando un muestreo estadístico de detalle alrededor de este máximo, el gráfico resultante se muestra a continuación en la figura 8.

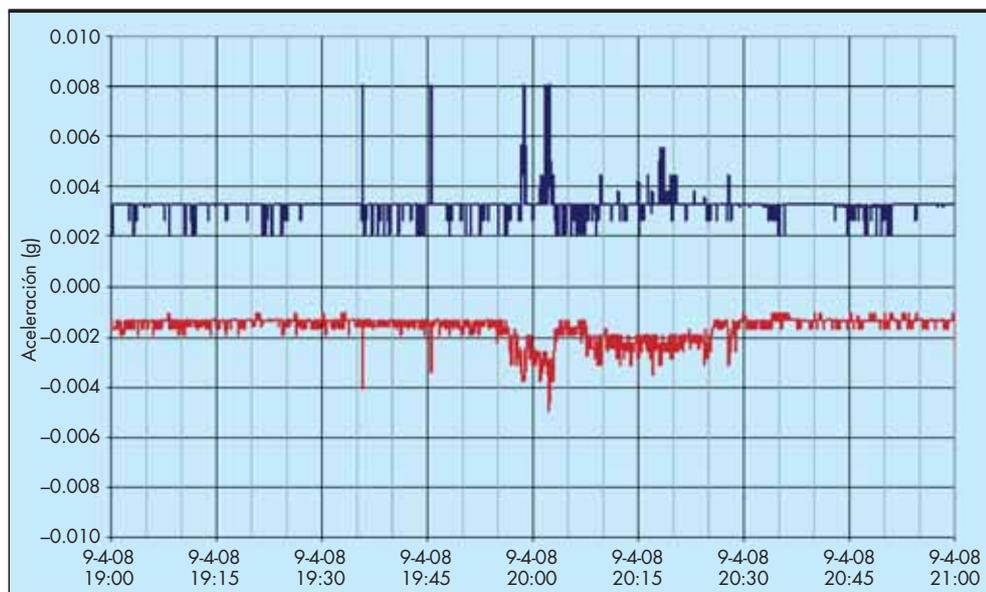


FIGURA 8. Máximos (azul) y mínimos (rojo) obtenidos de muestras de 5 segundos extraídas del parámetro “aceleración en X”.

ANÁLISIS DE MOVIMIENTOS Y ACELERACIONES PROVOCADOS POR LAS ACCIONES DEL OLEAJE Y DE LOS BUQUES EN EL DIQUE DE BOTAFOC (IBIZA)

PTO	AÑO	MES	DESCRIPCIÓN BUQUE	ESL	CAL	DÍA ENTRADA	DÍA SALIDA	HORAE	HORAS	MUELLE	N1	N2
I	2008	4	CARMEN DEL MAR	101.6	5	01/04/2008	01/04/2008	2:15	3:45	I083	6	12
I	2008	4	CARMEN DEL MAR	101.6	5	01/04/2008	01/04/2008	14:45	16:00	I083	6	12
I	2008	4	MAR ROCIO	114.4	5	02/04/2008	02/04/2008	0:40	12:15	I083	14	21
I	2008	4	CARMEN DEL MAR	101.6	5	02/04/2008	02/04/2008	3:05	4:40	I083	6	12
I	2008	4	CARMEN DEL MAR	101.6	5	02/04/2008	02/04/2008	15:00	16:40	I083	6	12
I	2008	4	CARMEN DEL MAR	101.6	5	03/04/2008	03/04/2008	3:30	4:45	I083	6	12
I	2008	4	CARMEN DEL MAR	101.6	5	03/04/2008	03/04/2008	15:30	16:40	I083	6	12
I	2008	4	PAU CASALS	180	6.50	03/04/2008	03/04/2008	6:45	10:55	I083	6	13
I	2008	4	CARMEN DEL MAR	101.6	5	04/04/2008	04/04/2008	15:10	16:20	I083	6	12
I	2008	4	CARMEN DEL MAR	101.6	5	04/04/2008	04/04/2008	3:00	4:45	I083	6	12
I	2008	4	CARMEN DEL MAR	101.6	5	05/04/2008	06/04/2008	23:50	1:30	I083	6	12
I	2008	4	CARMEN DEL MAR	101.6	5	05/04/2008	05/04/2008	2:55	4:20	I083	6	12
I	2008	4	CARMEN DEL MAR	101.6	5	05/04/2008	05/04/2008	15:35	20:25	I083	6	12
I	2008	4	MERCEDES DEL MAR	141	6.2	06/04/2008	06/04/2008	9:10	12:15	I083	6	12
I	2008	4	CARMEN DEL MAR	101.6	5	06/04/2008	06/04/2008	13:10	14:12	I083	6	12
I	2008	4	CARMEN DEL MAR	101.6	5	07/04/2008	07/04/2008	1:40	3:10	I083	6	12
I	2008	4	CARMEN DEL MAR	101.6	5	07/04/2008	07/04/2008	14:10		I083	6	12
I	2008	4	CARMEN DEL MAR	101.6	5	08/04/2008	08/04/2008	1:50	3:15	I083	6	10
I	2008	4	CARMEN DEL MAR	101.6	5	08/04/2008	08/04/2008	13:25	15:45	I083	6	10
I	2008	4	CASTILLO DE TRUJILLO	182.14	11.37	09/04/2008	11/04/2008	19:40	11:00	I083	10	21
I	2008	4	CARMEN DEL MAR	101.6	5	09/04/2008	09/04/2008	2:45	4:05	I083	6	10
I	2008	4	CARMEN DEL MAR	101.6	5	09/04/2008	09/04/2008	15:00	16:45	I083	6	10
I	2008	4	CARMEN DEL MAR	101.6	5	10/04/2008	10/04/2008	3:20	4:50	I083	6	10
I	2008	4	CARMEN DEL MAR	101.6	5	10/04/2008	10/04/2008	15:50	17:25	I083	6	10
I	2008	4	CARMEN DEL MAR	101.6	5	11/04/2008	11/04/2008	18:10	19:45	I083	6	10
I	2008	4	CARMEN DEL MAR	101.6	5	11/04/2008	11/04/2008	4:45	6:35	I083	6	10
I	2008	4	SKLEDROS	145.88	8.7	11/04/2008	12/04/2008	23:05	22:10	I083	14	21
I	2008	4	CARMEN DEL MAR	101.6	5	12/04/2008	12/04/2008	19:00	20:15	I083	6	10
I	2008	4	CARMEN DEL MAR	101.6	5	12/04/2008	12/04/2008	6:50	8:05	I083	6	10
I	2008	4	CARMEN DEL MAR	101.6	5	13/04/2008	13/04/2008	0:40	2:00	I083	14	20
I	2008	4	MERCEDES DEL MAR	141	6.2	13/04/2008	13/04/2008	9:05	12:15	I083	6	12
I	2008	4	CARMEN DEL MAR	101.6	5	13/04/2008	13/04/2008	13:25	14:45	I083	6	10
I	2008	4	CARMEN DEL MAR	101.6	5	14/04/2008	14/04/2008	1:10	2:30	I083	6	10
I	2008	4	CARMEN DEL MAR	101.6	5	14/04/2008	14/04/2008	13:25	14:40	I083	6	10
I	2008	4	CARMEN DEL MAR	101.6	5	15/04/2008	15/04/2008	1:00	2:20	I083	6	10
I	2008	4	CARMEN DEL MAR	101.6	5	15/04/2008	15/04/2008	13:10	13:40	I083	6	10
I	2008	4	CARMEN DEL MAR	101.6	5	16/04/2008	16/04/2008	1:10	2:15	I083	6	10
I	2008	4	CARMEN DEL MAR	101.6	5	16/04/2008	17/04/2008	13:25	14:45	I083	6	10
I	2008	4	CARMEN DEL MAR	101.6	5	18/04/2008	19/04/2008	1:05	16:30	I083	6	10
I	2008	4	CARMEN DEL MAR	101.6	5	20/04/2008	20/04/2008	3:40	14:05	I083	6	10
I	2008	4	MULTITANK BADENIA	99.90	6.80	20/04/2008	21/04/2008	21:30	7:20	I083	14	20
I	2008	4	MURILLO	180.5	6.5	20/04/2008	20/04/2008	13:00	19:35	I083	6	14
I	2008	4	CARMEN DEL MAR	101.6	5	21/04/2008	21/04/2008	15:05	16:50	I083	6	10
I	2008	4	CARMEN DEL MAR	101.6	5	21/04/2008	21/04/2008	2:00	3:45	I083	6	10
I	2008	4	CARMEN DEL MAR	101.6	5	22/04/2008	22/04/2008	4:10	5:40	I083	6	10
I	2008	4	CARMEN DEL MAR	101.6	5	22/04/2008	22/04/2008	16:40	18:35	I083	6	10
I	2008	4	BRO SINCERO	146.05	9.25	23/04/2008	24/04/2008	17:00	6:55	I083	13	21
I	2008	4	CARMEN DEL MAR	101.6	5	23/04/2008	23/04/2008	5:55	13:45	I083	6	10
I	2008	4	CORAL	148.11	5.88	24/04/2008	24/04/2008	16:10	23:00	I083	6	12
I	2008	4	CARMEN DEL MAR	101.6	5	24/04/2008	24/04/2008	0:40	2:25	I083	6	10
I	2008	4	CARMEN DEL MAR	101.6	5	24/04/2008	24/04/2008	7:05	14:00	I083	6	10
I	2008	4	WIND SURF	187.2	5	25/04/2008	26/04/2008	11:05	0:20	I083	10	21
I	2008	4	CARMEN DEL MAR	101.6	5	25/04/2008	25/04/2008	13:30	14:45	I083	6	10
I	2008	4	CARMEN DEL MAR	101.6	5	25/04/2008	25/04/2008	1:10	2:40	I083	6	10
I	2008	4	CARMEN DEL MAR	101.6	5	26/04/2008	26/04/2008	1:35	3:10	I083	6	10
I	2008	4	RIA DE VIGO	68	5.88	26/04/2008	30/04/2008	10:00	8:00	I083	15	20
I	2008	4	CARMEN DEL MAR	101.6	5	26/04/2008	26/04/2008	14:20	20:20	I083	6	10
I	2008	4	CARMEN DEL MAR	101.6	5	27/04/2008	27/04/2008	1:40	13:30	I083	6	10
I	2008	4	CARMEN DEL MAR	101.6	5	28/04/2008	28/04/2008	12:55	14:20	I083	6	10
I	2008	4	CARMEN DEL MAR	101.6	5	28/04/2008	28/04/2008	0:30	2:00	I083	6	10
I	2008	4	CARMEN DEL MAR	101.6	5	29/04/2008	29/04/2008	13:25	14:40	I083	6	10
I	2008	4	CARMEN DEL MAR	101.6	5	29/04/2008	29/04/2008	1:10	2:30	I083	6	10
I	2008	4	CARMEN DEL MAR	101.6	5	30/04/2008	30/04/2008	13:50	15:00	I083	6	10
I	2008	4	CARMEN DEL MAR	101.6	5	30/04/2008	30/04/2008	1:30	2:50	I083	6	10

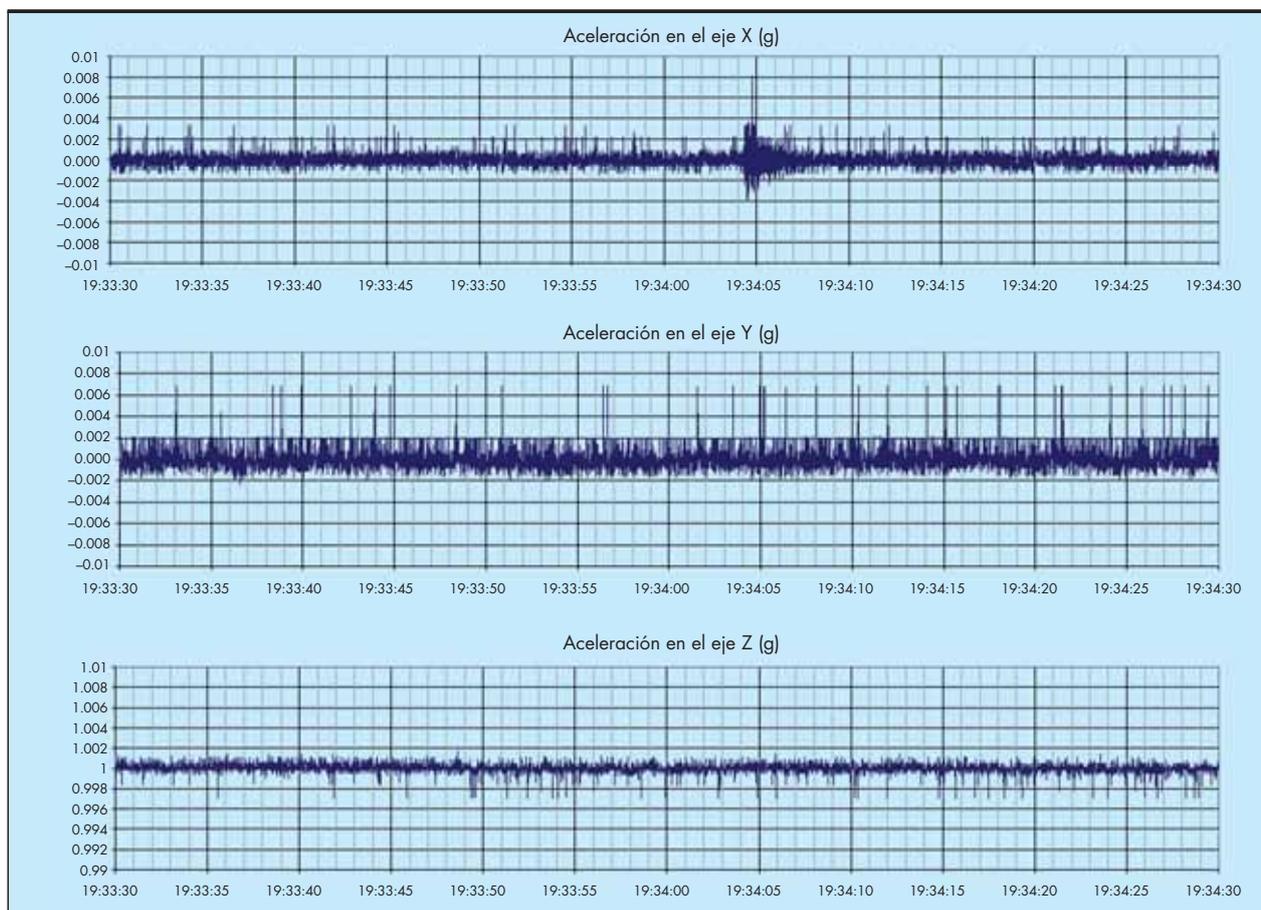


FIGURA 9.

Suponiendo que el atraque del barco corresponde al primero de los picos, el producido a las 19:35, se muestra en la figura 9 el registro completo en el momento del impacto de atraque para las tres aceleraciones medidas.

Este atraque, debido probablemente a la gran eslora del Castillo de Trujillo, es ha debido de ser realizado con la ayuda de remolcadores y una velocidad muy baja.

En cuanto a la magnitud de la aceleración producida durante los atraques con respecto a la que se produce en temporal, se puede afirmar que, durante el mes de abril de 2008, son del mismo orden.

Por otra parte, hay que remarcar que las aceleraciones mas fuertes sufridas durante el atraque de un buque se producen a lo largo de un corto periodo de tiempo, en algunos casos estudiados en meses anteriores de unos 40 segundos, mientras que en el caso de las aceleraciones sufridas por el oleaje las aceleraciones se producen de forma pulsante al paso de cada ola, y ésta situación se prolonga durante muchas horas.

En cualquier caso, el sistema inercial instalado en Botafoc ha registrado atraques mucho mas violentos que este, por ejemplo el producido el 18 de diciembre de 2007. En la figura 10, se muestra el registro de las tres aceleraciones medidas. Este registro aparece en dos fases, un primer impacto de la popa o la proa contra el dique que produce sobre todo aceleraciones sobre el eje Y (longitudinal al dique), y otro impacto posterior en el que toda la banda lateral del barco se apoya en el dique, siendo en esta segunda fase en la que se registran los mayores movimientos.

7. MOVIMIENTOS PRODUCIDOS POR LA MAYOR OLA REGISTRADA

Se han analizado también los movimientos registrados en el momento en que los sensores de presión han registrado el paso de la mayor ola en el mes de abril de 2008 (registrada por la sección 2 el día 16 a las 23:51:30).

En la figura 11, se muestra el registro de las tres aceleraciones medidas, en el que se observa un movimiento mas fuerte de lo normal en el eje X a las 23:50:46, 44 segundos antes de la ola registrada por la sección 2.

Esta no simultaneidad apreciada entre la llegada de las mayores olas registradas (por la sección 2) y los movimientos del cajón induce a pensar que el cajón (o mejor dicho el conjunto constituido por el cajón número 8, los cajones adyacente, la superestructura y el espaldón, y la banqueta) se mueva de forma muy compleja y discordante con las pulsaciones ejercidas por un oleaje, en general, que incide de manera oblicua.

8. ANÁLISIS DEL EVENTO QUE HA PRODUCIDO MAYORES MOVIMIENTOS

Para completar este exhaustivo análisis de los movimientos registrados por el cajón en el mes de abril de 2008 se ha procedido a estudiar el mayor evento registrado en el mes, correspondiente al máximo puntal que aparece el día 21 en el gráfico de estadísticas del parámetro "aceleración en el eje X". En la figura 12 se muestra este evento.

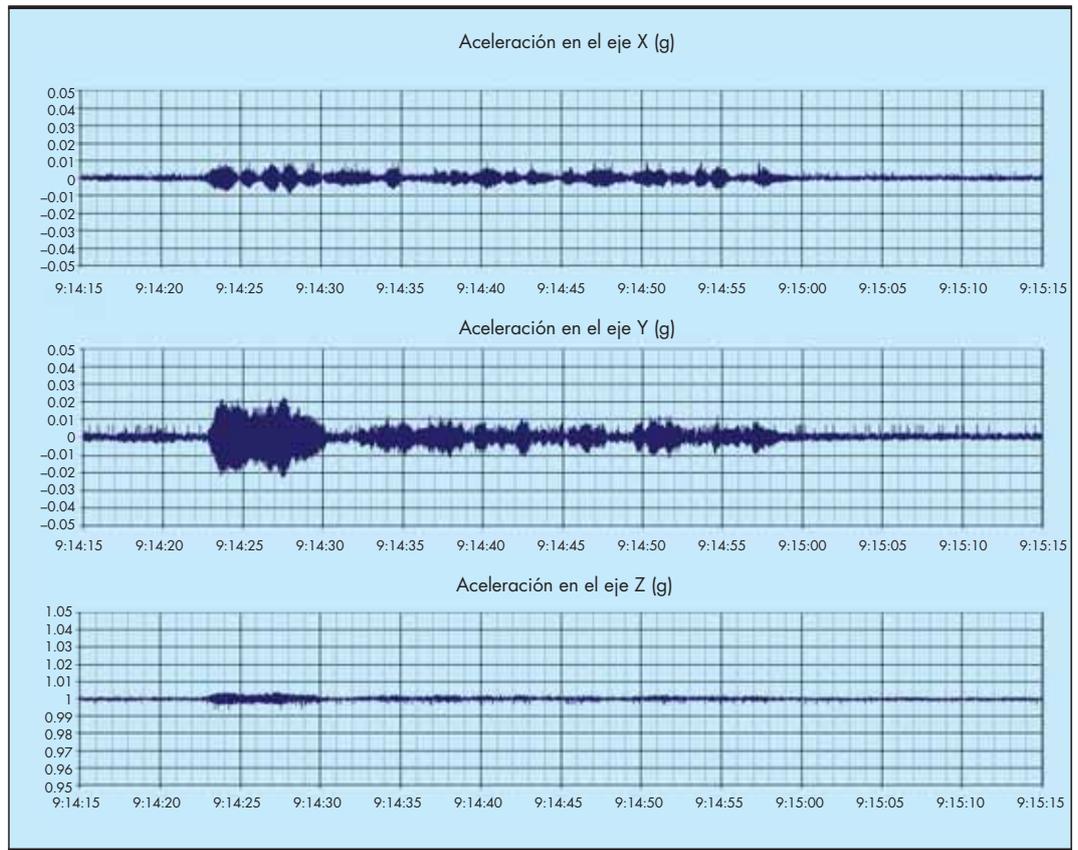


FIGURA 10A.

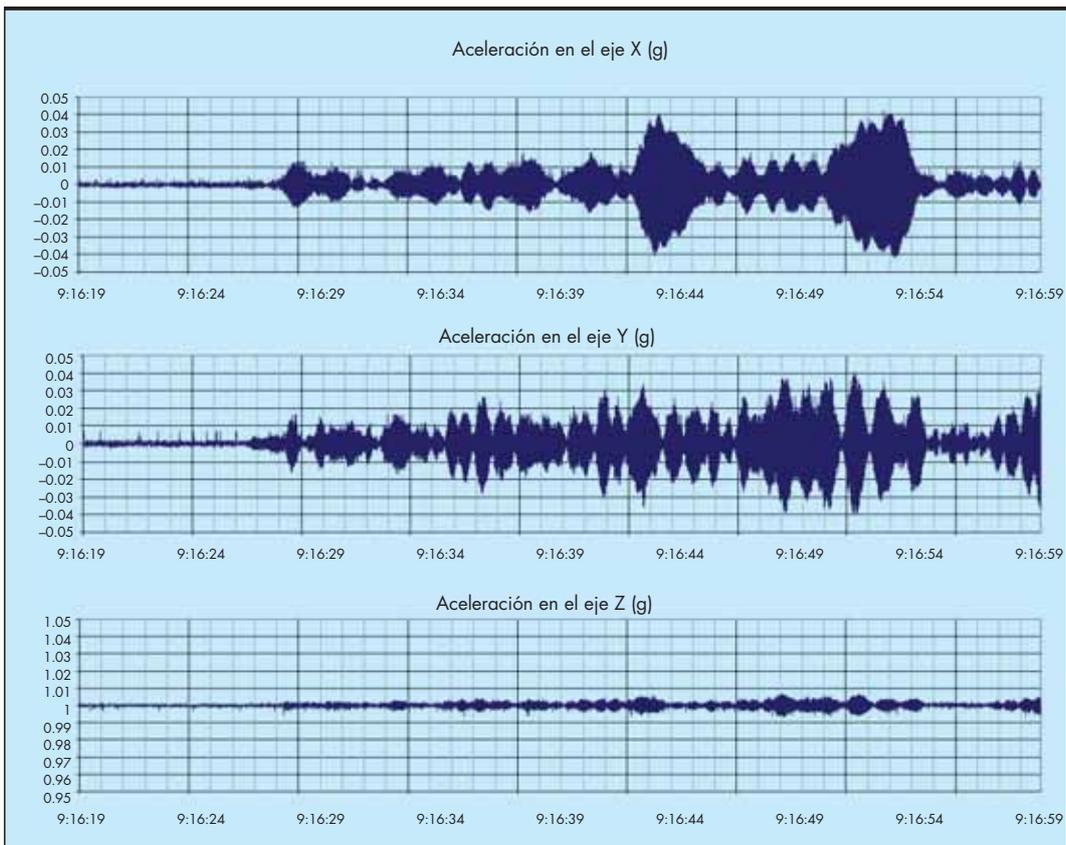


FIGURA 10B.

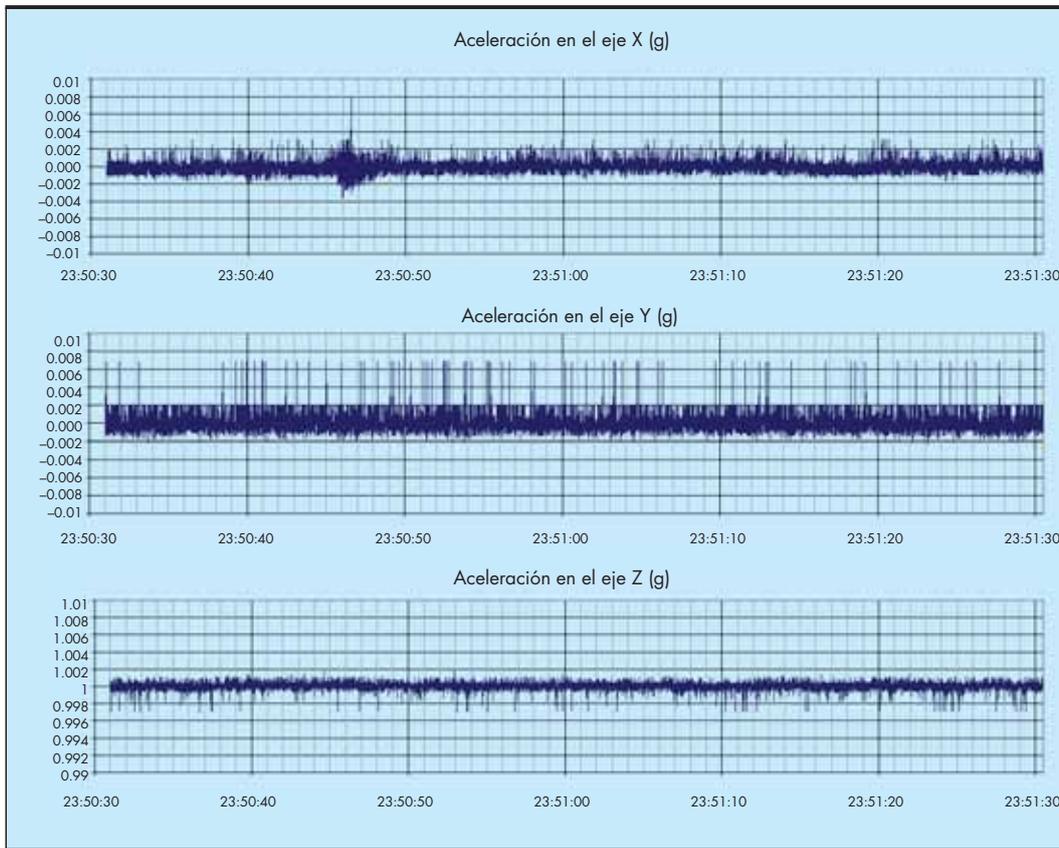


FIGURA 11.

Realizando un muestreo estadístico de detalle alrededor de este máximo, el gráfico resultante se muestra en la figura 13.

Se observa como existe un evento puntual (probablemente el desatracado del Multitank Badenia que aparece en el estadillo a las 7:20) sobre un cierto oleaje (oleaje frente al dique de aproximadamente 2 metros de altura y 8 segundos de periodo).

En la figura 14 se muestra el registro completo en el momento del desatracado para las tres aceleraciones medidas.

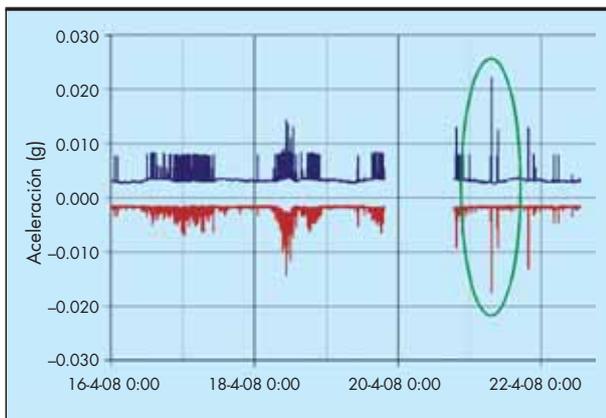


FIGURA 12.

9. CONCLUSIONES

Es necesario medir el oleaje en el exterior del dique para correlacionar correctamente presiones y movimientos, y encontrar el “umbral de oleaje” que produce movimientos en el cajón, entendiéndose por umbral de oleaje una serie de combinaciones altura-periodo-dirección.

No existe una simultaneidad entre la llegada de las mayores olas registradas y los movimientos del cajón, lo que induce a pensar que existe un movimiento complejo del cajón (o mejor dicho del conjunto constituido por el cajón número 8, los cajones adyacentes, la superestructura y el espaldón, y la banqueta) que hace que éste se mueva de forma muy compleja y discordante con las pulsaciones ejercidas por un oleaje, en general, que incide de manera oblicua.

El atraque de los barcos puede producir importantes movimientos puntuales en el cajón en el momento del atraque, mayores incluso que los producidos por un oleaje fuerte. En cualquier caso, hay que remarcar que las aceleraciones más fuertes sufridas durante el atraque de un buque se producen a lo largo de un corto periodo de tiempo, mientras que en el caso de las aceleraciones sufridas por el oleaje las aceleraciones se producen de forma pulsante al paso de cada ola, y ésta situación se prolonga mucho más en el tiempo.

Por otra parte, para evaluar los movimientos provocados por el buque durante el atraque es imprescindible monitorizar las tensiones en las amarras.

Además, para evaluar los efectos producidos por los barcos, sería muy conveniente visualizar la forma en que se produce el atraque.



FIGURA 13. Máximos (azul) y mínimos (rojo) obtenidos de muestras de 5 segundos extraídas del parámetro "aceleración en X".

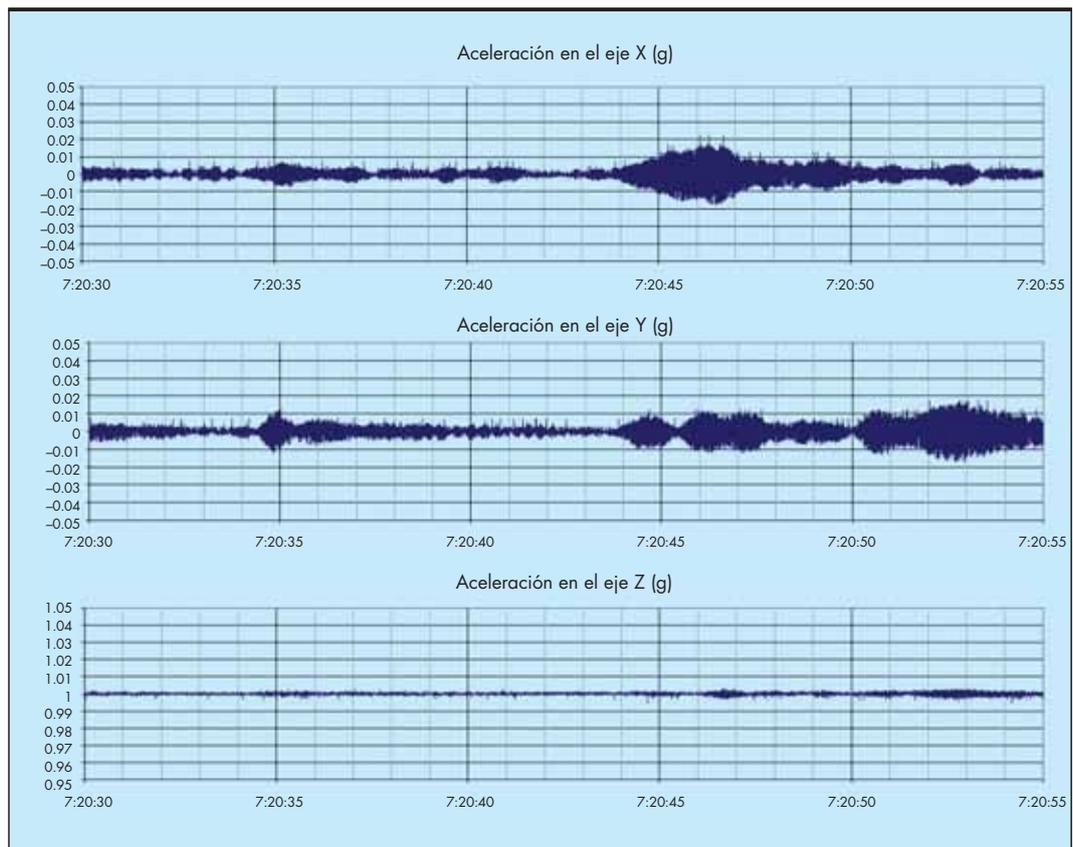


FIGURA 14.

10. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se está desarrollando en estrecha colaboración con la Autoridad Portuaria de Baleares, por lo que queremos dejar constancia de nuestro expreso reconocimiento por su apoyo y sus valiosas aportaciones.

Además, agradecemos la gran ayuda prestada a todas las

personas que de forma directa o indirecta han intervenido y están actualmente trabajando en el mantenimiento y la explotación de datos de la instrumentación del cajón numero ocho del Dique de Botafoc en el Puerto de Ibiza, pertenecientes a la Universidad, a la Autoridad Portuaria de Baleares y al Ente Público Puertos del Estado.

11. BIBLIOGRAFÍA

- J.L. Almazán Gárate, A. Matías Mateos (2007):** Fenomenología y experimentación a escala natural de diques de abrigo verticales: la instrumentación del Dique de Botafoc (Puerto de Ibiza). *Revista Ingeniería Civil*. CEDEX. Marzo 2007.
- J.L. Almazán Gárate, A. Matías Mateos, M.C. Palomino Monzón, J.R. García Montes, J.R. Amorós Serret (2008):** Tratamientos masivos de datos procedentes de La instrumentación del Dique de Botafoc (Ibiza). *Revista Ingeniería Civil*. CEDEX. Número 149/2008.
- R. Archetti, L. Martinelli, P. Frigaard, A. Lamberti (2000):** Horizontal coherence of wave forces on vertical wall breakwaters, Proc. 27th ICCE, Sydney.
- R.A. Bagnold, (1939):** Interim report on wave pressure results. *Journal Inst. Civil Engr.*, Vol 12, London, England.
- D.D. Barkan (1962):** Dynamic of bases and foundation. Mc Graw Hill.
- J.A. Battjes, & Janssen, J.P.F.M. (1978):** Energy loss and set-up due to breaking in random waves. Proc. 16° Coastal Engr. Conf., Hamburg, Germany.
- E. Benassai (1975):** The stability against sliding of breakwaters under action of breaking waves. *PIANC*, Vol II, n°21.
- M. Calabrese, D. Vicinanza (1999):** Prediction of wave impact occurrence on vertical and composite breakwaters. *Excerpta*, Vol 13, Pagg 91-123.
- W.R. Dally, Dean R.G. & Dalrymple, R.A. (1985):** Wave height variation across beaches of arbitrary profile. *J. Geophys. Res.*, 90 (C6), pp.11917-11927.
- H. Goldstein (1950):** *Classical Mechanics*. Addison Wesley Publishing Company. 2nd Ed: 1980.
- Y. Goda (1985):** *Random seas and maritime structures*. University of Tokyo Press.
- Y. Goda (1994):** Dynamic response of upright breakwaters to impulsive breaking wave forces. *Coastal Engr.* Vol 22., Special Issue on Vertical Breakwaters, Elsevier.
- Y. Goda, Y. (1974):** A new method of wave pressure calculation for the design of composite breakwaters. Proc. 14th Int. Conf. Coastal Eng., Copenhagen, pp. 1702-1720.
- T. Hayashi & Hattori, (1958):** Pressure of the breaker against the vertical wall. *Coastal Engr.* in Japan.
- T. Hayashi (1965):** Virtual mass and the damping factor for the breakwater during rocking, and the modifications by their effect on the expression of the thrusts exerted upon breakwater by the action of breaking waves. *Coastal Engr.* in Jpn., Vol 8.
- Kortenhaus, A. and Oumeraci, H. (1995):** Simple numerical models for caisson breakwater motions under breaking wave impacts. *Final Proceedings, MAST II, MCS-Project: Monolithic (Vertical) Coastal Structures*.
- Kortenhaus, A. and Oumeraci, H. (1998):** Classification of wave loading on monolithic coastal structures. *Proceedings of the 24th international coastal engineering conference*, vol. 2, pp. 1284-1297.
- N.T. Kottogoda & Rosso R. (1997):** *Statistics, Probability and Reliability Methods for Civil and Environmental Engineering*. Mc Graw Hill.
- Löffler, H. Oumeraci, A. Kortenhaus, L. Martinelli (2000):** Pressure Distribution at the Front Face and the Bottom of a Vertical Breakwater in Multidirectional Seas, Proc. 27th ICCE, Sydney.
- Lamberti, L. Martinelli (1998):** Prototype measurements of the dynamic response of caisson breakwaters. Proc. 26th ICCE, Copenhagen, Denmark.
- Lamberti, L. Martinelli (2000):** Dynamic response of caisson breakwaters: guidelines for static equivalent analysis. Proc. 27th ICCE, Sydney.
- V.N. Loginov (1958):** Dynamic analysis of the stability of harbour protective structures under the action of wave impacts. *Tr. SNIIMF*, Vol 19 (in Russian).
- J.G. Marinski & H. Oumeraci (1992):** Dynamic response of vertical structures to breaking wave forces. Review of the CIS design experience. Proc. 23rd ICCE.
- L. Martinelli, H.G. Voortman, J.K. Vrijling, A. Lamberti (1999):** Application of probabilistic design tools for vertical breakwaters, *Coastal Structure99*, 7-10 June 1999, Santander, Spain.
- S. Nagai (1973):** Wave forces on structures, in "Advances in Hydrosience", Ven Te Chow Ed., Vol. 9, Academic Press.
- H. Oumeraci (1994):** Review and analysis of vertical breakwater failures - lesson learned. *Coastal Engr.* Vol 22., Special Issue on Vertical Breakwaters, Elsevier.
- H. Oumeraci & A. Kortenhaus (1994):** Analysis of the dynamic response of Caisson Breakwaters. *Coastal Engr.* Vol 22., Special Issue on Vertical Breakwaters, Elsevier.
- H. Oumeraci, N.W.H. Allsop, M.B. de Groot, R. Crouch, J.K. Vrijling, A. Kortenhaus, H.G. Voortman (2000a):** Probabilistic design tools for vertical breakwaters, Volume I. Rotterdam: Balkema. (Forthcoming).
- H. Oumeraci, A. Kortenhaus, N.W.H. Allsop, M.B. de Groot, R. Crouch, J.K. Vrijling, (2000b):** Probabilistic design of caisson breakwaters and sea walls - present status & perspectives. Proc. 27th ICCE, Sydney.
- VI. Petrashen (1956):** Action of breaking waves on vertical structures. *Sbornik Trudov VNIIGs*, 7, pp. 75-110 (In russian).
- G.N. Smirnov & L.R. Moroz (1983):** Oscillation of gravity protective structures of a vertical wall type. Proc. 20th IAHR.
- K. Shimosako, S. Takahashi & K. Tanimoto (1994):** Estimating the sliding distance of composite breakwaters due to wave forces inclusive of impulsive forces. Proc. 24th ICCE.
- K. Shimosako, S. Takahashi (2000):** Application of expected sliding distance method for composite breakwaters design. Proc. 27th ICCE, Sydney.
- T. Stevenson (1874):** *The design and construction of harbours*. 2nd ed. Edimburgh.
- S. Takahashi (1996):** Design of vertical breakwaters. Short course attached to 25th ICCE, Orlando, Florida.
- S. Takahashi, K. Tanimoto and K. Shimosako (1994):** A proposal of impulsive pressure coefficient for the design of composite breakwaters. Proc. Int. Conf. Hydro-Technical Eng. Port and Harbour Construction, Yokosuka, pp. 438-457.
- T. Takayama, N. Ikeda (1992):** Estimation of sliding failure probability of present breakwaters for probabilistic design. Report of the Port and Harbour research institute, Vol 31, N° 5.
- T. Takayama, S. Ikesue, K. Shimosako (2000):** Effect of directional occurrence distribution of extreme waves on composite breakwater reliability in sliding failure. Proc. 27th ICCE, Sydney.
- J.W. Van der Meer; K. d'Angremond & J. Juhl (1994):** Uncertainty on Goda Formula. Proc. 24th ICCE Kobe.
- H. G. Voortman, P.H.A.J.M. Van Gelder, J.K. Vrijling (1999):** Reliability analysis of the dynamic behaviour of vertical breakwaters. *Proceedings of European Safety and Reliability Conference, (ESREL)*, Munich, 1999.



La Clave del Éxito reside en nuestra Capacidad de Superación

Adaptarnos a las nuevas exigencias del mercado, a las nuevas tecnologías constructivas, a las nuevas estrategias empresariales... nos permite superar los más exigentes requisitos de calidad, seguridad y respeto por el medio ambiente. Manteniendo nuestra responsabilidad con cada uno de nuestros clientes y cumpliendo más allá de nuestros compromisos. Es así como ALDESA se sitúa hoy entre los diez mayores grupos de construcción de España, consolidándose y proyectándose con éxito hacia el futuro.

OBRAS FERROVIARIAS - CARRETERAS Y AUTOVÍAS - AEROPUERTOS - OBRAS MARÍTIMAS E HIDRÁULICAS
URBANIZACIONES - EDIFICACIÓN - REHABILITACIONES Y REFORMAS



 **aldesa**

C/ Bahía de Pollensa, 13 - 28042 Madrid - Tel.: 91 381 92 20 - Fax: 91 381 78 03
www.aldesa.es

 **MADRID2016**
CIUDAD CANDIDATA

Comportamiento de un geosintético utilizado en el drenaje de un embalse

A. LEIRO (*) y M. BLANCO (*)

RESUMEN La finalidad de este trabajo es la comprobación de la idoneidad de un geosintético utilizado como drenaje en obras hidráulicas que está constituido por una geoestera de poliéster entre dos geotextiles de polipropileno. Se han considerado muestras extraídas en tres zonas distintas de un embalse que se encontraban en contacto con el hormigón y de tres rollos acopiados en la obra. Todos estos materiales se sometieron en laboratorio a una serie de pruebas que confirmaron una notable degradación de la geoestera, debida a la hidrólisis de la función éster del polímero en medio alcalino.

GEOSYNTHETICS PERFORMANCE USED FOR RESERVOIR'S DRAINAGE

ABSTRACT *The objective of this paper is to verify the suitability of a geosynthetic when applied as a drainage tool in hydraulic works. The geosynthetic that has been chosen is formed by a polyester geomat located between two polypropylene geotextiles. The analyzed specimens have been extracted from three different zones of the reservoir, which have been in direct contact with the concrete. Additionally, samples from stockpile material from the construction site have also been taken for analysis. All the specimens have undergone a series of identical experiments that have confirmed an outstanding degradation of the geomat primarily due to the hydrolysis of the ester function in the basic environment.*

Palabras clave: Geosintéticos, Geodrán, Geoestera, Geotextil.

Keywords: Geosynthetics, Drainagecomposite, Geomat, Geotextile.

1. INTRODUCCIÓN

El Boletín nº 78 del año 1991 del Comité Internacional de Grandes Presas (ICOLD) (1) data la primera balsa impermeabilizada con una geomembrana sintética en el año 1959; es la de Kualapuu, en Holokai (Hawái). El empleo de geosintéticos es posterior y se puede considerar como fecha histórica el año 1977 en que se celebró en París el Coloquio Internacional sobre el empleo de textiles en Geotecnia; ahí es donde Giroud propone el nombre de geotextiles para designar a estos materiales orgánicos. Posteriormente, la International Geosynthetics Society (IGS) organizó sucesivas conferencias internacionales sobre el tema en Las Vegas, Viena, Singapur, Atlanta, Niza y Yokohama (2).

Los geotextiles, en la casi totalidad de los embalses construidos en España, se sitúan entre el soporte y la geomembrana sintética, denominada barrera geosintética polimérica (GBR-P) de acuerdo con la norma europea UNE-EN ISO 10318 (3-5) aunque, en ocasiones, su colocación puede ocurrir entre dos geomembranas de la misma naturaleza por que así lo requiera el diseño del sistema, es el caso de Los Cabezos en Villena (Alicante) o en reimpermeabilizaciones para evitar incompatibilidades posibles entre las láminas, como podría ser una migración de plastificantes entre un poli(cloruro de vinilo) plastificado y otra membrana de distinta naturaleza (6). En el caso concreto de las presas, es

frecuente hacer uso de geomembranas que llevan incorporado por el lado que va a estar en contacto con el paramento un geotextil; este es el caso de las impermeabilizaciones de las presas portuguesas de Coviao do Ferro y Pracana (7).

La utilización de geosintéticos como drenes es, en la actualidad, de uso común. Su finalidad básica es la captación de agua y conducirla de modo que no de lugar a arrastres, además de disminuir la presión intersticial. Aparte de su función esencial en la estabilidad de la obra, es muy de tener en cuenta los dispuestos para localizar, y en su caso medir, las eventuales filtraciones (8-10).

Aunque a nivel general estos materiales pueden estar constituidos por poliamidas e incluso por fibras de materiales compuestos, en nuestro país, se suelen fabricar a partir de polipropileno, polietileno y poliéster (11). Los dos primeros productos son poliolefinas que en su polimerización han perdido el enlace "pi" y solo en su estructura aparecen enlaces "sigma", mientras que el poliéster es un policondensado que en su reacción de polimerización no pierde la estructura "éster" del monómero de partida. Como resultado de este tipo de estructura de la macromolécula, el polipropileno y el polietileno presentan una gran inercia química y solo serán atacados en reacciones homolíticas o radicáticas que pueden ser provocadas por su exposición a las radiaciones UV procedentes del sol (12) por lo que deben mantenerse en obra debidamente protegidos. En la figura 1 se presentan unos rollos de geotextiles en el proceso constructivo de la balsa de El Toscar, en Monóvar (Alicante). En cambio los poliésteres, reaccionan perfectamente en reacciones heterolíticas o iónicas, como es el caso de su hidrólisis en presencia pH muy

(*) Laboratorio Central de Estructuras y Materiales. Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX).



FIGURA 1. Rollos de geotextil recepcionado en el embalse de El Toscar.

ácidos o muy básicos; la reacción de un éster con una base es la conocida formación de jabones o saponificación (13). Teniendo en cuenta el soporte y el medio donde van a instalarse se elegirá el geotextil adecuado y por ello se hace uso de los mismos en los paramentos de presas e incluso en presas de hormigón compactado con rodillo (14-15).

Este trabajo tiene por finalidad presentar los resultados experimentales obtenidos a nivel de laboratorio al situar a un geodrén de poliéster en condiciones alcalinas.

2. NORMATIVA

Los geosintéticos se encuentran afectados por el mandato M/107 en el marco de la Directiva Europea de Productos de la Construcción (89/06/CEE), recogido en el Real Decreto 1630/1992, modificado por el Real Decreto 1328/1995. Cuentan con normas EN armonizadas de producto en las que se especifican las características y funciones que deben cumplir los geotextiles y productos relacionados para ser utilizados en las diferentes aplicaciones, obtener el marcado CE para dichas aplicaciones, y por tanto, poder ser comercializados legalmente en el ámbito de la Unión Europea (16,17). **El marcado CE es obligatorio y no es una marca de calidad, sino unos requisitos mínimos que debe cumplir para poder ser comercializado en la Unión Europea.** Podríamos definirla como un documento de identidad del producto.

Las normas UNE- EN de producto permiten a los fabricantes describir los productos en función de sus valores declarados, con las tolerancias, de las características esenciales (armonizadas) para un uso previsto, determinadas mediante ensayos conforme a unos métodos normalizados, normas UNE-EN (18-19). Incluyen también los procedimientos para la evaluación de la conformidad y el control de producción en fábrica. Lo fundamental de estas normas a tener en cuenta para el marcado CE, es lo siguiente:

En su objeto y campo de aplicación, especifican las características y funciones que deben cumplir los geotextiles y productos relacionados para una aplicación concreta.

ANEXO A. Describe como realizar y documentar el control de producción en fábrica.

ANEXO B. Se describen los aspectos de durabilidad relativos a la resistencia a la intemperie, vida de servicio y ensayos de materiales específicos.

ANEXO C. Contiene las guías para la selección de la norma apropiada en una aplicación específica.

ANEXO D. Consiste en un diagrama de flujo para el proceso de evaluación de la durabilidad.

ANEXO ZA. Se refiere a los capítulos de la norma europea relativos a los requisitos esenciales de acuerdo con la Directiva UE "Productos de la Construcción". Consta de 3 apartados:

- ZA.1- Objeto, campo de aplicación y capítulos aplicables.
- ZA.2- Verificación de la conformidad.
- ZA.3- Tareas de evaluación de fabricante y del organismo notificado para el marcado y etiquetado CE.

MARCADO CE

- Símbolo CE N° organismo certificación.
- Nombre y tipo de producto (uso).
- Nombre y logo fabricante.
- Identificación del producto, incluyendo el tipo.
- Información sobre características reglamentarias (Valores declarados por el fabricante).

Desde octubre del año 2002, los geotextiles deben estar en posesión del marcado CE para ser comercializados legalmente en los países de la Unión Europea.

Por otra parte, las normas europeas, no consideran cálculos ni requisitos de diseño o dimensionado, ni tampoco cubren las técnicas de instalación. Asimismo, las mencionadas normas europeas no hablan de exigencias y teniendo en cuenta la gran variedad de materiales sintéticos utilizados que para una parte del sector resulta desconocido, es por lo que la Dirección General del Agua del el Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino está redactando un manual (19) donde figurarán unos requerimientos mínimos a exigir a este tipo de materiales orgánicos.



FIGURA 2.

3. EXPERIMENTAL

Este trabajo versa sobre un geodrén colocado en un embalse que debido a las condiciones geotécnicas de la zona se hizo necesaria la utilización de hormigón sobre el soporte del propio terreno como capa reguladora. A su vez, sobre el citado soporte de hormigón se procedió a la puesta en obra del sistema de impermeabilización que consistió en colocar un geodrén, un geotextil intermedio y, externamente, la geomembrana impermeabilizante a base de poli(cloruro de vinilo) plastificado (PVC-P) reforzado con un tejido de poliéster.

A los pocos meses de instalado el sistema impermeabilizante se detectó un problema geotécnico en la solera, por lo que fue preciso levantar el mencionado sistema, y se comprobó que el geodrén se encontraba degradado, fundamentalmente, en el fondo.

3.1. TOMA DE MUESTRAS

Ante la situación planteada se tomaron muestras en obra en tres zonas del embalse que denominaremos N, S y E, así como en tres rollos del geodrén original acopiados en la zona de obras, cuya referencia será 1, 2 y 3.

En las fotografías de la figura 2, se observa el aspecto del geodrén y de sus elementos constitutivos en probetas extraídas del geodrén original.

El geodrén utilizado, se trata de un geocompuesto de drenaje, que está constituido por dos geotextiles no-tejidos y una geoestera, que hace las veces de geored cuyas características mecánicas condujeron a los resultados de la tabla 1.

3.2. PRUEBAS REALIZADAS

Con objeto de intentar reproducir en el laboratorio lo que hipotéticamente había podido ocurrir en la obra, se realizaron una serie de ensayos acelerados para comprobar el comportamiento del geodrén en un medio básico, como es el producido en el hormigón en contacto con el agua debido a su lixiviación. Así, se procedió a realizar a los geodrenes el ensayo descrito por la norma europea transpuesta a norma nacional española (21).

Se utilizó un procedimiento práctico basado en esta norma, concretamente en el método (b) para la determinación para la resistencia a líquidos alcalinos. Para ello, se preparó una disolución de hidróxido de calcio saturada de aproximadamente 2,5 g/l, en la cual se sumergieron las probetas dispuestas según el dispositivo que se muestra en las fotografías de la figura 3 durante tres días.

El recipiente con las probetas se introdujo en una estufa a 60°C con agitación continua (figura 4).

Característica	Norma	Valor medio	
Masa por unidad de superficie, g/m ²	UNE-EN 965	644	
Resistencia a la tracción, kN/m	UNE-EN ISO 10319	Longitudinal	15,1
		Transversal	13,2
Alargamiento, %	UNE-EN ISO 10319	Longitudinal	31
		Transversal	47

TABLA 1. Características del geodrén.



FIGURA 3.



FIGURA 4.



FIGURA 6. Geostera del geodrén.

3.3. PREPARACIÓN DE PROBETAS

Con objeto de estudiar independientemente el comportamiento de los materiales que conformaban el geodrén original, se separaron los dos geotextiles no tejidos (figura 5) y la geostera (figura 6).

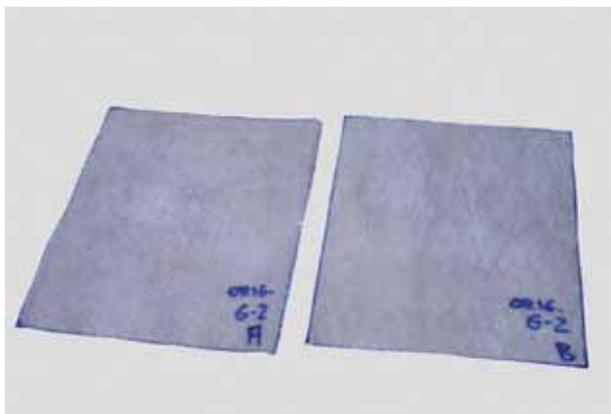


FIGURA 5. Geotextiles que conforman el geodrén.

En los rollos originales (1 y 3) se separaron los geotextiles no tejidos de la geostera y se confeccionaron ocho probetas, cuatro en sentido longitudinal y cuatro en transversal. En el rollo 2 solo se prepararon probetas de la geostera, al igual que en las muestras tomadas en los taludes del embalse, ensayándose en condiciones iniciales, y una vez sometidas al ataque de hidróxido de calcio, de acuerdo con lo establecido en la norma UNE-EN 14030:2002. *Geotextiles y productos relacionados. Método de ensayo selectivo para la determinación de la resistencia a los líquidos ácidos y alcalinos.*

3.4. RESULTADOS

Los resultados experimentales alcanzados se presentan en la tabla 2.

3.4.1. Materiales originales

Los geotextiles ensayados no fueron atacados por la disolución básica del hidróxido cálcico, como lo prueban los resultados obtenidos de su resistencia a la tracción, donde los valores alcanzados antes y después del tratamiento alcalino son, prácticamente, los mismos.

Las geosteras procedentes del geodrén original de los rollos sufrieron un notable deterioro (Fig. 7), tanto es así que en solo dos casos fue posible realizar el ensayo de tracción, si bien presentaban degradación (Fig. 8). En la figura 9 se

MUESTRA	Sentido	Resistencia a la tracción, (KN/m)		Resistencia residual después del contacto con Ca(OH) ₂ , (%)
		Condiciones iniciales	Sometidas a la disolución de Ca(OH) ₂	
Geoestera original. Rollo 1	A	0,86	(*)	
	B	0,91	(*)	
Geoestera original. Rollo 2	A	0,72	0,27	37,5
	B		(*)	
Geoestera original. Rollo 3	A	0,68	(*)	
	B	1,29	0,14	10,9
Geoestera de obra N	A	0,62	(*)	
	B	0,80	(*)	
Geoestera de obra S	A	0,52	(*)	
	B	0,79	(*)	
Geoestera de obra E	A	0,48	0,25	52,0
	B	0,48	0,42	88,0
Geotextil original. Rollo 1	A	5,30	5,13	
	B	5,92	5,72	
Geotextil original. Rollo 2	A	4,45	4,55	
	B	5,78	6,12	

TABLA 2. Resultados experimentales.
 (*) Las probetas no se pudieron ensayar a tracción después de ser sometidas al ataque con la disolución de hidróxido cálcico debido a su deterioro.

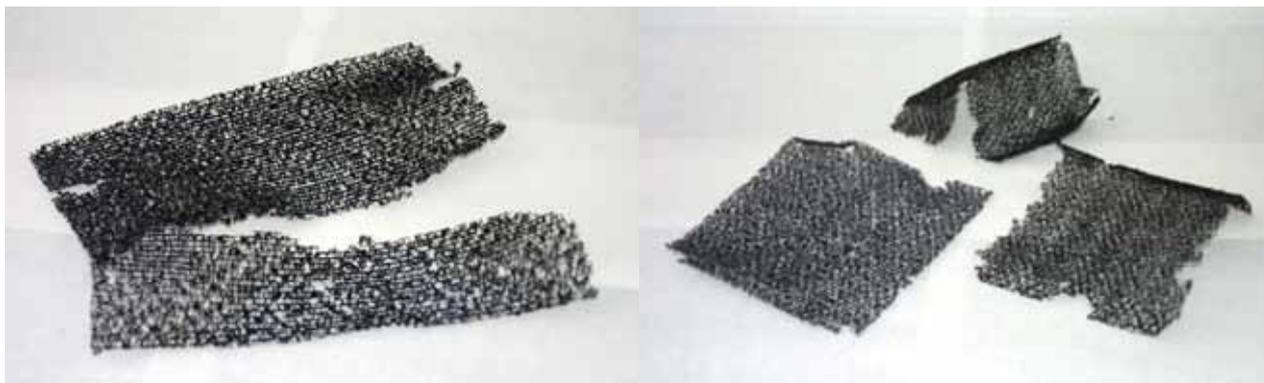


FIGURA 7. Estado de las geoesteras de los rollos originales tras el contacto con los álcalis.

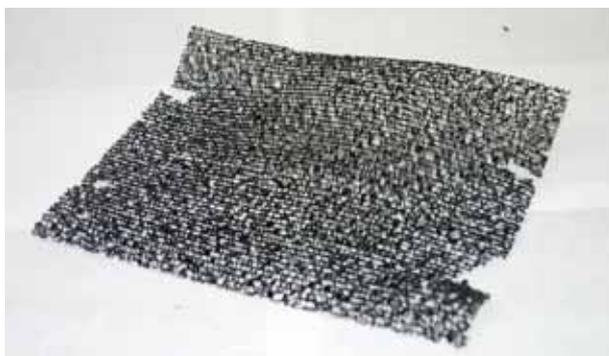


FIGURA 8. Geoestera después del ensayo con Ca(OH)₂.



FIGURA 9. Probetas de geoesteras de los materiales originales tras el contacto con el medio alcalino.



FIGURA 10. Estado de la geostera del rollo 2 tras sus tres ciclos de tratamiento con el hidróxido cálcico.



FIGURA 11. Estado de las probetas extraídas de obra tras el ensayo en medio alcalino.

observa el estado de las probetas una vez sometidas al ataque de hidróxido de calcio por un período de 3 días. En la geostera procedente del rollo 2, las probetas se dejaron con el tratamiento básico por un espacio de tiempo superior, concretamente tres ciclos de tres días sucesivos. En la figura 10 se observa que el estado final de las probetas de la geostera denotaba un grado de deterioro elevado, lo que impidió llevar a cabo el ensayo de tracción (Fig. 10).

3.4.2. Materiales extraídos de obra

Las probetas extraídas de los taludes del embalse se sometieron, como se indicó con anterioridad a la misma prueba que a los materiales originales. El grado de degradación experimentado impidió la prueba de tracción en las muestras referenciadas como N y S (Fig. 11). El deterioro observado en estos materiales es superior al alcanzado por las muestras de los rollos originales.

4. CONCLUSIONES

- a) De las probetas de geostera fabricadas con poliéster (PET) sometidas al ataque de la disolución de hidróxido de calcio, sólo se ha podido determinar la resistencia a la tracción en algunos casos ya que han sufrido un significativo deterioro que impidió llevar a cabo dicha prueba. El deterioro de la geostera ha llegado a tal extremo que en el fondo del recipiente de ensayo, una vez terminado el ciclo de tres días en la disolución de hidróxido de calcio, se observaron trozos de las probetas totalmente degradadas de aspecto similar a las halladas en obra (figura 12).
- b) Las probetas de la geostera de poliéster que se han podido ensayar después de tres días sometidas al ataque de hidróxido de calcio, han sufrido una merma importante en su resistencia a la tracción, como se pone de manifiesto en los valores obtenidos sobre probetas

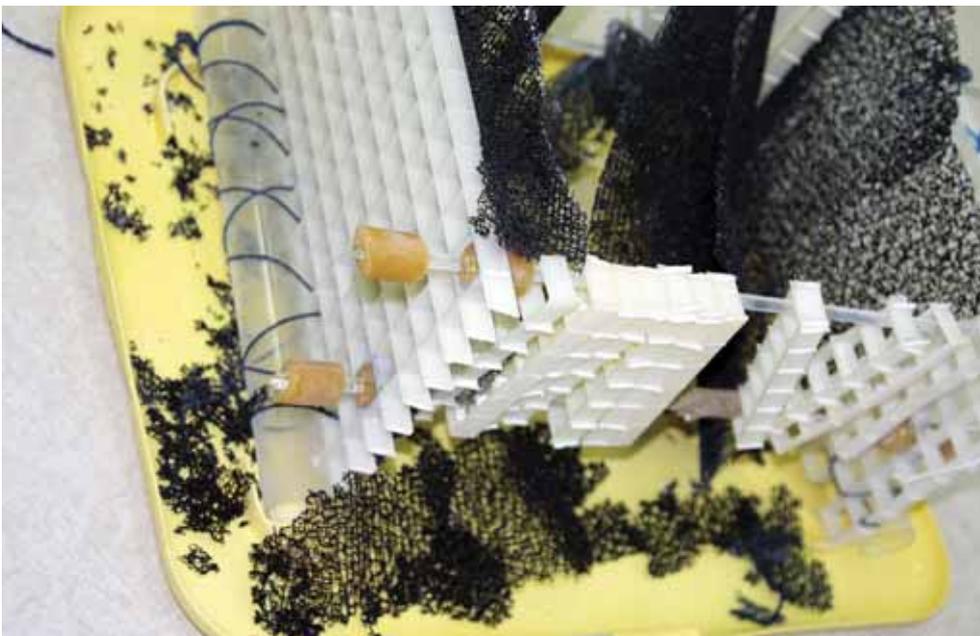


FIGURA 12. Gránulos de la geostera de poliéster.

ensayadas en condiciones iniciales y después de sometidas al ataque de hidróxido de calcio. De acuerdo con la norma UNE-EN 12226 y el informe UNE-CR- ISO 13434, para que un geosintético sea resistente a un medio alcalino ($\text{pH} > 9$), la resistencia residual después de sometido al ataque de hidróxido de calcio debe ser al menos un 50% de la inicial.

- c) Los valores obtenidos en los geotextiles no tejidos para condiciones iniciales y después de sometidos al ataque de hidróxido de calcio, son sensiblemente iguales, por lo cual se puede deducir que no les ha afectado el ataque de hidróxido de calcio. Esto es debido a que su materia prima, es polipropileno, que permanece inalterable en un medio básico.
- d) Las probetas de geoestera que se han sometido a tres ciclos sucesivos de tres días en la disolución de hidróxido cálcico, se han deteriorado completamente.
- e) Los resultados obtenidos a nivel de laboratorio sobre la geoestera del geodren ponen de manifiesto un deterioro importante en sus propiedades al someterlo al ataque de una disolución saturada de hidróxido de calcio a 60°C , lo cual se puede justificar por la hidrólisis del poliéster, polímero con el cual fue fabricado.
- f) Se puede concluir, por tanto, que si bien las características mecánicas iniciales del geodrén eran adecuadas, no lo fue la elección de la materia prima, lo cual se pone de manifiesto por la degradación sufrida por la geoestera de poliéster, confirmando, que se debió a su hidrólisis al ponerse en contacto con la disolución alcalina producida en la lixiviación del hormigón.

5. BIBLIOGRAFÍA

1. International Commission on Large Dams. *Watertight Geomembranes for Dams. State of the Art*, Bulletin ICOLD N° 78 Paris. (1991).
2. LEIRO, A.- *Geosintéticos, geotextiles y productos relacionados*. Proc. Mesa Redonda sobre Normativa y Reglamentación en la Impermeabilización en Ingeniería Civil. Madrid (2006).
3. BLANCO, M.; LEIRO, A. y SEGURA, J.- *Geosintéticos empleados en la impermeabilización de las balsas de Acanabre y Montaña del Tesoro*. Aislamiento e impermeabilización (2008) (en prensa).
4. LEIRO, A.; BLANCO, M. y ZARAGOZA, G.- *Performance of synthetic geomembranes used in waterproofing of spanish reservoirs* Geosynthetics 7th ICG, Delmas, Gourc & Girard (Eds.) Editorial Balkema (2002) pp. 979-982 Rotterdam (Holanda).
5. AGUIAR, E. and BLANCO, M. *Experience in Connection with the Performance of Plasticized poly(vinyl chloride) Sheeting in Tenerife Basin Sealing*. Proc. Symposium on Research and Development in the Field of Dams, 361-375. Crans-Montana (Suiza). (1995).
6. BLANCO, M.; AGUIAR, E.; CEA, J. C. de; CASTILLO, F. y SORIANO, J. - *Estado de las geomembranas sintéticas de polietileno de alta densidad (PEAD) a los siete años de su instalación en balsas*. Ing. Civil (2008) (en prensa).
7. LIBERAL, O.; SILVA MATOS, A.; CAMELO, D.; SOARES DE PINHO, A.; TAVARES DE CASTRO, A. y MACHADO DO VALE, J. L.- *Observed behaviour and deterioration assessment of Pracana dam*. Proc. ICOLD 21st ICOLD International Congress, pp. 185-205. Montreal (Canadá). (2003).
8. Conselleria de Medi Ambient, Aigua, Urbanisme i Habitatge. Direcció General del Agua. *Guía para el proyecto y construcción de balsas de tierra*. Valencia (2007).
9. FERRER, C.; FERRÁN, J.J.; SÁNCHEZ, F.J. y REDÓN, M.- *Pruebas del drenaje en balsas de materiales sueltos*. I Simposio nacional sobre proyecto, construcción e impermeabilización de balsas. Sevilla. (2005).
10. SANTAMARÍA, E.; ZAPATA, F.; TARÍN, A. y GÓMEZ, A.- *Experiencias en la construcción de drenes "chimenea" en balsas de materiales sueltos*. Proc. 2º Congreso Nacional de Impermeabilización: Edificación y Obra Pública y 2º Congreso Internacional sobre proyecto, construcción e impermeabilización de balsas, pp. 671-679. Palma de Mallorca. (2008).
11. LEIRO, A. y BLANCO, M.- *Los geotextiles como nuevos materiales orgánicos en la Obra Pública*. Monografías CEDEX, M-17. Madrid. (1990).
12. CARNEIRO, J. R.. - *Resistência dos geotêstis à degradação química. Termodegradação e factores climáticos*. Proc. I Seminário Português sobre geossintéticos. Porto (Portugal), noviembre (2005).
13. NAVARRO, A.; BLANCO, M. y RICO, G. *Materiales Ópticos Orgánicos*. AAEUO. Madrid. (1989).
14. SCUERO, A. 2004. *Waterproofing of Dams and Reservoirs all over the World with Synthetic Geomembranes*. Proc. Jornadas sobre impermeabilización con materiales sintéticos. La Palma (España), Abril. (2004).
15. SCUERO, A. y VASCETTI, G. *How to Select a Geomembrane to Waterproof Hydraulic Structures*. Proc. 2º Congreso Nacional de Impermeabilización: Edificación y Obra Pública y 2º Congreso Internacional sobre proyecto, construcción e impermeabilización de balsas, pp. 189-202. Palma de Mallorca. (2008).
16. UNE-EN 13 254 *Requisitos para uso en la construcción de embalses y presas* (2001).
17. UNE-EN 13 252 *Requisitos para uso en sistemas de drenaje* (2001).
18. SANS, I.- *Estado actual de la normativa técnica UNE sobre impermeabilización con materiales impermeabilizantes: edificación y obra civil*. Proc. 2º Congreso Nacional de Impermeabilización: Edificación y Obra Pública y 2º Congreso Internacional sobre proyecto, construcción e impermeabilización de balsas, pp. 779-788. Palma de Mallorca. (2008).
19. LEIRO, A. *Geosintéticos*. Simposio Nacional sobre Proyecto, Construcción e Impermeabilización de balsas. Sevilla (2005).
20. Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino. *Manual de diseño, construcción, explotación y mantenimiento de balsas*. (en elaboración).
21. UNE-EN 14 030 *Geotextiles y productos relacionados. Método de ensayo selectivo para la determinación de la resistencia a los líquidos ácidos y alcalinos* (2002).

TUS PROYECTOS

Tus proyectos, obras públicas de gran envergadura. Nuestra experiencia, una herramienta para llevar a cabo su impermeabilización.

Porque las propiedades de la lámina ALKORPLAN® (gran resistencia al hinchado, a la putrescibilidad, al envejecimiento y un elevado nivel de estanqueidad incluso bajo deformación permanente), permiten adaptarnos a cualquier proyecto, incluso a los de mayor envergadura, como la impermeabilización del embalse de Saltadero en Canarias.

LÁMINAS IMPERMEABILIZANTES

Alkorgeo
geomembranes

Alkorplan® (PVC-P)

NUESTRA EXPERIENCIA

Lugar: **Embalse el Saltadero, Sur Tenerife, Islas Canarias**
Cliente: **BALTEN**
Empresa Constructora: **SATOGAN**
Empresa Instaladora: **COEMSER S.L.**
Superficie: **40,000m²**

RENOLIT Iberica, s.a.
Carretera del Montnegre, s/n
08470 Sant Celoni (Barcelona)
Tel.: 34 938 484 000 Fax: 34 938 675 517
renolit.iberica@renolit.com
www.alkorgeo.com



Comportamiento de geomembranas sintéticas instaladas en el campo experimental de El Saltadero

MANUEL BLANCO (*), ESCOLÁSTICO AGUIAR (**), TATIANA VARA (**), FLORENCIO GARCÍA (*),
JESÚS SORIANO (*) y FRANCISCA CASTILLO (*)

RESUMEN El Saltadero es un embalse cubierto ubicado en un lugar de fuerte insolación en la zona sur de la isla de Tenerife, donde se ha construido un talud artificial dirigido hacia el sur en el que se instalaron una serie de láminas susceptibles de ser utilizadas como geomembranas en la impermeabilización de obras hidráulicas.

En este campo experimental de investigación se han colocado perfectamente ancladas láminas de nuevos materiales y de otros tradicionales, pero cuyas casas comerciales no estaban lo suficientemente implantadas en nuestro país. En todos los casos se han soldado varios paños con la finalidad de poner de manifiesto no solo el estado de la geomembrana sino también el de la soldadura.

A parte de realizar las pruebas iniciales para conocer sus características técnicas, periódicamente se han tomado muestras para llevar a cabo los ensayos de seguimiento en el tiempo y ver su evolución así como su comportamiento en obra.

La naturaleza de los materiales instalados es variada y cabe destacar el PVC-P; PE, CSM, EVA/C, EPDM, PP y poliolefinas.

Con los materiales extraídos se llevan a cabo pruebas de características de tracción y alargamiento en rotura, esfuerzo y alargamiento en el punto de fluencia (en PE), contenido en plastificantes (en PVC-P), doblado a bajas temperaturas, resistencia al impacto dinámico, resistencia a la perforación (impacto estático), resistencia al desgarramiento (en PE) y resistencia de la soldadura tanto por cizalla como por pelado. Asimismo, se examinaron por microscopía óptica de reflexión y electrónica de barrido ("scanner").

Se presentan los resultados más significativos con los distintos materiales de este campo experimental que se puede considerar pionero para geomembranas a utilizar en la impermeabilización en obras hidráulicas.

PERFORMANCE OF SYNTHETIC GEOMEMBRANES INSTALLED IN THE EXPERIMENTAL FIELD OF EL SALTADERO

ABSTRACT *El Saltadero is a covered reservoir located in a place of strong insolation in the South of the Island of Tenerife, where an artificial slope has been constructed directed to the south in which some sheets were applied to be used like geomembranes in hydraulic work waterproofing.*

In this experimental field of research they have been placed perfectly anchored sheets of new materials and other traditional ones, but whose manufacturers were not sufficiently implanted in our country. In all the cases sheets were solded with the aim of showing not only the performance of the geomembranes but their one the joint.

Initial tests have been made. Besides samples have been taken to determinate their technical properties and to see their evolution as well as behaviour one time installed. Considerated materials were PVC-P, HDPE, CSM, EVA/C, EPDM, PP and polyolefines.

Important characteristics were evaluated: tensile properties, tear resistance (in HDPE), yield point (in HDPE), impact resistance, static perforation, low temperature folding, joint strength, joint peel resistance, plasticizer content (in PVC-P), carbon black: content and dispersion (in HDPE), optic microscopy and electron microscopy "scanner".

The most significant results with the different materials from this experimental field are presented and they can be considered pioneer for geomembranes to use in hydraulic work waterproofing.

Palabras clave: Geomembranas, Imperbealización, Embalses, Campo experimental.

Keywords: Geomenbranes, Waterproofing, Reservoirs, Experimental field.

1. INTRODUCCIÓN

Cualquier producto que vaya a utilizarse con cualquier fin en la vida ordinaria debe ser previamente analizado y decla-

rado apto para su posterior puesta en servicio. Una vez comprobada su validez y antes de ser aplicado en los distintos campos de empleo deben de ser analizadas sus características para conocer su idoneidad. Si nos centramos en el ámbito de la Construcción, en general, y de la Impermeabilización, en particular, los materiales tradicionales deben cumplir unas exigencias que las normativas vigentes y los proyectos de obra requieren (1). Materiales de nueva im-

(*) Laboratorio Central de Estructuras y Materiales (CEDEX).

(**) Balsas de Tenerife (BALTEN).

plantación suelen ir acompañados de Documentos de Idoneidad Técnica que avalan una experiencia en obra y que permiten una cierta seguridad en su empleo (2); cuando esa experiencia se va consolidando los mencionados DIT o DITES (europeos) pueden dar lugar a normas.

El control inicial de los materiales es una práctica, hoy día, bastante generalizada, aunque no tanto como sería deseable, sobre todo en obras de menor entidad, donde el ahorro de unos euros parece ser un factor importante, que a la larga puede ser costoso, pues en muchas ocasiones lo barato se transforma en caro. Los Organismos Oficiales más implicados en el tema de la impermeabilización en nuestro país como son los dependientes del Ministerio de Ambiente, y Medio Rural y Marino, Comunidades Autónomas y entidades como Balsas de Tenerife (BALTEN) han sido los más preocupados por conocer esas características originales y hacer cumplir los requerimientos que la normativa y los proyectos exigían en cada momento (3-4).

Además de los ensayos habituales a realizar según la norma vigente, este equipo de trabajo en colaboración con distintos estamentos oficiales ha dirigido la puesta a punto de una serie de pruebas para el mejor conocimiento de los materiales orgánicos macromoleculares cuyas referencias científicas o no existían o eran escasas en la literatura científica (5-10) y, que en algunos casos permitieron elaborar una metodología experimental que hoy forma parte del elenco normativo nacional y que hace referencia a quien la ha desarrollado (11-12).

El comportamiento a lo largo del tiempo de nuevos productos o nuevas formulaciones de materiales orgánicos se ha tratado de dilucidar a nivel de laboratorio mediante ensayos de envejecimiento artificial acelerado (13); más las pocas horas de estancia en las cámaras y las condiciones de las pruebas no permiten, por más que se ha intentado, extrapolar los resultados alcanzados a la realidad y no tiene mucho sentido relacionar horas de ensayo con años de vida útil del material. Por ello, la mayoría de las empresas de gran importancia a nivel internacional disponen de unos campos de pruebas en zonas de climatologías adversas como son los campos

para comportamiento de revestimientos líquidos en Florida (USA).

El CEDEX y BALTÉN, disponen de un campo experimental para la investigación de geomembranas sintéticas en una zona construida en el recinto del embalse cubierto de El Saltadero (Fig. 1) (14-15), donde se está probando una gran gama de materiales, en algunos casos productos de nueva implantación y cuyo comportamiento a la intemperie es desconocido. Los probetarios para la ubicación de los materiales a investigar se situaron sobre un talud compactado y un soporte de hormigón poroso, perfectamente anclados y dirigidos hacia el sur que es la parte de máxima degradación de estos productos macromoleculares en el hemisferio norte (Fig. 2) (16).

La importancia de contar con un campo experimental para geomembranas sintéticas ha suscitado el interés internacional, no solo para los técnicos de las Obras Hidráulicas sino también para los arquitectos, que en el campo de la edificación hacen uso de esas mismas láminas, tanto es así que ya en el año 1.994 y en el II Congreso Internacional de Tecnología de Techos celebrado en Buenos Aires (República Argentina) se hace referencia y se muestra un especial interés por los resultados obtenidos en el campo español. Eventos tanto nacionales como internacionales ven desfilar datos de productos nuevos en aquel momento y que en la actualidad se están aplicando en presas y embalses, como es el caso de poli(cloruro de vinilo) plastificado con inserción de fibra de vidrio o las mal denominadas en la jerga de los geosintéticos "poliolefinas" (17-19).

El campo experimental de El Saltadero ha permitido obtener unos datos experimentales que en bastantes materiales eran desconocidos y que están sirviendo de base para establecer unas exigencias mínimas en la elaboración por parte del Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino del Manual de diseño, construcción, explotación y mantenimiento de balsas (20). Asimismo, la International Commission on Large Dams cita esta investigación novedosa en su nuevo "draft" que se está editando en París (21).



FIGURA 1. Embalse cubierto de El Saltadero, con el campo experimental al fondo.



FIGURA 2. Aspecto parcial del campo experimental de El Saltadero.

2. MATERIALES

A nivel europeo la norma de productos hace referencia a los materiales a utilizar (22) y son, en la actualidad, objeto de estudio por la investigación internacional (23-24). En el citado campo experimental se han instalado diferentes materiales pero, en este caso nos circunscribiremos a los que llevan más tiempo sometidos a control:

- Poli(cloruro de vinilo) plastificado (PVC-P)
- Polietileno de alta densidad (PEAD)
- Polietileno de media densidad (PEMD)
- Polipropileno (PP)
- Copolímeros de etileno-acetato de vinilo (EVA/C)
- Polietileno clorosulfonado (CSM)
- Etileno-propileno-monómero diénico (EPDM) y
- Poliolfinas elastómericas (POE)

En primer lugar, se comprobaron las características de la geomembrana inicial y que servirán de base para la evaluación posterior. A continuación, y después de su instalación se realizó un control periódico del material. Las pruebas a realizar durante el mencionado control periódico dependen de la naturaleza del material utilizado. Las más comunes, en obras hidráulicas, son las siguientes:

- Espesores
- Características de tracción

- Doblado a bajas temperaturas
- Resistencia mecánica a la percusión (Impacto dinámico)
- Resistencia a la perforación (Impacto estático)
- Contenido en plastificantes (PVC-P)
- Resistencia al desgarro (PEAD)
- Negro de carbono y su dispersión (PEAD)
- Resistencia de la soldadura por tracción
- Resistencia de la soldadura por pelado
- Microscopia óptica
- Microscopia electrónica de barrido

3. RESULTADOS

3.1. PLASTIFICANTES

El poli(cloruro de vinilo) es un material rígido que, como tal, se emplea en el campo de la construcción; sin embargo, para ser utilizado como lámina impermeabilizante se precisa que sea flexible, lo que se puede conseguir de varias formas siendo la más común el empleo de unos aditivos, denominados plastificantes (25-26). Su determinación se realizó siguiendo la metodología experimental indicada en la normativa española (27). Los datos del PVC-P, en este caso reforzado con una inserción de fibra de vidrio son los que figuran en la tabla 1.

Plastificantes	Tiempo de instalación, meses										
	%	0	12	24	36	48	54	72	96	120	144
Contenido	34,8	34,6	34,6	33,7	33,7	32,2	30,5	30,5	30,5	30,5	28,0
Pérdida	-	0,6	0,6	3,2	3,2	7,5	12,4	12,4	12,4	12,4	19,5

TABLA 1. Variación del contenido en plastificantes en un PVC-P.

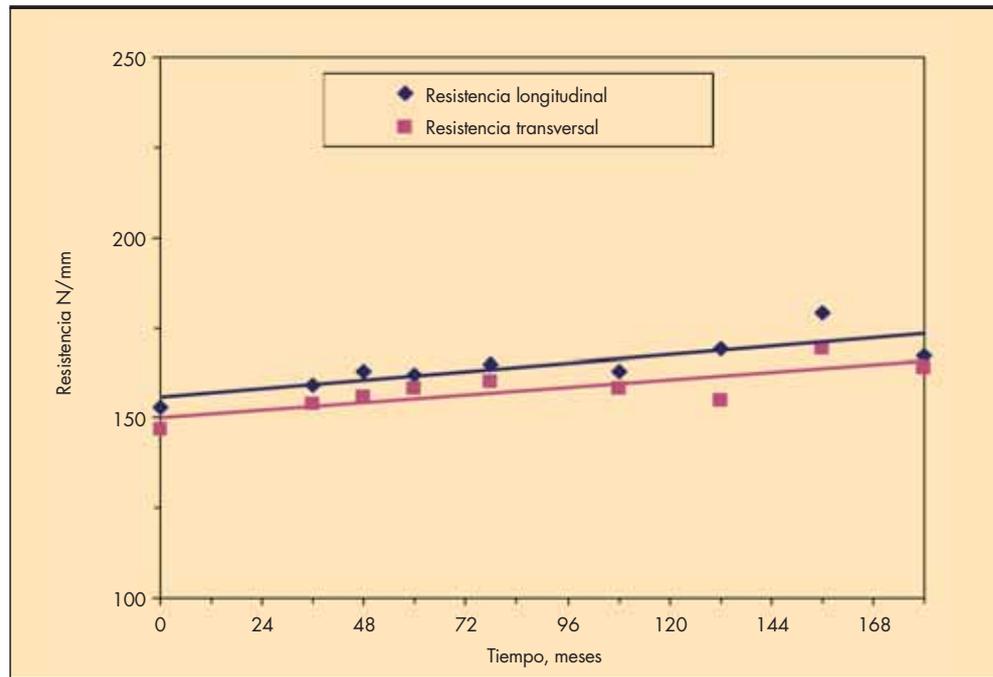


FIGURA 3. Evolución de la resistencia al desgarro del polietileno de alta densidad procedente del campo experimental ubicado en el embalse de El Saltadero durante quince años.

3.2. RESISTENCIA AL DESGARRO

En la figura 3 se presenta la evolución de la resistencia al desgarro del polietileno de alta densidad al cabo de los 15 años de su puesta en obra. La observación de los datos experimentales indica que no hay gran variación en el tiempo, detectándose, generalmente, una cierta tendencia a un ligero incremento con relación a los valores iniciales.

3.3. RESISTENCIA AL IMPACTO DINÁMICO Y ESTÁTICO

Por regla general, a medida que los materiales van envejeciendo la posibilidad de rotura es mayor; en el caso particular del PVC-P una pérdida notable de plastificante con la consiguiente rigidez del material propicia la perforación por impacto dinámico. Todos los materiales ensayados han superado la prueba hasta el momento.

Desde el punto de vista estático la prueba de perforación proporciona datos interesantes acerca del comportamiento del material sometido a la presión del agua y en contacto con el soporte. La tabla 2 presenta los valores de carga de perforación, resistencia a la perforación y recorrido del pistón antes del punzonamiento para las muestras de los materiales impermeabilizantes considerados según metodología experimental que se ha puesto a punto para este tipo de materiales y aplicación (11). En dicha prueba la forma de rotura es distinta para cada material y presenta unos valores del recorrido de perforación característicos. La forma de rotura podría permitir identificar el tipo de material utilizado y el recorrido, el estado del material en el momento del ensayo. La mencionada prueba se realizó por ambas caras de la geomembrana.

Material	Años de Instalación	Resistencia al punzonamiento, N/mm		Recorrido, mm	
		Cara externa	Cara interna	Cara externa	Cara interna
CSM	11	481	510	10	11
EPDM	8	334	309	30	33
EVA/C	13	323	358	44	49
PEAD	13	666	592	12	12
PEMD	8	595	605	20	20
POE	9	305	270	41	36
PP	12	586	566	38	34
PVC-P	10	690	634	22	23

TABLA 2. Resistencia al punzamiento estático.

Material	Temperatura de ensayo, °C
CSM	-40
EPDM	-55
EVA/C	-20
PEAD	-75
PEMD	-75
POE	-20
PP	-20
PVC-P	-20

TABLA 3. Temperatura de flexión según la naturaleza de la geomembrana sintética.

3.4. DOBLADO A BAJAS TEMPERATURAS

Las probetas de todos los materiales provenientes del campo experimental se sometieron a una prueba de flexión a bajas temperaturas, para ello se doblan las probetas sobre si mis-

mas un ángulo de 180°, después de permanecer 5 h en una cámara frigorífica a una temperatura determinada. Posteriormente se observa si aparecen síntomas de agrietamiento, roturas u otras imperfecciones superficiales.

La temperatura de doblado depende de la propia constitución del material que forma la geomembrana y es una prueba para determinar la calidad del material y no porque tenga que soportar esa temperatura una vez aplicado. Por otro lado, constituye un hecho relevante el conocer el comportamiento en el tiempo de esta propiedad y cuando tiene lugar el fallo, se puede pensar que el material ha empezado su proceso de degradación que en algunos casos puede ser bastante rápido. Las temperaturas a las que se efectuó el doblado son las que figuran en la tabla 3.

3.5. CARACTERÍSTICAS DE TRACCIÓN

En la tabla 4 se presentan datos de la evolución de la resistencia a la tracción, expresada en MPa, en función del tiempo para geomembranas homogéneas o con refuerzo de inserción de fibra de vidrio. Asimismo en la tabla 5 se muestra el correspondiente alargamiento en la rotura, en %. Los valores del citado alargamiento tienen una tendencia a la disminución con el tiempo de aplicación. La tabla 6 refleja

Material	Tiempo de instalación, meses										
	0	12	24	36	48	60	72	84	96	120	144
PVC-P	14,1	14,1	14,4	14,7	15,7	14,6	15,0		17,1	15,4	16,6
PEAD	34,0	31,1	36,7	33,3	34,9	34,5		31,3		30,5	29,0
PEMD	24,6		22,8		23,1		20,7		21,9	21,0	
EVA/C	22,5	22,3	22,0	20,2	19,4	18,7		19,2		18,4	19,9
EPDM	11,0		10,6		11,2		10,6		10,2		
POE	19,5	17,6			18,5		16,5	18,8	18,1	21,0	

TABLA 4. Evolución de la resistencia a la tracción (MPa) en función del tiempo en geomembranas de distinta naturaleza.

TABLA 5. Evolución del alargamiento en rotura (%) en función del tiempo en geomembranas de distinta naturaleza.

Material	Tiempo de instalación, meses										
	0	12	24	36	48	60	72	84	96	120	144
PVC-P	248	212	227	209	209	203	207		183	172	186
PEAD	880	856	781	763	772	776		698		657	714
PEMD	747		688		738		708		718	667	
EVA/C	888	768	771	774	733	722		737		745	796
EPDM	492		484		442		339		284		
POE	814	716			788		764	762	717	759	

Material	Característica	Tiempo de instalación, meses								
		0	12	36	60	84	108	120	132	156
CSM	Resistencia a la tracción (N/50 mm)	1500	1603	1525	1495	1537	1510	—	1583	1530
	Alargamiento en carga máxima (%)	29	26	27	34	30	30	—	31	27
PP	Resistencia a la tracción (N/50 mm)	1810	1540	1578	1157	1410	1340	1420	1425	1387
	Alargamiento en carga máxima (%)	28	31	31	29	32	32	31	34	35

TABLA 6. Evolución de las características de tracción en función del tiempo en geomembranas reforzadas con tejidos de hilos sintéticos.



FIGURA 4. Dispersión del negro de humo de la muestra de PEAD.

las características mecánicas de geomembranas reforzadas con tejidos de hilos sintéticos; en este caso las resinas base de los geosintéticos son polietileno clorosulfonado (CSM) y polipropileno (PP). Los datos que se exponen hacen referencia al sentido longitudinal.

3.6. RESISTENCIA DE LA SOLDADURA

En la mayoría de los casos, la resistencia de la soldadura por tracción llevada a cabo en los materiales sintéticos ha condu-

cido a resultados correctos (28), rompiendo las muestras en la zona de soldadura pero fuera de la unión entre láminas.

Si bien esta prueba es adecuada para conocer el estado de la unión entre paños, se podría considerar de aspecto cualitativo, ya que no permite comparar entre distintas tomas de muestras, ni tampoco entre materiales de distinta naturaleza. Todo ello, ha llevado a realizar el ensayo por el procedimiento de pelado (29) que, a diferencia del anterior, se podría calificar de cuantitativo y permite la evaluación y comparación entre las uniones de las distintas geomembranas sintéticas. Para poder establecer una comparación entre las geomembranas más utilizadas en este campo, a continuación citamos los valores alcanzados con muestras extraídas del sistemas de impermeabilización al cabo de los 48 meses de su instalación.

<u>Material de la geomembrana</u>	<u>Resistencia al pelado, N/50 mm</u>
CSM	250
EPDM	60
PEAD	1300
PP	450
PVC-P	400

3.7. NEGRO DE HUMO

El contenido en negro de humo ha sido correcto y ha superado los requerimientos de la actual normativa. La figura 4 muestra la dispersión del negro de humo en la geomembrana del campo experimental.

3.8. MICROSCOPIA ÓPTICA DE REFLEXIÓN

En la evaluación de las geomembranas utilizadas como pantallas impermeables en los embalses se ha hecho uso de un microscopio Zeiss, utilizando luz natural y se introdujo un filtro especial para atenuar los efectos del brillo propio de las geomembranas sintéticas. Las microfotografías se han tomado a aumentos de (40x) y (60x) con objeto de ver sus texturas y morfología (7-8).

Las figuras 5 y 6 corresponden a la membrana de poli(cloruro de vinilo) plastificado con inserción de fibra de vidrio a 40 aumentos por sus caras externa e interna, respectivamente, al cabo de los 12 años de su instalación.

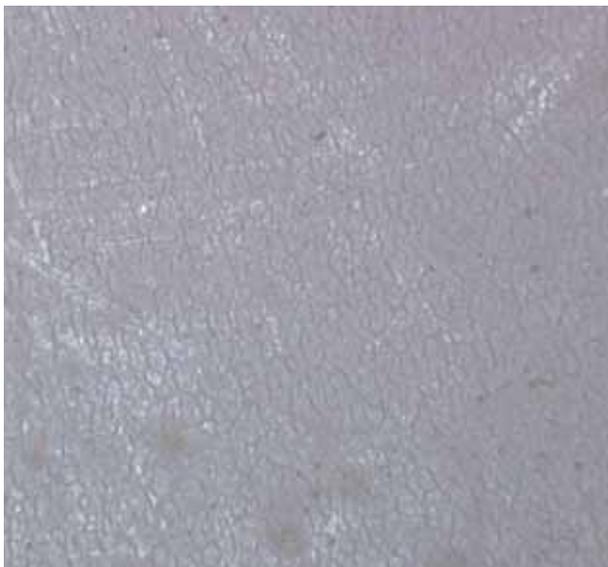


FIGURA 5. Microfotografía de PVC-P (x40) en su cara externa a los 12 años de su instalación por microscopia óptica de reflexión.

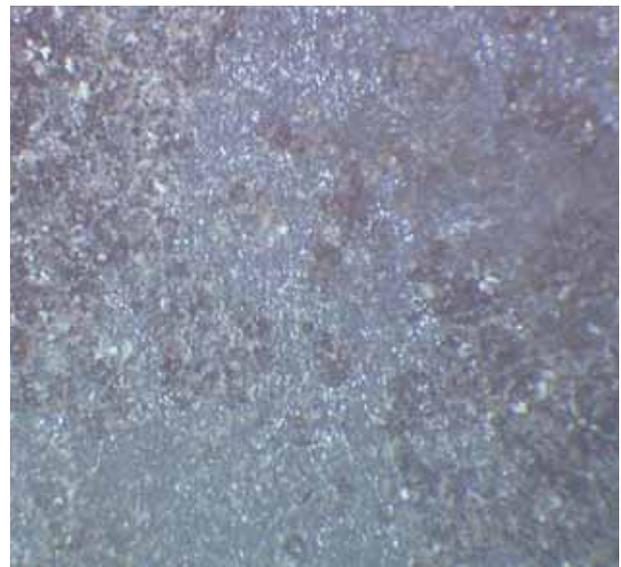


FIGURA 6. Microfotografía de PVC-P (x40) en su cara interna a los 12 años de su instalación por microscopia óptica de reflexión.

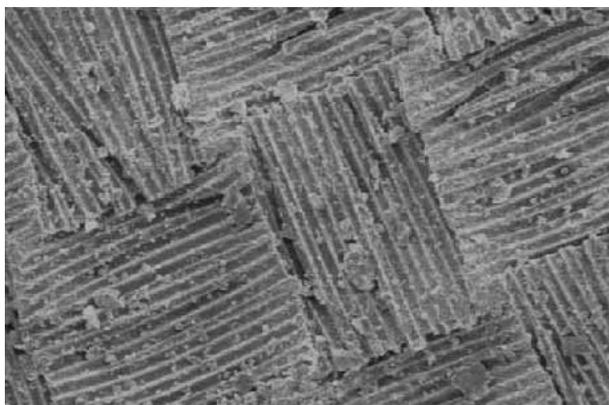


FIGURA 7. Microfotografía de EPDM (x90) a los 6 años de su instalación por microscopia electrónica de barrido.

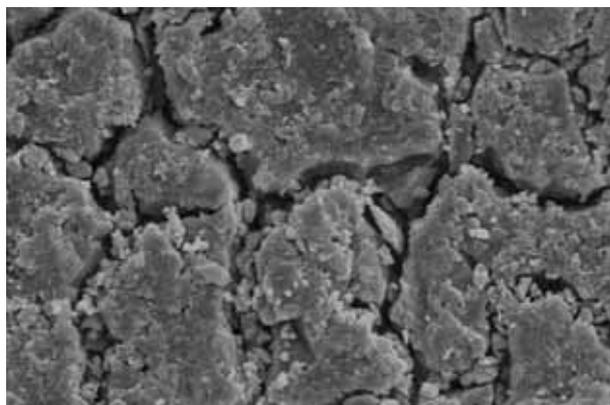


FIGURA 8. Microfotografía de PP (x900) a los 13 años de su instalación por microscopia electrónica de barrido.

3.9. MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO

La microscopia electrónica de barrido (SEM) o “scanner” se ha realizado mediante un microscopio electrónico de barrido Zeiss, modelo DSM-492, equipado con un espectrómetro de dispersión de energía de rayos X, “Link Isis Tetralink”.

La figura 7 se presenta el aspecto de la lámina de EPDM (x90) al cabo de los seis años de su colocación. La técnica de “scanner” mostraba una especie de trama-urdimbre, aunque la geomembrana no es reforzada; este fenómeno es debido a las huellas que quedan en el proceso de vulcanización de este caucho. En la microfotografía de la figura 8 se puede comprobar el aspecto del polipropileno (x90) al cabo de los trece años de su colocación en el campo experimental.

4. CONCLUSIONES

1. El poli(cloruro de vinilo) plastificado reforzado con una inserción de fibra de vidrio al cabo de los 12 años de su instalación ha perdido poca cantidad de plastificantes. El doblado a bajas temperaturas y la resistencia al impacto dinámico han sido correctos cumpliendo los requerimientos exigidos a una geomembrana original. El recorrido del punzón es excelente lo que implica un notable resultado desde el punto de vista de la resistencia al impacto estático. Únicamente se denota una disminución apreciable de la elongación.
2. En el polietileno ensayado los valores alcanzados son muy buenos y, como en el epígrafe anterior, se observa una pérdida de alargamiento en la rotura. Su resistencia al desgarro se ha incrementado ligeramente al cabo de los quince años de observación.
3. El copolímero de etileno-acetato de vinilo, aparte de un buen comportamiento general, su característica más destacable es la resistencia al punzonamiento que supera al del resto de los materiales sometidos a ensayo.
4. El polietileno clorosulfonado es, quizás, uno de las mejores geomembranas sintéticas investigadas; si tenemos que poner algún impedimento, tendríamos que recurrir desde el punto de vista económico a su elevado coste y, técnicamente, su relativo bajo impacto estático.
5. El polipropileno se ha considerado desde hace unos años como el material del futuro; visto hoy día ya exis-

ten otros productos que le han usurpado el título; no obstante, la totalidad de sus propiedades pueden considerarse con una calificación de notable.

6. La poliolefina elastomérica es en la actualidad, probablemente, uno de los materiales que se encuentran entre los futuribles en este campo; los datos alcanzados son notablemente buenos.
7. La última geomembrana considerada es el etileno-propileno-monómero diénico con resultados muy buenos, fundamentalmente su impacto estático. Su impacto dinámico es bajo inicialmente pero con el tiempo y debido a procesos de vulcanización mejora a lo largo del tiempo.
8. El campo experimental de El Saltadero se puede considerar pionero en la investigación de geomembranas sintéticas para la impermeabilización de obras hidráulicas. La extracción de muestras periódicamente y su posterior análisis ha contribuido a la elaboración de normativa, introducción de nuevos materiales, conocimiento de la calidad de nuevos productos de las diferentes casas comerciales y elaboración de informes técnicos de elevado valor científico. Los datos alcanzados por diversas geomembranas procedentes de este campo experimental han servido de base para la elaboración del “Manual de diseño, construcción, explotación y mantenimiento de balsas” por parte del Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino, así como del Boletín de la International Commission on Large Dams, “Geomembrane Sealing Systems for Dams. Design Principles and Return of Experience”.

5. BIBLIOGRAFÍA

1. SANS, I.- *Estado actual de la normativa técnica UNE sobre impermeabilización con materiales impermeabilizantes: edificación y obra civil*. Proc. 2º Congreso Nacional de Impermeabilización: Edificación y Obra Pública y 2º Congreso Internacional sobre proyecto, construcción e impermeabilización de balsas, pp. 779-788. Palma de Mallorca. (2008).
2. BLÁZQUEZ, A. y RIVERA, J.- *Exigencias de marcado CE a materiales y sistemas de impermeabilización cubiertos con DITES*. Proc. 2º Congreso Nacional de Impermeabilización: Edificación y Obra Pública y 2º Congreso Internacional sobre proyecto, construcción e

- impermeabilización de balsas, pp. 17-30. Palma de Mallorca. (2008).
3. CASTILLO, F.; BLANCO, M. y SOLERA, R.- *Estudio de diferentes láminas de poli(cloruro de vinilo) con vistas a su aplicación en obras hidráulicas*. Proc. V Jorn. Esp. Presas. Vol. I, 662-676 (1996).
 4. BLANCO, M.; AGUIAR, E.; y ZARAGOZA, G - *Características iniciales de geomembranas sintéticas de diferente naturaleza utilizadas en la impermeabilización de embalses*. Ing. Civil, 120, 77-88 (2000).
 5. PAROLI, R.M.; DUTT, O.; RODRIGUEZ DE SANCHO, I. y BLANCO, M.- *Characterization of Bitumens Using High Performance Gel Permeation. Chromatography and Thermal Analysis for Improving Performance of Bitumen/Polymer Blends for Waterproofing*. Proc. Int. Roofing. 418-430 (1992)
 6. RODRIGUEZ DE SANCHO, I; BLANCO, M.; MONTERO, L.; HERNANDEZ, D. y PARGADA, L.- *Nuevos métodos analíticos avanzados para investigación y desarrollo de materiales en Ingeniería Civil*. An. J. Eng. Estruct. 5, 137-148 (1991).
 7. BLANCO, M.; SORIANO, J.; AGUIAR, E. y ZARAGOZA, G. *Análisis microscópico de geomembranas sintéticas utilizadas en la impermeabilización de embalses*. Ing. Civil 127, 51-59. (2002).
 8. SORIANO, J.; BLANCO, M.; BURGOS, J.; AGUIAR, E.; ZARAGOZA, G. y GARCÍA, M. A.- *Las microscopias óptica de reflexión y electrónica de barrido como técnicas avanzadas en el conocimiento del estado de las geomembranas sintéticas*.- I Simposio nacional sobre proyecto, construcción e impermeabilización de balsas. Sevilla. (2005).
 9. BLANCO, M.; RICO, G.; PARGADA, L; CASTILLO, F. y AGUIAR, E.- *Estudio de plastificantes utilizados en geomembranas de PVC-P empleadas en impermeabilización de obras hidráulicas*.- Rev. Plast. Modernos (en prensa).
 10. BLANCO, M.; CASTILLO, F; PARGADA, L. y RICO, G.- *Importancia del tipo de plastificante en la durabilidad de las geomembranas impermeabilizantes de PVC-P*.- Proc. X Congreso Latinoamericano de Patología de la Construcción y XII Congreso de Control de Calidad en la Construcción. Valparaíso (Chile) (2009).
 11. BLANCO, M.; CUEVAS, A.; CASTILLO, F. y AGUIAR, E.- *Puesta a punto de una nueva metodología experimental para la determinación de la resistencia a la perforación de geomembranas sintéticas*. Ing. Civil 103, 65-69. (1996).
 12. UNE 104 307.- *Materiales sintéticos. Métodos de ensayo. Determinación del recorrido del punzón antes de la perforación en geomembranas sintéticas impermeabilizantes instaladas en balsas en obra civil*.
 13. BLANCO, M.; CASTILLO, F.; RODRIGUEZ DE SANCHO, I.; SORIANO, J. y BALDONEDO, J. L.- *Estudio de la degradación de poli(cloruro de vinilo)*. Proc. Coll'88. Vol. II, 391-410 (1988).
 14. RENZ, O.- *Balsas cubiertas*.- I Simposio nacional sobre proyecto, construcción e impermeabilización de balsas. Sevilla. (2005).
 15. AGUIAR, E. y BLANCO, M.- *El Saltadero, un caso atípico en la obra hidráulica: un embalse cubierto*. XXIX Jornadas Sudamericanas de Ingeniería Estructural. Punta del Este (Uruguay). (2000).
 16. BLANCO, M.; CEA, J.C. de y GARCÍA, F.- *Algunas consideraciones a tener en cuenta a la hora de impermeabilizar una balsa con geomembranas sintéticas*.- I Simposio nacional sobre proyecto, construcción e impermeabilización de balsas. Sevilla. (2005).
 17. LEIRO, A.; BLANCO, M. y ZARAGOZA, G.- *Performance of synthetic geomembranes used in waterproofing of Spanish reservoirs*. Geosynthetics 7th ICG, Delmas, Gourc & Girard (Eds.) Editorial Balkema , pp. 979-982 Rotterdam (Holanda). (2002).
 18. BLANCO, M.; ZARAGOZA, G.; AGUIAR, E.; SORIANO, J.; GONZÁLEZ J. M. y GARCÍA, F. *Materiales sintéticos para impermeabilización de presas y embalses*. Proc. II Congreso Nacional de Historia de las Presas, pp. 255-267 Burgos. (2005).
 19. AGUIAR, E.; BLANCO, M.; VARA, T.; ARMENDÁRIZ, V. y SORIANO, J.- *Evolución de las geomembranas sintéticas instaladas en el campo experimental de El Saltadero con vistas a su empleo en la impermeabilización de Obras Hidráulicas*. Proc. 2º Congreso Nacional de Impermeabilización: Edificación y Obra Pública y 2º Congreso Internacional sobre proyecto, construcción e impermeabilización de balsas. pp. 477-488 Palma de Mallorca. (2008).
 20. Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino. *Manual de diseño, construcción, explotación y mantenimiento de balsas*. (En elaboración).
 21. International Commission on Large Dams. *Geomembrane Sealing Systems for Dams. Design Principles and Return of Experience*, Bulletin ICOLD Paris. (En prensa).
 22. CEA, J. C. de y BLANCO, M.- *Las geomembranas sintéticas en la impermeabilización de obras hidráulicas*. Proc. I Congreso Nacional de Impermeabilización, 363-374. Madrid (2005).
 23. SCUERO, A. y VASCHETTI, G.- *Waterproofing of Dams with Synthetic Geomembranes*. Proc. I Congreso Nacional de Impermeabilización, 339-350. Madrid (2005).
 24. KOERNER, R. M. - *Designing with Geomembranes*. Prentice Hall, Englewood Cliffs, USA, 292, 4th edition. (1999).
 25. NAVARRO, A.; BLANCO, M. y RICO, G. *Materiales Ópticos Orgánicos*. AAEUO. Madrid. (1989).
 26. BLANCO, M.; AGUIAR, E.; CASTILLO, F.; MARTÍN, A.; GARCÍA, F.; VARA, T. y SOLERA, R. *Los plastificantes como aditivos del poli(cloruro de vinilo) plastificado utilizado como geomembrana en obras hidráulicas*. I Simposio Nacional sobre proyecto, construcción e impermeabilización de balsas. Sevilla (2005).
 27. UNE 104 306.- *Materiales sintéticos. Determinación del contenido en plastificantes en láminas de poli(cloruro de vinilo) plastificado, PVC-P, utilizadas en impermeabilización*.
 28. UNE 53 419.- *Plásticos. Determinación de la resistencia de la unión entre láminas de poli(cloruro de vinilo) plastificado utilizadas en impermeabilización*.
 29. UNE 104 304.- *Materiales sintéticos. Determinación de la resistencia de la soldadura por pelado entre láminas sintéticas instaladas utilizadas en impermeabilización*.

Estrategias del sector del transporte y su impacto en la calidad del aire y en los gases de efecto invernadero

LAURA CRESPO GARCÍA (*) y ANA PORTILLO JIMÉNEZ-LANDI (*)

RESUMEN El transporte juega un papel esencial en nuestra sociedad, pero da lugar a efectos no deseados sobre la calidad del aire y el cambio climático, por lo que las medidas de los gobiernos en materia de transporte y medio ambiente son cruciales para su mitigación. En este artículo se presentan las herramientas de control y de evaluación de la calidad del aire y de las emisiones, así como las principales medidas políticas para su reducción, tanto a nivel nacional como europeo. Por último, se discute su grado de cumplimiento y efectividad a la vista de la evolución de las emisiones debidas al transporte en España durante el periodo 1990-2006.

TRANSPORT SECTOR STRATEGIES AND THEIR IMPACT ON THE AIR QUALITY AND ON GREENHOUSE GASSES

ABSTRACT *The transport sector plays an essential role in our society, but generates non desired effects on the air quality, as well on climate change. This is the reason why the transport and the environment governmental actions are crucial to mitigate them. In this article we introduced the most important resources and regulations to control and to evaluate the air quality and emissions, and also the most relevant objectives in transport actions to reduce them, not only in Spain but also in the European Union. We discuss herein their compliance degree and their effectiveness in relation with the transport emissions evolution during 1990-2006 in Spain.*

Palabras clave: Emisiones, Gases de efecto invernadero, Cambio climático, Calentamiento global, Protocolo de Kioto, Inventario nacional de emisiones, Directiva de techos, Movilidad, Eficacia, Eficiencia.

Keywords: Emission (Issues), Greenhouse gases, Climatic Change, Global warming, Protocol of Kioto, National Inventory of emission (issues), Board (directive) of roofs, Mobility, Efficiency, Efficiency.

1. INTRODUCCIÓN

En este primer apartado se aproxima al lector al papel que juega el transporte en nuestra sociedad. Para ello, se muestran una serie de datos de carácter socioeconómico relacionados con el consumo de energía, el uso de productos derivados del petróleo y la movilidad de personas y de mercancías. Estas variables se dan tanto en el caso de España como en la Unión Europea, para poder comprender así cuál es la situación de nuestro país dentro del marco europeo. Aunque el presente artículo trata del sector del transporte en general, se pone especial atención en la carretera, por ser el medio más utilizado.

El modelo económico español actual se caracteriza por un claro dominio del sector de los servicios. El transporte juega un papel fundamental en nuestra sociedad, lo que viene corroborado por el hecho de que el sector de los transportes

llegó a consumir en 2004, 38.072 kilotoneladas de petróleo equivalentes (Ktep), es decir, un 38% de la energía final (Fig. 1). Este dato resulta llamativo respecto al pasado reciente, ya que supera al de la industria (30%, en 2004), cuando hasta hace no demasiado tiempo sucedía lo contrario. Existe, además, una fuerte dependencia de los combustibles fósiles, sobre todo del petróleo, lo que hace muy vulnerable a este sector de las fluctuaciones de mercados exteriores cada vez más deficitarios, de mucha volatilidad y condicionados por regímenes políticos muy inestables.

La mayor parte de la energía en los transportes se consume en la carretera (80%), que se convierte, por tanto, en el modo dominante dentro de los sistemas de transporte. Este consumo se reparte de una forma bastante equilibrada entre el transporte de viajeros (turismos y autobuses) y el transporte de mercancías (furgonetas y camiones). El primero supone un 49%, en términos de energía final, mientras que el segundo representa el 51% (Fig. 1).

En la carretera se consumen tres tipos de combustibles: gasolina, gasóleo, y gases licuados de petróleo (GLP). El gasóleo ha experimentado un crecimiento importante a partir

(*) Área de Calidad del Aire y Cambio Climático. Centro de Estudios y experimentación de Obras Públicas (CEDEX).

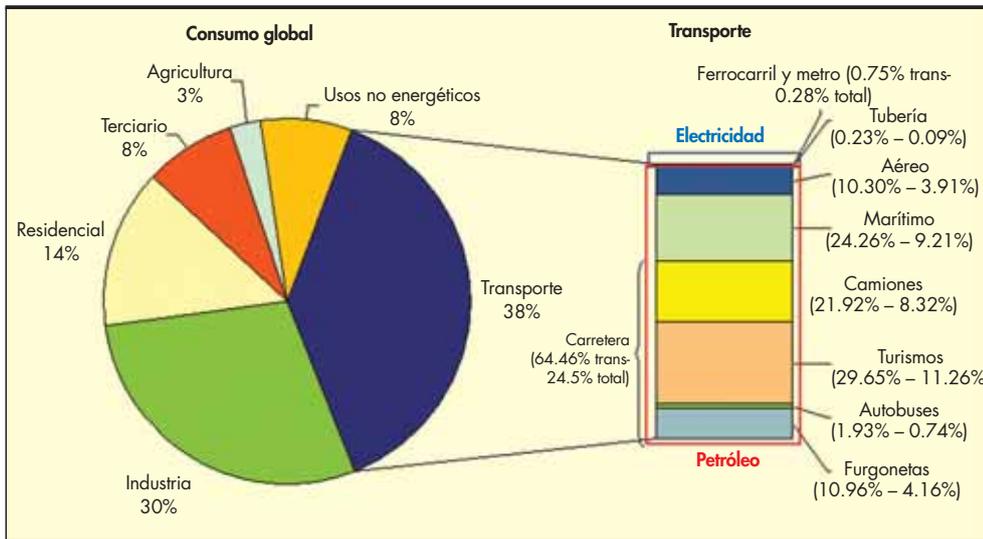


FIGURA 1. Consumo de energía final en España durante 2004.

de 1997, duplicando en la actualidad el consumo de éste al de la gasolina, que, sin embargo, ha permanecido constante desde el año 1997 (Fig. 2). La fuerte dieselización de la carretera ha supuesto un deterioro de los niveles de calidad de los entornos urbanos y metropolitanos pues, aunque el diésel, frente a la gasolina, mejora en términos de emisiones de CO₂, al ser mayor su eficiencia energética como combustible, los motores diésel emiten más ruido, vibraciones y más partículas a la atmósfera (Hermoso, 2008). El resto de combustibles en las otras modalidades de transporte, no ha experimentado fuertes crecimientos, excepto el fuelóleo, utilizado en el transporte marítimo (Fig. 2).

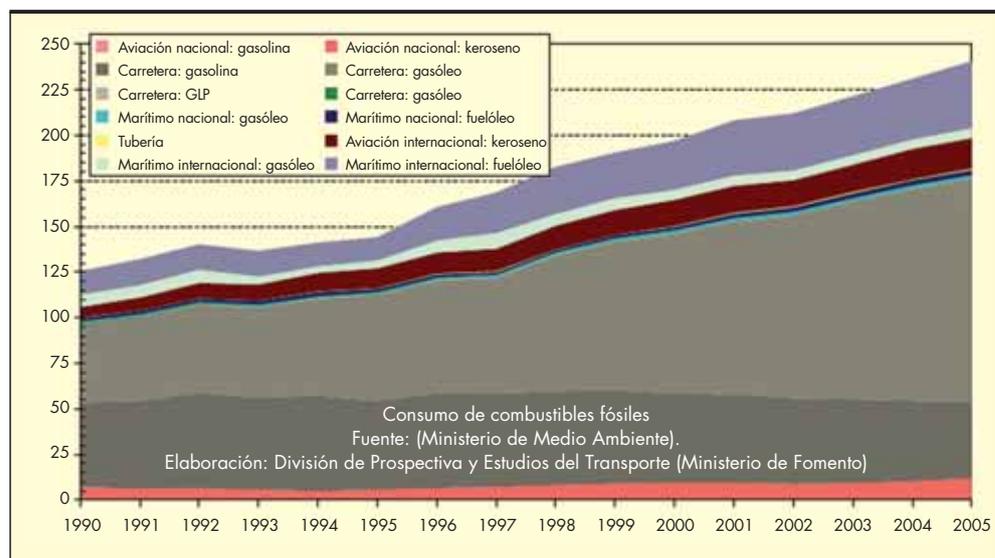
La evolución de la movilidad de personas y mercancías en España tiene lugar de modo diferente al del conjunto de Europa. Según el informe del *Observatorio de la Sostenibilidad 2007*, el transporte de viajeros en España creció un 94,6% en el período 1990-2005, mientras que en la UE-15 el ritmo fue mucho más lento, tan sólo de un 27,9%. En el mismo periodo, el transporte de mercancías en España au-

mentó un 73%, mientras que en la UE fue del 43%. Esto significa que, mientras en Europa la movilidad de mercancías supera a la de viajeros, en nuestro país sucede lo contrario, y además los ritmos de crecimiento son desproporcionados en relación a los de nuestros países vecinos (la movilidad de viajeros en España llega a triplicar la de Europa, y la de mercancías casi la duplica). Este crecimiento diferencial entre España y Europa ha determinado que, en términos de energía, la posición general del transporte español haya empeorado, siendo especialmente vulnerable al incremento de los precios de la energía.

2. ALGUNOS EFECTOS DE LAS EMISIONES DEL TRANSPORTE

A la vista de la situación española en materia de transporte en comparación con Europa, conviene analizar cuál es su efecto sobre la calidad del aire que respiramos, así como sobre el Cambio Climático. Para fijar ideas, en este epígrafe se

FIGURA 2. Consumo de combustibles fósiles en España en el sector transportes durante el periodo 1990-2005. (Ministerio de Medio Ambiente y Ministerio de Fomento).



presenta una serie de conceptos generales relacionados con las emisiones de gases y partículas que tienen su origen en el sector de los transportes.

El término de contaminación atmosférica se aplica, por lo general, a las alteraciones en las concentraciones de los componentes del aire que tienen efectos perjudiciales en la salud de los seres vivos. Puede tener carácter local, cuando los efectos ligados al foco se sufren en las inmediaciones del mismo, o planetario, cuando por las características del contaminante, se ven afectadas zonas alejadas de los focos emisores, llegando incluso a comprometer el equilibrio global del planeta.

La contaminación atmosférica debida al transporte se origina, principalmente, en la combustión incompleta, que sucede cuando parte del combustible no reacciona completamente porque el oxígeno no es suficiente. En este caso, además de dióxido de carbono (CO₂) y agua (H₂O), se liberan otros subproductos, entre los que cabe destacar:

- **Óxidos de nitrógeno**, llamados de modo general por sus siglas, NO_x. Están compuestos de monóxido (NO) y de dióxido de nitrógeno (NO₂), y son generados fundamentalmente en la combustión de gasoil, ya que este combustible produce 40 veces más óxidos de nitrógeno que la gasolina. Exposiciones prolongadas a dióxido de nitrógeno pueden disminuir la actividad pulmonar y aumentar el riesgo de padecer síntomas respiratorios, especialmente en personas asmáticas y en niños, que son más vulnerables al tener una frecuencia respiratoria mayor que los adultos. Son precursores del ozono troposférico.
- **Metano (CH₄)**, hidrocarburo saturado de cadena más corta. Se puede absorber por inhalación, y al hacerlo, puede originar asfixia por la disminución del contenido de oxígeno en el aire.
- Compuestos **orgánicos volátiles no metánicos** (COVNM), que son hidrocarburos sin tener en cuenta el metano. Dan lugar a reacciones irritantes y/o tóxicas, pero su mayor efecto se produce como precursores de la formación de ozono troposférico. Fundamentalmente, se emiten por evaporación en diferentes etapas de la conducción, siendo su liberación mayor en vehículos con motores diesel.
- **Monóxido de carbono** (CO), que es peligroso porque se fija en la hemoglobina de la sangre, impidiendo el transporte de oxígeno en el organismo. Se diluye muy fácilmente en el aire ambiental, pero en un medio cerrado, su concentración lo hace muy tóxico, incluso mortal. Es inodoro.
- **Partículas sólidas o líquidas** en suspensión en el aire, PM_{2.5}. La ligereza de estas partículas y su tamaño, del orden del micrómetro al centenar de micrómetros, les permiten dispersarse con el viento. Pueden penetrar profundamente en los pulmones, causando alergias, pudiendo acarrear dificultades respiratorias o incluso cánceres en ciertos casos.

Como se ha comentado, tanto el NO_x, como el COVNM son precursores del ozono troposférico, lo que significa que intervienen en su formación a partir de un conjunto de reacciones fotoquímicas en la Troposfera (capa inferior de la atmósfera). Los niveles del ozono troposférico aumentan en verano en todo el arco mediterráneo, ya que es en esta época cuando se dan todos los factores que favorecen tanto su formación, como su estancamiento en los niveles inferiores de la atmósfera. Estos factores son el aumento de la temperatura y de la radiación solar, así como una mayor tendencia a la estabilidad atmosférica.

Este tipo de ozono, que no hay que confundir con el que se forma de manera natural en la Estratosfera y que nos protege de la nociva radiación ultravioleta, es altamente perjudicial para la salud de personas y animales, pues irrita los pulmones, pudiendo producir inflamaciones, cambios morfológicos, bioquímicos y funcionales en el tracto respiratorio. También afecta a la vegetación, que puede sufrir lesiones en las hojas, disminución del crecimiento y reproducción, así como alteración de la sensibilidad a agresiones bióticas o abióticas. Por último, también puede acelerar el deterioro de los materiales de construcción en edificios.

El dióxido de carbono, por otro lado, resulta de cualquier combustión, ya sea completa o incompleta, y, aunque no es tóxico en sí, su exceso favorece el proceso de calentamiento global, pues es un gas de efecto invernadero. Con este término se conoce al calentamiento previsible de la atmósfera terrestre provocado por el aumento del dióxido de carbono y otros gases, que forman una capa que retiene el calor de la atmósfera. Todos estos gases son los denominados gases de efecto invernadero, y pueden tener tanto un origen natural como antropogénico. Se caracterizan por tener la propiedad de absorber y emitir radiación en determinadas longitudes de onda del espectro de radiación infrarroja emitido por la superficie de la Tierra, la atmósfera, y las nubes. Como resultado, el calentamiento de la atmósfera puede dar lugar a un aumento de la temperatura media en la Tierra, que afecta a los océanos hasta el punto de que suba el nivel del mar, e incluso puede afectar drásticamente a los esquemas del tiempo.

El calentamiento que produce cada GEI es diferente, pues depende del Potencial de Calentamiento Global (PCG), que determina el efecto de calentamiento que produce una liberación instantánea de 1 kg de un gas de efecto invernadero, en comparación con el causado por el CO₂ integrado en un horizonte temporal de 100 años (IPCC, 1995). De esta forma, se pueden tener en cuenta los efectos radiativos de cada gas, así como sus diferentes periodos de permanencia en la atmósfera. La Tabla 1 muestra los potenciales de calentamiento correspondientes a los gases de efecto invernadero de mayor importancia (IPCC, 2007). Como puede observarse, en relación a los transportes, los PCG del N₂O y del CH₄ son muy superiores al del CO₂, pues alcanzan valores 298 y 25 veces superior al del CO₂, respectivamente. Aún así, no se tienen en cuenta las reacciones directas e indirectas entre gases que alteran de forma compleja la duración de sus respectivas vidas medias.

Por último, cabe destacar que el material particulado también influye sobre el balance radiativo, tanto de forma directa como indirecta, dando lugar a complejas retroalimentaciones del sistema climático (Hansen et al., 2000). Por balance radiativo se entiende al equilibrio aproximado entre

GAS	PCG
Dióxido de Carbono (CO ₂)	1
Metano (CH ₄)	25
Óxido Nitroso (N ₂ O)	298
Hidrofluorocarbonos (HFC-23)	14.800
Hidroclorofluorocarbonos (HFC-134a)	1.430
Hexafluoruro de azufre	22.800

TABLA 1. Potencial de calentamiento global (PCG) de los principales gases de efecto invernadero. (IPCC, 2007).

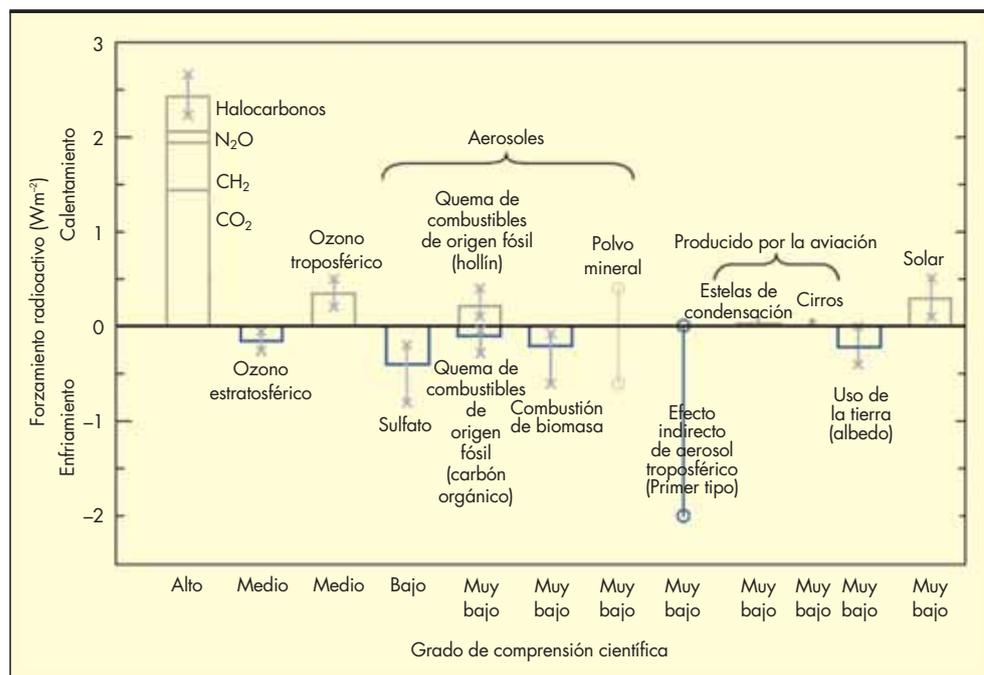


FIGURA 3. Forzamientos radiativos (Wm⁻²) medios anuales mundiales debidos a varios agentes en el período comprendido desde la era preindustrial (1750) hasta el presente (alrededor de 2000) (IPCC, 2001).

la energía entrante en la atmósfera, procedente de la radiación solar, y la saliente emitida por la Tierra. Cualquier factor que altere la radiación recibida del Sol o pérdida en el espacio, o que altere la redistribución de energía dentro de la atmósfera y entre atmósfera, tierra y océano, puede afectar el clima. Un cambio en la energía radiativa neta disponible para el sistema mundial de Tierra-atmósfera se denomina forzamiento radiativo (IPCC, 1995), que puede ser positivo si tiende a calentar la superficie de la Tierra y la atmósfera inferior, o negativo si tiende a enfriarlas.

Los aerosoles, además, participan directamente en los procesos de dispersión y absorción de la radiación, influyendo en el albedo planetario y el sistema climático. Contribuyen indirectamente por la influencia de los aerosoles antropogénicos sobre los núcleos de condensación de nubes (CNN), que originan un aumento del albedo de las mismas, y por lo tanto modifican el balance radiativo del sistema tierra-atmósfera. Un aumento en la concentración de aerosoles en la columna atmosférica podría dar lugar a modificaciones en la vida media de las nubes y las frecuencias de las precipitaciones, repercutiendo así en el ciclo hidrológico. Se admite que en aquellas regiones del planeta en las que existe una alta concentración de aerosoles antropogénicos, la contribución al balance radiativo de los mismos sea de la misma magnitud, pero de signo opuesto, al efecto conjunto de todos los gases de efecto invernadero (IPCC, 2001), como muestra la Fig. 3.

3. HERRAMIENTAS DE CONTROL Y EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE Y DE LAS EMISIONES. LAS REDES DE CONTROL DE CALIDAD DEL AIRE Y LOS INVENTARIOS DE EMISIONES

En este apartado se menciona la normativa a nivel nacional e internacional que sirve como herramienta de control y evaluación de la calidad del aire y de las emisiones, que ha permitido definir metodologías de control de la calidad del aire y emisiones atmosféricas, para después arbitrar políti-

cas de reducción de emisiones de gases contaminantes y de efecto invernadero en los sectores productivos de mayor relevancia, causantes de los problemas ambientales más acuciantes de nuestra sociedad. En concreto, se han puesto en marcha convenios y legislaciones como el Protocolo de Kioto y normativa post-Kioto, la Directiva de Techos Nacionales de emisión, la Directiva de Prevención y Control Integrado de la Contaminación (IPCC) y la recientemente aprobada Directiva relativa a la Calidad del Aire Ambiente y a una atmósfera limpia en Europa que revisa y unifica toda la anterior normativa de Calidad del Aire emanada de la Directiva Marco 96/62/CE del Consejo, de 27 de septiembre de 1996, sobre evaluación y gestión de la calidad de aire ambiente.

La Directiva de Techos representa un instrumento claro en la gestión del transporte porque conlleva compromisos de reducción de emisiones en el horizonte temporal de 2010 en NO_x y COV, cuya fuente principal es el transporte. Esta norma obliga al Estado Español a poner en marcha medidas concretas para reducir los contaminantes antes citados.

El Protocolo de Kioto sobre el Cambio Climático es un acuerdo internacional que tiene por objeto reducir las emisiones de los seis gases más representativos causantes del calentamiento global: dióxido de carbono, metano y óxido nítrico, además de tres gases industriales fluorados: hidrofluorocarbonos, perfluorocarbonos y hexafluoruro de azufre, en un porcentaje aproximado de un 5%, dentro del período que va desde el año 2008 al 2012, en relación a las emisiones del año 1990 (año de referencia). Es preciso señalar que esto no significa que cada país deba reducir sus emisiones de gases regulados en un 5%, sino que este es el porcentaje a alcanzar a nivel global de los países firmantes del protocolo de Kioto y, por el contrario, cada país firmante del protocolo está obligado con unos compromisos concretos de reducción. Este instrumento se encuentra dentro del ámbito de la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), suscrita en 1992 dentro de lo que se conoció como la Cumbre de la Tierra de Río de Janeiro.

Antes de ser ratificado el Protocolo de Kioto, la UE asumió como suyo este mandato y aprobó la Directiva relativa al Comercio de Emisiones. Esta Directiva permitía así controlar las emisiones de tipo industrial de los sectores señalados como más representativos en el conjunto de las emisiones del sector industrial y de la generación eléctrica. El compromiso de reducción de Europa ha sido del 8% para el período 2008-2012, y sólo se ha regulado la reducción del dióxido de carbono, aunque inicialmente estaban contemplados el conjunto de gases definidos en el Protocolo de Kioto.

Para alcanzar el compromiso español de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en un 8% se han planteado estrategias conjuntas tanto para los sectores industriales afectados por la Directiva, como para el resto de los sectores, sectores difusos, entre los que se encuentra el transporte, el sector doméstico, y el de los servicios. Todas estas iniciativas a seguir han quedado plasmadas en sendos Planes Nacionales de Asignación. En concreto, en el último, que cubre el período 2008-2012, marca el camino para el cumplimiento con los objetivos fijados en Kioto, definiendo la metodología a seguir para la asignación de emisiones de los sectores afectados por la Directiva, sin olvidar el esfuerzo a realizar por el resto de los sectores, entre los que se encuentran el sector del transporte. Existe una gran interacción entre estos dos bloques, pues actúan a modo de vasos comunicantes, de forma que todo esfuerzo de reducción de emisiones en los sectores difusos facilita cumplir con los objetivos de reducción de todo el conjunto.

Actualmente se están negociando y definiendo los compromisos del período conocido como post-Kioto, que contempla el horizonte temporal del 2020 en un paquete normativo comunitario conocido como "Cambio climático y energías renovables". Entre los acuerdos que vinculan al Estado español están: una reducción del 10% con respecto a 2005 de las emisiones de los sectores difusos, entre los que se encuentra el sector del transporte. Además del objetivo del 20% para la penetración de las energías renovables en el balance de energía final, y en este conjunto se ha fijado el objetivo del 10% medido en términos de contenido energético para la penetración de biocarburantes en el transporte por carretera.

La evaluación de la calidad del aire ambiente ha sido otro de los retos marcados por la UE, como herramienta básica para la gestión del territorio. Las bases de trabajo quedaron asentadas en la Directiva Marco de Calidad del Aire (Directiva 96/62/CE), desarrollada mediante cuatro directivas hijas. Inicialmente se planteó conocer los niveles de los contaminantes en el aire ambiente, sus orígenes y la cuantía de la contaminación, además de la evolución temporal de las emisiones de los diferentes contaminantes, para después elaborar estrategias de disminución y de control efectivas para poder así determinar medidas eficaces para la gestión del territorio. Hoy, doce años después, se ha lanzado una única Directiva, la Directiva 2008/50/CE, relativa a la calidad del aire ambiente y a una atmósfera más limpia en Europa, unificando todo el elenco de Directivas de Calidad del Aire, excepto la cuarta directiva relativa a los metales pesados y a los hidrocarburos aromáticos policíclicos. Esta última Directiva no ha contado con tiempo suficiente para adquirir la experiencia suficiente y por ello no se ha incluido en este cuerpo normativo. La nueva Directiva mantiene el mismo esquema conceptual de la Directiva Marco, profundizando en contaminantes como el material particulado, discriminando entre las PM_{10} y las $PM_{2,5}$, estas últimas muy ligadas a las actividades de transporte. Se hace especial hincapié en las medidas para reducir las emisiones en la fuente, en mejorar la eficacia de la legislación comunitaria en materia de emisiones industriales, en limitar las emi-

siones de escape de los motores instalados en vehículos pesados, las emisiones asociadas al reaprovisionamiento de los automóviles de gasolina en las estaciones de servicio, así como disminuir el contenido de azufre de los combustibles, incluido el usado en transporte marítimo.

La gestión de la calidad del aire recae en las comunidades autónomas, como entes de gestión del territorio. Para diseñar una red de calidad del aire se tiene en cuenta los niveles de calidad de los diferentes territorios y la densidad de la población. Una vez definida la zonificación del territorio, se ubican las estaciones cumpliendo criterios de representatividad definidos en las directivas de Calidad del Aire, para lo que se clasifican las estaciones en función de las características de la zona: tráfico, urbana, rural, de fondo, etc. Para el control del tráfico se utilizan analizadores que permiten medidas en continuo de óxidos de nitrógeno, material particulado (PM_{10} y $PM_{2,5}$) y ozono.

Para atender los requerimientos informativos impuestos por la UE, las distintas administraciones llevan a cabo los inventarios de gases contaminantes y de emisiones a la atmósfera, que constituyen una fuente de información sobre la presión que las actividades antropogénicas y los procesos naturales ejercen sobre la atmósfera. En su elaboración se siguen metodologías apropiadas a la actividad considerada (*EMEP/CORINAIR, 2007*), para lo que se utilizan diversas variables de estudio y modelos de cálculo, como COPERT (*Gkatzoflias et al., 2007*). En el caso concreto del transporte por carretera, se trabaja con el consumo de combustible, el parque de vehículos, la longitud recorrida, o los factores de emisión. En general, estas variables presentan una incertidumbre bastante acusada, siendo necesario recurrir a aproximaciones de diversa índole, por lo que los resultados dependen de este ajuste. La problemática en la estimación de emisiones en el transporte por carretera es perfectamente extrapolable a la sufrida por el resto de los medios, de manera que una mejora en la estimación de las emisiones pasa por una revisión de las especificaciones en la citada metodología, así como una correcta adecuación de las bases de datos, tarea harto difícil si se considera lo dispersa que puede encontrarse todo este tipo de información.

4. EVOLUCIÓN DE LAS EMISIONES DEBIDAS AL TRANSPORTE EN ESPAÑA DURANTE EL PERIODO 1990-2006

Una vez presentada la situación de España en materia de transporte dentro de la UE, y conocidas las consecuencias sobre la calidad del aire y Cambio Climático que generan las emisiones de dicho sector, se analiza en el presente apartado cuál ha sido su evolución en nuestro país. Para ello, se ha tomado como punto de partida los datos del inventario nacional en el período 1990-2006.

En el conjunto de los sectores productivos, el sector del transporte alcanza una cuota de participación del 24% en el año 2006, lo que supone un moderado aumento respecto al 20% registrado en 1990 (Fig. 4). Una de las consecuencias más importantes de este crecimiento ha sido el rápido aumento de los gases de efecto invernadero emitidos en relación con la actividad del sector, que alcanza un 82% en el período 1990-2005. Estos GEIs asociados al transporte se concentran principalmente en la carretera, donde se llega a registrar el 85% de las emisiones generadas por la actividad de este sector en 2006 (Fig. 4). La notable contribución de la carretera a las emisiones del sector de los transporte es un claro reflejo de su dominio hegemónico en relación a los otros medios, como ya se comentó en la introducción de este artículo.

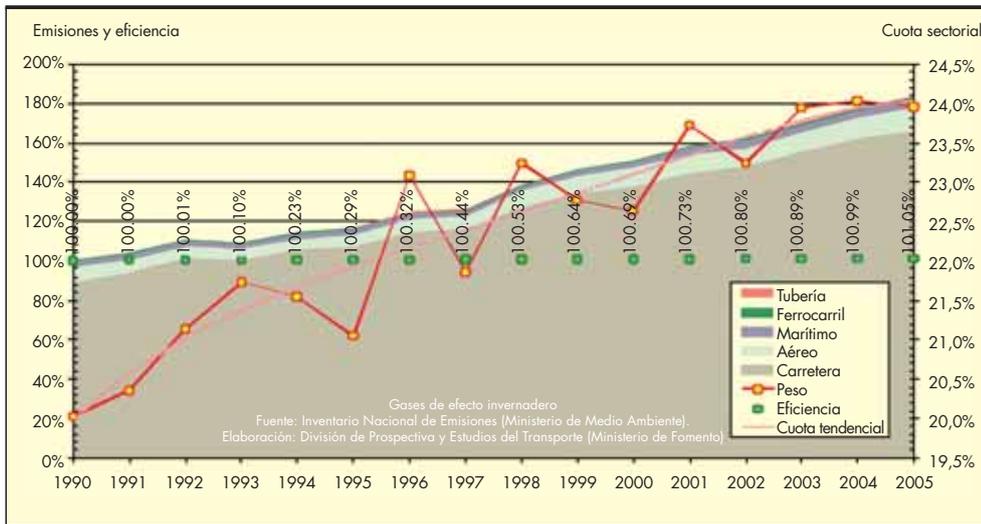


FIGURA 4. Evolución de la emisión de gases de efecto invernadero (izquierda) y cuota sectorial (derecha) en España, según medios de transporte, durante el periodo 1990-2005. Valores indicados respecto al año 1990. (Ministerio de Medio Ambiente y Ministerio de Fomento).

En los últimos años este porcentaje de emisiones generadas por el transporte en carretera ha disminuido un poco, lo que encuentra su explicación en el aumento de la actividad de la aviación. El transporte aéreo, aunque muy intensivo en emisiones, está muy lejos de alcanzar las del modo de transporte dominante, pues tan sólo acapara entre el 10 y el 15%. Por su parte, el transporte marítimo, supone menos del 5% (Fig. 4).

A pesar de que tanto el parque automovilístico como la movilidad han aumentado notablemente (Fig. 5), la emisión de óxidos de nitrógeno ha disminuido ligeramente. Las partículas, al contrario, aumentan, pero tan sólo ligeramente, y en cuanto a los niveles de dióxido de azufre (SO₂), aunque inicialmente bajos, se han estabilizado en los mismos niveles del año 1997. Por otro lado, los niveles de COVNM han disminuido desde el año 1996, especialmente en el periodo 1996-2000 (Tabla 2).

5. LA POLÍTICA EUROPEA DEL TRANSPORTE

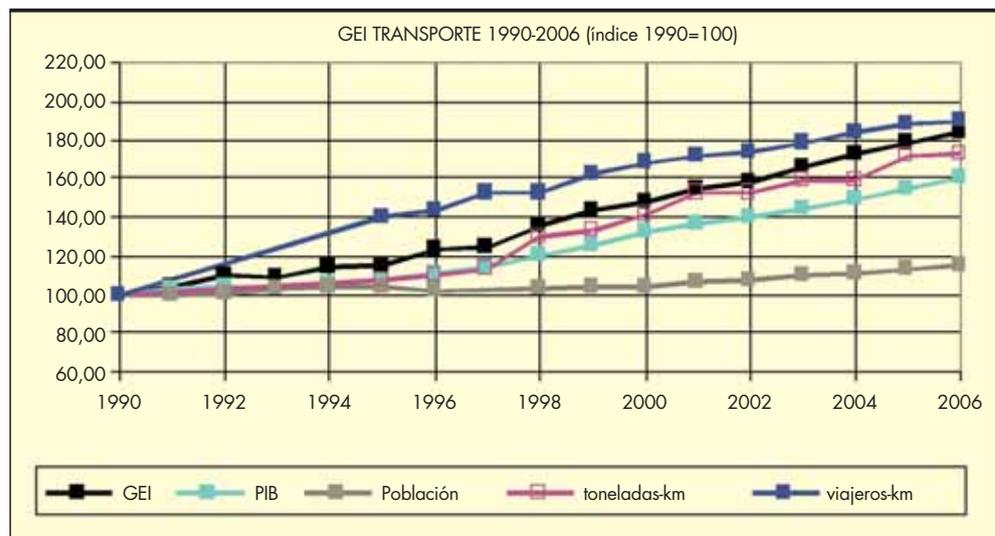
La *Estrategia de la Unión Europea para un desarrollo sostenible* refleja la preocupación por el continuo aumento del

consumo de la energía en el transporte, que en el período 2000-2005 creció en el conjunto de la UE -27 a un ritmo del 1,3% anual, experimentando de forma casi paralela los gases de efecto invernadero un crecimiento del 1,2%. Por otro lado, se ha mejorado en calidad ambiental como demuestran los indicadores; han disminuido los niveles de gases acidificantes, los precursores del ozono, en un 4,4%, y el material particulado, en un 4,2%.

Para paliar el aumento del consumo de la energía, la UE ha lanzado paquetes de medidas en materia de energía, transporte verde sostenible y Cambio Climático, por medio de los que pretende:

- Gestionar y modular las tendencias de la demanda (imposición energética, medidas fiscales).
- Potenciar las energías renovables como factor decisivo para el cambio de modelo energético y económico.
- Impulsar la captura de CO₂, que permitirá nuevas posibilidades a las nuevas centrales térmicas de generación eléctrica, para ello habrá que definir enclaves geológicos para el almacenamiento de CO₂.

FIGURA 5. Evolución de diferentes indicadores de sostenibilidad: emisión de gases de efecto invernadero, producto interior bruto, población, toneladas-km y viajeros-km, en España durante el periodo 1990-2006.



	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
NOx	566,48	594,57	628,05	616,43	628,84	618,29	632,89	608,59	631,24	647,61	634,59	632,79	627,73	624,40	617,50	601,07	577,65
COVNM	422,39	442,83	470,71	429,82	440,63	393,05	394,98	370,45	362,94	335,90	300,74	281,29	245,56	234,56	212,25	192,51	174,48
SO2	84,90	87,87	91,50	94,70	101,60	80,90	80,82	46,40	45,80	51,95	46,46	49,63	50,97	53,25	54,88	45,69	49,95
PM10	28,70	30,77	32,76	32,01	32,85	33,34	34,33	33,69	37,13	38,05	41,50	43,09	43,20	44,29	43,31	45,16	44,43

TABLA 2. Evolución de los contaminantes minoritarios en España durante el periodo 1990-2006. (Elaboración propia).

- Revisar el actual sistema comunitario de derechos de emisión.
- Incluir el sector de la aviación en el mismo.

Con respecto a las iniciativas legislativas prioritarias, existen encuentros de trabajo para definir propuestas para la reducción de emisiones de CO₂ de los turismos y vehículos ligeros, la revisión de la Directiva de Techos Nacionales de Emisión, y establecer medidas para el transporte marítimo y aéreo.

Uno de los frentes de ataque es la reducción del CO₂ por vía tecnológica en los vehículos. Esta vía tiene un techo limitado, marcado por la estequiometría de la reacción de combustión de los combustibles fósiles. La tecnología ha sido capaz de reducir las emisiones de óxidos de nitrógeno y de partículas, y podrá mejorar la eficiencia de los motores y las pérdidas por el rozamiento de los neumáticos, pero no será capaz de reducir las emisiones de CO₂. La Estrategia Comunitaria, para la reducción de emisiones de los vehículos ha supuesto la mejora en la información dada al consumidor, para que éste actúe de forma responsable, promover acuerdos voluntarios con los fabricantes mundiales de vehículos para que reduzcan las emisiones a 140g CO₂/km, así como la elaboración de una propuesta de Directiva para modular la demanda de los vehículos con criterios ecológicos, mediante la aplicación de medidas fiscales. Ya en marcha una segunda revisión para reducir las emisiones de los vehículos hasta alcanzar los 120g CO₂/km, en dos fases (se reduciría hasta 130 g CO₂/km con mejoras tecnológicas y los 10 gramos restantes se alcanzaría con mejoras en las prestaciones del aire acondicionado, la resistencia de los neumáticos a la rodadura y la presión de los neumáticos).

Otra forma de reducir el nivel de emisiones es trabajar en la calidad de los combustibles. Así, se ha aprobado una Directiva para la mejora en las especificaciones de los combustibles más usados en la carretera: gasolinas, diesel y gasóleo. También se está avanzando es el análisis del ciclo de vida (ACV), como criterio a valorar en la fabricación de los combustibles. Se exigirán mejoras en el conjunto del ciclo de vida del combustible de un 1% anual en el conjunto de las emisiones de gases de efecto invernadero, a partir del 2011. Entre otras cuestiones a debate está la utilización de biocombustibles, para los que se plantea incrementar los actuales niveles en un 10% para el año 2020, así como la mejora en la definición de metodologías para analizar el consumo de combustible en todo el ciclo de fabricación de los mismos.

Europa es la parte del mundo con más intercambios comerciales y por ello tiene que imponer criterios de eficiencia, integración y sostenibilidad en el conjunto de su sistema de transporte. Es fundamental, por tanto, potenciar la logística en la distribución de mercancías, la Red Ferroviaria de Transporte de Mercancías, la Política Portuaria y de Transporte Marítimo.

Es necesario avanzar en la logística de las mercancías, aplicando las más modernas tecnologías de la llamada Sociedad de la información, sistema e-Freight, etc., la normalización de contenedores para favorecer el intercambio de mercancías entre modos de transporte, y el establecimiento de corredores específicos para el transporte de mercancías, con centros de logística, de carga y descarga.

El transporte ferroviario de mercancías ha perdido cuota en el mercado del conjunto del transporte, disminuyendo en un 10% en 1995-2005, mientras que el transporte de mercancías considerando todos los modos creció un 2,8%. Europa apuesta por invertir esos términos para favorecer los modos más eficientes y de menor impacto ambiental. En esta línea se ha creado la Red Transeuropea del Transporte (RTE-T), avanzando en la operabilidad técnica de todo el sistema ferroviario, con normas específicas para mejorar la seguridad en el transporte, impulsando en concreto el Sistema de Gestión de Tráfico Ferroviario Europeo para la mejora de la interoperabilidad del sistema (ERTMS). Será necesaria la implantación de estándares de calidad, la normalización de contenedores, etc.

Por otro lado, Europa cuenta con un espacio privilegiado de 100.000 km de costas y 36.000 km de tramos interiores navegables, por los que circula el 90% de su comercio internacional y el 40% del comercio intracomunitario. Las ventajas de la navegación como modalidad de transporte son claras: bajo coste, muy eficiente, pocas emisiones en relación a las mercancías que transporta, y fácil adaptación a la normalización de los contenedores. Entre las prioridades de la RTE-T está el apoyo a las llamadas Autopistas del mar, incluidas en la red Transeuropea del Transporte (TENT-T) y que constituyen los corredores del Mar Báltico, Europa Occidental, Europa Suroriental, y del Mediterráneo Occidental.

6. EL CASO ESPAÑOL

Las diferentes iniciativas puestas en marcha en España están recogidas en la *Estrategia Española de Cambio Climático y Energía Limpia*, que cuenta con un Plan de medidas urgentes de lucha contra el Cambio Climático, y que reconoce un destacado papel a la política de I+D+i. Este Plan considera la Planificación Territorial de Infraestructuras y el Cambio Modal como los instrumentos de mayor eficacia para reducir las emisiones, y reconoce al ahorro y a la eficiencia energética como una acción clave de gobierno para la lucha contra el Cambio Climático. Asimismo, apuesta por la mejora en la toma de medidas y en la comparación de políticas puestas en marcha, mediante un sistema de indicadores que vaya alimentando el sistema y avance los objetivos para la toma de decisiones.

Por ello, el Plan de Infraestructuras del Transporte (PEIT), elaborado en 2004-2008 y que recoge toda la política de transporte para el periodo 2005-2020, propone vertebrar

el territorio con líneas de ferrocarril de altas prestaciones, de forma que cada punto urbano no diste más de 50 km a una línea de estas características, la existencia de corredores verdes para el transporte de mercancías, y la cultura de la movilidad como una nueva forma de entender y organizar el territorio. También se trabaja en la mejora de la operabilidad del transporte aéreo mediante la modernización de los sistemas de control del tráfico aéreo, las ayudas a la navegación, los sistemas inteligentes y la gestión de movimientos en tierra de las aeronaves.

Este plan destaca por el protagonismo dado al sector ferroviario, que absorbe la mitad de las inversiones previstas, con el objetivo de alcanzar en 2020 los 10.000 km de red interoperable de alta velocidad y altas prestaciones, en vía doble y ancho UIC. Como la mayor parte de la población se encuentra en las ciudades, el transporte no sólo debe vertebrar el territorio para darle más cohesión, sino que tiene que dar respuesta en los entornos urbanos y metropolitanos a los problemas más cotidianos de movilidad de los ciudadanos. La movilidad en el medio urbano pasa por mejorar el desarrollo de las infraestructuras de las cercanías y la conexión intermodal -terminales y accesos- para viajeros, reforzando el apoyo al transporte colectivo urbano y metropolitano en un marco de actuación coordinada de todas las Administraciones.

Todo este conjunto de iniciativas está recogido en la Estrategia para el Ahorro y la Eficiencia Energética (E4) gestionada por el IDAE, Entidad Pública empresarial dependiente del Ministerio de Industria. También se ha puesto en marcha la E4+, que supone reforzar las medidas que se han considerado claves, en concreto iniciativas recogidas en la Estrategia de movilidad sostenible, plan de renovación de flotas de empresas, plan especial de gestión de transporte público y avances en la utilización de los biocombustibles.

7. CONCLUSIONES

Para el actual periodo existen dos compromisos del Estado español, la Directiva de Techos Nacionales y el Protocolo de Kioto, que exigen esfuerzos en la reducción de contaminantes como los óxidos de nitrógeno y los compuestos orgánicos volátiles, cuyo origen mayoritario está en el transporte por carretera.

Los datos de la evolución en las emisiones de GEIs y de contaminantes en el periodo 1990-2006 (Fig. 4 y Fig. 5) muestran que la intensidad energética del transporte en España ha ido creciendo. La mejora tecnológica aplicada al automóvil ha conseguido contrarrestar la emisión de óxidos de nitrógeno, pero no lo suficiente como para cumplir con los compromisos del Estado español en la materia. El esfuerzo de reducción deberá ser aún mayor si se quiere cumplir con el compromiso adquirido por el Estado español para el 2010, establecido en la Directiva de Techos Nacionales de Emisión. La reducción estimada para el año 2010, en relación a las proyecciones del inventario entre los años 1990-2004, apuntan a unas necesidades de reducción del 43% de este contaminante. A pesar de que la reducción de COVNM entre 1990 y 2006 ha sido notable, hay que seguir reduciendo para cumplir con el compromiso de la Directiva de Techos, que obliga a una reducción del 27%. En las partículas, la tecnología aplicada a los vehículos no ha sido tan efectiva como en el caso de los óxidos de nitrógeno.

Por otro lado, si nos fijamos en el PIB, indicador que permite medir la riqueza de un país, podemos ver que en el caso español crece más lentamente que las emisiones de gases de efecto invernadero (Fig. 5), señal inequívoca de que nuestro transporte no crece de forma eficiente.

Para España no va a ser fácil cumplir con los compromisos de Kioto, ya que los estudios de prospectiva elaborados en el diseño de dicho plan, apuntan a un incremento de las emisiones sobre el año base 1990 de aproximadamente un 50%. En este incremento participan muy significativamente los sectores difusos, es decir, la edificación y los transportes, que acaparan aproximadamente el 65% de las emisiones, mientras que el 35% restante corresponde al sector industrial. De aquí la importancia para que desde la administración se trabaje de forma decidida con compromisos presupuestarios concretos para reducir las emisiones en un sector de peso en el balance global del conjunto de las emisiones.

Para poder cumplir con nuestros compromisos en materia medioambiental a nivel europeo, Directiva de Techos y Kioto, es necesario seguir trabajando en la mejora de la calidad del aire, que es un fiel reflejo de la eficiencia de la actividad socioeconómica de nuestra sociedad. Los criterios de movilidad sostenible se han de incorporar a los objetivos de la planificación urbana y la promoción de los desarrollos urbanísticos de forma que no se estimule el uso del vehículo privado. Ello favorecerá, por otro lado, la reducción de la dependencia energética de España del exterior.

8. AGRADECIMIENTOS

Las Autoras de este artículo agradecen la ayuda prestada por Cruz Anegón, del Centro de Estudios del Transporte (CEDEX), y Jesús Merchán, del Ministerio de Fomento, en la recopilación de datos y elaboración de gráficas, sin las que este trabajo no hubiera sido posible.

9. REFERENCIAS

- Desarrollo sostenible en Europa para un mundo mejor: Estrategia de la Unión Europea para un desarrollo sostenible. Comunicación de la Comisión. Comisión de las Comunidades Europeas, 2001.
- EMEP/CORINAIR. Emission Inventory Guidebook 2007. Agencia Europea de Medio Ambiente. Technical report No 16/2007.
- Estrategia Española de Cambio Climático y Energía Limpia. Horizonte 2007-2012-2020. Ministerio de Medio Ambiente, 2007.
- Gkatzoflias, D., Ntziachristos, L., y Samaras, Z. COPERT 4: Computer programme to calculate emissions from road transport - Users Manual. Agencia Europea de medio Ambiente, 2007.
- Hansen, J., Makiko, S., Ruedy, R., Lacis, A., y Oinas, V, 2000. Global warming in the twenty-first century: An alternative scenario. PNAS (97), 18, 9875-9880.
- Hermoso, 2008. Las diferencias entre gasolina y diésel. El País, 3 de Mayo de 2008.
- IPCC Second assessment report: Climate change 1995.
- IPCC Third assessment report: Climate change 2001.
- IPCC Four assessment report: Climate change 2007.
- Revisión en 2005 de la Estrategia de la Unión Europea para un desarrollo sostenible: Primer balance y orientaciones futuras. Comunicación de la Comisión al Consejo y al Parlamento europeo. Comisión de las Comunidades Europeas, 2005.
- Sostenibilidad en España 2007. Observatorio de la Sostenibilidad, 2007.

ORGANIZA



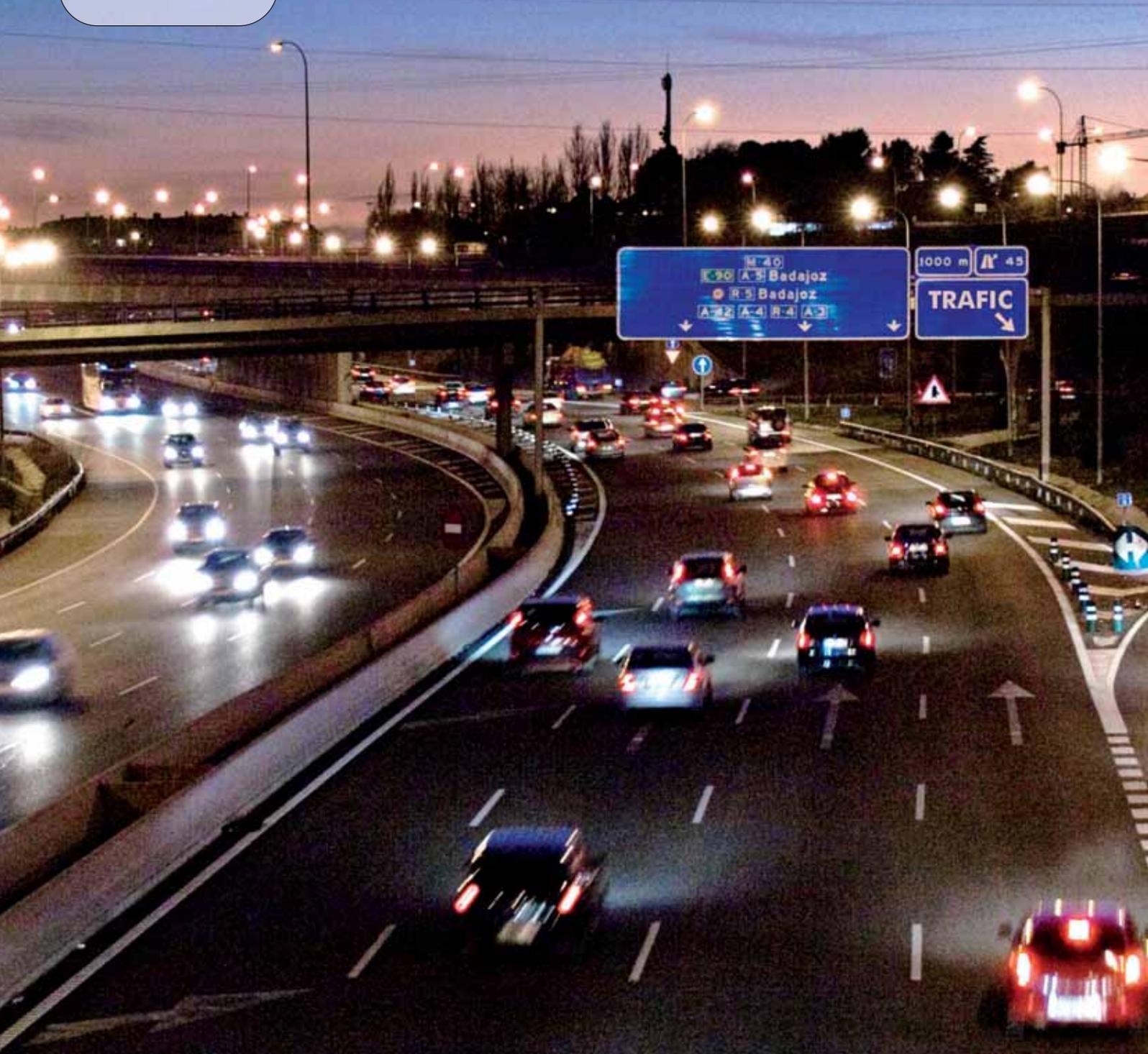
IFEMA
Feria de Madrid

TU ENCUENTRO

27-30
Octubre
2009



SALÓN INTERNACIONAL
DE LA SEGURIDAD VIAL Y EL
EQUIPAMIENTO PARA CARRETERAS



promueve



MINISTERIO
DE FOMENTO



MINISTERIO
DE INTERIOR

www.trafic.ifema.es

LINEA IFEMA

LLAMADAS DESDE ESPAÑA

INFOIFEMA 902 22 15 15

EXPOSITORES 902 22 16 16

LLAMADAS INTERNACIONALES (34) 91 722 30 00

trafic@ifema.es



Cinco destinos, un rumbo

Los puertos de Palma, Alcudia, Mahón, Eivissa y La Savina (Formentera) son los 5 destinos que la Autoritat Portuària de Balears gestiona. Todos ellos, piezas clave de la economía de la comunidad.



Ports de Balears



Autoritat Portuària de Balears

Caracterización de posibles fenómenos de resonancia en la futura dársena exterior de Levante del puerto de Málaga mediante modelación numérica

M. GARCÍA MAÑES (*) y M^a. J. MARTÍN SOLDEVILLA (*)

RESUMEN Este estudio de onda larga, enfocado a la caracterización de posibles frecuencias, o periodos, de resonancia, está basado en una modelación numérica, de tipo 2D, de la nueva dársena deportiva, o de Levante, que se prevé en el exterior del puerto de Málaga, y en la aplicación de las ecuaciones de Boussinesq, integradas en profundidad, con el establecimiento del problema de evolución y de contorno correspondiente. La zona modelada abarca desde la futura dársena hasta la playa de la Malagueta hacia la que está orientada la bocana y con la que pueden establecerse fenómenos resonantes por la presencia de periodos, asociados al oleaje de la zona, próximos a algunos de los periodos propios tanto transversales, o entre paredes, como longitudinales de la dársena y de ésta con el contorno de la playa. La caracterización de tales periodos se ha llevado a cabo mediante el análisis del espectro de respuesta a una señal de entrada, o serie temporal de flujo de agua, extraída de un espectro plano o de ruido blanco, de densidad espectral constante en un rango de frecuencias que abarca periodos entre 25 y 350 segundos. Se ha detectado un periodo en torno de 70 s que pudiera corresponder a un segundo modo de oscilación transversal entre la dársena y la playa. Para su verificación se han realizado ensayos numéricos con un oleaje de entrada monocromático de periodo 70 s y se ha observado a lo largo de diferentes secciones de control establecidas, que la oscilación de la lámina de agua responde, precisamente, a un segundo modo de oscilación transversal con dos nodos interiores (elevación nula y máxima velocidad horizontal) y tres antinodos (máxima elevación y velocidad horizontal nula), situados en los extremos de una de las secciones (playa y fondo de la dársena) y otro hacia el centro de dicha sección. Dado que el estudio no ha podido contrastarse con datos reales, al no disponer de medidas a través de sensores de presión instalados en las paredes de la futura dársena, se han realizado, así mismo, dos simulaciones con oleaje real correspondiente a dos temporales de la zona con registros medidos por la boya de Málaga de la red costera española. Del análisis espectral de las series temporales de elevaciones, calculadas en diversos puntos, a lo largo de la simulación numérica, se ha obtenido un periodo entre 70 y 80 s que vendría a confirmar al estudio teórico realizado al constatar la presencia de un periodo, próximo al segundo modo propio de oscilación transversal detectado, y posiblemente asociado a las ondas de grupo que acompañan a los oleajes ensayados.

NUMERICAL SIMULATION OF POSSIBLE RESONANCE PHENOMENA IN THE FUTURE EASTERN EXTERNAL DOCK OF THE HARBOUR OF MALAGA

ABSTRACT Resonant frequencies of the new recreational external eastern dock of the harbour of Malaga (Spain), have been analyzed with a Boussinesq numerical model. The computational area includes an important part of the Malagueta beach, placed in front of the mouth of the future dock, and considered as a possible generation source of infragravity energy. In order to determined all possible oscillations modes of the sheltered area, a previous simulation with a colour spectrum with equal energy into $25s^{-1}$ to $350s^{-1}$ frequency range, was carried out. The analysis of the response spectra gotten in the control points showed an important amplification at $70s^{-1}$. The simulation with monochromatic wave of 70s period pointed out a second transversal oscillation mode among the Malagueta beach and the inner quay of the new dock. Additional numerical running using measured data coming from Malaga Spanish buoy network, placed near of the harbour, leads similar amplifications in the range of $70s^{-1}$ - $80s^{-1}$ close to that obtained theoretically.

Palabras clave: Resonancia, Dársena, Levante, Málaga.

Keywords: Resonance, Dock, The Levant, Malaga.

(*) Centro de Estudios de Puertos y Costas del CEDEX, Ministerio de Fomento, Madrid.



FIGURA 1.

1. INTRODUCCIÓN

Debido a la orientación de la dársena exterior de Levante con el cierre previsto, que la convierte en dársena deportiva con la bocana enfrentada hacia la playa de La Malagueta, es de prever algún fenómeno de resonancia, por la presencia, entre otras posibles causas, de ondas largas asociadas a los grupos de olas, Bowlers (1980), característicos de esta zona marítima y habida cuenta del carácter reflejante de la playa sobretodo en su perfil de invierno, Watson, Barnes y Peregrine (1994).

En este artículo se analizan mediante la modelación numérica del entorno de la nueva dársena, con un modelo 2D basado en la aproximación de Boussinesq a las ecuaciones de la hidrodinámica de Navier-Stokes, los posibles periodos de onda larga que pudieran presentar, dada la geometría de la zona de estudio, un carácter resonante, de acuerdo a las aproximaciones teóricas.

Se han realizado, así mismo, ensayos numéricos considerando, como entrada al modelo, oleaje real medido por la boya de la red costera (REMRO) de Málaga y se han analizado a continuación, las series temporales de altura de ola (elevación de la superficie), obtenidas en varios puntos de control situados junto a las paredes de la nueva dársena. Se han calculado, posteriormente, los espectros asociados a dichas series a fin de corroborar, en su caso, la presencia de los periodos de onda larga detectados teóricamente.

2. DESCRIPCIÓN

En la figura 1 puede observarse la situación actual de la futura dársena exterior o de Levante del puerto de Málaga y en las figuras 2 y 3 se aprecian detalles con la configuración futura y un esquema con todo el puerto y con la batimetría de la zona.

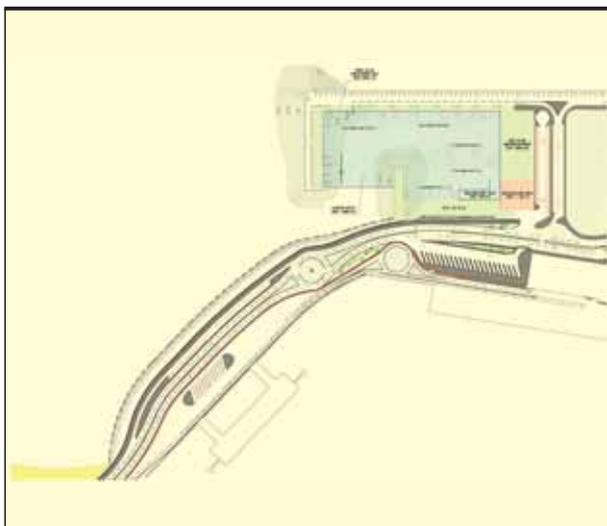


FIGURA 2. Planta de la futura dársena de Levante.

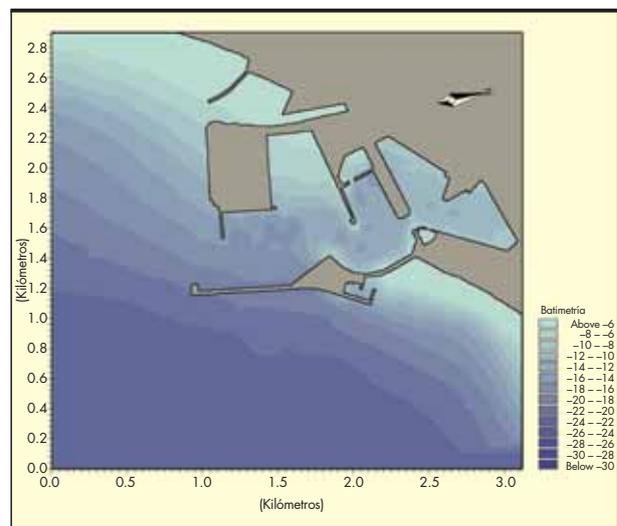


FIGURA 3. Batimetría del puerto y entorno.

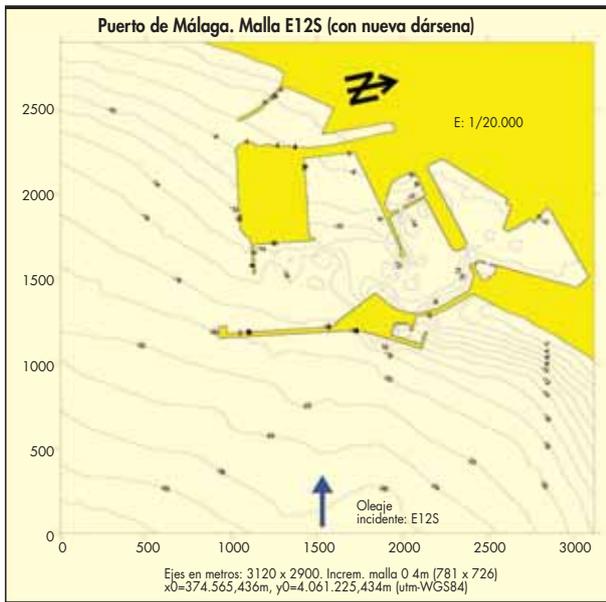


FIGURA 4. Malla de cálculo.

La presencia de ondas de grupo asociadas al oleaje que más afecta a la zona marítima de Málaga y en particular a la nueva dársena exterior, procedente en aguas profundas de los sectores de 22.5°: E, ESE y SE, y una dirección de incidencia en sus proximidades E12°S, ha motivado la realización del estudio de ondas largas que se presenta. Por esta razón la malla de cálculo se ha orientado según la dirección del oleaje incidente como puede apreciarse en la figura 4.

La metodología seguida, en el estudio teórico, ha consistido en realizar ensayos en modelo numérico considerando como oleaje de entrada una serie temporal de altura de ola (en realidad se ha utilizado una serie temporal de flujo de agua, al utilizar la llamada generación interna del oleaje en una línea paralela al borde inferior, o de entrada, y próxima al mismo), extraída a partir de un espectro de ruido blanco (erb) o de densidad espectral constante ($S_0 = 0.02651515 \text{ m}^2\text{s}$, con una amplitud de onda significativa $A_0 = 0.05 \text{ m}$), en un amplio rango de frecuencias: $f_m = 0.002857 \text{ s}^{-1}$ ($T_M = 350 \text{ s}$), $f_M = 0.05 \text{ s}^{-1}$ ($T_m = 20 \text{ s}$).

Dadas las reducidas dimensiones y la profundidad en la zona de interés de este estudio que abarca desde la nueva dársena, a una profundidad media aproximada de 13 m, hasta la playa de la Malagueta, no pueden desarrollarse periodos de oscilación de la lámina de agua superiores a unos

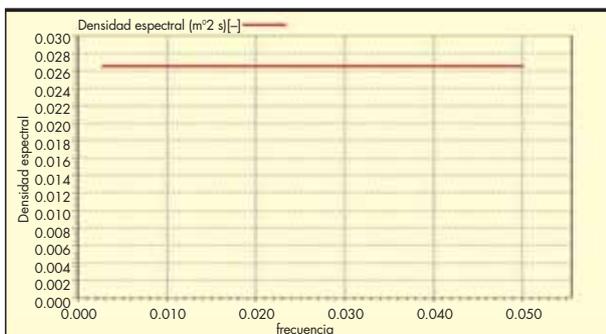


FIGURA 5. Espectro de ruido blanco (detalle).

180 s. Sin embargo dado que en la modelación, se ha incluido todo el puerto de Málaga, para posibles futuros estudios, el límite superior en los periodos a analizar ha sido de 350 s.

En la figura 5 aparece, en un detalle, el espectro de ruido blanco. Utilizando la transformada inversa de Fourier se ha pasado del dominio de la frecuencia al dominio del tiempo, representándose en las figuras 6 y 7 las serie temporales de altura de ola (m) y de flujo ($\text{m}^3/\text{s.m}$) respectivamente, de dicho espectro, con una duración \approx de 2 h 27 min.

$$\delta f = f_M - f_m, A_0 = \sqrt{2S_0\delta f} \Rightarrow S_0 = \frac{A_0^2}{2\delta f} = 0.02651515 \text{ m}^2\text{s}$$

Una vez realizada la simulación numérica con el modelo 2D de evolución, de tipo hiperbólico (módulo Boussinesq del programa Mike21 del Instituto Danés de Hidráulica, DHI), con las ecuaciones de conservación de masa y de cantidad de movimiento integradas en profundidad, y utilizado método de diferencias finitas en la integración de las mismas, se han obtenido las series temporales de altura de ola en diversos puntos localizados, junto a las paredes verticales de la nueva dársena y en la playa de La Malagueta (figuras 8 y 9). Mediante la técnica del algoritmo transformada rápida de Fourier (FFT) se han obtenido los espectros de respuesta en cada uno de los puntos mencionados.

Lógicamente, en dichos espectros, discretos, la energía (o la densidad espectral), ya no es constante en cada una de las bandas de frecuencias del rango considerado.

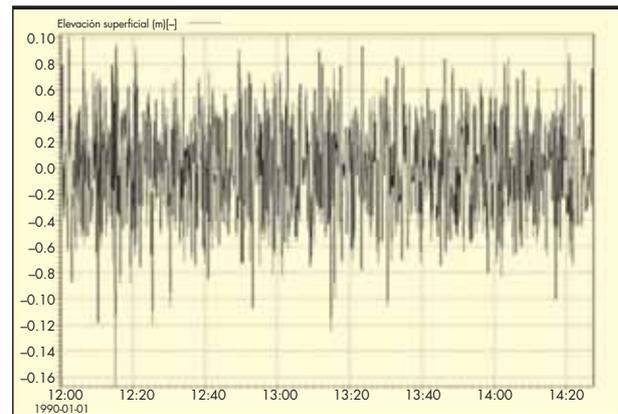


FIGURA 6. Serie temporal de alturas (erb).

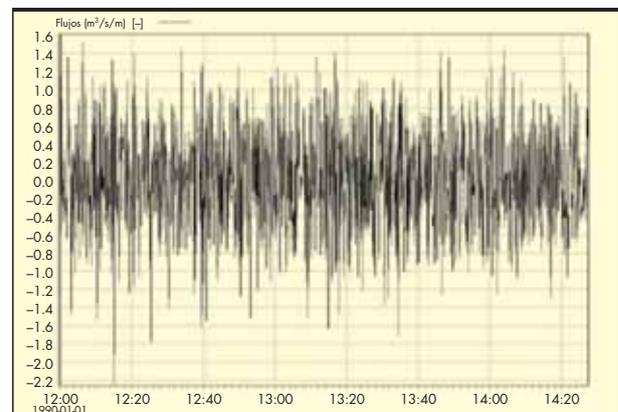


FIGURA 7. Serie temporal de flujos (erb).

Como el incremento utilizado en la discretización de la malla de cálculo ha sido de: $\Delta x = \Delta y = 4 \text{ m}$ y el incremento temporal $\Delta t = 0.27 \text{ s}$, por estabilidad del método numérico, el mínimo periodo de muestro es: $t_{min} = 2\Delta t$, lo que arroja una frecuencia de Nyquist o máxima frecuencia a considerar de valor:

$$f_N = f_{max} = \frac{1}{t_{min}}$$

se ha llevado a cabo con $2^{14} = 16384$ puntos lo que implica un incremento frecuencial de valor:

$$\Delta f = \frac{f_{max}}{2^{14}}$$

De este modo: $\Delta t = 0.27 \text{ s} \Rightarrow \Delta f = 0.000113028067 \text{ s}^{-1}$

De forma equivalente, teniendo en cuenta la relación entre amplitud de onda y densidad espectral, los espectros de respuesta se expresan, también, en términos del llamado coeficiente de amplificación, cociente entre la amplitud de onda calculada en un punto A_i , correspondiente a la frecuencia $f_i \in [f_m, f_M] = [0.002857, 0.05]$ en el rango de interés, y la amplitud de onda significativa del espectro de ruido blanco A_0 . El coeficiente de amplificación es precisamente:

$$\frac{A_i}{A_0} = \sqrt{\frac{S(f_i)}{S_0}}$$

La gráficas de amplificación se dan también en términos del periodo, $T_i = 1/f_i$, y así se presentan en este trabajo.

Dado que la energía por unidad de área en cada banda de frecuencias, $E = \rho g S(f) \Delta f$, es proporcional a la densidad espectral (ρ es la densidad del agua y g la constante gravitatoria), se analizan los máximos o picos del espectro calculado y las frecuencias (periodos) donde se alcanzan, que pudieran corresponder a algunas de las frecuencias propias (o periodos propios) de oscilación de la dársena o de la dársena y su entorno marítimo, donde se encuentra ubicado el punto de agua concreto.

En las figuras 8 y 9 pueden observarse los puntos analizados y las secciones consideradas entre los mismos a fin de analizar, a la largo de las mismas, los diferentes modos de oscilación que pudieran desarrollarse. La figura 8 corresponde a la situación actual y la 9 a la configuración futura con la dársena construida. Los puntos P4 y P5 en la configuración actual y los homólogos, P7 y P8 en la futura, corresponden a la playa de la Malagueta,

considerada como pared reflejante (condición de contorno en el establecimiento del problema de evolución).

En la figura 10 aparecen las gráficas de amplificación correspondientes a los puntos P1, P2, P3, P4, P7 y P8 en la configuración futura, en un detalle que abarca desde 20 s hasta 120 s, y donde aparece más destacado un periodo de aproximadamente 70 s que pudiera corresponder a un segundo modo transversal de oscilación entre la dársena y la playa, asimilando el entorno a una dársena rectangular de profundidad constante y de longitud entre paredes, aproximada, la distancia entre los puntos de la dársena y los de la playa.

En la figura 11 se incluyen las gráficas de amplificación correspondientes a la configuración actual y a los puntos P1, P2 y P4 (P7 en futura), y se observa como, también, destaca un periodo en torno de 70 s. El periodo en torno de 25 s con un máximo en la amplificación pudiera corresponder a un primer modo de oscilación transversal entre paredes (puntos P1 y P2) que desaparece en la configuración futura que contempla el cierre de la nueva dársena.

La fórmulas teóricas de oscilación transversal o entre paredes reflejantes utilizadas para seleccionar los posibles periodos propios de la dársena o de la dársena y su entorno, obedecen a las expresiones:

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

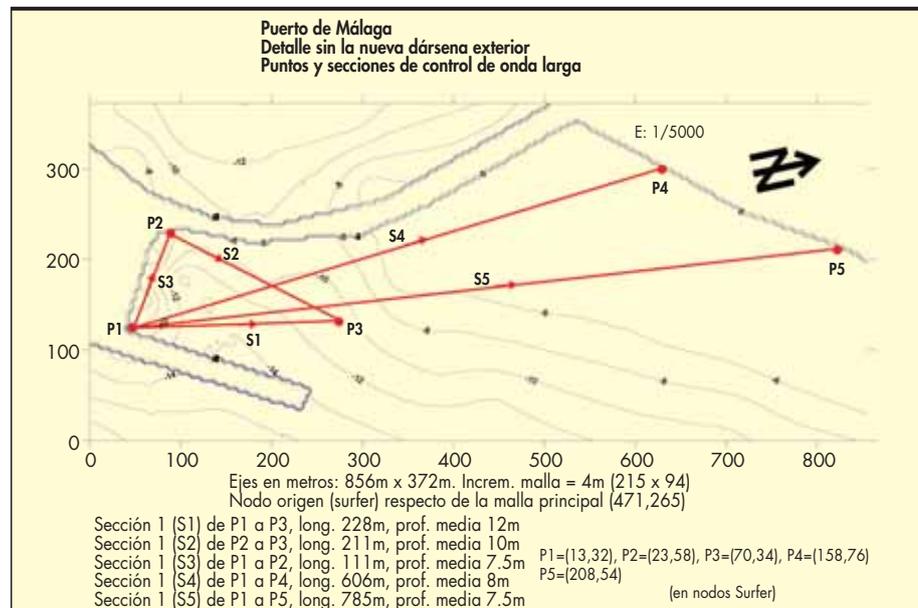
En estas fórmulas, L es la longitud entre paredes y h es la profundidad media del área considerado (constante). Para el armónico de orden n , de periodo T_n y de longitud de onda λ_n , el número de nodos interiores (elevación superficial nula y velocidad horizontal de partículas máxima) es, precisamente, n . En las paredes siempre aparecen antinodos (máxima elevación y velocidad de partículas nula).

Las fórmulas homólogas de oscilación longitudinal, o entre pared y borde abierto (a distancia L), son:

$$T_n = \frac{4L}{(2n-1)\sqrt{gh}}, \quad \lambda_n = \frac{4L}{2n-1}; \quad n = 1, 2, \dots$$

Para estos modos, en la pared siempre existe antinodo y nodo en el borde abierto. Para los modos de órdenes $n > 1$, el número de nodos interiores es $n - 1$.

FIGURA 8.



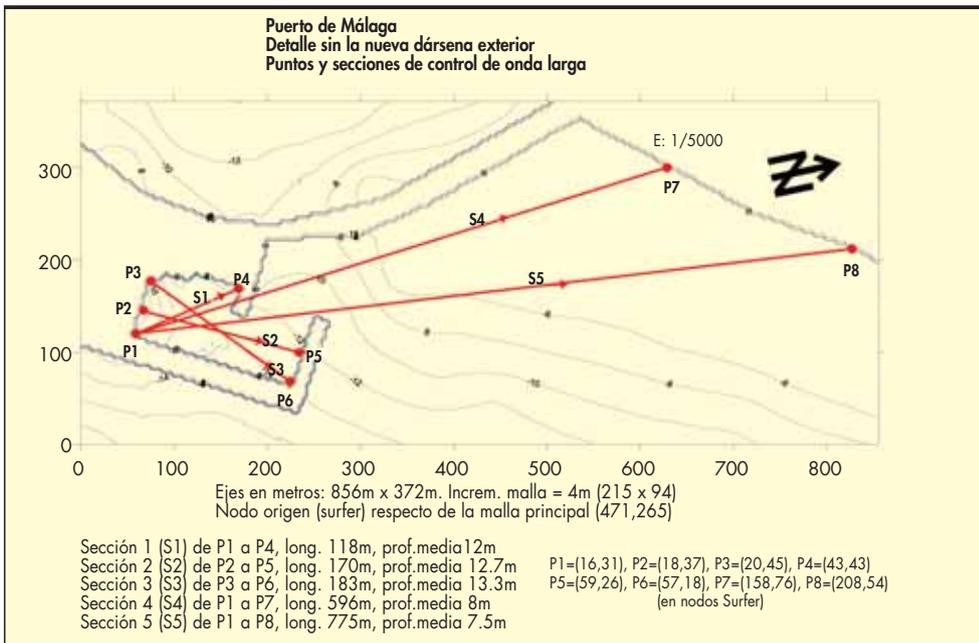


FIGURA 9.

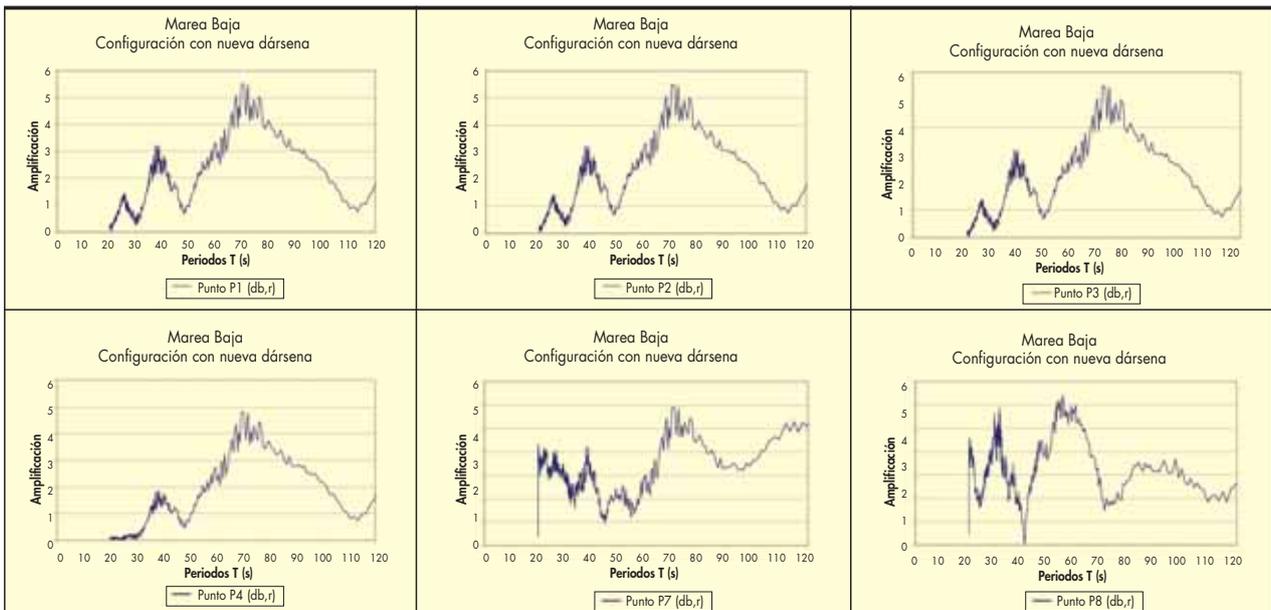


FIGURA 10.

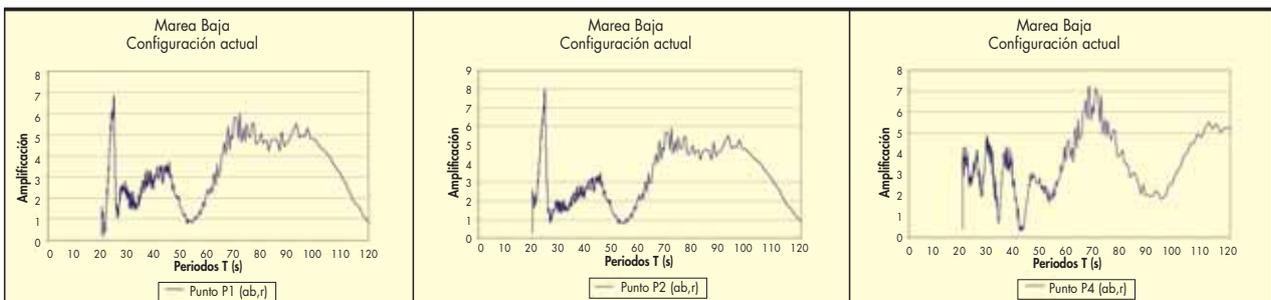


FIGURA 11.

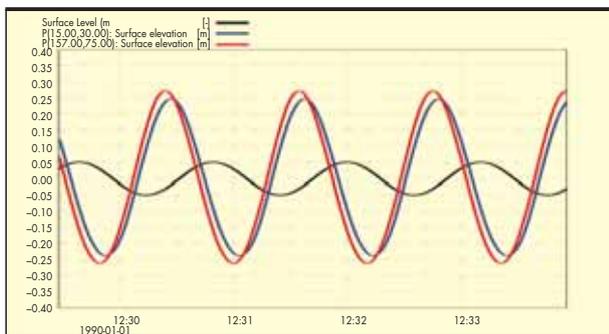


FIGURA 12.

2.1. ENSAYOS CON OLEAJE MONOCROMÁTICO

Se han realizado simulaciones numéricas con oleaje monocromático de periodo $T = 70$ s como el candidato, aproximado, con mayor probabilidad de ser un periodo con carácter resonante que se correspondería, de acuerdo con las fórmulas reseñadas, con un segundo modo de oscilación transversal entre la nueva dársena y la playa de La Malagueta. En la figura 12 aparece la serie temporal de elevaciones (detalle con tres ondas) a la entrada del modelo, con una amplitud de 0.05 m, y la serie calculadas en los puntos P1 (fondo de la dársena) y P7 (playa de La Malagueta), con el desfase correspondiente. El resultado gráfico refleja la amplificación de la señal y confirma al periodo de 70 s como un segundo modo de oscilación transversal entre la dársena y la playa.

En la figura 13 aparecen las gráficas bidimensionales de oscilación de la lámina de agua para el periodo mencionado, separadas un semiperiodo en el tiempo. La figura 14 corresponde a la oscilación a lo largo de la sección 4 entre los pun-

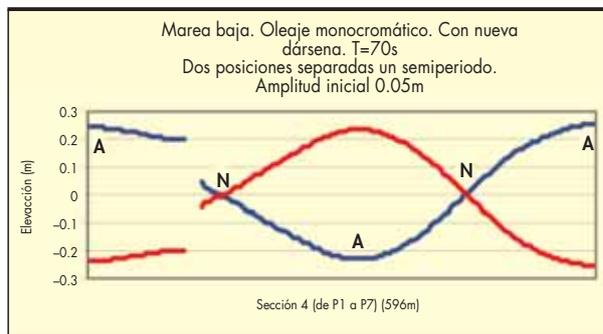


FIGURA 14.

tos P1 (fondo de la dársena) y P7 (playa de La malagueta) en las que se aprecian claramente los antinodos en los extremos y en el centro de la sección y los dos nodos interiores.

El salto o discontinuidad que se observa en las gráficas de la figura 14 se corresponde con el paso por tierra (contra-dique de la dársena) de la sección 4 (figura 9).

2.2. ENSAYOS NUMÉRICOS CON OLEAJE REAL

A fin de comprobar si los oleajes reales de la zona desarrollan algún periodo, asociado a las ondas de grupo, en el entorno de 70 s, se han realizado, así mismo, ensayos numéricos tomando como oleaje de entrada las series de elevaciones de la superficie libre de dos temporales procedente del sector Este y medidos por la boya de Málaga de la red costera, fon-deada a 22 m, que es, precisamente, la máxima profundidad considerada en la modelación. La duración de ambas series (figura 15), es de 43 minutos aproximadamente y sus características espectrales (T_p periodo de pico, $H_{z,s}$ altura signifi-

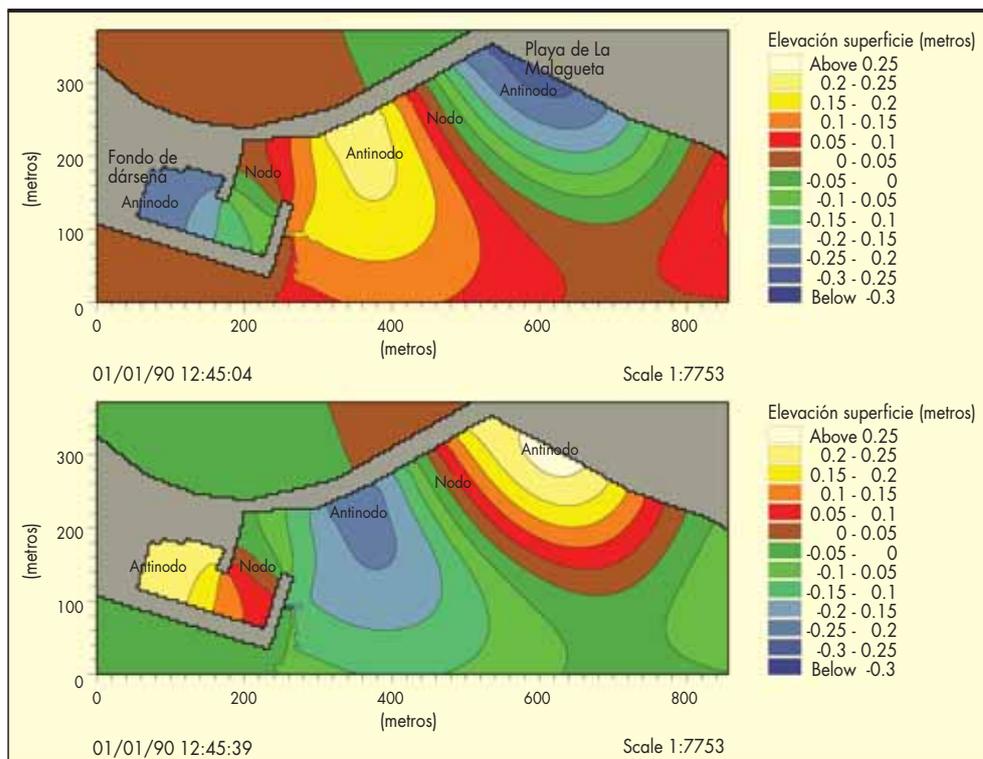


FIGURA 13.

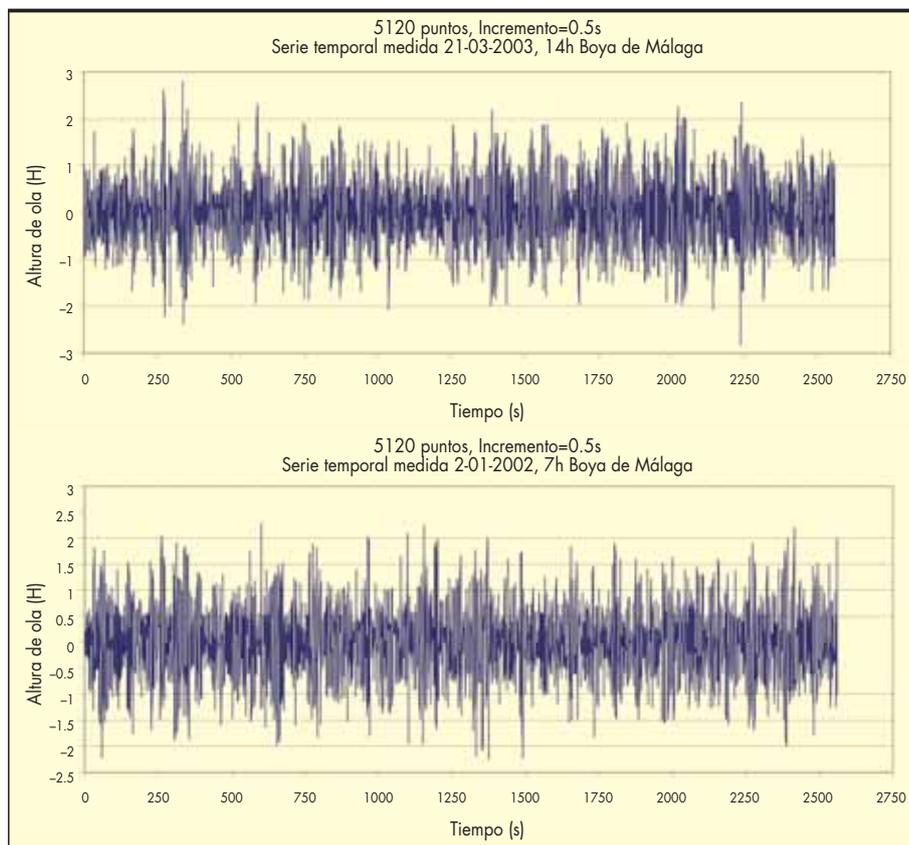


FIGURA 15.

cante, $H_{z,m}$ altura máxima y $H_{z,sD}$ altura media de *set down*), son:

Serie 21-03-2003, 14h: $T_p = 8.0$ s, $H_{z,s} = 2.81$ m, $H_{z,m} = 5.16$ m, $H_{z,sD} = 0.112$ m
 Serie 2-01-2002, 7h: $T_p = 9.1$ s, $H_{z,s} = 2.85$ m, $H_{z,m} = 4.24$ m, $H_{z,sD} = 0.119$ m

Para la aplicación del modelo de evolución, las series reales de entrada se han discretizado, nuevamente, con un paso temporal menor al de medida, $\Delta t = 0.07$ s, con lo que el número de pasos en el tiempo, durante la simulación numérica, ha sido de 36564. Se han utilizado, además, las ecuaciones extendidas de Boussinesq, que amplían el rango de aplicabilidad de las ecuaciones hasta la relación entre profundidad y longitud de onda $h/L < 0.5$, que cubre la presencia de periodos del orden de 6 s, a una profundidad máxima de 22 m en el área modelada. La duración de estos ensayos (≈ 43 min), ha permitido un análisis posterior de las series temporales calculadas en los puntos de referencia y la obtención de los espectros asociados. En la figura 16 se incluyen, como muestra, tres series temporales calculadas en los puntos P1 y P2 (fondo de la dársena) y en el punto P7 (playa de la Malagueta), en el caso de considerar como oleaje de entrada el correspondiente a la serie del 2-01-2002 a las 7 h.

Los resultados gráficos con los espectros calculados, en términos de periodos, en los mencionados puntos, quedan reflejados en la figura 17 para la serie temporal de entrada del 21-03-2003 a las 14 h y en la figura 18 para la serie del 2-01-2002 a las 7 h. El rango, en periodos, considerado en todas las gráficas abarca desde 20 s hasta 300 s y las dos simulaciones numéricas, con oleaje real, corresponden a la configuración que contempla la futura dársena exterior o de Levante.

En todos los espectros se observa como destaca, para los dos temporales considerados, un periodo en torno de los 80 s que podría asimilarse al periodo aproximado de 70 s, detec-

tado en los ensayos teóricos (con el oleaje sintético obtenido a partir del espectro de ruido blanco).

Estos últimos resultados parecerían confirmar que un periodo en el entorno de los 70-80 s, podría suponer la aparición de un fenómeno de onda larga o de resonancia para la futura dársena, con el diseño en planta proyectado y su orientación frente a la playa de La Malagueta. En cualquier caso, sería de interés el poder comparar, una vez concluida la obra de cierre de la dársena, los espectros correspondientes a las series temporales medidas en los puntos de referencia, (mediante sensores de presión instalados junto a las paredes donde se ubican dichos puntos), con los espectros calculados a partir del oleaje real, a la entrada al modelo, que correspondiera al tiempo de la toma de datos.

3. CONCLUSIONES

La determinación de posibles fenómenos de resonancia en dársenas, asociados a la presencia de ondas largas en el área marítima de la zona en cuestión puede ser abordada de forma razonable a partir de las ecuaciones de Boussinesq y el planteamiento de un problema de evolución con condiciones iniciales y condiciones de contorno adecuadas que reflejen, éstas últimas, del modo más realista posible, las características reflejantes de las estructuras marítimas y de la línea de costa contempladas en el área de estudio.

La resolución numérica de las ecuaciones que rigen el problema mediante el método de diferencias finitas, con incrementos en el espacio y el tiempo que garanticen la estabilidad del método y por tanto su convergencia, resulta ser una buena herramienta en la determinación teórica de los posibles periodos con posible carácter resonante, partiendo del oleaje sintético generado a partir de un espectro de ruido blanco

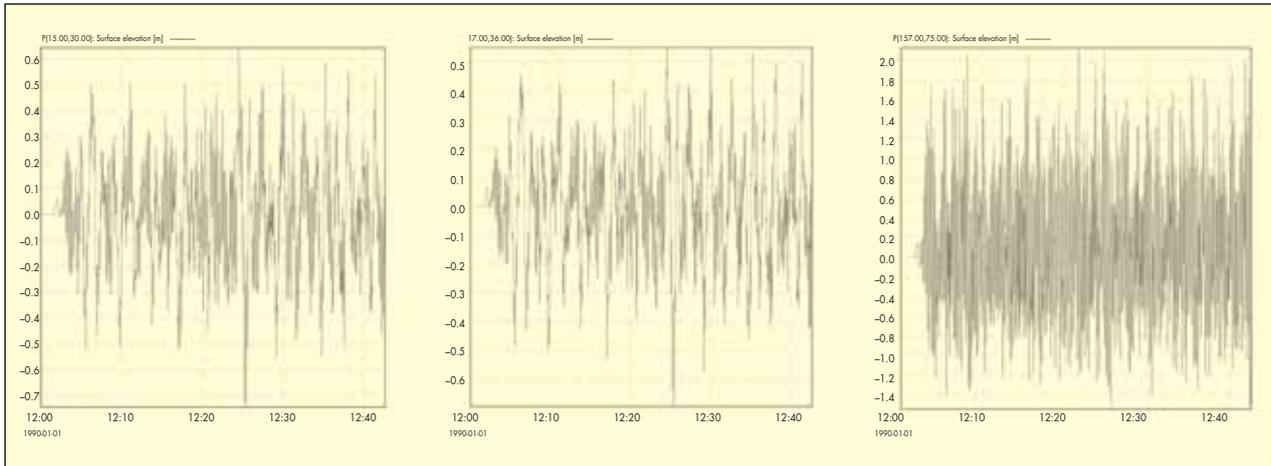


FIGURA 16. Series temporales calculadas en los puntos P1, P2 y P7.

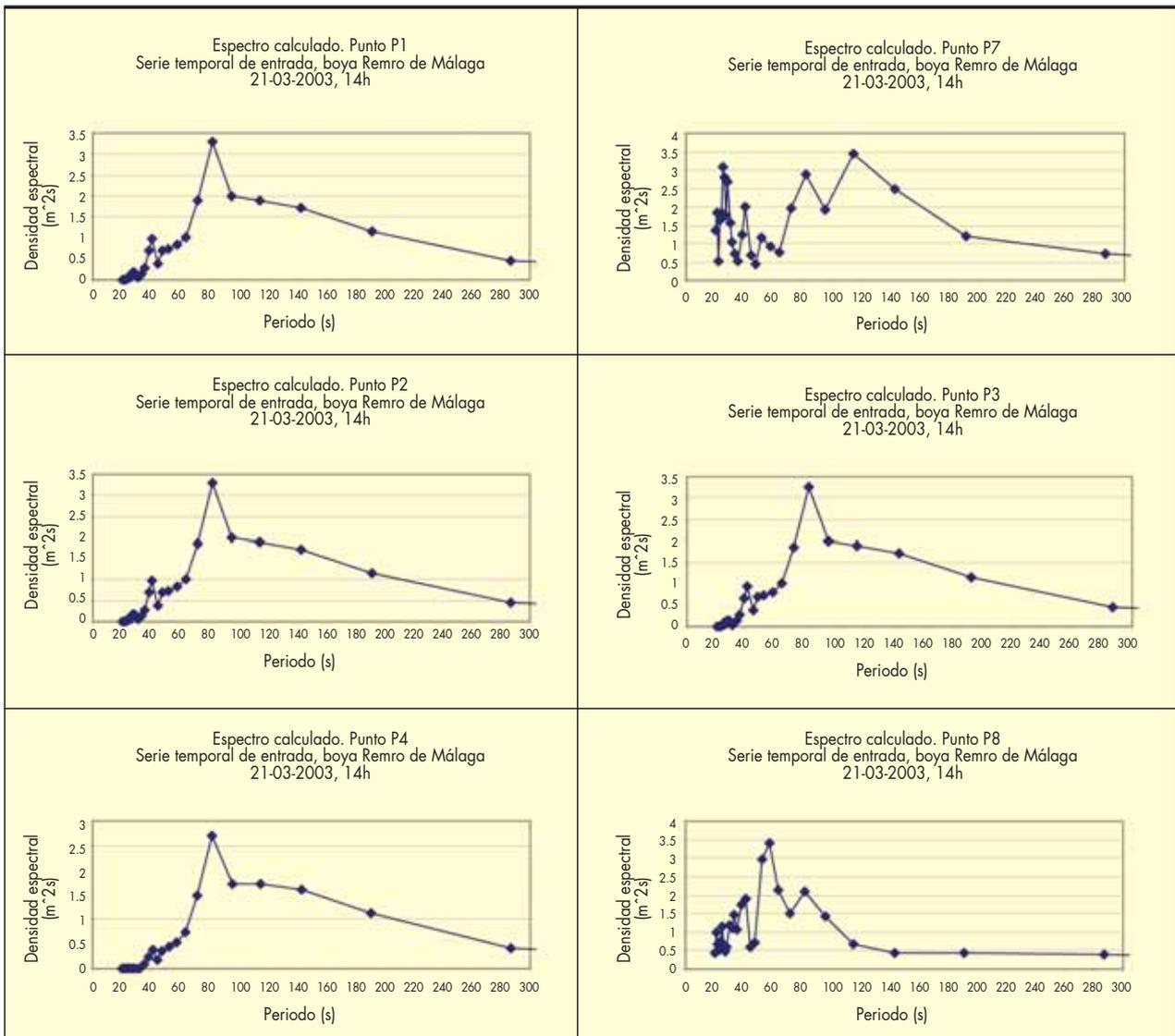


FIGURA 17. Espectros calculados a partir de las series temporales de elevaciones de la superficie libre, en los puntos: P1, P2, P3 y P4 de la dársena, y P7 y P8 de la playa de La Malagueta, correspondientes al oleaje, a la entrada del modelo, del día 21-03-2003 a las 14h.

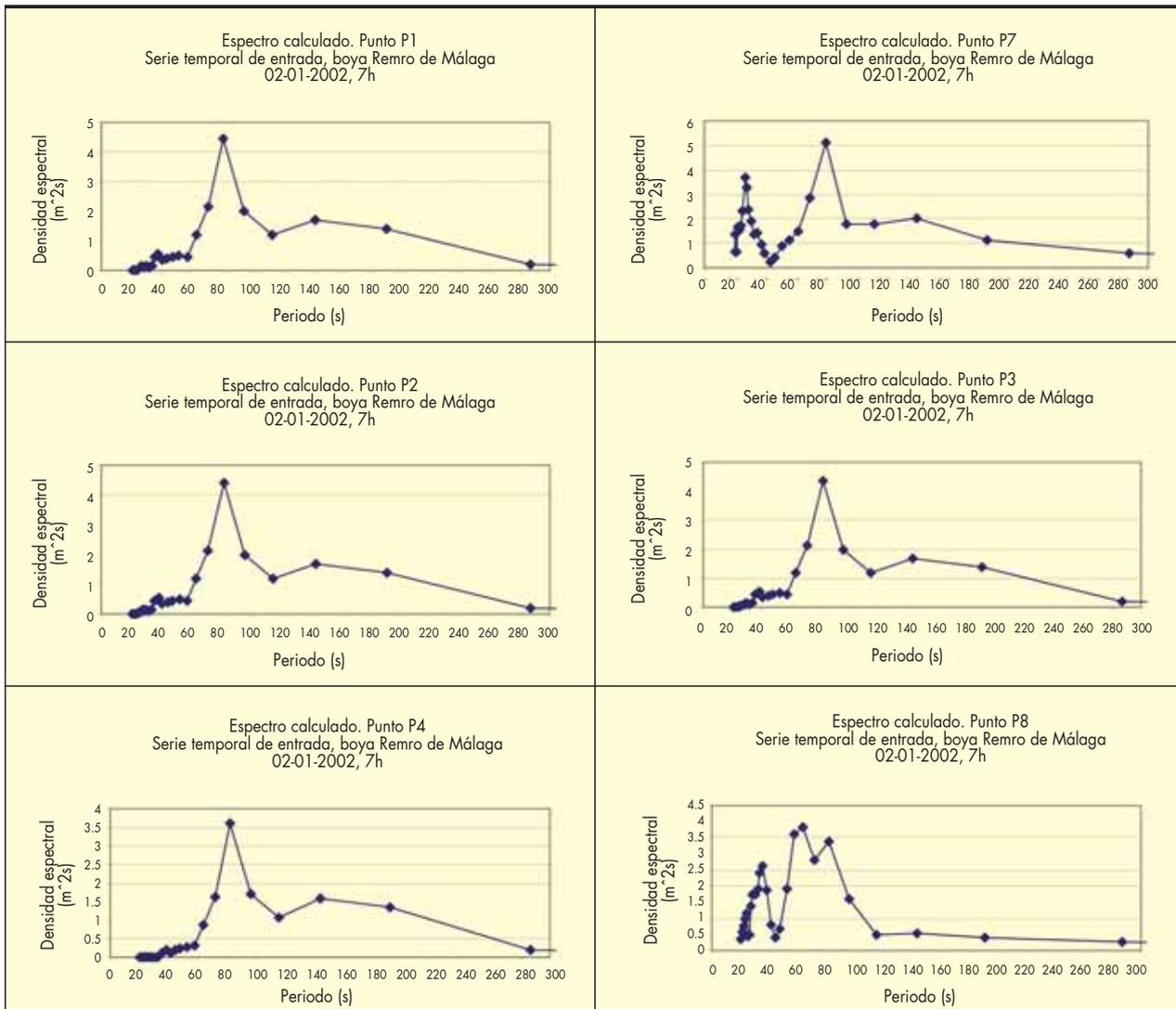


FIGURA 18. Espectros calculados a partir de las series temporales de elevaciones de la superficie libre, en los puntos: P1, P2, P3 y P4 de la dársena, y P7 y P8 de la playa de La Malagüeta, correspondientes al oleaje, a la entrada del modelo, del día 2-01-2002 a las 7h.

Ensayos numéricos con oleaje regular de periodo, o periodos, detectado en el análisis previo, ayudan a verificar dicho carácter resonante, previa estimación teórica de los periodos propios de las estructuras envueltas. En el caso aquí estudiado la resonancia puede aparecer entre la nueva dársena y la playa.

Es importante concluir que la realización de simulaciones numéricas con oleajes reales de la zona, es fundamental a la hora de verificar si el periodo o periodos de onda larga detectados de forma teórica, pueden, verdaderamente, desarrollarse en la zona marítima que se analiza.

Por último, añadir que el estudio presentado ha tenido un carácter especulativo desde el momento en que la obra analizada no está construida. En otros casos, la presencia de ondas larga en dársenas ha sido detectada a partir de medidas efectuadas en las paredes de las estructuras presentes o por movimientos bruscos de buques atracados. La modelación numérica, tal y como aquí se ha planteado, ayuda a confirmar el fenómeno detectado y proporciona una buena herramienta para analizar posibles configuraciones alternativas tales como: cambios en la geometría en planta

del área de estudio, obras externas de abrigo o interiores, dragados y otras; todas ellas encaminadas a resolver dicho fenómeno, eliminando el periodo o periodos de onda larga o reduciendo su contenido energético.

4. AGRADECIMIENTOS

A todo el sector de estudios portuarios del Centro de Estudios de Puertos y Costas del CEDEX.

5. REFERENCIAS

Bowlers, E.C., 1980, Long period disturbances due to wave groups. Conf. Coastal Eng., 610-623.
 García Mañes, M. Informe del CEDEX sobre un estudio de onda larga para el cierre de la dársena de Levante del Puerto de Málaga. Abril, 2006.
 Watson, G., Barnes, T.C.D. and Peregrine, D.H., 1994, The generation of low-frequency waves by a single wave group incident on a Beach. Conf. Coastal Eng., 776-789.

DIQUE DE BOTAFOC IBIZA



DRAGADOS

www.grupoacs.com

Estudio de transferencia de información entre la red exterior de oleaje y la red costera. Matrices de transferencia en la posición de la boya de Langosteira

NAVARRO SÁEZ, ALICIA (*), MARTÍN SOLDEVILLA, M^a JESÚS (*) y ALFONSO, MARTA (**)

RESUMEN La Red Exterior de Boyas Océano-meteorológicas de Puertos del Estado, está formada por 12 boyas Seawatch y 3 Boyas WaveScan fondeadas en posiciones estratégicas del borde de la plataforma continental. Esta red, debido a su profundidad de fondeo, superior a 200 m, y alejamiento de la línea de costa proporciona información representativa de una amplia zona. A partir de esta información pueden establecerse las características del oleaje en un emplazamiento cercano a costa, mediante un modelo numérico de propagación que establezca la transformación del oleaje por efecto de la batimetría. En este trabajo se han calculado las matrices de transferencia de la altura de ola y dirección de incidencia de los oleajes registrados en aguas profundas, en la posición de la boya de Langosteira, fondeada a 47 m de profundidad en la Bajamar Viva Equinocial (BMVE). El modelo de propagación empleado MDSL es un modelo de carácter elíptico, desarrollado en el CEDEX. Aplicando ambas matrices a los espectros direccionales de la Boya de Villano-Sisargas, fondeada a 386 m de profundidad, se obtiene las características del oleaje en la posición de la boya de costa seleccionada.

STUDY OF THE TRANSFER OF INFORMATION BETWEEN THE DEEP WATER NETWORK AND THE COASTAL NETWORK. TRANSFER MATRIXES AT THE LANGOSTEIRA BUOY POSITION

ABSTRACT *Puertos del Estado deep water network of oceanographic and meteorological buoys, consisting of 12 Seawatch buoys and 3 Wavescan buoys, is deployed in strategic positions along de continental platform border. That network due to the anchored depth, higher than 200m, and long distance from the coastline gives representative information of a wide area. From that information it's possible to set up the characteristics of waves in any place near the coast by means of numerical wave propagations models that provide the transformations of the waves by the effect of the bathymetry. In that study it has been calculated the transfer matrixes of wave height and incidence directions of the deep water waves at the Langosteira buoy position, anchored at 47m depth in BMVE. The MDSL wave propagation model used in the study is an elliptic model developed by the CEDEX. Applying both matrixes, of heights and wave incidence directions, to the directional spectrums of Villano-Sisargas buoy, anchored at 386m depth, we can obtain the wave characteristics at the position of the selected coast buoy.*

Palabras clave: Redes de medida de Oleaje, Transferencia de información.

Keywords: Wave Network, Transfer of information.

1. INTRODUCCIÓN

Como aplicación de la información proporcionada por las Redes de medida exterior y costera pertenecientes al Organismo Público Puertos del Estado se realizan una serie de actuaciones entre las que se encuentra el estudio de transferencia en tiempo real de la información registrada en alta mar al punto correspondiente emplazado a menor profundidad. Obviamente, la transferencia a cualquier otro emplaza-

miento incluido en el dominio de propagación puede ser acometida con los resultados obtenidos en el conjunto de propagaciones realizadas.

Puertos del Estado puso en marcha en 1998 el sistema de propagación espectral punto a punto (Álvarez et al. 1977) acoplado al modelo WAM (WAMDI 1988) con el que realiza la predicción del oleaje. Dados los buenos resultados obtenidos, decidió acoplar este sistema a la información proporcionada por las boyas de la Red Exterior (Alfonso et al. 1999).

Dentro del contexto de ésta actividad, se acordó que se incluyera en el convenio de colaboración vigente entre PE y el Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX), la realización de los estudios necesarios para eva-

(*) Departamento de Estudios Portuarios CEDEX.

(**) Área de conocimiento de medio físico. Puertos del Estado.

FIGURA 1. Situación de las boyas cercanas a costa (●) y de las boyas exteriores (★).



luar la idoneidad del emplazamiento de los equipos de medida de oleaje y la fiabilidad de los modelos numéricos para la transferencia instantánea de información desde aguas profundas a posiciones cercanas a costa.

Los trabajos realizados en el Centro de Estudios de Puertos y Costa (CEPYC) del CEDEX, se recogieron en la actuación denominada "Estudio y transferencia de información de oleaje y redundancias informativas entre la Red Exterior (RE) y la Red Costera (RC)".

El sistema de propagación espectral punto a punto consiste en aplicar las transformaciones inducidas por la batimetría en el espectro direccional del oleaje al propagarse desde un punto determinado a otro, empleando unas matrices previamente generadas utilizando como herramienta un modelo de propagación.

Las boyas de la Red Exterior transmiten, en tiempo real y vía satélite, información espectral que se limita a las densidades espectrales escalares y a la dirección media y dispersión angular media para cada banda de frecuencia, dada la inviabilidad económica de transmitir el espectro direccional completo. A partir de esta información se reconstruye el espectro ajustando en cada banda de frecuencia una distribución direccional teórica de Mitsuyasu (Mitsuyasu et al., 1975), que se modifica según las matrices ya generadas dando lugar a la información propagada, estimándose los parámetros de altura significativa, período medio y de pico y dirección media y de pico.

En el sistema de propagación de PdE existen diversos puntos a los que se transmite la información en tiempo real de las boyas de la Red Exterior, empleándose para ello las matrices elaboradas por tres instituciones distintas que han

utilizado tres modelos de propagación de tipo parabólico diferentes: PROPS (Puertos del Estado) para las boyas de Bilbao, Gijón, Avilés y Coruña; REFDIF (CEDEX) para la boya de Langosteira (objeto de este estudio) y OLUCA (GIOCUC) para la boya de Silleiro. Cada una de las matrices transforma el oleaje desde aguas abiertas (registrado por la Red Exterior) hasta la posición de la boya costera correspondiente. La situación de estas boyas y de las boyas exteriores se puede observar en la figura 1 y la posición exacta en la tabla 1.

Una vez puesto en marcha el sistema de propagación, se realizó una validación de la información propagada con los datos proporcionados por las boyas de la Red Costera. Debido a la especial complejidad de los fondos en la boya de Langosteira, y a la limitación de los modelos parabólicos resolventes de fase en cuanto a la desviación de la dirección de avance del frente con relación al eje de integración, los resultados obtenidos en la posición de la boya de Langosteira con el modelo parabólico, mostraron una excesiva atenuación en el sector NE y una sobreestimación en los oleajes del SW. Este resultado está confirmado por los resultados estadísticos. En relación con las direcciones del oleaje se observó un giro excesivo al NW de los datos de todos los cuadrantes. El diagrama de dispersión reflejaba una excesiva concentración de los datos propagados en el cuadrante NW, que no se apreciaba en los datos de la boya de costa.

Estos resultados pusieron de manifiesto la necesidad de utilizar una herramienta numérica más potente para la elaboración de las matrices de transferencia en esta zona. La herramienta utilizada fue la versión elíptica del modelo MDSL desarrollado en el CEDEX.

Nombre	Latitud	Longitud	Prof.	Boya exterior empleada
Bilbao	43° 24.0' N	3° 08.6' W	50 m	Bilbao exterior
Gijón	43° 34.0' N	5° 39.0' W	43 m	Cabo de Peñas
Avilés	43° 35.9' N	5° 57.3' W	19 m	Cabo de Peñas
Coruña	43° 24.8' N	8° 23.0' W	50 m	Villano-Sisargas
Langosteira	43° 21.3' N	8° 32.0' W	40 m	Villano-Sisargas
Silleiro	42° 05.8' N	8° 55.8' W	75 m	Silleiro exterior

TABLA 1. Situación y profundidad de las boyas cercanas a costa.

2. PLANTEAMIENTO GENERAL DE LA ELABORACIÓN DE LAS MATRICES DE TRANSFERENCIA

Para elaborar las nuevas matrices de transferencia utilizando el modelo elíptico de propagación de oleaje cuyas características se describen en el siguiente apartado, se ha seguido la siguiente metodología acordada por los dos organismos que participan en el trabajo.

Las matrices se componen de 72 filas, resultado de barrer todas las direcciones con un incremento de 5° y 16 columnas correspondientes a los períodos elegidos para ensayar: de 2 a 10 s, con un incremento de 1 s, y de 12 a 24 s, con un incremento de 2 s. Para calcular los elementos de las matrices se han seguido los siguientes pasos:

- Definir el sector activo de la boya de Langosteira, formado por las direcciones en alta mar de las que proceden los oleajes que inciden en el punto de interés. En este caso el sector activo considerado está limitado por las direcciones de 250° y 35° , considerando el N como origen de ángulos, y el sentido horario como positivo.
- Todos los elementos de la matriz que no pertenezcan al sector activo se completan con ceros en la matriz de alturas y con un valor ficticio (999) en la matriz de direcciones.
- Las ondas con períodos inferiores a 6s no modifican ni su altura ni su dirección de propagación ya que ésta transcurre por profundidades indefinidas. Esto implica un coeficiente de transformación igual a la unidad para las alturas y el valor de la dirección de partida en la matriz de direcciones.
- Para los restantes casos, que corresponden a los oleajes que proceden del sector activo (250° – 35°) y cuyos períodos (7 s – 24 s) son suficientemente elevados para que su altura y dirección inicial se modifiquen en su propagación a costa, el cálculo del coeficiente de transformación de altura y de la dirección de incidencia se obtiene mediante ensayos de propagación de ondas monocromáticas con el modelo numérico seleccionado.

En los siguientes apartados se enumeran las características del modelo numérico utilizado en los ensayos de propagación; se describe los pasos dados en la elaboración de las mallas de cálculo en las que se discretiza la batimetría del área de estudio y los ensayos realizados. En el último apartado se verifican las propagaciones realizadas con las matrices de transferencia contrastando sus resultados con los datos de la boya de Langosteira.

3. MODELO NUMÉRICO MDSL

El modelo MDSL es una aplicación desarrollada en el CEDEX para la realización de estudios de propagación de oleaje, agitación y ondas largas en puertos en base a la ecuación de Berkhoff o de la pendiente suave. Esta ecuación gobierna la dispersión de ondas lineales en un dominio, dadas las condiciones de contorno, e incluye los efectos de refracción, difracción y reflexión por variación de fondos y presencia de obstáculos.

El principal problema práctico en la aplicación de la ecuación de Berkhoff es su naturaleza de ecuación diferencial elíptica que obliga a su resolución como un problema de contorno. El dominio de cálculo se discretiza estableciéndose un sistema de ecuaciones que queda cerrado mediante las condiciones de contorno. Como es preciso emplear un número elevado de puntos por longitud de onda para su resolu-

ción, se obtiene un sistema de ecuaciones de dimensiones muy grande incluso para dominios de tamaño pequeño en términos de longitud de onda.

Para reducir los requisitos de cálculo, se emplean tradicionalmente métodos iterativos de diferentes tipos aplicables a las ecuaciones elípticas. El inconveniente de las soluciones iterativas es que obligan a establecer criterios de convergencia que determinen cuando finalice el cálculo con la precisión deseada.

En contraste con estos métodos, el modelo MDSL resuelve de forma no iterativa la ecuación de Berkhoff sobre una malla de diferencias finitas rectangular empleando un esquema de cinco puntos para discretizar las derivadas.

Para casos de dimensión reducida, otros autores resolvieron el problema directamente empleando el método de Gauss, teniendo en cuenta que la matriz de coeficientes resultante es una matriz en banda que permite economizar tiempo de cálculo y almacenamiento.

Esta aproximación de resolución directa es la empleada en el modelo MDSL, añadiendo una serie de optimizaciones que han permitido reducir la necesidad de almacenamiento y mejorar en un orden de magnitud la velocidad de cálculo respecto a estos autores. Por tanto se ha conseguido aplicar la solución directa a problemas de propagación en áreas extensas y de agitación en el interior de grandes puertos que requieren modelar áreas de muchas longitudes de onda.

4. MALLAS DE CÁLCULO DE BATIMETRÍA

Las mallas de cálculo empleadas en los ensayos numéricos se han elaborado a partir de dos fuentes: datos digitalizados de las Cartas Náuticas del Instituto Hidrográfico de la Marina (IHM) y los datos de una campaña de batimetría realizada por distintas instituciones en la zona de estudio. Los criterios empleados para preparar las mallas de cálculo son los siguientes:

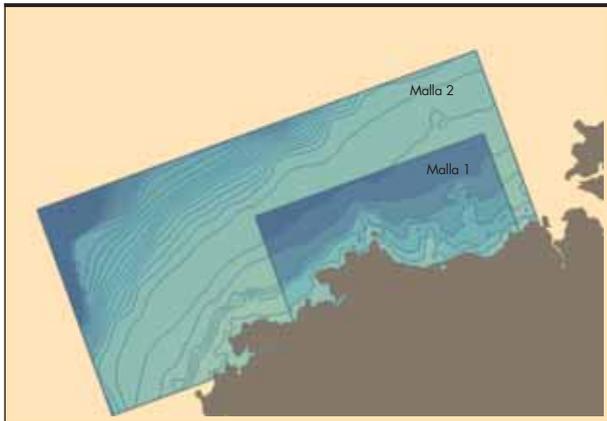
- El área modelada ha de ser suficientemente amplia para que cada ensayo se realice desde profundidades indefinidas hasta la posición de la boya de Langosteira, que está situada en aguas intermedias (47m).
- La longitud de onda del oleaje monocromático ensayado en cada caso tiene que estar definido por un mínimo de cinco incrementos de malla en la zona de menor profundidad comprendida entre el borde de entrada y la posición de fondeo de la boya.

Siguiendo estos criterios se han seleccionado seis orientaciones (eje de ordenadas) para las mallas de cálculo: W20S, W5S, WNW, NW, N y N25E. Para cada orientación se han preparado cinco mallas, cuya extensión y digitalización espacial (Δx) se adecua al rango de períodos a ensayar de acuerdo con el segundo criterio de preparación de las mallas.

De las figuras 2 hasta la 8 se representan las mallas de cálculo, agrupadas por orientaciones, indicando en la Tabla que acompaña a cada grupo las características principales de cada una: discretización espacial (Δx), profundidad (hborde) en el contorno de entrada, y oleajes propagados.

5. ENSAYOS NUMÉRICOS CON EL MODELO MDSL

Según la metodología de trabajo establecida en el apartado inicial se han realizado ensayos con ondas regulares de períodos comprendidos entre 7 y 10 s, de segundo en segundo, y de 12 a 24 s, con un intervalo de 2 s. Las direcciones de propagación se han limitado a las comprendidas entre 250° y 35° cada 5° , considerando el N como origen de ángulos.



Ensayos MDSL	Malla1	Malla2
T(s)	7 – 10	12, 14, 16
Dir.:	250° – 265°	250° – 265°
Δx (m)	15	27
Prof. BORDE (m) >	–	109 m

FIGURA 2. Mallas orientadas al W20S.

Como resultado de cada ensayo se obtiene la altura de ola y la dirección de propagación en cada uno de los nodos en que se ha discretizado el área de estudio. Dada la variabi-

lidad de la posición de la boya debido al desplazamiento sobre la superficie del agua que origina la longitud de la línea de anclaje así como un posible pequeño error en el posicionamiento en el fondeo de la boya, los coeficientes de transformación de la altura de ola y la dirección de arribada se han promediado en una zona rectangular centrada en la posición de la boya. Estos resultados constituyen las matrices de transferencia y se presentan en el siguiente apartado.

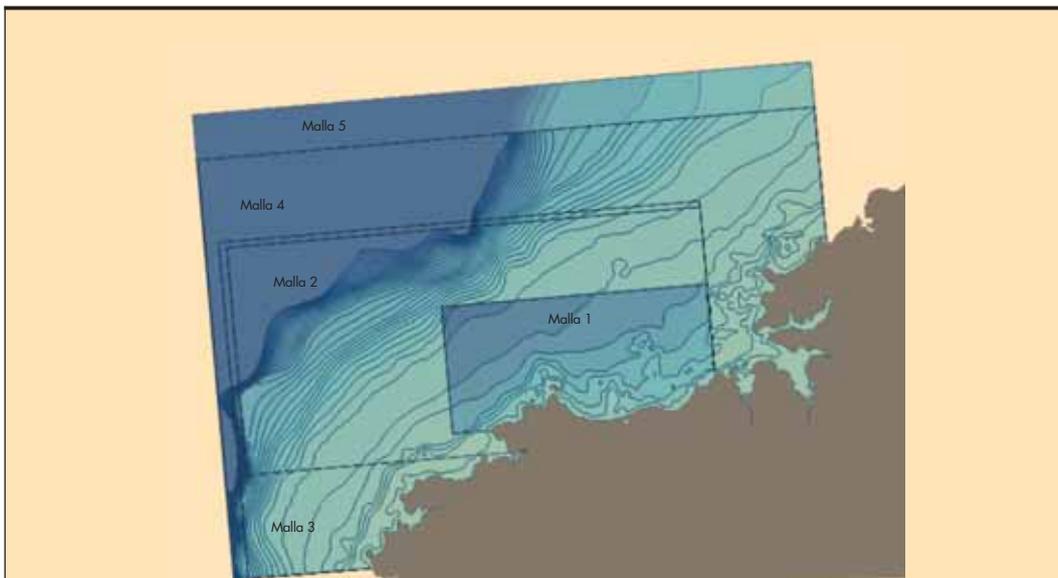
La representación gráfica de los resultados de los ensayos de propagación, se realiza mediante una escala cromática, que visualiza el grado de concentración o atenuación del oleaje en la zona modelada en cada ensayo.

6. VERIFICACIÓN DE LAS PROPAGACIONES

La Subdirección de Investigación e Innovación de Puertos del Estado ha verificado las propagaciones desde aguas abiertas a la posición de fondeo de la boya de Langosteira. Las propagaciones se realizan utilizando como datos en aguas abiertas la información espectral del oleaje registrados por la boya de Villano Sisargas de la Red Exterior y para la propagación las dos matrices de transferencia recogidas en el apartado anterior. La verificación se basa en los siguientes aspectos:

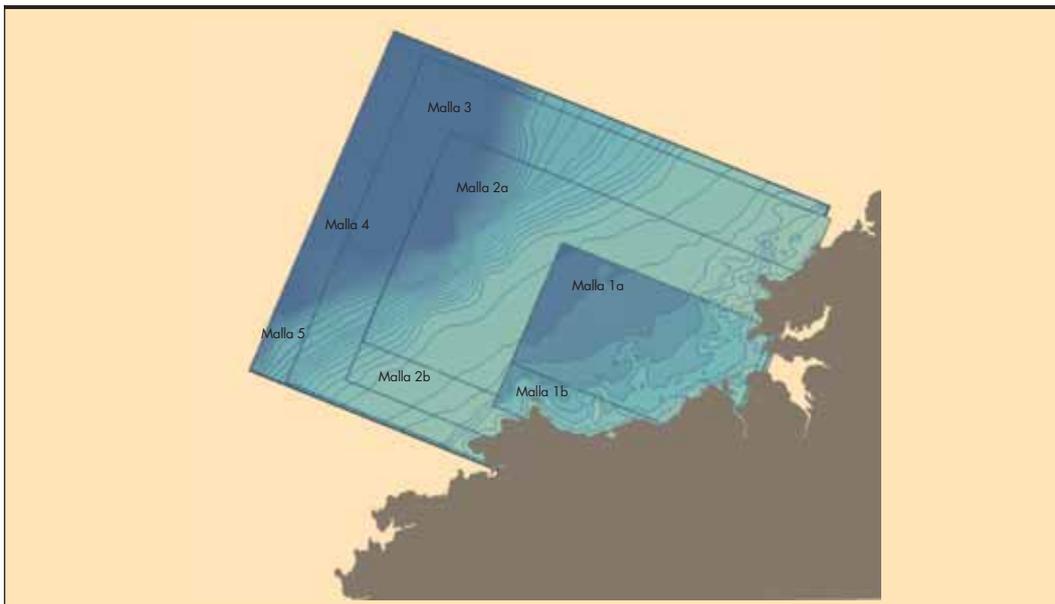
6.1. DIAGRAMAS DE DISPERSIÓN DE LA ALTURA SIGNIFICANTE H_m0

Los diagramas de dispersión de la altura significativa de la boya exterior –boya costera y de los resultados de propagación– boya costera, se muestran en la Figura 9. En estas gráficas se utiliza una escala de colores para mostrar la dirección de procedencia del oleaje en la boya exterior.



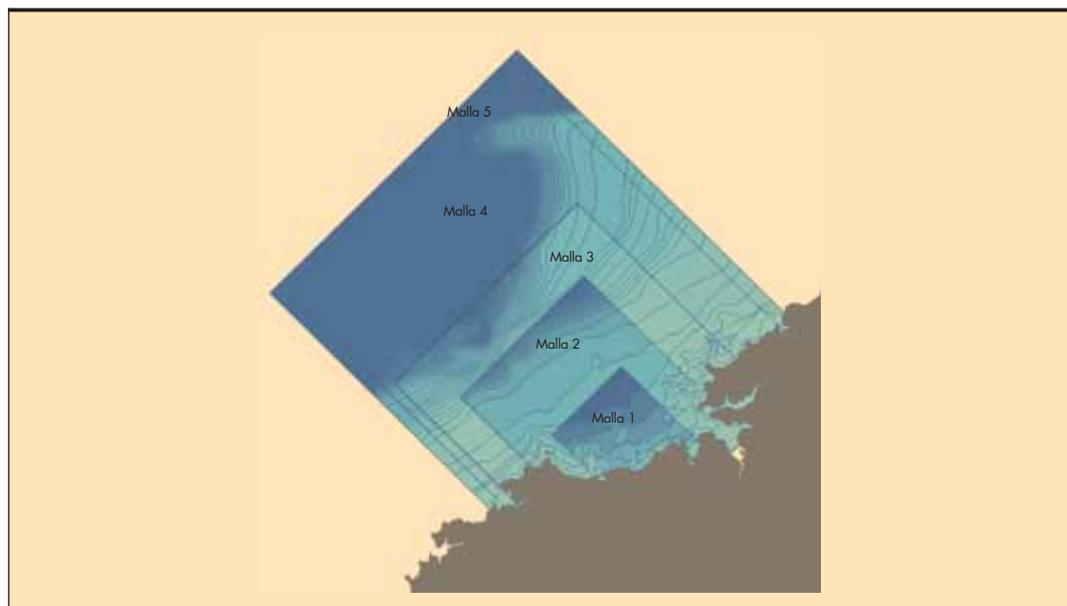
Ensayos MDSL	Malla1	Malla 2	Malla 3	Malla 4	Malla 5
T(s)	7 – 10	12, 14, 16	18, 20	22	24
Dir.:	265° – 315°	265° – 315°	250° – 315°	250° – 315°	250° – 315°
Δx (m)	15	27	40	50	57
Prof. BORDE (m) >	109	460	338	514	562

FIGURA 3. Mallas orientadas al W5S.



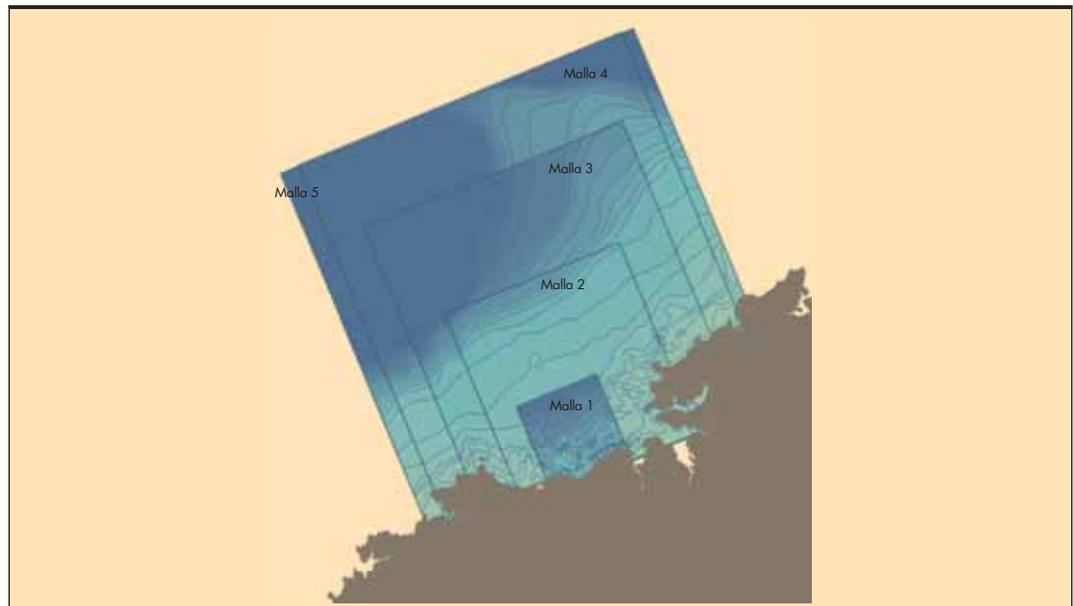
Ensayos	Malla 1a	Malla 1b	Malla 2a	Malla 2b	Malla 3	Malla 4	Malla 5
T(s)	7 – 10	7 – 10	12, 14, 16	12,14,16	18, 20	22	24
Dir.:	280° – 300°	305° – 315°	280° – 305°	310° – 315°	280° – 315°	280° – 315°	280° – 315°
Δx (m)	15	15	27	27	40	50	57
Prof. B (m) >	71	125	217	303	372	552	544

FIGURA 4. Mallas orientadas al WNW.



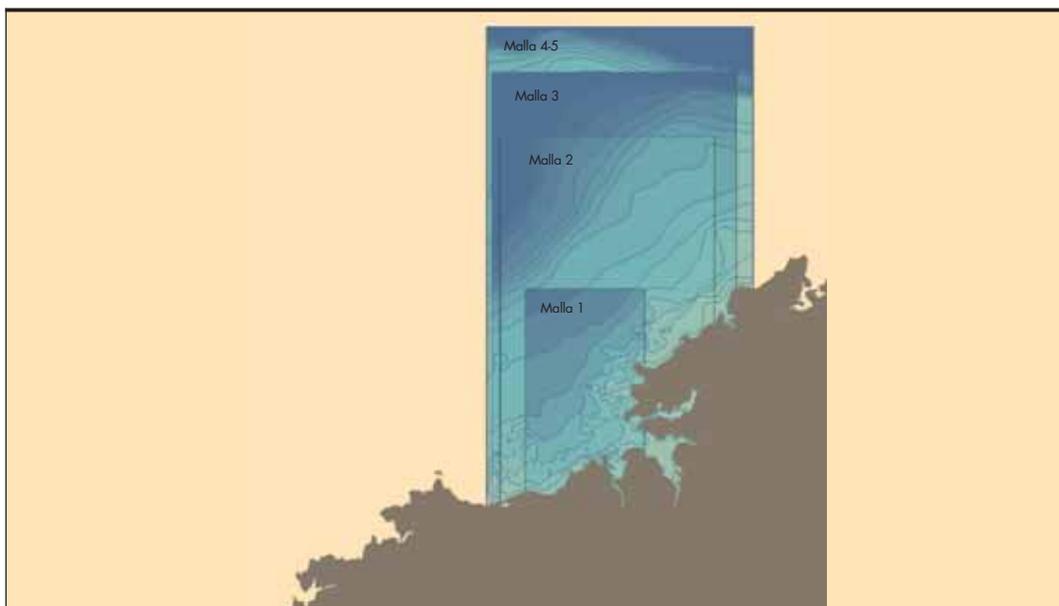
Ensayos	Malla 1	Malla 2a	Malla 3	Malla 4	Malla 5
T(s)	7 – 10	12, 14, 16	18,20	22	24
Dir.:	305° – 325°	305° – 325°	305° – 325°	305° – 325°	305° – 325°
Δx (m)	15	27	40	50	57
Prof. B (m) >	100	247	450	1000	1000

FIGURA 5. Mallas orientadas al NW.



Ensayos MDSL	Malla 1	Malla 2a	Malla 3	Malla 4	Malla 5
T(s)	7 – 10	12, 14, 16	18, 20	22	24
Dir.:	320° – 360°	320° – 360°	320° – 360°	320° – 360°	320° – 360°
Δx (m)	15	27	40	50	57
Prof. BORDE (m) >	134	210	346	556	538

FIGURA 6. Mallas orientadas al NNW.



Ensayos MDSL	Malla 1	Malla 2	Malla 3	Malla 4	Malla 5
T(s)	7 – 10	12, 14, 16	18, 20	22	24
Dir.:	0° – 5°	0° – 5°	0° – 5°	0° – 5°	0° – 5°
Δx (m)	15	27	40	50	57
Prof. BORDE (m) >	133	197	371	730	730

FIGURA 7. Mallas orientadas al N.

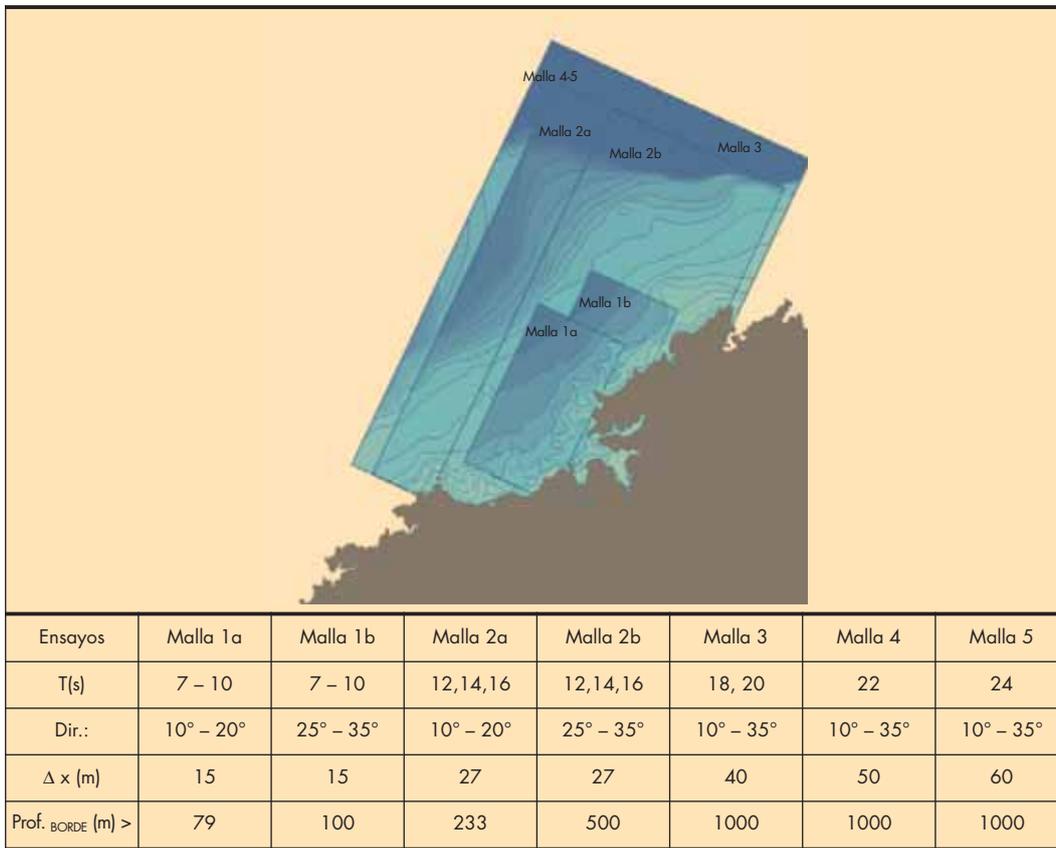


FIGURA 8. Mallas orientadas al N25E.

En la primera gráfica se aprecia como se transforma el oleaje desde aguas abiertas hasta la posición de fondeo de la boya de Langosteira. Se puede ver como los puntos en tonos anaranjados (oleaje proveniente del cuadrante NW) se sitúan cerca de la dia-

gonal, indicando que la transformación que experimenta el oleaje es leve. Los puntos verdes (oleajes del SW) y azules (oleajes del NE) indican por su situación claramente por encima de la diagonal como el oleaje sufre una atenuación más severa por efecto de

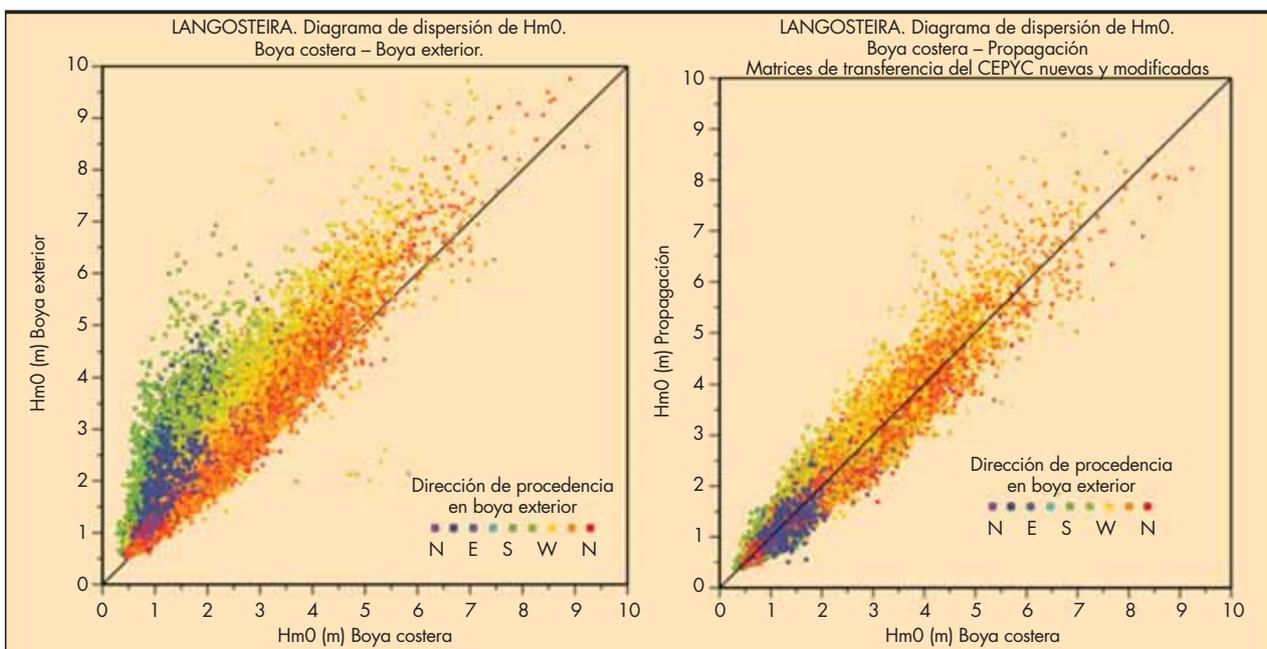


FIGURA 9. Diagramas de dispersión de las alturas significantes.

la batimetría. En la segunda gráfica se aprecia si las matrices realizan de forma correcta la transformación. Se puede observar como los puntos de los diferentes colores se sitúan muy próximos a la diagonal de la gráfica indicando que los oleajes provenientes de todos los cuadrantes se atenúan de manera muy correcta en la transformación inducida por las matrices empleadas.

6.2. RESULTADOS ESTADÍSTICOS

Los resultados estadísticos de la comparación de las alturas significantes del oleaje en las boyas exterior (Be) y costera (Bc) por un lado, y la boya costera (Bc) y los valores propagados con las matrices de transformación (Pr) por otro se presentan en la Tabla 2.

Dicha tabla contienen la siguiente información establecida para el conjunto de los datos (sector completo) y para sectores de 30° de amplitud: N indica el número de datos considerados en la correlación, \bar{X} es la media de la serie, bias es la diferencia entre las medias de las dos series, RMSE es el error cuadrático medio que se calcula mediante la expresión:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Y_i - X_i)^2}$$

donde N es el número de datos de las series X, Y correlacionadas. Las variables m y b corresponden a la pendiente y a la ordenada en el origen de la recta que resulta de una regresión lineal entre dos variables.

IC es el índice de correlación que se obtiene mediante la expresión:

$$IC = \frac{E[XY] - E[X]E[Y]}{\sqrt{\{E[X^2] - E[X]^2\}\{E[Y^2] - E[Y]^2\}}}$$

El índice de correlación puede tener valores entre 0 y 1 y da una idea de la semejanza en la tendencia de las dos series. Finalmente, el índice de dispersión SI se define mediante la expresión:

$$SI = \frac{RMSE}{\sum_{i=1}^N |X_i|}$$

Los resultados estadísticos entre la información propagada (Pr) y la boya costera (Bc) muestran unos valores muy buenos, con un índice de correlación de 0.96 para el total de los datos, un índice de dispersión de 0.15 y una pendiente igual a 0.99. Estos valores demuestran la gran similitud entre ambos conjuntos de datos.

6.3. DIAGRAMAS DE DISTRIBUCIÓN Hm0 - DmD (ALTURAS SIGNIFICANTES - DIRECCIÓN MEDIA) DE LAS DOS BOYAS Y DE LA INFORMACIÓN PROPAGADA

Dado que la boya de Langosteira es direccional se han podido realizar las siguientes gráficas (Fig. 10) que permiten verificar las matrices de transferencia en términos de direcciones.

SECTOR/ NUM. DATOS	X - Y	X (Bc)	Y(Be/Pr)	IC	m	b	RMSE	Bias	SI
SECTOR COMP. N = 32238	Bc - Be	1.801	2.358	0.886	1.05	0.468	0.773	0.557	0.429
	Bc - Pr.	1.801	1.856	0.961	0.993	0.067	0.285	0.054	0.158
SECTOR 0 - 30 N = 3701	Bc - Be	1.507	1.982	0.93	1.122	0.291	0.556	0.475	0.369
	Bc - Pr.	1.507	1.521	0.95	0.937	0.109	0.198	0.014	0.131
SECTOR 30 - 60 N = 3582	Bc - Be	1.322	2.298	0.773	1.372	0.484	1.091	0.976	0.825
	Bc - Pr.	1.322	1.353	0.862	0.846	0.235	0.216	0.031	0.164
SECTOR 60 - 90 N = 180	Bc - Be	1.194	2.841	0.717	1.72	0.788	1.715	1.648	1.437
	Bc - Pr.	1.194	1.236	0.489	0.467	0.679	0.262	0.042	0.22
SECTOR 180 - 210 N = 56	Bc - Be	0.763	2.564	0.78	4.08	-0.549	2.148	1.801	2.816
	Bc - Pr.	0.763	0.904	0.66	0.916	0.206	0.307	0.141	0.402
SECTOR 210 - 240 N = 730	Bc - Be	1.009	2.451	0.782	1.851	0.584	1.628	1.442	1.614
	Bc - Pr.	1.009	1.085	0.894	0.816	0.263	0.213	0.077	0.211
SECTOR 240 - 270 N = 2640	Bc - Be	1.555	2.632	0.849	1.347	0.537	1.25	1.076	0.804
	Bc - Pr.	1.555	1.672	0.921	0.904	0.266	0.301	0.117	0.194
SECTOR 270 - 300 N = 6611	Bc - Be	1.985	2.603	0.945	1.215	0.192	0.796	0.618	0.401
	Bc - Pr.	1.985	2.091	0.958	1.017	0.072	0.339	0.106	0.171
SECTOR 300 - 330 N = 9048	Bc - Be	2.094	2.4	0.966	1.089	0.119	0.463	0.306	0.221
	Bc - Pr.	2.094	2.148	0.965	1.016	0.021	0.32	0.054	0.153
SECTOR 330 - 360 N = 5685	Bc - Be	1.863	2.136	0.963	1.05	0.181	0.392	0.273	0.211
	Bc - Pr.	1.863	1.866	0.967	0.949	0.097	0.241	0.002	0.129

TABLA 2. Resultados de la comparación de la boya de Villano-Sisargas con la boya Langosteira y de los datos propagados con la boya de Langosteira. Bc = Boya de Langosteira; Be = Boya de Villano Sisargas; Pr = valores propagados.

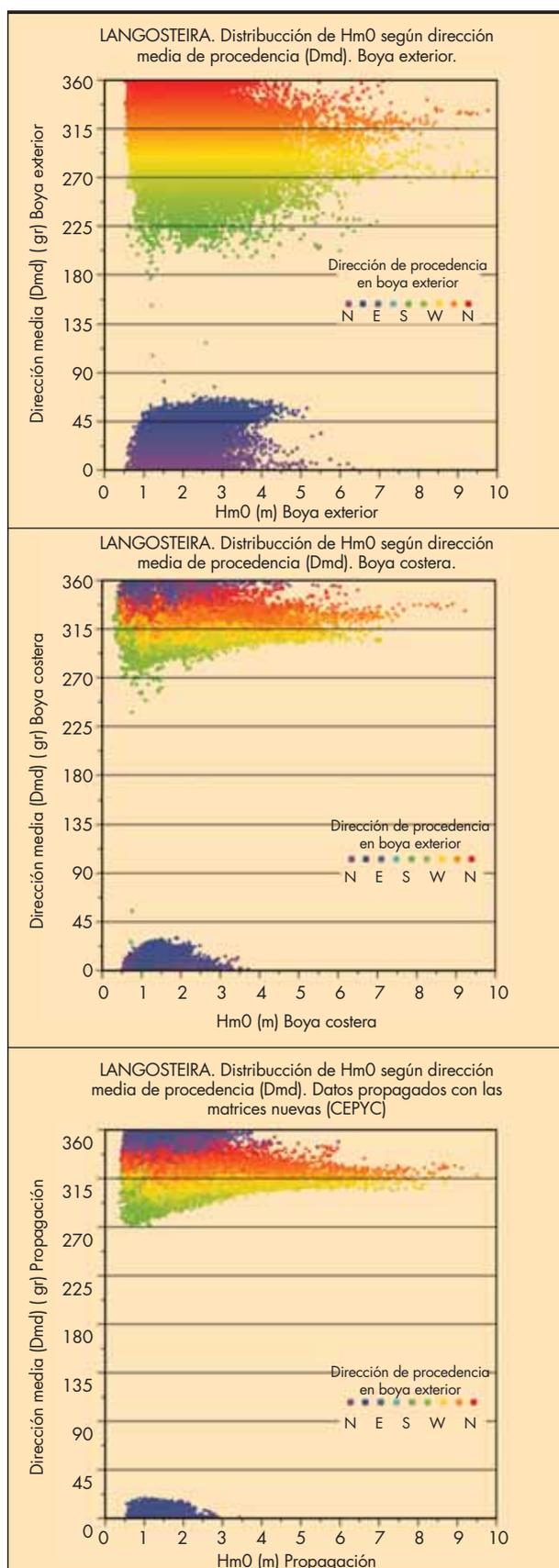


FIGURA 10. Diagramas de distribución de las alturas significantes según la dirección media.

Las gráficas muestran, para cada fuente de información, la distribución de la altura significativa según la dirección media del oleaje. Los colores indican en todas ellas la dirección de procedencia en aguas abiertas (boya exterior). La primera corresponde a la boya exterior, y las dos siguientes a la boyas costera y a los datos propagados. Se puede comprobar como estas dos últimas coinciden bastante bien.

6.4. DIAGRAMAS DE DISPERSIÓN DE LAS DIRECCIONES MEDIAS DE LA INFORMACIÓN PROPAGADA Y DE LA BOYA COSTERA

Por último, se muestran los diagramas de dispersión de la dirección media entre las dos boyas y la información propagada con la boya costera (Fig. 11). Se observa como en el diagrama correspondiente a propagación-boya costera, los puntos se sitúan muy cerca de la diagonal indicando la correcta transformación inducida por las matrices.

7. CONCLUSIONES

Los resultados presentados en este trabajo, así como los obtenidos en otros emplazamientos de medida de la red costera de Puertos del Estado con otros modelos lineales de propagación de ondas, ponen de manifiesto la validez, aun con limitaciones, de éstos modelos para la transferencia punto a punto del oleaje registrado, u obtenido con modelo de generación de oleaje (WAM), en alta mar, a las proximidades de costa, justo antes de la zona de rompientes, donde los procesos no lineales asociados a la propagación de ondas comienzan a adquirir relevancia.

El posterior anidamiento con otro tipo de modelos más sofisticados, modelos tipo Boussinesq, permitirá monitorizar en tiempo real e incluso predecir, de forma realista, la agitación en el interior de un Puerto, la formación de energía de baja frecuencia, su efecto resonante en el interior de áreas abrigadas, la formación de ondas de orilla, el transporte de sedimentos, etc....

A más largo plazo, la respuesta estructural de las obras de abrigo con base al temporal predicho (modelo WAM), o registrado (red de aguas profundas de PE, o medidas de satélites), en mar profunda será una herramienta de uso habitual en la ingeniería marítima.

8. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Berkhoff, J.C.W., Booy, N., Raddde, A.C., 1982, Verification of Numerical Wave Propagation Model for Simple Harmonic Linear Water Waves.
- [2] Grassa, J.M., 1999, Descripción del modelo MDSL. CEDEX.
- [3] Aberturas Ajenjo, P., y Martín S., M^º Jesús 2004, "Estudio de Transferencia de Información de Oleaje y redundancias Informativas entre la Red Exterior y la Red Costera. Zona Gallega, Puntos Coruña y Langosteira" Clave CEDEX 24-404-9-154.
- [4] Alfonso, Marta, 2005. "Verificación estadística del sistema de propagación desde las boyas de la red exterior de Puertos del Estado. Periodo: Enero 1999 – Diciembre 2002. Informe técnico de Puertos del Estado.
- [5] Álvarez, E., Gómez, M., Carretero, J.C., Vega, P. y Rivero, F. (1997). Acoplamiento de dos modelos espectrales de oleaje en el marco de un sistema de previsión. Libro de ponencias de las cuartas Jornadas españolas de ingeniería de puertos y costas, Cádiz. Vol 1. pp. 61-75.

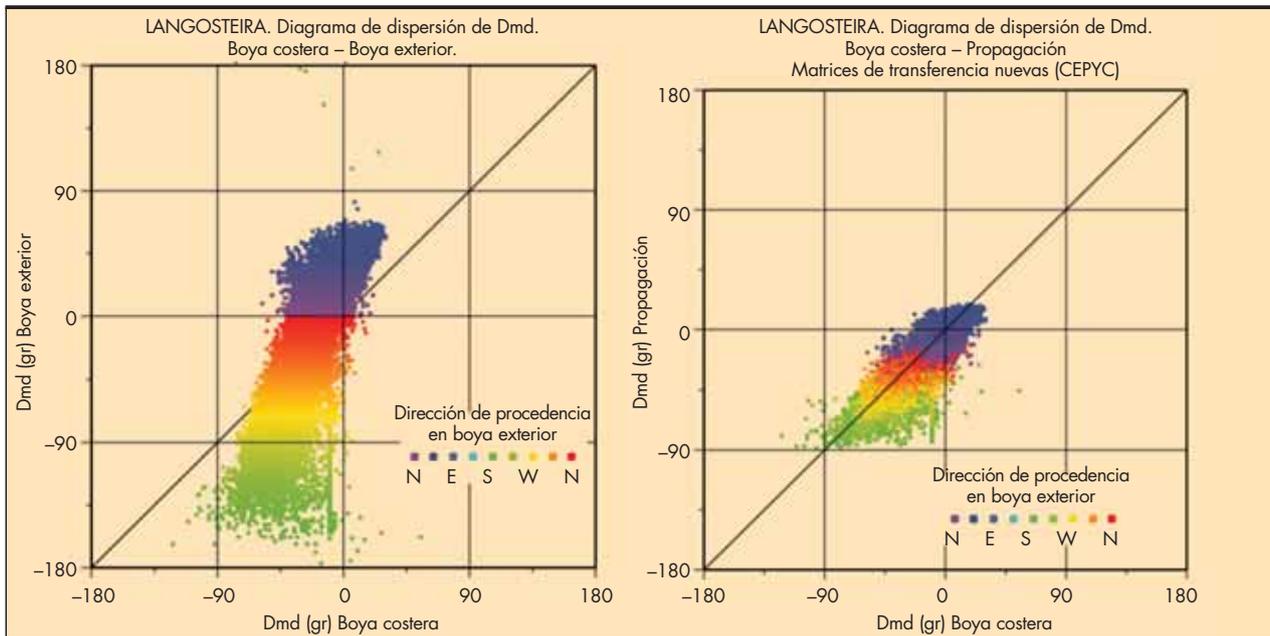


FIGURA 11. Diagramas de dispersión de la dirección media.

[6] WAMDI group (1988). The WAM model- a third generation ocean wave propagation model. JPO, 18, pp. 1775-1810.

[7] Mitsuyasu, H. et al. (1975). Observations of the directional spectrum of ocean waves using a cloverleaf buoy. Journal of Geophysical Oceanography, Vol. 4, pp. 750-760.



DE KON

TÉCNICAS DE CIMENTACIÓN, S.L.

c/ Sant Gervasi de Cassoles, 33-35, bajos • 08022 Barcelona

Tel: +34 934 186 005 • Fax: +34 932 111 729

e-mail: dekon@dekon.es • <http://www.dekon.es>

Muros Pantalla
Anclajes
Pilotes
Micropilotes
Inyecciones y recalces

Descripción del “Anuario de Aforos 2005-2006. Confederaciones Hidrográficas” y tratamiento de los datos

MIRTA DIMAS SÚAREZ (*), M^a ÁNGELES BEJARANO VINAGRE (**), ARMANDO ESPINA ARGÜELLO (***), LUIS QUINTAS RIPOLL (****), SARA MARTÍNEZ GARCÍA (*****), FERNANDO PASTOR ARGÜELLO (*****)

RESUMEN El *Anuario de Aforos 2005-2006. Confederaciones Hidrográficas* se trata de una publicación oficial de la Dirección General del Agua (DGA) del Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino. Con esta publicación la DGA cumple con sus obligaciones de recopilación y difusión de los datos hidrológicos de la “Red Oficial de Estaciones de Aforo” (ROEA) y los pone a disposición de los usuarios. Este Anuario incorpora la información desde el inicio de medidas de las estaciones hasta el año hidrológico 2005-06 y presenta junto al Anuario en papel una aplicación en formato digital que facilita a los usuarios la consulta, selección y exportación de datos.

“ANUARIO DE AFOROS 2005-2006. CONFEDERACIONES HIDROGRÁFICAS” DESCRIPTION AND TREATMENT OF DATA

ABSTRACT *Gauged Flows Yearbook 2005-2006 is an official publication of the General Directorate for Water (DGA) of the Ministry of the Environment and Rural and Marine Affairs. Through this publication, the DGA carries out its responsibility of general filing and publicising of hydrological data of the Official Network of Gauging Stations (ROEA), and makes them available to users. This Yearbook includes data since the beginning of flow measurement networks updated to the hydrological year 2005-2006 and also presents, together with this document, a digital application that will allow users to query, select and export data easily.*

Palabras clave: Anuario de Aforos, Confederaciones Hidrográficas, Red Oficial de Estaciones de Aforo (ROEA), HIDRO.

Keywords: Gauged Flows Yearbook, River Basin Authorities, Official Network of Gauging Stations (ROEA), HIDRO.

1. INTRODUCCIÓN

Los Anuarios de Aforos son una publicación oficial de la Dirección General del Agua (DGA) del Ministerio de Medio

Ambiente, y Medio Rural y Marino, responsable del archivo general y la difusión de datos hidrológicos de la “Red Oficial de Estaciones de Aforo” (ROEA) suministrados por las Confederaciones Hidrográficas que tienen a su cargo la operación y mantenimiento de estas redes de medida. Los datos que proporcionan los Anuarios de Aforos consisten en datos de nivel y caudal en puntos seleccionados de los ríos, complementada con los datos de embalses, conducciones y estaciones evaporimétricas asociadas a los embalses.

El Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX) viene prestando colaboración técnica a la Dirección General del Agua para desarrollar estas tareas, entre las que cabe destacar la recopilación de la información foronómica suministrada por los distintos Organismos de cuenca a través de la DGA, tratamiento para la detección de posibles erratas o falta de concordancia en los datos (que se someten a la aprobación de los distintos Organismos de cuenca), incorporación y almacenamiento en una base de datos (HIDRO) y su posterior publicación en forma de anuarios.

(*) Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos. Directora de Programa del Área de Recursos Hídricos. Centro de Estudios Hidrográficos. CEDEX.

(**) Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos. Jefa del Área de Presupuestos. Ministerio de Fomento.

(***) Ingeniero Técnico de Obras Públicas. Jefe Sección Técnica del Área de Recursos Hídricos. Centro de Estudios Hidrográficos. CEDEX.

(****) Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Coordinador Técnico del Programa de Ingeniería de Sistemas. Centro de Estudios Hidrográficos. CEDEX.

(*****) Ingeniera de Montes. Becaria del Área de Recursos Hídricos. Centro de Estudios Hidrográficos. CEDEX.

(*****) Licenciado en Ciencias Físicas e Ingeniero Técnico de Obras Públicas. Jefe del Servicio de Recursos Hídricos. Subdirección General de Planificación y Uso Sostenible del Agua. Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino.

La publicación de Anuarios se remonta al año 1912 y ha continuado (salvo el decenio 1932-1942) hasta el año hidrológico 1994-95, momento en que se interrumpe por diversas causas. En el año 2007 se decide retomar la publicación de los anuarios con un formato distinto a como se venía haciendo, aprovechando las nuevas tecnologías y de forma conjunta para las nueve Confederaciones Hidrográficas (Miño-Sil, Cantábrico, Duero, Tajo, Guadiana, Guadalquivir, Segura, Júcar y Ebro). Como resultado se publica en 2008 el *Anuario de Aforos 2005-2006. Confederaciones Hidrográficas* y el *Anuario de Aforos Digital 2005-2006. Confederaciones Hidrográficas*, que ha supuesto un gran esfuerzo de actualización de la información por parte de los Organismos implicados.

Junto al Anuario de Aforos en papel, que incluye como novedad los datos en forma de fichas con las características descriptivas de las estaciones, extraídas del Inventario de Estaciones de Aforo realizado por la DGA, y los datos en forma de gráficas y tablas para toda la historia de la estación hasta el año hidrológico 2005-06, se diseña una aplicación en Access que permite la consulta, selección y exportación de todos los datos de la ROEA, desde el inicio de medidas de la estación hasta la actualidad y para todas las estaciones tanto en servicio como interrumpidas temporalmente o históricas. Esta aplicación permite, de esta manera, resolver las necesidades por parte de los usuarios de poder acceder de forma sencilla a todos los datos de la ROEA desde el inicio de medidas, conocer periodos concretos de los aforos para estaciones determinadas y poder exportar los datos a formatos como Excel o ficheros de texto plano.

La publicación de este Anuario pretende iniciar un periodo de continuidad en la publicación de los Anuarios que se irán actualizando de forma anual y podrán incluir modificaciones a datos ya publicados por los procesos de revisión y validación que se realicen en las Confederaciones Hidrográficas y se comuniquen a la DGA.

2. TRATAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

La información que recibe el CEDEX de las distintas Confederaciones Hidrográficas a través de la DGA, una vez se unifican los formatos, se somete a análisis para detectar posibles erratas o inconsistencias en los datos. Estas incidencias se remiten a las Confederaciones a través de la DGA para poner en conocimiento de ambos. Una vez resueltas las incidencias por parte de los responsables de la toma del dato, se corrige la información y se incorpora a la base de datos hidrológicos HIDRO del CEDEX (Quintas, L., 1996) con lo que la información queda lista para su publicación.

La base de datos HIDRO permite el tratamiento de los datos a través de sus programas así como facilitar el almacenamiento, recopilación, publicación y difusión de la información. La base HIDRO ha sido fundamental tanto para la elaboración de las fichas de datos del Anuario como para la elaboración del Anuario Digital que se trata de un reflejo de los datos almacenados en HIDRO.

Las correcciones realizadas a los datos consisten, de forma generalizada, en detectar datos aislados erróneos que se puedan encontrar fuera del orden de magnitud. De forma específica y para las estaciones de aforo en río se analiza que no haya datos de caudal máximo instantáneo inferiores al caudal máximo medio diario. En el caso de embalses se comprueba que no exista duplicidad en los datos, se analiza que la reserva sea inferior a la capacidad total de embalse y se intentan detectar discrepancias en los datos de reserva y caudal de salida del embalse mediante el balance diario. Fi-

nalmente con los datos de las estaciones de aforo, embalses y canales se realiza un análisis en cadena para comprobar que el caudal aguas abajo sea superior al de aguas arriba, teniendo en cuenta el régimen alterado y los datos de los que se dispone.

Junto a estas correcciones se realizan otros trabajos de tratamiento de datos, como por ejemplo, se elaboran las curvas de gasto y se traducen los niveles a caudal para algunas estaciones de aforo en río de las Confederaciones Hidrográficas del Miño-Sil y Cantábrico, y, por otro lado, se calculan los datos mensuales y anuales a partir de los datos diarios y en el caso de embalses se calculan las entradas mensuales por balance entre las variaciones del volumen y los caudales de salida sin tener en cuenta la evaporación ni las pérdidas al carecerse habitualmente de estos datos.

Otros trabajos que se han venido realizando son los de completado y recuperación de datos históricos. Entre ellos destaca la recuperación de caudales mensuales en estaciones de aforo en río para el periodo 1932-1942, el completado de caudales máximos con trabajos de relleno de lagunas de anuarios anteriores a 1965/66, a partir de los trabajos de completado elaborados en su día por el equipo de técnicos de la Dirección General de Obras Hidráulicas dirigido por D. Antonio López Bustos, el completado de datos mensuales de embalses para el periodo 1943-1958, el rescate de valores altos por la existencia de una gran crecida, la inclusión de caudales máximos de series incompletas, y la recuperación de datos históricos disponibles en Comisaría que no se habían incluido en la base de datos HIDRO.

3. DESCRIPCIÓN DEL ANUARIO DE AFOROS 2005-2006

3.1. ANUARIO DE AFOROS EN PAPEL

El Anuario de Aforos 2005-2006 contiene información de datos medios diarios de nivel y caudal en las estaciones de aforo en ríos y canales, completada con los máximos instantáneos en el mes. Para los embalses incluye los datos diarios de reserva o volumen embalsado y el caudal medio de salida del embalse (referido a todas las salidas del embalse, es decir, vertidos por los aliviaderos y los desagües, tomas de canales y derivaciones). Además el Anuario incluye los datos mensuales de evaporación y otras magnitudes meteorológicas relacionadas con ese fenómeno atmosférico, como son temperatura, humedad relativa, viento y precipitación, en las estaciones evaporimétricas situadas en embalses o en sus proximidades. El resto de datos se derivan de los datos diarios básicos: caudales medios mensuales o anuales, el máximo caudal medio diario del mes o del año, el mínimo caudal medio diario del mes o del año, las reservas de embalse mensuales que corresponden a la lectura de final de mes o principio del mes siguiente y las entradas medias mensuales al embalse que se han deducido del balance.

Los datos más antiguos en el Anuario corresponden a 1912 para el caso de datos diarios de las estaciones de aforo en río, para las estaciones de aforo en las principales conducciones empieza de forma generalizada a partir de 1942, para embalses a partir de 1958 y para estaciones evaporimétricas aunque comienzan los datos en 1965 para algunas estaciones de la Confederación Hidrográfica del Tajo, el aumento generalizado en el número de estaciones se produce a partir de 1968.

El documento publicado contiene una breve descripción del comportamiento hidrológico nacional y por cuenca en el año hidrológico 2005-06, tomado del *Informe de balance del año hidrológico 2005-06* (DGA-MMA, 2007) y de los *Informes trimestrales sobre el estado hidrológico de las cuencas*

FIGURA 1. Evolución de las estaciones de aforo en río en servicio desde el inicio hasta el año hidrológico 2005-2006 tomada del Anuario de Aforos.



en España del año hidrológico 2005-06 (DGA-MMA, 2006), que se completa con una breve descripción del episodio más destacado de las avenidas acontecidas en cada cuenca. También incluye una breve descripción de la red de las estaciones de medida perteneciente a la ROEA y su evolución en el tiempo, así en la Figura 1 se muestra la evolución de las estaciones de aforo en río en servicio desde el inicio de medidas hasta la actualidad. Y, por último, se presentan los datos que se acompañan de una breve descripción sobre el contenido y presentación de la información.

Los datos en el Anuario se presentan individualmente para cada Confederación Hidrográfica, e incluyen, en primer lugar, un mapa con la localización (Figura 2) de las estaciones de aforo en río, embalses, estaciones de aforo en canal y estaciones evaporimétricas, tanto en servicio en el año 2005-06 como históricas. En segundo lugar, se presenta para cada tipo de estación de aforo, sea en río, embalse, en canal o evaporimétrica, el listado (Tabla 1) de todas las estaciones históricas (que han existido y ahora están de baja) y las que están de alta con datos en el año hidrológico 2005-06 y de alta sin datos por estar fuera de servicio de forma temporal o por encontrarse los datos en proceso de revisión por parte de las

Confederaciones Hidrográficas. Las tablas se completan con un campo donde se indica el año de inicio y fin de medidas, y otro donde se indica el número de años con datos. Finalmente, se incluyen las fichas informativas para las estaciones que están de alta en el año 2005-06.

Las fichas de estaciones de aforo en río y embalses se componen de dos partes, una parte proporciona información descriptiva de las estaciones de medida, en cuanto a su identificación y tipología, indispensable para la correcta interpretación de los datos medidos, y otra, reproduce la información medida en las estaciones y la presenta en forma de gráficos y tablas para una selección de los datos y estadísticos más representativos de cada tipo de estación de medida. Las fichas de estaciones de aforo en canal y estaciones evaporimétricas contienen, únicamente, la parte correspondiente al resumen de los datos temporales.

Respecto a la parte descriptiva de las estaciones de medida, los datos relativos a la identificación incluyen el estado de la estación (alta o baja), el año de inicio de medidas, los distintos códigos que se utilizan para su identificación, las coordenadas UTM referidas al huso 30 para su localización, el río, la cuenca, el sistema de explo-



FIGURA 2. Mapa de localización de las estaciones de aforo en río de la Confederación Hidrográfica del Júcar del Anuario de Aforos.

ÍNDICE DE ESTACIONES DE AFOROS EN RÍO CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL TAJO AÑO 2005-2006							
CÓDIGO	NOMBRE	RÍO	ALTA	MEDIDAS 2005-06	BAJA	INICIO-FIN DE LECTURAS	AÑOS CON DATOS
3001	PERALEJOS DE LAS TRUCHAS	TAJO	X	X		1945-2006	62
3002	EL PAULAR	LOZOYA	X	X		1966-2006	41
3003	LORANCA DE TAJUÑA	TAJUÑA	X	X		1966-2006	41
3005	TRILLO	TAJO	X	X		1942-2006	73
3006	ENTREPEÑAS	TAJO			X	1942-1986	52
3007	BOLARQUE	TAJO			X	1912-1986	75
3008	ZORITA	TAJO			X	1964-1986	23
3009	ALMOGUERA	TAJO			X	1964-1986	23
3010	AÑOVER	TAJO			X	1935-1936	2
3011	ARANJUEZ	TAJO			X	1912-1985	50
3012	LA PORTUSA	TAJO	X	X		1965-2006	42
3014	TOLEDO	TAJO	X	X		1972-2006	35
3015	TALavera	TAJO			X	1912-1989	73
3016	TORREJÓN-TAJO	TAJO			X	1950-1986	33
3017	VILLARREAL	TAJO			X	1914-1980	54
3019	ALCÁNTARA	TAJO			X	1942-1986	49
3020	FUENSANTA	FUENSANTA			X	1912-1921	10
3021	EL TIEMBLO	ALBERCHE			X	1912-1915	4
3022	ALDEA DEL FRESNO	ALBERCHE			X	1915-1931	17
3023	LA FLAMENCA	TAJO			X	1912-1931	24
3025	ALCOCER	GUADIELA			X	1912-1914	3
3028	ALCÁNTARA	ALAGÓN			X	1914-1931	18
3029	PORTIÑA	TAJO			X	1912-1946	17
3030	VENTOSA	GALLO	X	X		1945-2006	62
3033	SACEDÓN	TAJO			X	1912-1931	24
3040	RINCÓN DEL BERCIAL	TAJO			X	1913-1915	3
3041	ALCANTUD	GUADIELA	X	X		1945-2006	42
3043	BUENDÍA	GUADIELA			X	1912-1986	71
3045	PRIEGO (ESCABAS)	ESCABAS	X	X		1912-2006	65
3050	EL VADO	JARAMA			X	1912-1986	55
3051	ALGETE	JARAMA	X	X		1913-2006	75
3052	MEJORADA DEL CAMPO	JARAMA	X	X		1912-2006	90

TABLA 1. Ejemplo de tabla de estaciones de aforo en río del Anuario de Aforos para la Confederación Hidrográfica del Tajo.

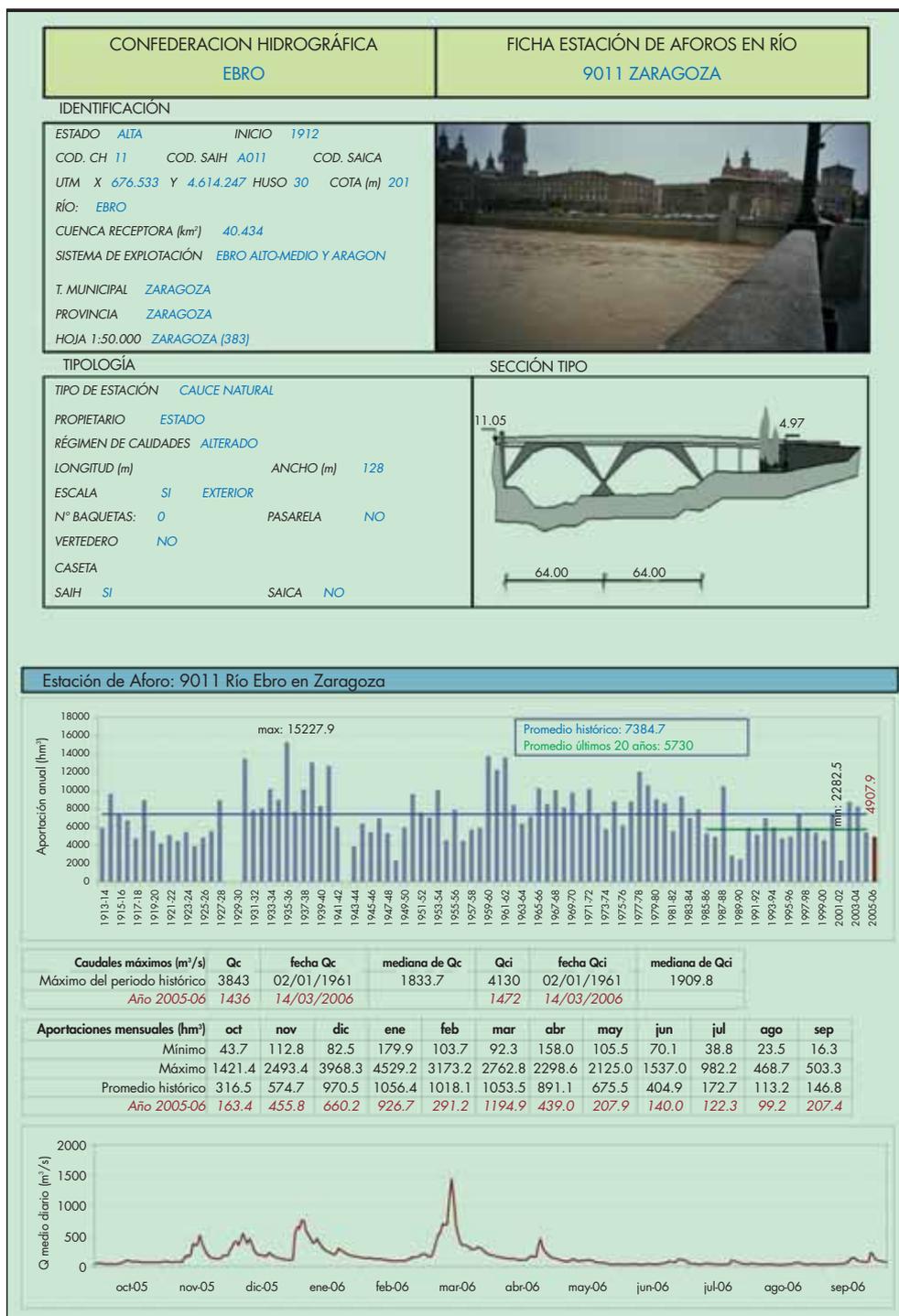


FIGURA 3. Ficha del Anuario de Aforos de las estaciones de aforo en río (Estación 9011 río Ebro en Zaragoza).

tación y, por último, el término municipal, la provincia y la hoja 1:50.000 en la que se encuentra. En cuanto a la tipología de las estaciones de aforo en río (Figura 3) la ficha incluye el tipo de estación, propietario, si se trata de cauce natural o alterado, las dimensiones de la estación (ancho y largo), una descripción de las instalaciones como caseta, pasarela, banquetas, vertedero, y, por último, si tiene sistema de transmisión SAIH o si coincide con una estación SAICA. Con respecto a la tipología de embalses (Figura 4), la ficha incluye el nombre del embalse, propietario, uso del embalse,

tipo de presa, categoría, altura de presa, volumen de embalse, nivel máximo normal y, por último, si tiene transmisión SAIH.

En cuanto a la parte que reproduce la información medida en las estaciones, la información que se presenta abarca el periodo desde el inicio de medidas de la estación hasta el año 2005-06 y se estructura en tres bloques que corresponden al dato anual, mensual y diario. La información para el último año se destaca para poder caracterizarlo dentro de la serie completa de datos.

La ficha de estaciones de aforo en río (Figura 3) incluye, en primer lugar, un gráfico de aportación anual (en hm³) de la serie completa de datos de la estación, con el promedio histórico y el promedio de los últimos 20 años. En segundo lugar incluye una tabla de caudales máximos, en m³/s, con el mayor valor de toda la serie registrada del caudal máximo medio diario (Qc) y la fecha en la que ocurrió, y el caudal máximo instantáneo (Qci) y la fecha en la que ocurrió, acom-

pañados de un valor estadístico representativo de los valores máximos como es la mediana y junto con los caudales máximos (Qc y Qci) y su fecha para el año 2005-06. En tercer lugar incluye una tabla de aportaciones medias mensuales (en hm³) con el mínimo, máximo y promedio de toda la serie histórica y con la del año 2005-06 y, finalmente, un gráfico con la evolución del caudal medio diario (en m³/s) en el año 2005-06.

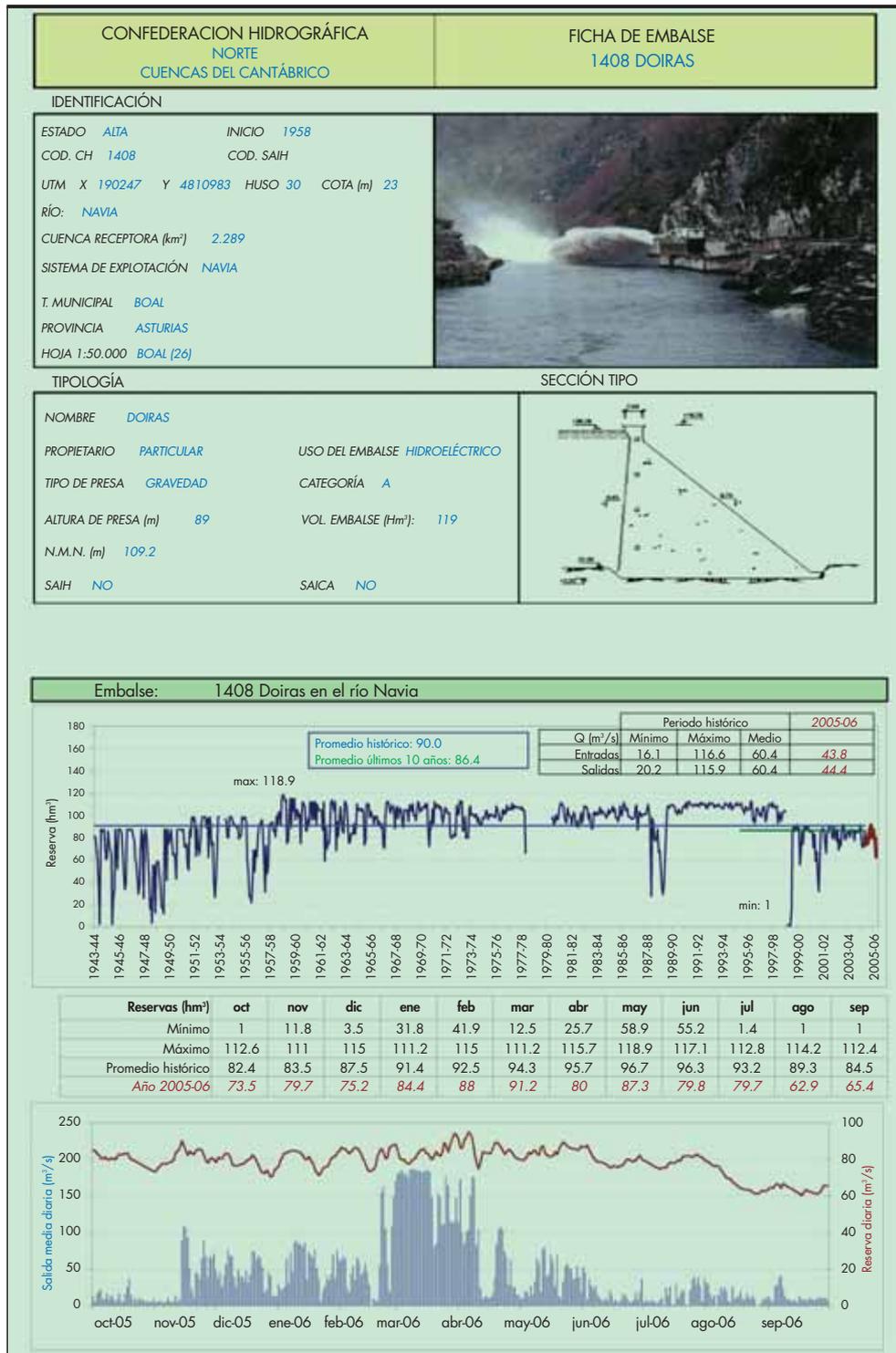


FIGURA 4. Ficha del Anuario de Aforos de embalse (Embalse 1408 Doiras en el río Navia).

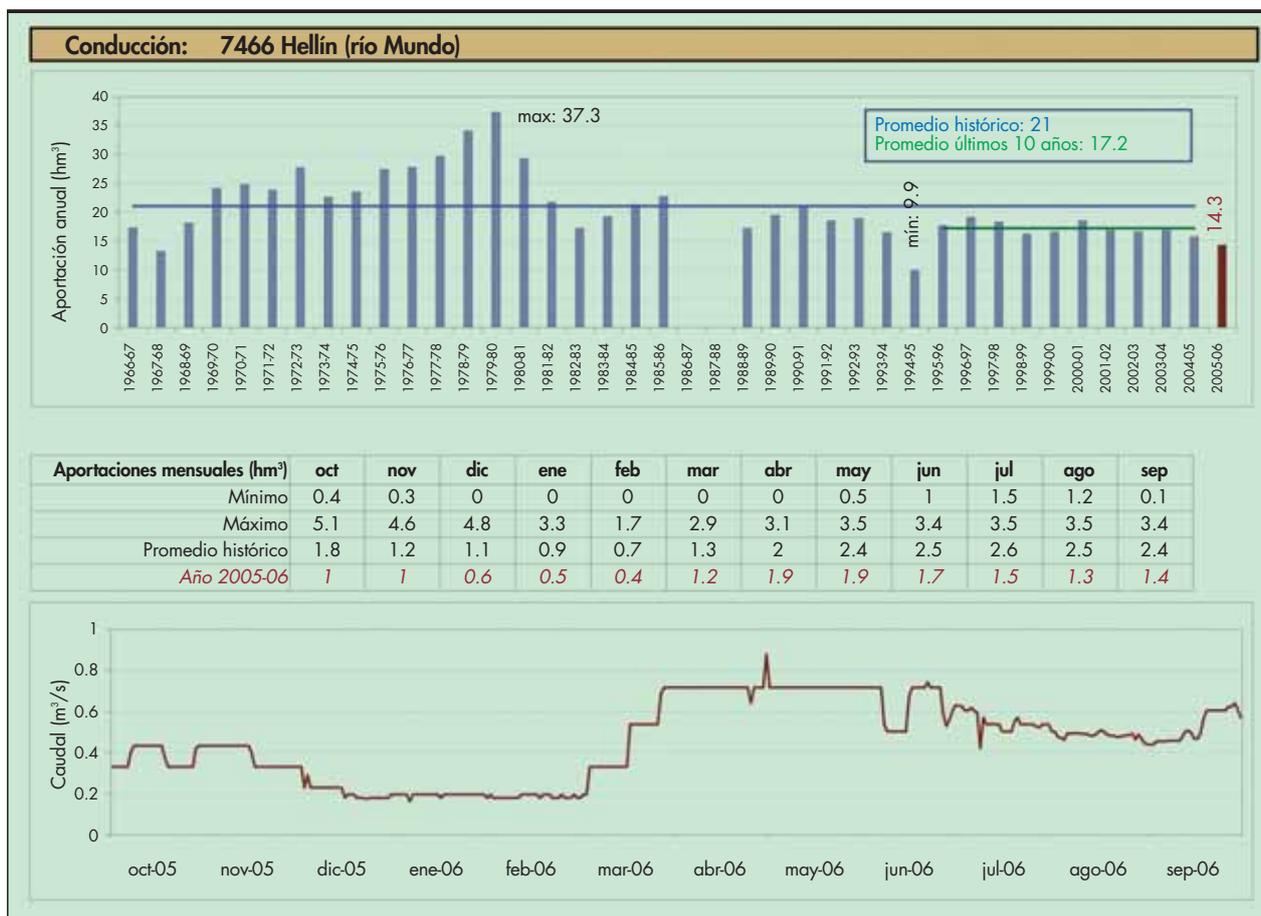


FIGURA 5. Ficha del Anuario de Aforos de estaciones de aforo en canal (Conducción 7466 Hellín).

La ficha de embalses (Figura 4) incluye un gráfico con la evolución de la reserva diaria a final o principio de mes, dependiendo de si la reserva del embalse se mide al final del día o al comienzo del día, desde el inicio de datos del embalse hasta el año 2005-06. En este gráfico se incluye el promedio histórico y el de los últimos 10 años de las reservas y, además, una tabla con los valores mínimos, máximos, medios de los caudales medios anuales (en m^3/s) entrantes y salientes del embalse para el periodo histórico y los caudales medios anuales entrantes y salientes del embalse para el año 2005-06. A continuación se incluye una tabla de reservas en hm^3 , a fin o principio de mes dependiendo del tipo de embalse, con el mínimo, máximo y medio de toda la serie histórica, y la reserva a fin de mes o principio de mes en el año 2005-06. Y, finalmente, el gráfico con la evolución de las reservas diarias (en hm^3) y del caudal medio diario de salida del embalse (en m^3/s) en el año 2005-06.

La ficha de estaciones de aforo en canal (Figura 5) es similar al de estaciones de aforo en río, incluye el gráfico de aportación anual (en hm^3) de toda la serie de datos de la estación hasta el momento actual, con el promedio histórico y el promedio de los últimos 10 años. A continuación, incluye la tabla de aportaciones medias mensuales (en hm^3) con el mínimo, máximo y promedio de toda la serie histórica y con la del año 2005-06. Y, por último, el gráfico con la evolución del caudal medio diario (en m^3/s) en el año 2005-06.

Por último, la ficha de estaciones evaporimétricas (Figura 6) incluye un gráfico con la evolución de la evaporación

mensual medida según sea en Tanque de evaporación clase A o evaporímetro Piché (en $mm/día$) de toda la serie de datos de la estación hasta el año 2005-06.

3.2. ANUARIO DE AFOROS DIGITAL

El Anuario de Aforos en papel se complementa con el Anuario de Aforos Digital que consiste en una copia de las tablas asociadas al Anuario de la base de datos HIDRO sobre una base de datos Access. Para facilitar un acceso más cómodo a los datos almacenados se han diseñado una serie de formularios que permiten la consulta, selección y descarga de la información desde 1912 hasta el año hidrológico 2005-06, para las nueve Confederaciones Hidrográficas tanto de estaciones en servicio como las que han dejado de funcionar definitivamente o las que están interrumpidas temporalmente.

La aplicación comienza con una ventana donde es posible seleccionar la Confederación Hidrográfica que se quiere consultar, para pasar a la selección del tipo de estación de medida (estación de aforo en río o canal, embalse o estación evaporimétrica) y a continuación se entra en la ventana principal de consulta y selección (Figura 7). Esta ventana se estructura en cuatro bloques principales, uno presenta los datos generales de la estación, como el nombre, código, estado y datos generales de localización. En este bloque y en el campo nombre de la estación se puede seleccionar la estación que se desea consultar actualizando automáticamente

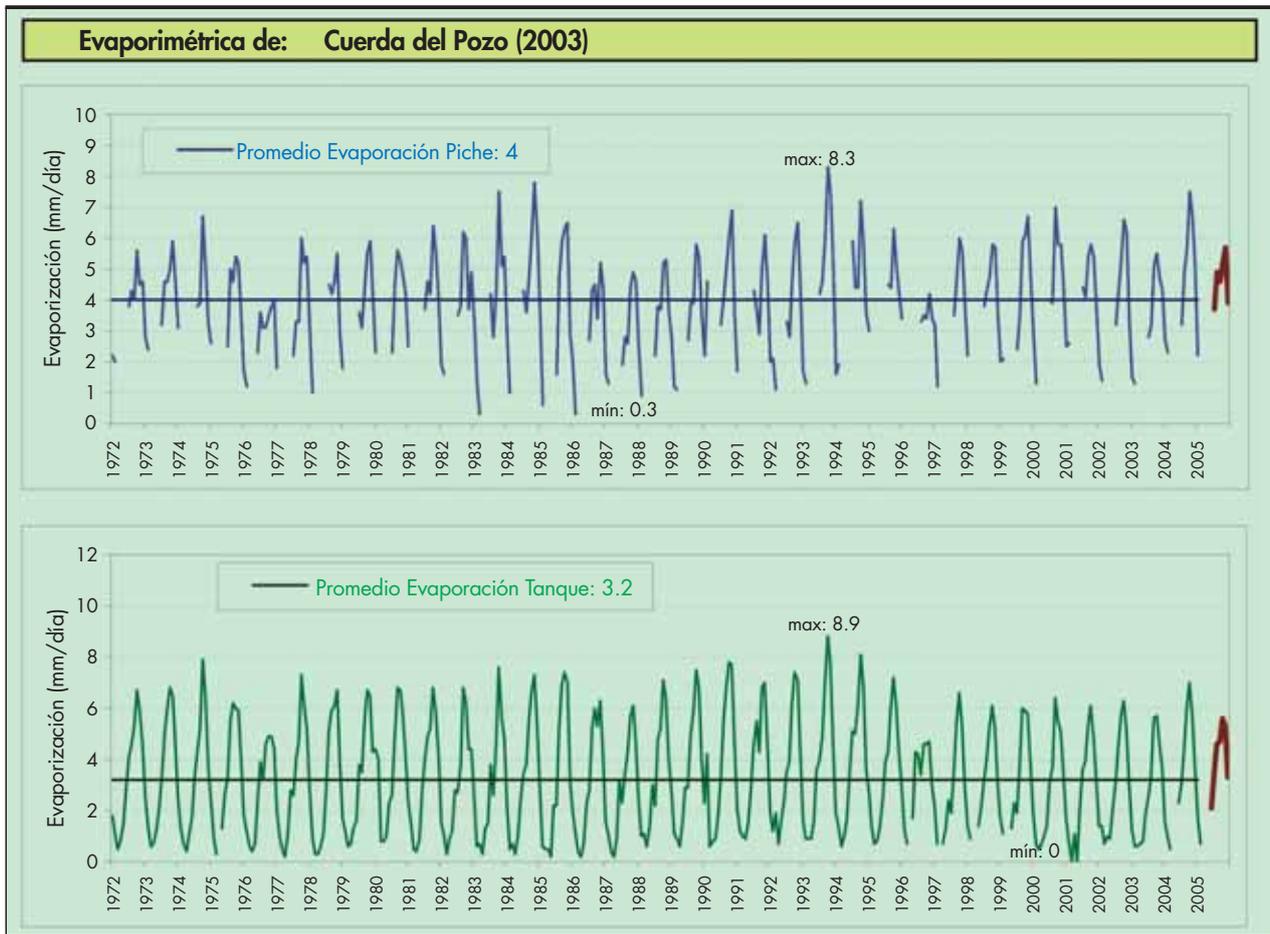


FIGURA 6. Ficha del Anuario de Aforos de las estaciones evaporimétricas (Evaporimétrica 2003 de la Cuerda del Pozo).

Estaciones de aforo en ríos

Datos generales de la estación

Estación	5001	RÍO GUADALQUIVIR EN ARROYO MARIA	
Estado	ALTA		
Superficie aguas arriba (Km2)	583	Superficie del tramo del río (Km2)	54970
Altitud (m)	540	Altitud máxima (m)	2105
autoID	314517	autoID	4225862
RÍO	GUADALQUIVIR		
Hoja 1:50.000	PALMA DEL RÍO		
Cuenca	GUADALQUIVIR		
Municipio	SORHUELA DEL GUADALMAR		
Provincia	JABÍ		
Autonomía	ANDALUCÍA		
Observaciones	DE 2000-01 A 2004-05 MÁXIMOS PENDIENTES DE REVISIÓN		

Estadísticas de caudales de la serie histórica

Número total de años con datos	68
Número de años con datos completos	61
Número de años con datos incompletos	7
Año inicial de la serie	1931
Año fin de la serie	2005

Período seleccionado
Año hidrológico inicial: 1931
Año hidrológico final: 2005

Datos a mostrar
 Datos Diarios
 Datos Mensuales
 Datos Anuales
 Mostrar Nivel
 Mostrar Caudal

ANUARIO DE AFOROS DIGITAL 2005-2006

FIGURA 7. Ventana principal de consulta de las estaciones de aforo en río del Anuario de Aforos Digital.

Datos de caudal medio diario en m³/s para estaciones de aforo en ríos

Estación	Año	Día	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep
5001	1942-1943	12	4.2	4.2	4.5	4.5	3.3	2.1	2.1	7.7	8.6	4.2	2.1	2.1
5001	1942-1943	13	3.3	5.1	4.8	4.5	3.3	2.1	2.1	8.2	8.6	3.9	2.1	2.4
5001	1942-1943	14	5.1	4.8	6.7	4.5	3.3	2.1	2.1	8.2	8.6	4.5	1.8	2.7
5001	1942-1943	15	11.8	4.5	5.9	4.5	3.0	2.1	3.9	8.2	8.6	4.5	1.4	3.0
5001	1942-1943	16	11.8	4.2	4.5	4.8	2.4	2.1	4.5	8.2	8.6	3.0	3.3	3.6
5001	1942-1943	17	12.5	3.9	8.6	4.8	2.4	2.1	4.8	9.1	8.6	1.2	1.8	3.3
5001	1942-1943	18	12.5	3.9	8.6	3.6	2.4	2.4	4.5	9.1	8.2	1.2	1.8	2.4
5001	1942-1943	19	12.5	3.3	8.2	3.6	2.4	2.4	4.8	9.1	7.7	1.4	1.8	2.1
5001	1942-1943	20	13.0	3.3	8.2	3.6	3.3	2.1	5.9	9.1	7.7	1.2	1.8	2.1
5001	1942-1943	21	8.6	3.9	7.7	3.6	3.3	2.1	5.9	9.1	7.7	1.2	1.8	2.1
5001	1942-1943	22	3.3	3.3	6.7	3.9	3.3	2.1	5.9	9.1	7.7	1.5	1.8	2.1
5001	1942-1943	23	3.3	4.5	5.5	3.9	3.3	3.0	5.5	8.6	7.2	1.8	2.7	2.1
5001	1942-1943	24	3.3	5.1	5.5	3.9	3.3	3.9	4.8	8.6	7.2	1.5	2.7	2.1
5001	1942-1943	25	3.3	3.9	5.5	8.6	3.3	2.4	4.2	8.2	7.2	1.5	2.7	2.1
5001	1942-1943	26	3.3	3.9	5.1	8.2	3.3	2.4	4.2	8.2	7.7	1.5	1.8	2.1
5001	1942-1943	27	3.3	3.9	4.8	7.7	3.3	2.4	4.2	8.2	7.7	1.5	1.5	2.1
5001	1942-1943	28	3.9	3.9	4.5	6.7	3.3	2.1	4.5	8.6	7.7	1.5	1.4	2.1

Exportación de datos

Formato pantalla en Ascii Formato pantalla en Excel Formato encolumnado Cerrar ventana

ANUARIO DE AFOROS DIGITAL 2005-2006

FIGURA 8. Tabla de datos resultado de la selección del Anuario de Aforos Digital.

el resto de los datos del bloque. El segundo bloque presenta los datos estadísticos de la serie histórica para la estación seleccionada, el tercer bloque permite seleccionar un periodo determinado sobre el que se quiere realizar la consulta y, por último, el cuarto bloque permite seleccionar los datos a mostrar divididos en datos diarios, mensuales y anuales.

Una vez realizada la selección, se pueden consultar los datos presionando el botón de mostrar datos y se despliega una ventana con la información que se puede exportar según tres formatos diferentes, dos de ellos formatos de texto y otro formato Excel, que tiene como objetivo facilitar al usuario el análisis y tratamiento de la información (Figura 8).

4. CONCLUSIONES

Con el Anuario de Aforos 2005-2006 y la versión digital, la Dirección General del Agua da cumplimiento a sus obligaciones de recopilación y difusión de la información de la Red Oficial de Aforos (ROEA) y la pone a disposición de los usuarios. Esta publicación pretende tener una continuidad anual en la que se recogerán las actualizaciones, revisiones y posibles completados de los datos.

Estos trabajos se han podido desarrollar gracias a la base de datos HIDRO del CEDEX, base de datos robusta que permite la actualización de la información y se adapta de forma ágil a los cambios que demandan los usuarios.

La información publicada en el Anuario se encuentra disponible en el Sistema de Información del Agua de la Direc-

ción General del Agua del Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino (http://www.mma.es/portal/secciones/acm/aguas_continent_zonas_asoc/sia/index.htm) y en el portal Web del Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX (<http://hercules.cedex.es/general/default.htm>).

5. REFERENCIAS

- QUINTAS, L.,1996: “La Base de datos hidrológicos HIDRO del CEDEX”. Revista de Ingeniería Civil, nº 104. CEDEX. Madrid.
- DGA – MMA, 2006. “Informes trimestrales sobre el estado hidrológico de las cuencas en España del año hidrológico 2005-06”. Ministerio de Medio Ambiente, 2006. Disponible en WWW: http://www.mma.es/secciones/acm/aguas_continent_zonas_asoc/ons/mapa_informe_ons/informes_cuenca.htm
- DGA – MMA, 2007. “Informe de balance del año hidrológico 2005-06”. Ministerio de Medio Ambiente, enero 2007. Disponible en WWW: http://www.mma.es/secciones/acm/aguas_continent_zonas_asoc/ons/mapa_informe_ons/informes_cuenca.htm
- MARM, 2008a: “Anuario de Aforos 2005-2006. Confederaciones Hidrográficas”. Madrid: Centro de Publicaciones. Secretaría General Técnica. Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino. ISBN: 978-84-8320-454-2.
- MARM, 2008b: “Anuario Aforos Digital 2005-2006. Confederaciones Hidrográficas”. Madrid: Centro de Publicaciones. Secretaría General Técnica. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.



**Levante o transporte 700 toneladas
con sólo levantar un teléfono**

902 400 490

Grúas de celosías sobre cadenas de hasta 800 toneladas, grúas telescópicas de hasta 700 toneladas y camiones grúas de hasta 100 toneladas. En transporte trailers, góndolas plataformas extensibles hasta 48 metros y 25 ejes de transporte modular pesado.

TRANSPORTES Y GRUAS
AGUADO
902 400 490

Algunas propuestas de actuación para la gestión de las aguas subterráneas en la provincia de Jaén

FCO. JAVIER GONZÁLEZ MÁRQUEZ (*)

RESUMEN El objeto de este documento es la configuración básica de un “sistema de trabajo” orientado y dirigido a todas las partes interesadas en el estudio, la gestión, la investigación, el uso y la explotación de las aguas subterráneas en la provincia de Jaén, mediante el cual a partir de un diagnóstico realizado que refleja la realidad actual, la concreción de los problemas existentes, la propuesta de una serie de actuaciones y el apoyo administrativo imprescindible, regularizar, equilibrar y potenciar el uso correcto de las instalaciones de captación de aguas, así como otros tipos de instalaciones minero-industriales, tanto en las fases previas (construcción) como en fases posteriores (explotación, mantenimiento, etc...) para aproximarnos a un régimen de sostenibilidad adecuado tanto cuantitativamente como cualitativamente.

SOME PROPOSALS OF PERFORMANCE FOR THE MANAGEMENT OF GROUNDWATER IN THE PROVINCE OF JAEN

ABSTRACT *The object of this document is the basic configuration of a “system of work” oriented and directed to all the parts interested in the study, the management, the investigation, the use and the operation of underground waters in the province of Jaén, by means of which from a made diagnosis that reflects the present reality, the concretion of the existing problems, the proposal of a series of performances and the essential administrative support, to regularize, to balance and to harness the correct use of the facilities of water pick up, as well as other types of facilities mining-industrialists, as much in the previous phases (construction) like in later phases (operation, maintenance, etc..) in order to as much approximate us to a suitable regime of sustainability quantitatively as qualitatively.*

Palabras clave: Propuestas de actuación, Sistema de trabajo, Aguas subterráneas, Sostenibilidad.

Keywords: Proposals of performance, System of work, Underground waters, Sustainability.

1. DIAGNÓSTICO GENERAL DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS EN LA PROVINCIA DE JAÉN

Podemos comenzar haciendo un diagnóstico general de uso y gestión de las aguas subterráneas en la provincia de Jaén.

En esta provincia se asienta una población próxima a los 650.000 habitantes, de los cuales 400.000 se abastecen exclusivamente con aguas subterráneas o estas sirven de apoyo a algunos abastecimientos que se realizan con aguas superficiales. Esa población se distribuye en 97 términos municipales, que conforman un total de 200 núcleos urbanos, un alrededor de 200.000 habitantes se abastecen con exclusividad de las aguas subterráneas, lo que representa un 32% de la población. También hay unos 54 núcleos que tienen un sistema de abastecimiento mixto entre los que se encuentra Jaén capital. Así pues se llega a la conclusión de que un total de 79% de la población de la provincia tiene dependencia en su abastecimiento de las aguas subterráneas.

En cuanto al consumo de agua para uso agrícola, hay que decir que en la provincia de Jaén existen aproximadamente unas 188.794 has en regadío, de las cuales 30.819 has (16%), son regadas con aguas subterráneas. Unas 156.016 has corresponden a cultivo de olivar (83%), siendo unas 30.091 has las regadas con aguas subterráneas. Esto nos llevaría a la conclusión de que el 98% de la superficie de cultivos en regadío con aguas subterráneas de la provincia de Jaén, correspondería a olivar. Cabe decir también que de las 69 Comunidades de Regantes existentes, 36 utilizan aguas subterráneas en el riego.

La provincia de Jaén, presenta importantes posibilidades de crecimiento en el sector de las aguas minerales y minero-medicinales, existiendo en la actualidad dos balnearios (Marmolejo y San Andrés –Canena–) y tres plantas de envasado (La Paz –Marmolejo–, Sierras de Jaén y Sierra de Cazorla), con una producción creciente del orden de 43 millones de litros anuales. En una publicación del año 2003 (Las aguas minerales, minero-medicinales y termales de la provincia de Jaén), del Instituto Geológico y Minero de España y la Diputación Provincial de Jaén se llega a la consideración de que 46 puntos podrían ser declarados como agua de manantial; 16 puntos como agua mineral natural y 18 puntos como agua minero-medicinal.

(*) Dpto. Minas. Delegación Provincial de Sevilla. Consejería Innovación, Ciencia y Empresa. Junta de Andalucía.

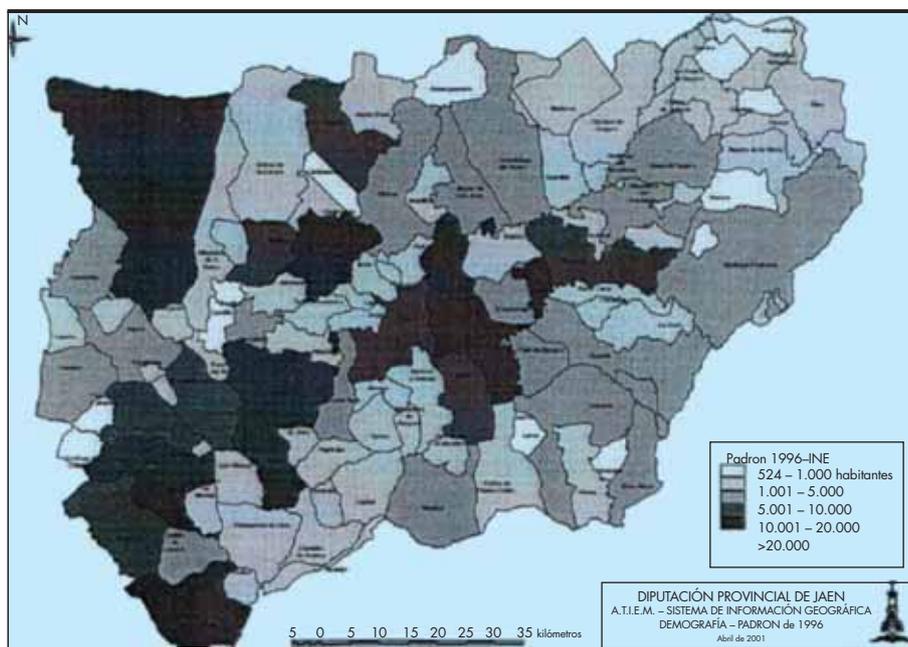


FIGURA 1. Distribución de la población provincial. Fuente: Excmá Diputación Provincial Jaén.

2. DEFINICIÓN DE PROBLEMAS EXISTENTES

Dentro de la problemática general que tienen las aguas subterráneas, es la existencia en la provincia de una dificultad de control, tanto de la existencia de gran número de captaciones no legalizadas ante las autoridades competentes, como de los volúmenes consumidos por las de carácter legal, que requiere la contribución de procedimientos de detección de aprovechamientos no legales más avanzados y sistematizados que los convencionales.

Acompaña a lo anterior una falta de mantenimiento integral por parte de sus titulares y de un desconocimiento generalizado de buenas prácticas que repercute en la optimización de las captaciones y por tanto en una no sobreexplotación de los acuíferos. A todo esto, y fruto de la experiencia del sector, se suma la gran cantidad de instalaciones de bombeo (en aquellas en las que se realiza a partir de pozos y sondeos) mal dimensionadas, que con modificaciones no muy costosas en general, podrían elevar sus rendimientos, así como reducir gastos de energía eléctrica y por tanto, como consecuencia un considerable ahorro económico.

Se considera como primera causa de proliferación de aprovechamientos incontrolados, la facilidad y rapidez de realización de pozos y sondeos, unidos a la gran presión de la demanda en zonas de escasez de recursos y alta vocación agrícola de regadío, así como ya se comentó en el párrafo anterior, la dificultad material de detección de las irregularidades.

Es importante tener en cuenta también, las afecciones entre captaciones, en el que al no estar legalizados no se han respetado las distancias mínimas definidas en la actual normativa vigente, así como por las características propias del acuífero.

Hemos de destacar que en la provincia existe un gran número de núcleos urbanos deficientemente abastecidos, por problemas de cantidad, de calidad o de ambos a la vez.

Desde el punto de vista medioambiental, todas las actividades antrópicas interactúan con el medio natural produciendo un impacto en el mismo. La mayor parte de estos impactos son de carácter negativo.

A todo esto hay que añadir, como consecuencia de la actividad agropecuaria, urbana e industrial en la provincia, que aun que la afección de la calidad natural de las aguas subterráneas

por elevadas concentraciones de nitratos no presenta “todavía” un grave problema, si existe inquietud en algunas zonas de la provincia por la contaminación debida a ellos. Es un hecho evidente, que las aguas superficiales por la antigüedad de su control son perfectamente conocidas, existiendo en cambio de las aguas subterráneas un nivel de conocimiento más pobre.

Por tanto, podríamos concluir este apartado de definición de problemas con la idea de que la falta de adecuación de las instalaciones de captación a toda la legislación aplicable, así como una falta de códigos de buenas prácticas en las empresas, gestores, comunidades de regantes, particulares, etc., hace insostenible la explotación de dichos recursos, provocando un desequilibrio y un bajo rendimiento técnico y económico.

3. CONSUMO DE AGUA Y ORIGEN DE LA MISMA EN ABASTECIMIENTO Y REGADÍO

Se dispone de muy escasa información sobre los volúmenes actuales de explotación de cada unidad hidrogeológica, así como de la extensión y el tipo de cultivos dependientes de la explotación de cada unidad.

Los mayores volúmenes corresponden a las unidades carbonatadas de las sierras meridionales de la provincia, junto con los acuíferos Mioceno y Mesozoico de la Loma de Úbeda. Destacan por sus aprovechamientos agrícolas las unidades de Montes Orientales Sierra Norte, Almadén-Carluco, Sierra Mágina y Grajales-Pandera. Las unidades orientales, Sierras de Cazorla y Quesada-Castril presentan unos volúmenes muy bajos de explotación para regadío, si bien su papel regulador en cabecera de los principales ríos de la provincia, garantiza en parte los riesgos de las vegas del Guadalquivir. El régimen de explotación de la mayoría de las unidades hidrogeológicas de la provincia es escaso, únicamente se han iniciado expedientes de sobreexplotación en las Unidades Hidrogeológicas de Mancha Real-Pegalajar y en Larva-Solera.

La tabla 1 muestra una relación de los recursos medios estimados de las unidades hidrogeológicas de la provincia, junto con los valores más recientes conocidos de explotación.

Unidad Hidrogeológica	Recursos (Hm ³ /año)	Usos (Hm ³ /año)	
		Agrícola	Urbano
Sierra de Cazorla	90-100	1	15
Quesada-Castril Sierra de Segura-Cazorla	200-220	3	0,8 – 1
Bedmar-Jódar Torres-Jimena	2,2 4-5,3	0,3 1,5	1,3 1
Jabalruz	2,55	0,5	1,2
GUJaén	2,6-3,1	0,3 – 0,4	1,2
San Cristobal	0,75	0,3	0,3
Mancha Real-Pegalajar	4,7 – 6,5	0,2 – 0,4	1,2 – 1,7
Almadén-Carluco	19 – 20	9,1	0,9
Sierra Mágina	13,3	4,8	0,6 – 0,8
Mentidero-Montesinos	5,1	2	1,3
Úbeda	14		
Bailén-Guarroman	5- 6	0,8	0,2
Rumblar	3	1,8	
Aluvial del Guadalquivir			
Porcuna	2		
Montes Orientales Sector Norte	36,7	19,3	2 - 2,5
Mioceno Transgresivo	5 – 7		
Grajales-Pandera	26	3 – 4	10 – 15
Cárcel	0,5		0,3
Gante-Santerga	1,2	0,5	0,1
Alcalá la Real-Santa Ana	1 – 1,5	0,3	0,7 – 1,2
La Camuña	1,4	0,3	0,2
Ahillo	1,9	0,4	0,6
Caracolera	1,4 – 1,7		0,3
San Pedro	1,3	0,9	0,1
La Rápita	0,9		0,6
Ventisquero Cornicabra-Noguerones	11,4	2	2,2
Gracia-Morenita	9,1	3	0,5
Larva-Solera	3		1
Carbonato de la Dep. Alto Guadalquivir	12 – 15		

TABLA 1. Recursos estimados de las Unidades Hidrogeológicas en provincia de Jaén.

4. PROPUESTAS DE ACTUACIÓN

Algunas de las propuestas de actuación agrupadas de forma homogénea que pudieran paliar los problemas de-

tectados y que constituyen una realidad en la provincia de Jaén, están basadas en la racionalización y optimización en el uso de las aguas subterráneas, son las mostradas en la tabla 2.

<p>A) PLANIFICAR Planificar antes del cambio. Análisis y predicción de resultados.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Creación de una base de datos con un inventario de puntos de agua selectivo, representativo de las unidades hidrogeológicas y de los acuíferos no definidos. 2. Realización de un inventario de captaciones en el que se incorporará a una base de datos, todas las características de construcción y equipamiento de las actuales y futuras captaciones (Tipo de obra, año de ejecución, régimen de explotación, profundidad, diámetros, colocación de filtros, bomba, impulsión, accesorios, cuadro eléctrico, etc...). Incluir la información existente sobre el mismo (Estudio hidrogeológico, informe de la perforación, ensayo de bombeo, análisis químico, etc..). 3. Realización de encuestas de bombeo al objeto de saber la situación actual de las captaciones y conducciones. Conocer el rendimiento de la captación y la posible afección entre captaciones. 4. Establecimiento de un protocolo de actuación para la ejecución de sondeos y equipamiento de captaciones exigible a las empresas y directores de obra, así como la propuesta al respectivo Colegio Profesional de los técnicos titulados competentes en el visado de proyectos de ejecución, donde se aplica la legislación minera, de un código de normas-guía a seguir para su redacción, legalización, puesta en servicio, mantenimiento, etc. 5. Diseño de un programa de actuación para regeneración de sondeos. 6. Redacción de un catálogo de empresas "fiables" tanto en personal cualificado como en equipos de trabajo. 7. Redacción de un Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares, para incluir en los proyectos, en el que haga hincapié en la calidad de construcción y de los materiales utilizados (Descripción completa y exhaustiva de todos equipos y materiales que deban utilizarse en la obra). 8. Redacción de un manual de correcto funcionamiento de una instalación de bombeo y uso racional de la misma (Evitar el abuso en las obras de captación y el uso incorrecto de los equipos de bombeo). Se facilitará a los ayuntamientos, una vez entregada la obra, e incluirá un programa de mantenimiento y revisiones periódicas (Deberá incluir normas de carácter general y otras particulares para cada captación, en función del diseño de la captación, de las características del acuífero captado, de los resultados del ensayo de bombeo y del equipo que se instale).
<p>B) HACER Ejecutar lo planificado, tomando medidas en condiciones económicas controladas.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 9. Informar, divulgar y concienciar a los distintos partes interesadas, sobre la necesidad de la puesta en marcha de códigos de buenas prácticas, como una de las tareas que prioritariamente se deben emprender, para alcanzar un objetivo final, materializándose en un manual de buenas prácticas. 10. Potenciar la elaboración de mapas de calidad de las aguas subterráneas de la provincia o complemento de los ya existentes, mediante una red de puntos y campañas de muestreo en colaboración con los organismos implicados, gestores, etc. 11. Estudio de la viabilidad de explotación de las aguas minerales, minero-medicinales y termales. 12. Implantación de comunidades de usuarios de aguas subterráneas (autogestión).
<p>C) INSPECCIÓNAR Estudiar los resultados</p>	<ol style="list-style-type: none"> 13. Puesta en marcha de un plan de inspecciones de optimización de captaciones, en el que se alcance un conocimiento detallado de las características de las instalaciones existentes, a partir de las cuales, proponer modificaciones necesarias en aquellas que se consideren defectuosas o mejorables, con el fin de aumentar el rendimiento de las mismas. Las visitas a instalaciones deberán tener por objeto que sus titulares conozcan y comprendan mejor las disposiciones legislativas vigentes, la mejora del rendimiento de sus instalaciones, así como repercusiones ambientales y riegos potenciales de sus actividades. 14. Realización de registros ópticos de video. 15. Fomentar mediante estudios técnicos, el conocimiento de la capacidad de depuración y de los depósitos de regulación (donde los haya), a fin de reducir el actual porcentaje de pérdidas. 16. Fomentar la necesidad de colaboración entre los distintos organismos implicados, favoreciendo las vías de comunicación entre los distintos interlocutores y así conseguir un mejor trasvase de información, lo que puede suponer un notable avance para la consecución de objetivos. 17. Estimular y crear vínculos con los organismos encargados de la vigilancia ambiental en el control de los alumbramientos de aguas como es el SEPRONA (Servicio de Protección de la Naturaleza) con objeto de homogeneizar criterios, aunar esfuerzos, evitar duplicidades y definiendo procedimientos claros.
<p>D) ACTUAR Tomar decisiones para mejorar</p>	<ol style="list-style-type: none"> 18. Implementación en estas empresas de la Norma de calidad UNE EN ISO 9001:2008 "Sistemas de Gestión de la Calidad", que certifique el aseguramiento de la calidad de los trabajos adoptados por la empresa, así como la Norma UNE EN ISO 14001:2004 "Sistemas de Gestión Medioambiental", que certifique su comportamiento medioambiental. 19. Prevención y corrección. Aprovechar la realización de inspecciones de optimización para potenciar la misión divulgativa, de información y asesoramiento a los titulares de instalaciones. 20. Actualización y mejora del conocimiento geológico e hidrogeológico.

TABLA 2. Propuestas de actuación.



FIGURA 2. Mapa hidrogeológico de la provincia de Jaén.

5. CONCLUSIONES

Contiene por tanto este documento una serie de propuesta de actuación que pretenden recuperar la credibilidad y la calidad de las políticas de uso y gestión de las aguas subterráneas en la provincia de Jaén (perfectamente útiles para otras provincias), que ejercen todas las partes interesadas (empresas, técnicos, gestores, usuarios, administración, etc.), a través de la mejora de los procesos de vigilancia e inspección en el desarrollo de nuevos proyectos, así como en la optimización de las ya existentes, consiguiendo por tanto un uso más racional de las aguas subterráneas de la provincia.



FIGURA 3. Sondeo para captación de aguas subterráneas (equipado con cuadro eléctrico) ubicado en el T. M. Linares (Jaén).

6. LEGISLACIÓN RELACIONADA

- Ley de Minas 22/1973, art. 117, dispone la vigilancia e inspección de los trabajos.
- Real Decreto 863/1985. Reglamento Gral. de Normas Básicas de Seguridad Minera e I.T.C.
- Decreto 358/2000, en su Capítulo Cuarto “Control de las instalaciones y actividades industriales”.
- Resolución 3 de Marzo de 2004, aprueba los Planes Generales de Inspección.
- Real Decreto 150/1996, sobre trabajos especiales, prospecciones y sondeos (modifica el art. 109 del R.D. 863/1985 de 2 de Abril).
- Real Decreto 849/1.986 de 11 de abril por el que se aprueba el Reglamento del Dominio Público Hidráulico que desarrolla los títulos preliminares I, IV, V, VI y VII de la Ley 29/1.985 de 2 de agosto de Aguas.
- Real Decreto Legislativo 1/2001 de 20 de julio, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Aguas en vigor.
- ORDEN de 15 de junio de 2006, por la que se amplían los requisitos para la aprobación previa de los trabajos de prospección para captación de aguas subterráneas.
- R.D. 606/2003, de 23 de Mayo, por el que se modifica el R.D. 849/1.986 de 11 de Abril por el que se aprueba el Reglamento de Dominio Publico Hidráulico, que desarrolla los títulos preliminar I,IV, VI y VIII de la Ley 29/1985 de 2 de Agosto de Aguas.
- DECRETO 241/2005, de 2 de noviembre, por el que se crean las Direcciones Provinciales de la Agencia Andaluza del Agua y se establecen sus funciones.

REPSOL



Un camino sólido hacia el bienestar de todos.

Las infraestructuras viales y su constante mejora constituyen el motor del progreso que nos permite a todos aumentar nuestra calidad de vida, aportándonos seguridad, ahorro de tiempo y comodidad. Por eso trabajamos para facilitar la vida de las personas que recorren con nosotros el camino hacia el futuro y el bienestar.

REPSOL YPF Lubricantes y Especialidades, S.A.
Glorieta Mar Caribe, 1. 28043 Madrid.

Más información en repsol.com

Estudio de un sistema de detección tipo pórtico para su aplicación en la industria del metal

L. PUJOL (*), S. LARA-CALLEJA (**), M. J. SUÁREZ-NAVARRO (***) y J. A. GONZÁLEZ-GONZÁLEZ (***)

RESUMEN La industria del hierro y del acero es uno de los sectores más importantes en España para su desarrollo económico. El reciclaje y la reutilización de materiales metálicos así como, la importación de chatarras son muy significativas. El amplio número de informes acerca de dispersiones y fundidos accidentales de materiales con contenido radiactivo en recuperadoras de metales metálicos, instalaciones siderúrgicas y fundiciones, pone de manifiesto, la necesidad de un control radiológico riguroso y específico del sector.

El control de estos materiales con contenido radiactivo se puede llevar a cabo con detectores de radiación tipo pórtico instalados en las entradas de las recuperadoras de metales, instalaciones siderúrgicas y fundiciones. La detección de este material presenta características particulares como, por ejemplo, la medida continua del fondo ambiental o la minimización de detecciones no deseadas, tales como, falsas detecciones y detecciones inocentes.

El objetivo de este trabajo de investigación consiste en el estudio de un detector de radiación de tipo pórtico (en concreto, el FHT-1388-T Thermo-Eberline), que suele estar instalado en estas industrias. En este trabajo se estudian sus características y parámetros de trabajo con el fin de optimizarlos y recomendar una serie de ensayos rápidos y sencillos para su utilización en la industria del metal.

STUDY OF A RADIATION PORTAL MONITOR AND ITS APPLICATION TO METAL RECYCLING INDUSTRY

ABSTRACT *The industry of the iron and the steel is one of the most important sectors in Spain for its economic development. The recycling of metallic materials as well as the import of metallic scrap is very significant. Several reports on accidental dispersion or smelting of radioactive sources in metal recycling industries confirm the possibility that radioactive material might be mixed with scrap. In consequence, this type of accident shows the necessity of a rigorous and specific radiation control of the sector.*

The control of these materials with radioactive content can be carried out with radiation portal monitors installed at the entrance of these industries. The detection of radioactive material presents special features as the continuous background acquisition or the minimisation of the relatively large number of innocent / nuisance detections.

In the present work, we study a radiation portal monitor, the FHT-1388-T Thermo-Eberline. This is one of the usual radiation portal systems installed at the entrance of the metal recycling industry. We study the characteristics and parameters of this portal monitor to optimise its use. Furthermore, we propose some rapid tests for radiation portal systems in metal recycling industry.

Palabras clave: Detectores tipo pórtico, Materiales reciclados, Radiactividad, Industria siderúrgica.

Keywords: Detectors type portico, Recycled materials, Radioactivity, Metallurgical industry.

1. INTRODUCCIÓN

Durante los últimos años, a pesar de que el uso de materiales radiactivos es sometido a estrictos controles, se han detectado diversos materiales con contenido radiactivo en las

recuperadoras de metales e instalaciones siderúrgicas. El amplio número de informes relacionados con dispersiones y fundidos accidentales (Lubenau y Yusko 1995, 1998; O'Grady y col. 1996; Rodríguez y col. 2001; CSN, 2003a; CSN, 2007) pone de manifiesto la necesidad de un control aún más riguroso y específico para este sector. Por este motivo, se han desarrollado una serie de iniciativas a nivel nacional e internacional, para controlar la presencia de material radiactivo en la chatarra (Ortiz, 2008).

En España, la industria del hierro y del acero es uno de los sectores más importantes desde un punto de vista económico y de desarrollo del país, y la importación de chatarras como materias primas es muy significativa. El reciclaje y la reutilización de materiales y equipamiento se ha incremen-

(*) Doctor en Física. Centro de Estudios de Técnicas Aplicadas (CEDEX). Ministerio de Fomento.

(**) Becaria del programa de Formación de personal investigador del CEDEX. Licenciada en Química. Centro de Estudios de Técnicas Aplicadas (CEDEX). Ministerio de Fomento.

(***) E.T.S.I. de Caminos, Canales y Puertos. Universidad Politécnica de Madrid (UPM).

tado en los últimos años, fundamentalmente por dos razones: oportunidades económicas y conciencia de conservación del medio ambiente, por lo que se ha visto necesario establecer un programa de control radiológico. Además, después del incidente de fusión de una fuente de cesio-137 en una acería de Los Barrios (Cádiz) en 1998, las partes interesadas (Administración Pública, Organismos Reguladores, Industrias del Metal y Agentes Sociales) tomaron conciencia de la creciente preocupación social y de la importancia para la economía y para el medio ambiente de este tipo de incidentes.

Por otra parte, cuando se produce una alarma en un detector de radiación, es necesario determinar si es una detección verdadera o no. Si se confirma la presencia de material radiactivo, hay que localizarlo y eliminarlo según los cauces legales. Inicialmente cuando se producía una detección, se provocaba una situación de inquietud al no estar bien definida la forma de actuar, además del perjuicio económico que suponía una falsa detección (Ortiz, 2008).

Para clarificar esta situación se preparó en 1999 un Protocolo que establece un sistema nacional para prevenir los riesgos derivados de la presencia de material radiactivo. Este sistema español, se puede considerar pionero y avanzado dentro de la Unión Europea. (Ministerio de Industria y Energía, 1999; Dirección General de la Energía, 2000).

Aunque a nivel internacional no existe una legislación específica para el control de la radiactividad en materiales metálicos, en el año 2002, se publicó una Recomendación de la Unión Europea sobre la vigilancia y control de los materiales radiactivos en el reciclaje del metal (UE, 2002). Excepcionalmente, hay que señalar que en el caso de Holanda sí que existe una reglamentación nacional en materia de pórticos, donde se especifica tanto los requisitos técnicos, como las características de la producción y del tratamiento de las empresas del metal que tengan instalados pórticos (Blaauboer y col., 2004).

Las particularidades que presenta la detección de material radiactivo en la chatarra, exigen la instalación de equipos específicos y su utilización de forma sistemática y adecuada. Para la vigilancia radiológica de la chatarra, pueden utilizarse equipos fijos o portátiles (CSN, 2003b).

Los sistemas de detección fijos que se instalan, son detectores tipo pórtico de centelleo plástico de gran tamaño y que se utilizan para la vigilancia radiológica de grandes volúmenes de material. Los detectores tipo pórtico ubicados en las entradas de las instalaciones, controlan el paso de entrada o salida de la chatarra, para comprobar si pudiese estar conta-

minada pretendiendo, principalmente, que el material radiactivo no llegue a los procesos de tratamiento de la chatarra.

El sistema de detección más recomendado consiste en varios paneles y una unidad de control. Cada uno de estos paneles contendrá uno o varios detectores, siendo la configuración básica, dos paneles situados en los laterales del camino de entrada del vehículo. Cada detector debe estar blindado en la superficie no sensible, para proporcionar la reducción del fondo necesaria, además de mantener la sensibilidad suficiente para detectar pequeños incrementos de la radiación de las muestras en cortos periodos de tiempo, ser resistentes a las condiciones ambientales y permitir el control del paso y de la velocidad del vehículo.

Los equipos o detectores portátiles, se utilizan para identificar el origen de la señal obtenida por los pórticos. Deben ser ergonómicos, de fácil manejo y disponer de alarmas acústicas, así como permitir la medida de los niveles de tasa de dosis o contaminación superficial.

El objetivo de este trabajo de investigación, es el estudio de un sistema de detección tipo pórtico, concretamente, el modelo FHT-1388-T de la empresa *Thermo-Eberline*, para recomendar unos ensayos rápidos y sencillos, necesarios para su correcta utilización en acerías y plantas de reciclado.

2. EXPERIMENTAL

2.1. DESCRIPCIÓN DEL DETECTOR TIPO PÓRTICO FHT-1388-T

El equipo Thermo Eberline FHT-1388-T (figura 1), está compuesto por dos paneles rectangulares de policloruro de vinilo (PVC), de 1920 x 850 x 140 mm y un peso de 236 kg. En su interior hay un detector de centelleo plástico de poliviniltolueno (PVT) de 1000 x 500 x 50 mm, con 25 l y una superficie de 0,50 m². Cada detector tiene un tubo fotomultiplicador, su propia electrónica, y un microprocesador accesible por una ventana del panel. La alimentación y el control son externos. Rodeando el detector excepto en la zona frontal, hay un aislante térmico. En la parte posterior interna de cada panel se coloca un blindaje de plomo de 10 mm de espesor para reducir la tasa de fondo.

Este pórtico emplea para cada detector un circuito electrónico FHT-S41 S4, con un microprocesador que controla:

- Cuatro discriminadores digitales fijos de los impulsos de las detecciones.
- Cuatro contadores independientes para el recuento de las detecciones que superen cada uno de los discriminadores, durante intervalos de tiempo de 333 ms.

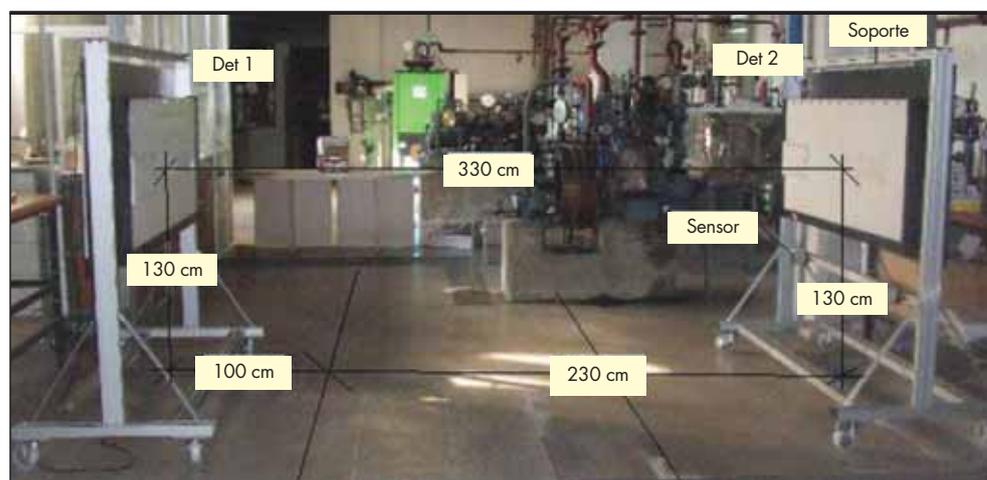


FIGURA 1. Disposición de los pórticos FHT-1388-T de Thermo-Eberline en el laboratorio de la E.T.S.I. Caminos, Canales y Puertos de la UPM.

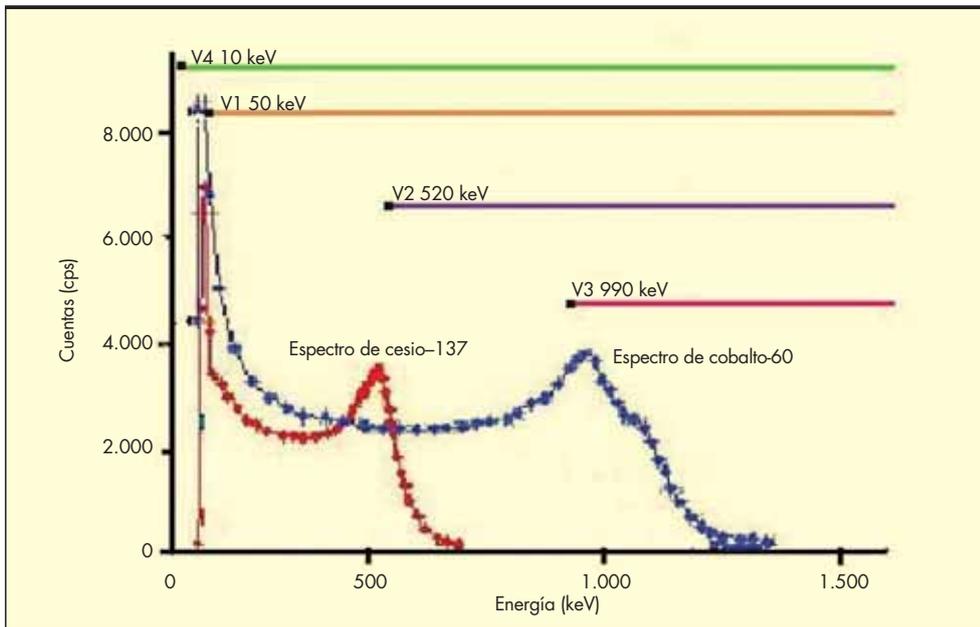


FIGURA 2. Situación de los discriminadores y espectros del cesio-137 y del cobalto-60.

- Un sensor de temperatura para medir su valor en el circuito.
- Un generador digital de alta tensión para cada fotomultiplicador de hasta 1350 V.
- Los controles lógicos de entrada y salida para el ordenador personal.

El ordenador personal tiene varios módulos electrónicos adicionales que permiten la gestión y el control de los datos que generan los circuitos electrónicos de los detectores, de los sensores de paso del vehículo y de las salidas asociadas a las alarmas.

2.2. DESCRIPCIÓN DE LAS VENTANAS DE LOS DISCRIMINADORES

Los cuatro discriminadores fijados por el fabricante (figura 2) se dividen del siguiente modo:

- Umbral de la ventana 1, V1, elimina ruido por debajo de 50 keV (120 mV) optimizando las emisiones gamma.
- Umbral de la ventana 2, V2, separa el cesio-137 del cobalto-60, ajustando el potencial de modo que el discriminador del cesio-137 esté en 520 keV (1320 mV).
- Umbral de la ventana 3, V3, se ajusta por encima del discriminador del cobalto-60, en 990 keV (2500 mV), para energías superiores al cobalto-60.
- Umbral de la ventana 4, V4, para aislar el ruido electrónico o medir bajas energías como los rayos X o el americio-241, se sitúa en 10 keV (25 mV) hasta el final.

2.3. SOFTWARE DEL EQUIPO

El software del equipo Thermo Eberline FHT-1388-T, se maneja con dos programas. El primero, TSCRAP, funciona a modo de usuario. Recoge los datos de tasa de fondo, alarmas de las ventanas y cuentas totales. Se engloban las operaciones necesarias para manejar el equipo de un modo sencillo y controlar los parámetros internos del mismo. El programa TESTSON.EXE sirve para configurar los parámetros internos del

equipo, fundamentalmente los relacionados con los tubos fotomultiplicadores. Los datos de la configuración inicial determinados por el fabricante, están almacenados en el fichero TESTSON.INI.

2.4. MUESTRAS DE REFERENCIA

Los ensayos se han realizado utilizando, muestras de cesio-137 encapsuladas. Las características de las muestras de referencia utilizadas se presentan en la tabla 1.

3. ENSAYOS REALIZADOS EN EL LABORATORIO

Se realizaron los siguientes ensayos:

- *Estudios del fondo de los detectores.* Se realizaron distintos tipos de ensayos: 1) influencia del blindaje en el fondo, 2) medida del fondo en las ventanas de los detectores y 3) determinación del fondo en función del potencial. El fondo se determina en cuentas por segundo (en adelante, cps).
- *Determinación de la curva característica y del potencial de trabajo.* Para la determinación de la curva característica se utilizó la muestra de referencia de cesio-137 de 37 kBq. El potencial de trabajo se calculó mediante diferentes métodos: 1) mediante la curva característica (método experimental), 2) mediante un método automático que proporciona el software del equipo, y 3) mediante el cálculo de la figura de mérito.

Muestra de referencia	Actividad de referencia (kBq)	Fecha referencia	Periodo semidesintegración (años)
cesio-137	37	01/01/2003	30,2
cesio-137	370	01/04/2005	30,2

TABLA 1. Características de las muestras de referencia utilizadas en este trabajo.

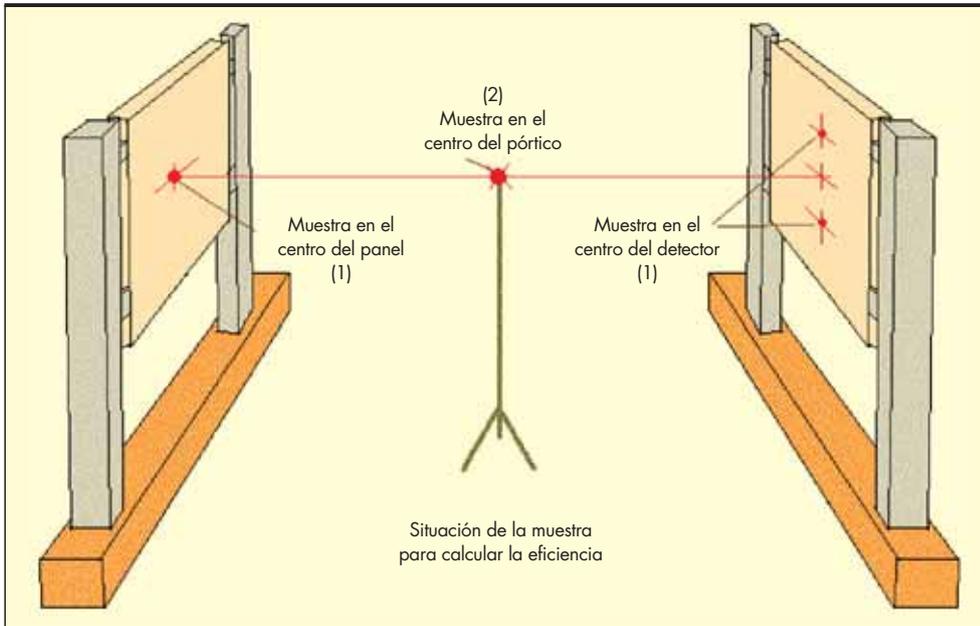


FIGURA 3. Ensayos estáticos de los detectores: 1) determinación de la eficiencia en la superficie del panel o detector, 2) determinación de la eficiencia en el centro del pórtico.

- *Ensayos estáticos de los detectores* (figura 3). Los ensayos que se realizaron fueron los siguientes (ANSI, 2006a): 1) determinación de la eficiencia detector en varios puntos de la superficie del panel o detector (figura 4) utilizando las dos muestras de referencia de cesio-137 y 2) determinación de la eficiencia en el centro del pórtico utilizando la muestra de referencia de cesio-137 de 370 kBq.
- *Ensayos dinámicos*. Se calcula la respuesta del pórtico cuando se pasa la muestra de referencia de cesio-137 de 370 kBq entre los paneles. Los ensayos se realizan, siguiendo la trayectoria central en la zona sensible de los detectores (IAEA, 2006). Este tipo de ensayos permite obtener resultados cuantitativos de la capacidad de detección en situaciones similares a las reales en las que un camión con chatarra pasa a una velocidad de entre 5-8 km/h entre los pórticos. Se determina la eficiencia dinámica del pórtico y el límite de detección dinámico tanto en nSv/h como en kBq.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. ESTUDIOS DEL FONDO EN LOS DETECTORES

El fondo de los detectores disminuye con el blindaje en un 21 % (de 5059 ± 17 cps a 4004 ± 15 cps) para el detector 1, y en un 12 % (de 5315 ± 35 cps a 4685 ± 21 cps), en el caso del detector 2. En consecuencia, todos los ensayos que se realizaron fueron con el blindaje instalado en el equipo.

En la tabla 2 se presentan las tasas de fondo en las ventanas de los detectores. Hay que destacar los siguientes aspectos:

- El número de cuentas correspondientes a la ventana 1 (V1), a partir de 50 keV, proporciona el valor del fondo ya que corresponde a la medida de todo el espectro energético exceptuando la zona de más baja energía, donde se localiza el ruido electrónico del equipo que queda de este modo eliminado.
- El número de tasa de recuento más elevado, le corresponde a la ventana 4 (V4), ya que esa ventana mide todo el espectro electrónico desde 10 keV.

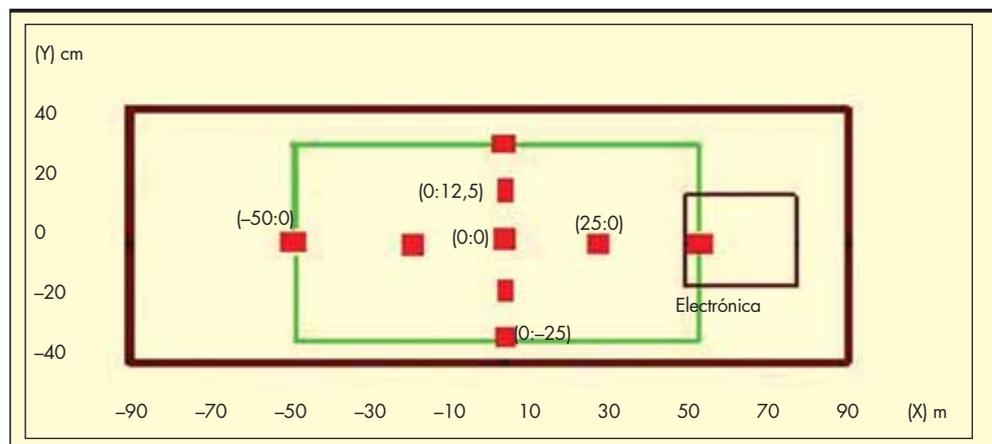


FIGURA 4. Puntos de medida en el ensayo estático de la determinación de la eficiencia en la superficie del panel o detector.

	Tasa de fondo (cps)				relación		
	V1	V2	V3	V4	V1/V2	V2/V3	V4/V1
Detector 1	3962 ± 54	564 ± 24	133 ± 10	6567 ± 73	7,0 ± 0,3	4,3 ± 0,3	1,66 ± 0,02
Detector 2	4576 ± 28	682 ± 28	162 ± 13	8054 ± 86	6,7 ± 0,3	4,2 ± 0,3	1,76 ± 0,02

TABLA 2. Tasa de fondos para cada ventana para los dos detectores.

- Existen unas relaciones entre las ventanas del detector con unos valores límites, que permiten o no determinar la presencia o no de material radiactivo. Estas relaciones son:
 - V1/V2, permite la detección de cesio-137.
 - V2/V3, detecciones de cobalto-60.
 - V4/V1, emisiones de baja energía y proporción de ruido electrónico.

En la representación del fondo en función del potencial se observa que la tasa de fondo se incrementa rápidamente al aumentar el potencial, con lo que es necesario utilizar el potencial de trabajo adecuado para no tener una tasa de fondo demasiado elevada que afecte a los resultados de las medidas (figura 5).

4.2. DETERMINACIÓN DE LA CURVA CARACTERÍSTICA Y DEL POTENCIAL DE TRABAJO

En la figura 6 se representa la curva característica para el detector 2 (la del detector 1 tiene el mismo comportamiento) realizada con la muestra de referencia de cesio-137 de 37 kBq, y donde ya se ha restado el fondo (tasa de recuento neta). Se observa que existe un potencial umbral a partir del cual empieza el recuento. La curva característica está formada por dos rectas de distinta pendiente que se cortan aproximadamente en un punto que correspondería al potencial de medida del equipo. El valor de este punto de corte es de 886 ± 159 V para el detector 1 y de 890 ± 144 V para el detector 2. En consecuencia, se han introducido también los resultados de este método para el cálculo del potencial de trabajo, a este método le hemos denominado método experimental.

En el método automático se determina mediante el programa TESTSON, los valores obtenidos han sido de 910 V para el detector 1 y 930 V para el detector 2, respectivamente.

El tercer método utilizado para la determinación del potencial de trabajo, ha sido mediante el cálculo de la figura de mérito (FM):

$$FM = \frac{(C_T - \bar{F})^2}{\bar{F}} = \frac{C^2}{\bar{F}} \tag{1}$$

donde:

C_T es la tasa de recuento total de la muestra de cesio-137, en cps.

C es la tasa de recuento neta de la muestra de cesio-137, en cps.

\bar{F} es la tasa de fondo del detector, en cps.

En la figura 7 se presenta la figura de mérito en función del potencial. Se observa que existe una zona en la cual la figura de mérito prácticamente no varía al aumentar el potencial, a esta zona se la denomina *plateau*. El principio de esa zona es la que se considera adecuada como potencial de trabajo. Los potenciales obtenidos son de 900 V para el detector 1 y, de 925 V para el detector 2.

Los potenciales que se obtienen mediante los tres métodos no varían significativamente respecto a los potenciales del fabricante. Esto se puede ver al calcular el valor medio de los tres potenciales (método experimental, automático y mediante la figura de mérito) para cada detector, que da un valor similar al del fabricante (tabla 3). Por lo que se decidió no variar el potencial para los ensayos siguientes.

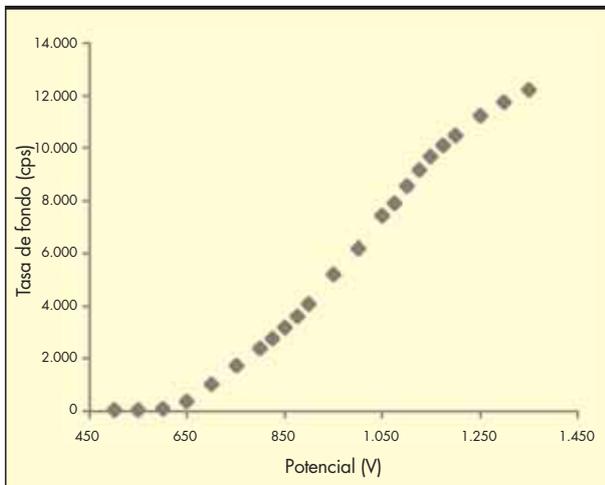


FIGURA 5. Curva característica de la tasa de fondo del detector 1.

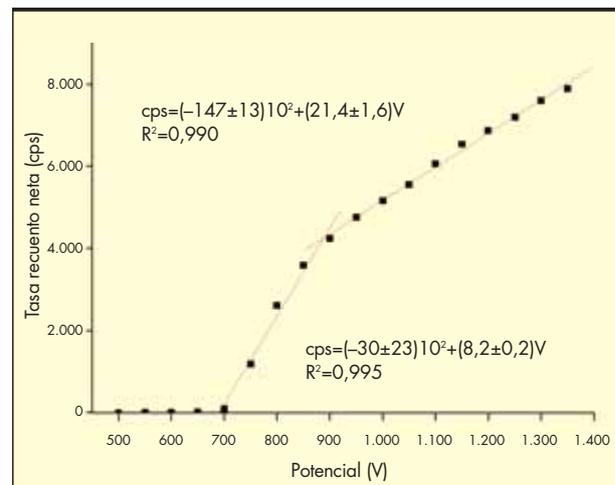


FIGURA 6. Ajuste de las curvas del detector 2.

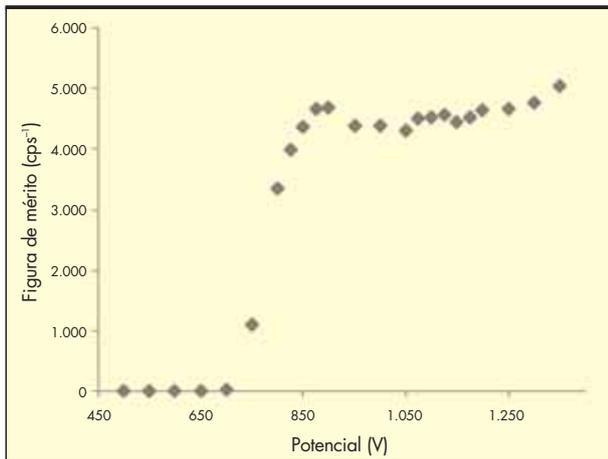


FIGURA 7. Figura de mérito en función del potencial para el detector 1.

Potencial de Trabajo	Detector 1 (V)	Detector 2 (V)
Experimental	886	890
Automático	910	930
Manual	900	925
Valor medio	899	915
Fabricante	892	920

TABLA 3. Potencial de trabajo para los distintos métodos utilizados para su determinación.

4.3. ENSAYOS ESTÁTICOS DE LOS DETECTORES

Las tablas 4 y 5 muestran los resultados de la eficiencia de los dos detectores para las muestras de cesio-137 de actividad 37,0 kBq y 370 kBq, respectivamente. Se observa que la eficiencia puede variar entre un 5 y un 15 % dependiendo de la posición de la muestra de referencia en la superficie del detector.

(X,Y)	Detector 1		Detector 2	
	E(%)	u(E)	E(%)	u(E)
(0:0)	13,68	0,75	14,72	0,81
(25:0)	12,92	0,71	13,72	0,76
(50:0)	7,23	0,40	8,32	0,46
(-25:0)	14,45	0,79	14,94	0,82
(-50:0)	6,45	0,36	5,61	0,31
(0:12,5)	13,05	0,72	13,62	0,75
(0:25)	8,07	0,45	9,00	0,50
(0:-12,5)	12,96	0,71	13,74	0,76
(0:-25)	8,12	0,45	7,95	0,44

TABLA 4. Resultados de eficiencia de la muestra de referencia de cesio-137 de 37 kBq.

(X,Y)	Detector 1		Detector 2	
	E(%)	u(E)	E(%)	u(E)
(0:0)	12,80	0,67	13,09	0,68
(25:0)	11,85	0,62	12,17	0,63
(50:0)	6,73	0,35	7,06	0,37
(-25:0)	12,89	0,67	13,25	0,70
(-50:0)	5,66	0,29	5,20	0,27
(0:12,5)	11,98	0,62	12,12	0,63
(0:25)	7,45	0,40	7,45	0,39
(0:-12,5)	11,57	0,60	12,38	0,64
(0:-25)	7,16	0,37	7,90	0,41

TABLA 5. Resultados de eficiencia de la muestra de referencia de cesio-137 de 370 kBq.

Los resultados conducen a las siguientes conclusiones:

- La máxima eficiencia de los detectores está en la zona central y la eficiencia de los detectores disminuye al alejarse de la zona central.
- La eficiencia con la muestra de 370 kBq es menor que la obtenida con 37 kBq, esto es debido a que la muestra de actividad 370 kBq en contacto con la superficie del panel produce la saturación del detector recogiendo menos emisiones y disminuyendo la eficiencia (efecto del tiempo muerto en los detectores) (Knoll, 2000).
- En la figura 8 se ha representado la eficiencia en la superficie del detector a lo largo del eje Y, para uno de los detectores y para una de las muestras de referencia. Los datos experimentales se han ajustado a una función polinómica de segundo grado. La representación, tanto para el eje X como el eje Y, para cada uno de los detectores y para las dos muestras de referencia de cesio-137, presenta unos valores del coeficiente de determinación que varían entre 0,960 y 0,997.

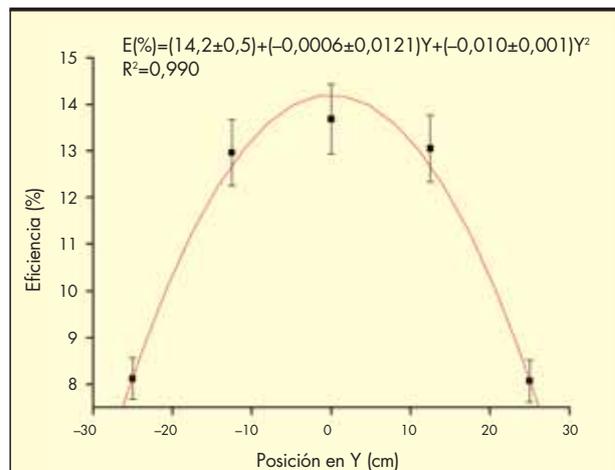


FIGURA 8. Variación de la eficiencia a lo largo del eje Y con la muestra de cesio-137 de 37 kBq para el detector 1.

	Tasa de recuento total (CT), en cps	Tasa de fondo (F), en cps	CT-F en cps	Eficiencia (%)
Detector 1	5123±81	4010 ± 86	1113±118	0,31±0,015
Detector 2	5723±75	4662 ± 110	1061±133	0,30±0,015

TABLA 6. Eficiencia estática en el centro del pórtico con muestra de referencia de cesio-137. La incertidumbre esta expresada como k = 1.

TABLA 7. Eficiencia dinámica en el centro del pórtico con muestra de referencia de cesio-137.

	Tasa de recuento total (CT), en cps	Tasa de fondo (F), en cps	CT-F en cps	Eficiencia (%)
Detector 1	4328±136	4019±71	308±154	0,09±0,005
Detector 2	5089±167	4722±82	367±186	0,10±0,005

La tabla 6 muestra los resultados de la eficiencia de los dos detectores cuando la muestra se encuentra en el centro del pórtico situado a 1,65 m de la superficie de detección para una muestra de cesio-137 de actividad 370 kBq. En este caso la eficiencia es mucho menor en el centro del pórtico que en la superficie del detector, esto hay que tenerlo en cuenta porque en el trabajo de rutina, las fuentes que puedan ser detectadas, no pasan por la superficie sino por la zona central de los pórticos y sus emisiones están atenuadas por la chatarra.

4.4. ENSAYOS DE LA RESPUESTA DINÁMICA DE LOS DETECTORES

La tabla 7 muestra los resultados de la eficiencia de los dos detectores cuando la muestra pasa por el centro del pórtico a 2,30 m de la superficie de detección para una muestra de cesio-137 de actividad 370 kBq.

En la tabla 8 se presenta el límite de detección dinámica de la tasa de dosis y de la actividad para un fondo medido de 4019 y 4722 cuentas en los detectores 1 y 2, respectivamente, y para un número de 8 sigmas en medidas de 1 segundo.

Los límites de detección dinámicos obtenidos en los detectores, son inferiores al límite de detección sugerido en la norma ANSI A42.35 (ANSI, 2006b) para los pórticos, que es de 600 kBq (en pórticos separados 5 m, lo que equivale a tener la muestra a 2,5 m).

En cuanto a la relación de las ventanas en los ensayos dinámicos, se observa que al pasar la muestra de referencia de cesio, sólo se produce variación en la relación de ventanas V1/V2 (figura 9). Esto es debido a que en esta relación es donde se detecta el cesio-137. No se produce variación ni para la relación V2/V3 ni para V4/V1, ya que corresponden a la detección de cobalto-60 y al ruido electrónico del equipo, respectivamente.

	Límite tasa dosis, en nSv/h	Límite actividad, en kBq
Detector 1	10,5	579
Detector 2	9,6	536
Media	10,05	557,5

TABLA 8. Límites de detección dinámicos de los detectores.

5. RECOMENDACIONES SOBRE LA UTILIZACIÓN DE LOS DETECTORES TIPO PÓRTICO EN LA INDUSTRIA DEL METAL

A la vista de estos resultados se propone que antes de la utilización de los detectores de radiación tipo pórtico para la medida rutinaria se lleven a cabo una serie de procedimientos:

1. Procedimiento de recepción del equipo.

- Comprobación del potencial de trabajo del equipo.
- Determinación del fondo del equipo.
- Determinación de la eficiencia estática en el centro del detector, utilizando una fuente poco activa de cesio-137, de aproximadamente 37 kBq.
- Determinación de la eficiencia estática en el centro del pórtico, utilizando una fuente activa de cesio-137, de aproximadamente 370 kBq.

2. Procedimiento de verificación del funcionamiento del equipo.

- La verificación del equipo sería conveniente realizarla antes de empezar las medidas de rutina con el equipo para comprobar que su funcionamiento es el adecuado. Este tipo de verificación no tendría que llevar más de 15 minutos.
- Comprobación de los niveles de fondo.
 - Determinación de la eficiencia estática en el centro del detector.
 - Determinación de la eficiencia estática en el centro del pórtico.

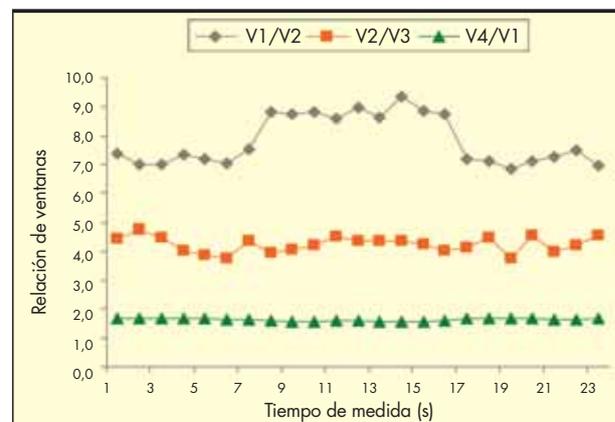


FIGURA 9. Relación de ventanas del detector 1 al pasar una fuente de cesio-137 de 370 kBq a través de los detectores.

3. Procedimiento de calibración del equipo. Este procedimiento debería realizarse con una frecuencia semestral o anual para comprobar la respuesta dinámica del equipo frente al paso de muestras radiactivas (determinación de la eficiencia dinámica y del límite de detección dinámico). Se recomienda que no dure más de 2 o 3 horas, tendría lugar el mantenimiento y el ajuste de aquellos parámetros que debido a la utilización rutinaria y continua del equipo pueden haber variado su respuesta. Este procedimiento podría ser realizado por una persona externa a la instalación con suficiente capacidad.

6. CONCLUSIONES

A la vista de los resultados obtenidos se ha llegado a las siguientes conclusiones:

1. El fondo de los detectores 1 y 2 disminuye cuando se coloca el blindaje de plomo en un 21 % y en un 12 %, respectivamente.
2. La relación de fondos entre los cuatro discriminadores del equipo permite establecer unos factores que proporcionan un nivel base o de referencia para la detección de material contaminado en una determinada zona energética.
3. Los potenciales de trabajo de los tubos fotomultiplicadores obtenidos mediante las diferentes técnicas utilizadas (método de las pendientes de la curva característica, cálculo automático y mediante la determinación de la figura de mérito) son similares. El rango varía entre 886 V hasta 910 V en el caso del detector 1, y desde 890 V hasta 925 V en el caso del detector 2.
4. Se calculó el valor medio de estos potenciales, obteniéndose unos valores de 899 V y 915 V, respectivamente. Estos potenciales son similares a los potenciales de trabajo establecidos por el fabricante por lo que se decidió no variarlo para el resto de ensayos.
5. La eficiencia con la muestra de 370 kBq es menor que la obtenida con 37 kBq, esto es debido a que la muestra de actividad 370 kBq en contacto con la superficie del panel produce la saturación del detector recogiendo menos emisiones y disminuyendo la eficiencia (efecto del tiempo muerto).
6. Se ha representado la eficiencia en la superficie del detector en función de la posición de la fuente y, tanto en su coordenada de abscisas como de ordenadas, se puede ajustar a una función de segundo grado. Los coeficientes de determinación en los diferentes ajustes han variado entre 0,960 y 0,997.
7. La eficiencia en la superficie del detector para el cesio-137 ha sido próxima al 15 %, mientras que la eficiencia estática en el centro del pórtico, situado a 1,65 m, ha sido aproximadamente del 0,30 %.
8. Los valores de la eficiencia dinámica, en el centro del pórtico, situado a 2,30 m, han sido 0,09 % para el detector 1 y 0,10 % para el detector 2.
9. El límite de detección dinámico expresado como tasa de dosis, es de 10,5 y 9,6 nSv/h, y expresado en kBq, los valores para cada detector son 579 kBq y 536 kBq, respectivamente. Estos valores están por debajo del valor fijado en la norma ANSI A42.35 (ANSI, 2006b) para los pórticos y que es de 600 kBq.
10. Al estudiar la relación de ventanas al paso de la muestra de cesio-137, se observa que se produce un aumento

de la relación V1/V2 (relación que detecta el cesio-137) al producirse la detección por parte del pórtico, mientras que las otras dos relaciones, permanecen sin cambio (V2/V3 y V4/V1).

7. AGRADECIMIENTOS

El presente estudio ha sido desarrollado bajo el proyecto *Investigación sobre equipos para la detección y control de material radiactivo*, orden FOM/3929/2005 de 12 de diciembre (BOE 16-12-2005) del Ministerio de Fomento, y bajo una beca de formación de personal investigador financiada por el Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX) (BOE 17-10-2007).

8. BIBLIOGRAFÍA

- American National Standard Institute (ANSI) 2006a. *Performance Criteria for Spectroscopy-Based Portal Monitors used for Homeland Security*. ANSI N42.38-2006.
- American National Standard Institute (ANSI) 2006b. *Evaluation and Performance of Radiation Detection Portal Monitors for Use in Homeland Security*. ANSI N42.35-2006.
- Blaauboer, R., Overwater, R. 2004. *Detectie van radioactief schroot met poortdetectoren*. Verslag van een ringonderzoek. Holanda. RIVN-610100006:2004 (en holandés).
- Consejo de Seguridad Nuclear (CSN). 2003a. *Información sobre las actuaciones en la chatarrería de Gijón (Asturias)*. Nota de prensa de 14 de agosto de 2003.
- Consejo de Seguridad Nuclear (CSN). 2003b. *Control radiológico de actividades de recuperación y reciclado de chatarras*. Guía de seguridad 10.12.
- Consejo de Seguridad Nuclear (CSN). 2007. *Información sobre Sidenor Industrial (Reinosa, Cantabria)*. Nota de prensa de 26 de marzo de 2007.
- Dirección General de la Energía. 2000. *Resolución por la que se autoriza la transferencia a ENRESA del material radiactivo que se detecte en la chatarra o en su procesado*.
- IAEA (International Atomic Energy Agency). 2006. *Technical and functional specifications for border monitoring equipment*. Reference Manual. IAEA Nuclear Security Series, N°1.
- Knoll, F. 2000. *Radiation Detection and Measurement*. John Wiley & Sons, Inc. New York.
- Lubenu, J., Yusko, J. 1995. *Radioactive materials in recycled metals*. Health Physics 68, 440-451.
- Lubenu, J., Yusko, J. 1998. *Radioactive materials in recycled metals – an update*. Health Physics 74, 293-299.
- Ministerio de Industria, España. 1999. *Protocolo de colaboración sobre la vigilancia radiológica de los materiales metálicos*.
- O'Grady, J., Hone, C., Turvey, F.J. 1996. *Radiocesium contamination at a steel plant in Ireland*. Health Physics 70, 568-572.
- Ortiz, T. 2008. *La detección de materiales radiactivos en chatarras. La experiencia de ENRESA*. Radioprotección 55, 22-28.
- Rodríguez, M., Marco-Arbolí, M., Gil, E. 2001. *Plan de formación en radiactividad y protección radiológica para el personal de las empresas nacionales siderúrgicas y de recuperación*. 1998-2001.
- UE. 2002. *Council resolution on the establishment of national systems for surveillance and control of the presence of radioactive materials in the recycling of metallic materials in the Member States*. C119, 22/5/2002.

Control de calidad en los ensayos de sistemas de contención de vehículos. Intercomparación de los resultados de los ensayos

SANTIAGO LÓPEZ RAMOS (*)

RESUMEN Este artículo pretende ofrecer información sobre cómo se realizan en el Laboratorio Central de Estructuras y Materiales los ensayos para la Marca N de AENOR de los sistemas de contención de vehículos y su control de calidad externo.

CONTROL OF QUALITY IN THE TESTS OF SYSTEMS OF CONTAINMENT OF VEHICLES. INTERCOMPARISON OF THE RESULTS OF THE TESTS

ABSTRACT *This article tries to offer information on how Central Laboratory of Structures and Materials are made the tests for Marca N of AENOR of the systems of containment of vehicles and its control of external quality.*

Palabras clave: Barreras, Dimensiones, Galvanizado, Control de calidad, Intercomparación, Acero.

Keywords: Barriers, Dimensions, Galvanized, Control of quality, Comparison, Steel.

1. INTRODUCCIÓN

Las vías de dominio y uso público, aunque sean de diversa titularidad, se proyectan y construyen fundamentalmente para la circulación de vehículos automóviles, por lo que precisan de ciertos elementos funcionales que las complementen. Una parte muy importante de estos equipamientos está compuesta por elementos de acero. El acero, cuando se encuentra a la intemperie, sufre una rápida y grave degradación debida a la oxidación. La corrosión del acero se puede evitar o, en cualquier caso, reducir, modificando la agresividad del medio, añadiendo inhibidores, aplicando protección anódica o catódica o recubriendo el metal.

El tratamiento de protección más utilizado en los materiales de equipamiento de carreteras es la galvanización por el método de inmersión en caliente.

La Dirección General de Carreteras ha venido estableciendo durante los últimos años diversos Convenios con el Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX), con objeto de llevar a cabo el control de calidad de los materiales empleados en aquellos elementos de acero galvanizado que forman la dotación de los equipamientos de carreteras.

Como consecuencia de lo anterior, en 2002, se firmó un Convenio de colaboración entre la Secretaría de Estado de In-

fraestructuras (Dirección General de Carreteras) del Ministerio de Fomento y el CEDEX, para la ejecución de los trabajos relativos al “Estudio y Experimentación de Materiales para el Equipamiento de Carreteras. Periodo 2000-2002”.

Entre las actuaciones a realizar para este Convenio figuraban:

- Control de Calidad “in situ”.
- Puesta a punto de nuevos ensayos.
- Certificación de productos.

Y, en concreto, en el caso de las barreras galvanizadas, la realización de inspección y control de los elementos y de su galvanizado.

Para llevar a cabo la certificación de productos, el Laboratorio Central de Estructuras y Materiales del CEDEX tuvo que implantar en su laboratorio de ensayo de materiales para equipamiento de carreteras un Sistema de Calidad que posibilitara por la vía voluntaria (Organismo Acreditado por ENAC) la certificación de este tipo de productos industriales.

También se siguieron realizando desde entonces y hasta el momento actual trabajos de asistencia técnica y asesoramiento en relación con las reuniones de normalización y certificación de comités correspondientes de AENOR de materiales de equipamiento de carreteras.

El Laboratorio Central de Estructuras y Materiales, se acreditó para los ensayos que recoge AENOR en su REGLAMENTO PARTICULAR DE LA MARCA N PARA BARRERAS METÁLICAS RP 52.03.

(*) Licenciado en Ciencias Químicas. Laboratorio Central de E y M CEDEX.

ELEMENTO	ENSAYOS	NORMAS	Nº ENSAYOS
VALLA	• ESPESOR	UNE EN 10025	1
	• DIMENSIONES	UNE 135121	1
	• AGUJEROS – Dimensiones, posición y tolerancias	UNE 135121	1
	• ANÁLISIS QUÍMICO COMPLETO – Contenidos de Mn, S, C, y Al – Contenidos de Silicio y Fósforo	UNE 10025 UNE 135121	1
	• RECUBRIMIENTO – aspecto superficial – adherencia – masa – espesor medio de recubrimiento	UNE 135121 UNE 37501 UNE EN ISO 1461 UNE EN ISO 1461	1
POSTE	• DIMENSIONES – Sección poste C – Sección poste UPN	UNE 135122 UNE 36570 UNE 36522	1
	• AGUJEROS – Dimensiones, posición y tolerancias	UNE 135122	1
	• ANÁLISIS QUÍMICO COMPLETO – Contenidos de Mn, S, C, y Al – Contenidos de Silicio y Fósforo	UNE 10025 UNE 135121	1
	• RECUBRIMIENTO – aspecto superficial – adherencia – masa – espesor medio de recubrimiento	UNE 135121 UNE 37501 UNE EN ISO 1461 UNE EN ISO 1461	1
SEPARADOR	• DIMENSIONES	UNE 135122	1
	• AGUJEROS – Dimensiones, posición y tolerancias	UNE 135122	1
	• ANÁLISIS QUÍMICO COMPLETO – Contenidos de Mn, S, C, y Al – Contenidos de Silicio y Fósforo	UNE 10025 UNE 135121	1
	• RECUBRIMIENTO – aspecto superficial – adherencia – masa – espesor medio de recubrimiento	UNE 135121 UNE 37501 UNE EN ISO 1461 UNE EN ISO 1461	1

TABLA 1.



FIGURA 1. Separador.



FIGURA 2. Separador.



FIGURA 3. Separador.



FIGURA 5. Poste.



FIGURA 4. Poste.

Los citados ensayos son los descritos en la tabla 1.
La acreditación del Laboratorio Central de Estructuras y Materiales, está determinada por su alcance, según se ve en la tabla 2.

La concesión de la acreditación a los laboratorios de ensayo así como su seguimiento corresponde a ENAC y uno de los puntos de este seguimiento es la realización de controles externos, entre los cuales están las intercomparaciones de los resultados de los ensayos.

El objeto de las intercomparaciones es proporcionar a los laboratorios la posibilidad de comparar sus resultados con los de laboratorios similares, a fin de detectar tendencias y considerar acciones preventivas o correctivas en caso necesario. Además, estas actuaciones son de obligado cumplimiento, según la norma UNE-EN ISO/17025, Apartado 5.9.

Este control externo, también sirve para valorar la competencia técnica de cada laboratorio.

Existen varios tipos de intercomparaciones, según quién sea el organizador:

1. Las organizadas por proveedores comerciales, en las que será responsabilidad del participante considerar la competencia del organizador y su idoneidad, basándose en los principios de la guía ILAC-G13 o en su acreditación por esta guía.
2. Las organizadas u ofrecidas por EA (European co-operation for Accreditation), o ILAC (International Laboratory Accreditation Cooperation), que las utilizan como medio para comprobar la equivalencia de las acreditaciones concedidas por los firmantes de los

PRODUCTO/MATERIAL A ENSAYAR	ENSAYO	MÉTODO DE ENSAYO
Barreras metálicas. Vallas y sus accesorios	Aspecto superficial del recubrimiento	UNE 135121:2003 Apdo. 4.2.2
	Adherencia del recubrimiento	UNE 37501:1988 Apdo. 7.2.5
	Espesor del recubrimiento. Método magnético (0-500 µm) Espesor de masa de cinc. Método por cálculo	UNE-EN ISO 2178:1996 Procedimiento interno ITE-MIB04
	Dimensiones	UNE 135121:2003 Apdo. 5.1.2 Y 5.3 UNE 135122:2003 Apdo. 3.1.1 y 3.2.2

TABLA 2.

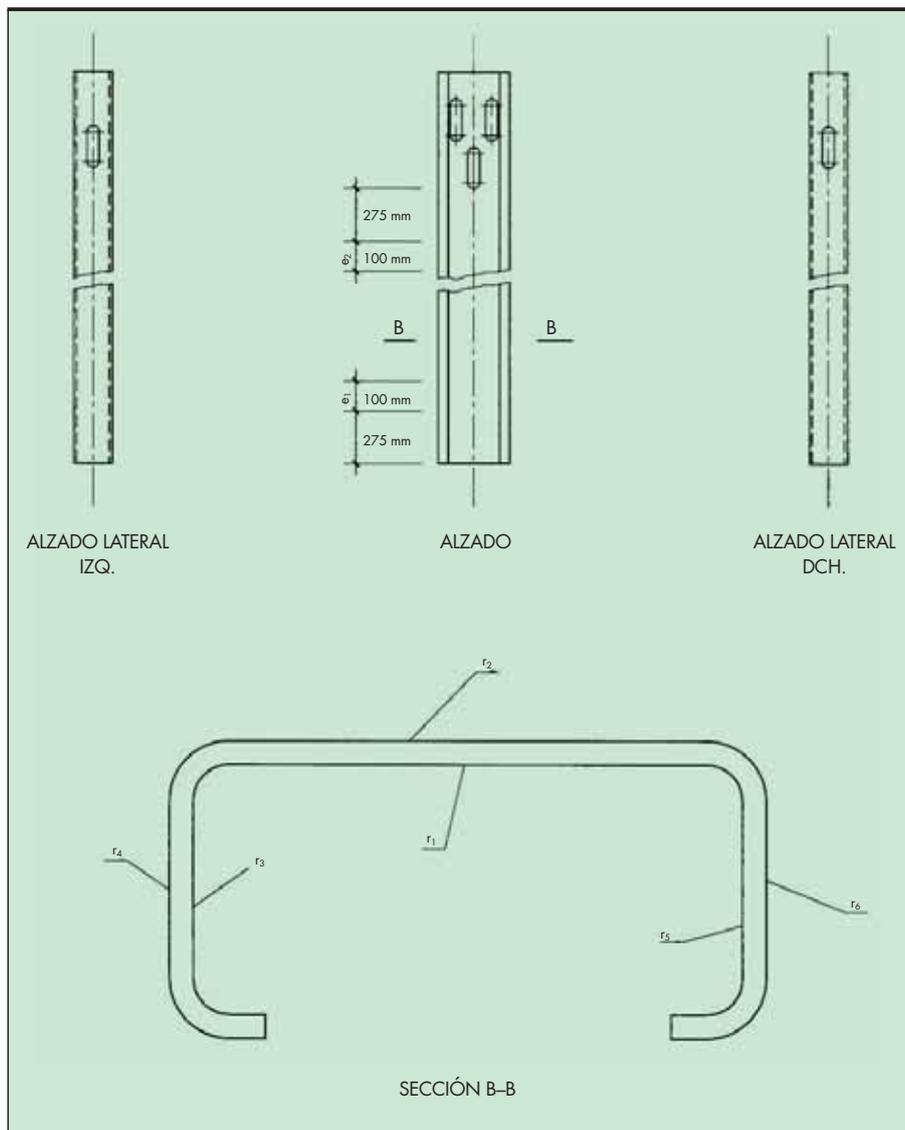


FIGURA 6. Dimensiones del poste: cotas que se determinan.
 NOTA: La sección B-B se tomará desde la parte opuesta a los taladros.

acuerdos de reconocimiento mutuo. Este tipo de intercomparación es obligatoria para los laboratorios acreditados si es solicitado por ENAC.

3. Las organizadas en los Comités Técnicos Asesores de ENAC, que son órganos asesores en los que están representados las entidades acreditadas por ENAC.
4. Comparaciones bilaterales que son realizadas por ENAC dentro de los procesos de evaluación en auditorías iniciales, de ampliación y reevaluación de laboratorios de calibración para verificar la competencia técnica del laboratorio.
5. Otras intercomparaciones, que no están incluidas en los apartados anteriores, por ejemplo, las organizadas por colaboración entre varios laboratorios.

Por otra parte ENAC establece unos mínimos de participación de laboratorios en intercomparaciones. Estos mínimos son:

1. Al menos una participación antes de otorgar la acreditación. ENAC comprueba esta participación en intercomparaciones antes de la concesión de la acredita-

ción. En los formularios de solicitud para laboratorios de ensayo y calibración debe anexarse la información de las intercomparaciones en las que hayan participado durante los cinco últimos años.

Esta información ENAC la considera imprescindible para continuar el proceso, siempre que no se dé la imposibilidad de intercompararse en esa área determinada.

2. En el periodo entre reevaluaciones deben participar en una campaña al menos para cada una de las familias de ensayos.

Para cumplir estos requisitos es necesario que el laboratorio clasifique los ensayos o calibraciones de su anexo técnico en familias de ensayo o calibración. Los criterios para definir las familias serán:

1. Por el producto a ensayar o el equipo a calibrar.
2. Por la propiedad a determinar o la magnitud de calibración.
3. Por la técnica de medida o método de calibración utilizado.

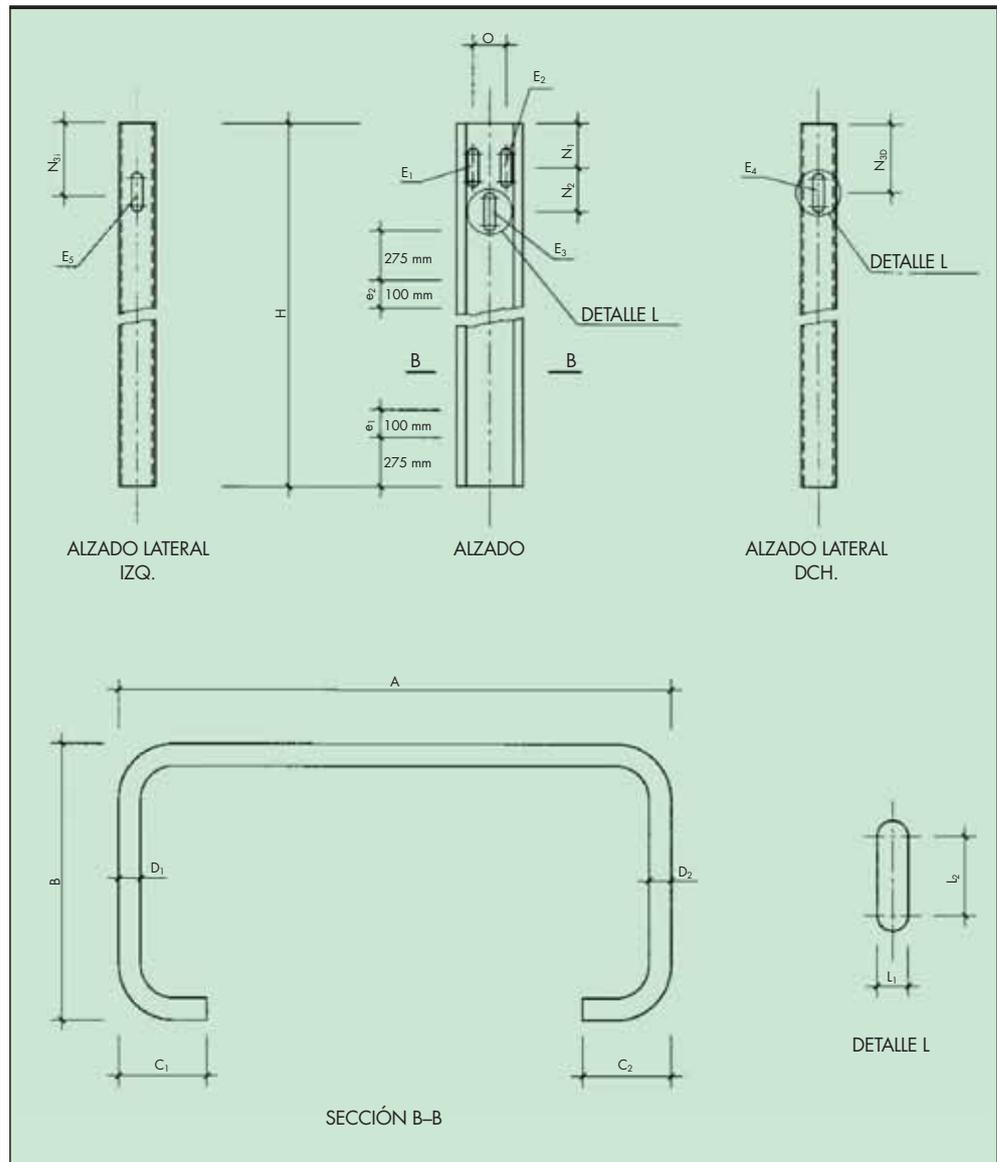


FIGURA 7. Espesor de recubrimiento del poste: zonas en que se determina.

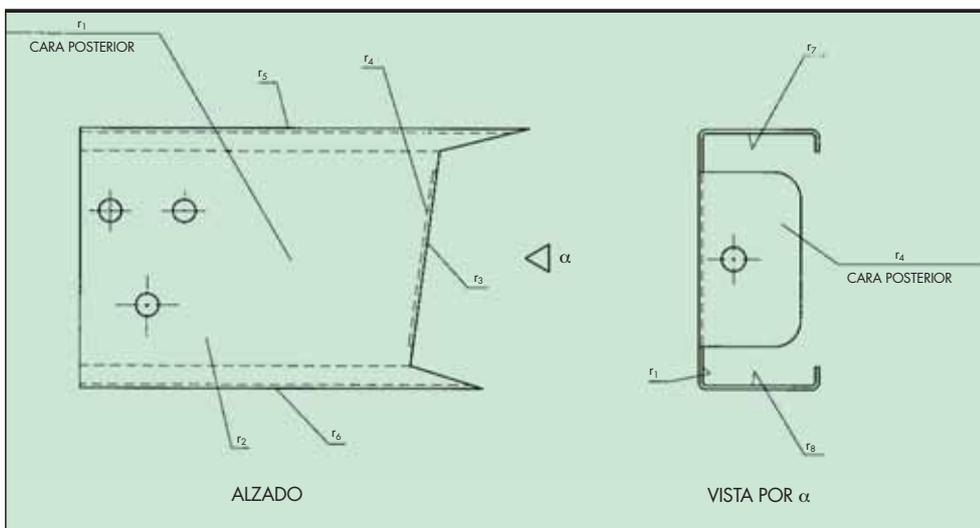


FIGURA 8. Dimensiones del separador: cotas que se determinan.

NOTAS:

1. Debido al tamaño de la pieza lo consideramos como una única zona.
2. La determinación se llevará a cabo en la parte central, en la pestaña, y en ambas alas, por sus partes interior y exterior.

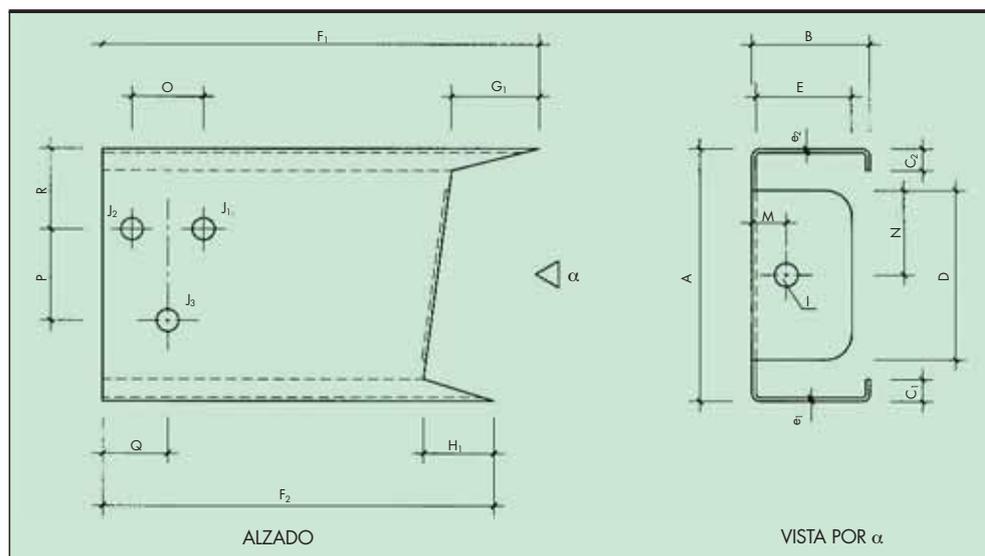


FIGURA 9. Espesor de recubrimiento del separador: zonas en que se determina.

La evaluación por parte de ENAC de la participación en intercomparaciones y sus resultados se basa en los siguientes puntos:

1. Las políticas y procedimientos sobre intercomparaciones.
2. La definición de familias de ensayo o calibraciones.
3. El programa de participación en intercomparaciones.
4. Los resultados obtenidos.
5. Las conclusiones obtenidas por el laboratorio sobre su propia actuación.
6. Las medidas adoptadas ante resultados no satisfactorios.

Número de observaciones	T_n		
	$\alpha = 0.05$	$\alpha = 0.02$	$\alpha = 0.01$
3	1.15	1.15	1.15
4	1.46	1.48	1.49
5	1.67	1.71	1.75
6	1.82	1.89	1.94
7	1.94	2.02	2.10
8	2.03	2.13	2.22
9	2.11	2.21	2.52
10	2.18	2.29	2.41

* Adaptado de J. Mandel, en el Treatise on Analytical Chemistry, 2^o ed. I. M. Kolthoff y P.J. Elving, Eds., Part I, Vol 1 p. 284. New York: Wiley 1978. Con autorización de John Wiley & Sons, Inc.

TABLA 3.

2. RESULTADOS

La toma de muestra para realizar la intercomparación se realizó en las instalaciones de ASEBAL.

Dada la dificultad de hacer circular una valla, el material seleccionado consiste en dos postes en negro, dos postes galvanizados, dos separadores en negro y dos separadores galvanizados.

Participaron en la intercomparación 6 fabricantes y 2 laboratorios acreditados. El orden en el que se realizan los ensayos dimensional y de galvanizado es el siguiente:

- AUXILIAR DE BALIZAMIENTOS
- CEDEX
- LABORATORIO CEIS
- INDUSTRIAS DUERO
- HIERROS Y APLANACIONES
- MIERES TUBOS
- SEÑALIZACIONES POSTIGO
- PROTECCIONES GALVÁNICAS
- CEDEX

Se ha asignado a cada participante de forma aleatoria un número del 1 al 8 excepto el CEDEX, que repitió los ensayos al final, por lo que está numerado dos veces.

Todos los fabricantes han enviado sus resultados al CEDEX, pero los correspondientes a SEÑALIZACIONES POSTIGO no estaban identificados correctamente por lo cual, después de realizada una consulta aclaratoria a dicha empresa, no se incluyeron.

Para discriminar datos discrepantes se ha utilizado el test de Grubbs para $\alpha = 0,05$:

$$Tn = \left| \frac{X - \bar{X}}{\sigma} \right|$$

Donde:

X : Resultado.

\bar{X} : Valor medio.

σ : Desviación típica.

Una vez calculada Tn mediante la expresión anterior se compara con los valores de la tabla 3.

Si Tn calculada es menor que Tn tabulada el dato no es discrepante.

Si T_n calculada es mayor que T_n tabulada el dato es discrepante.

En total son veinte los datos discrepantes, siete del fabricante identificado como 5, cuatro del identificado como 8, cuatro del identificado como 3, tres del identificado como 6, uno del identificado como 2 y uno del identificado como 1.

Para valorar la situación una vez eliminados los datos discrepantes el criterio elegido es:

Límite de aviso: \bar{X} fuera del intervalo: $\bar{X} \pm \sigma$

Límite crítico: \bar{X} fuera del intervalo: $\bar{X} \pm 2\sigma$

Desde la tabla 5 hasta la 12 describen las zonas en las que se sitúan los valores de las diferentes cotas medidas.

ZONA CRÍTICA	
$\bar{X} + 2\sigma$ ZONA AVISO	Lím. crítico
$\bar{X} + \sigma$ ZONA BUENA	Lím. aviso
\bar{X}	\bar{X}
$\bar{X} - \sigma$ ZONA BUENA	Lím. aviso
$\bar{X} - 2\sigma$ ZONA AVISO	Lím. crítico
ZONA CRÍTICA	

TABLA 4.

	POSTE 1							
	1	7	2	6	3	5	4	8
Espesor chapa	AVISO	BIEN	AVISO	BIEN	BIEN	BIEN	AVISO	BIEN
A	BIEN	BIEN	BIEN	BIEN	BIEN	AVISO	AVISO	BIEN
B	AVISO	BIEN		BIEN	AVISO	BIEN	BIEN	BIEN
C₁	AVISO	BIEN	BIEN	BIEN	BIEN		BIEN	BIEN
C₂	AVISO	AVISO	BIEN	BIEN	AVISO		BIEN	AVISO
H	BIEN	AVISO	BIEN	BIEN	BIEN	AVISO	BIEN	BIEN
L₁	AVISO	BIEN	AVISO	BIEN	BIEN	AVISO	BIEN	BIEN
L₂	BIEN		AVISO	BIEN	AVISO	BIEN	BIEN	BIEN
N₁	BIEN	BIEN	BIEN	BIEN	BIEN		AVISO	BIEN
N₂	BIEN	AVISO	BIEN	BIEN	AVISO	AVISO	BIEN	AVISO
N_{3 izq}	BIEN	BIEN	BIEN		AVISO	BIEN	BIEN	AVISO
N_{3 der}	BIEN	BIEN	AVISO		BIEN	BIEN	BIEN	AVISO
O	BIEN	BIEN	AVISO	BIEN	BIEN		AVISO	BIEN

TABLA 5.

	POSTE 2							
	1	7	2	6	3	5	4	8
Espesor chapa	AVISO	BIEN	BIEN	BIEN	BIEN	BIEN	AVISO	BIEN
A	BIEN	BIEN	BIEN	BIEN	BIEN	AVISO	AVISO	BIEN
B	BIEN	BIEN	AVISO	BIEN	AVISO	BIEN	BIEN	BIEN
C₁	AVISO	BIEN	BIEN	BIEN	AVISO		BIEN	BIEN
C₂	AVISO	AVISO	BIEN	BIEN	BIEN		BIEN	AVISO
H	BIEN	AVISO	BIEN	BIEN	BIEN		BIEN	BIEN
L₁	AVISO	BIEN	BIEN	BIEN	BIEN	AVISO	BIEN	BIEN
L₂	BIEN		BIEN	BIEN	AVISO	AVISO	BIEN	AVISO
N₁	AVISO	BIEN	BIEN	BIEN	AVISO		BIEN	BIEN
N₂	AVISO	AVISO	BIEN	BIEN	BIEN	AVISO	BIEN	BIEN
N_{3 izq}	BIEN	BIEN	AVISO		BIEN	BIEN	BIEN	CRÍTICO
N_{3 der}	BIEN	BIEN	AVISO		AVISO	BIEN	BIEN	AVISO
O	BIEN	AVISO	AVISO	BIEN	BIEN		AVISO	AVISO

TABLA 6.

	POSTE 3							
	1	7	2	6	3	5	4	8
Espesor galvanizado	BIEN	BIEN	BIEN	BIEN	BIEN	CRÍTICO	BIEN	BIEN

TABLA 7.

	POSTE 4							
	1	7	2	6	3	5	4	8
Espesor galvanizado	BIEN	BIEN	AVISO	BIEN	BIEN	BIEN	BIEN	AVISO

TABLA 8.

	SEPARADOR 1							
	1	7	2	6	3	5	4	8
Espesor chapa	AVISO	BIEN	BIEN	BIEN	BIEN	AVISO	BIEN	BIEN
A	BIEN	BIEN	BIEN	BIEN	BIEN		AVISO	BIEN
B	AVISO	AVISO	BIEN	BIEN	BIEN	AVISO	BIEN	AVISO
C₁	BIEN	AVISO	BIEN	BIEN	AVISO		BIEN	BIEN
C₂		BIEN	AVISO	BIEN	AVISO		BIEN	BIEN
D	BIEN	BIEN	BIEN		AVISO		AVISO	BIEN
E	BIEN		BIEN	BIEN	AVISO		BIEN	AVISO
F₁	BIEN	AVISO	BIEN	AVISO	BIEN	AVISO	AVISO	AVISO
F₂	AVISO	BIEN	BIEN	BIEN	BIEN	BIEN	AVISO	AVISO
G₁	BIEN	BIEN	BIEN	AVISO	BIEN		BIEN	AVISO
H₁	BIEN	BIEN	BIEN	BIEN	BIEN		BIEN	
I	AVISO	BIEN	BIEN	BIEN	AVISO		BIEN	BIEN
J₁	AVISO	BIEN	BIEN	BIEN			AVISO	BIEN
J₂	AVISO	AVISO	BIEN	BIEN			BIEN	BIEN
J₃	BIEN	AVISO	BIEN	BIEN	AVISO		BIEN	AVISO
M	BIEN	BIEN	AVISO	BIEN			BIEN	AVISO
N	BIEN	BIEN	AVISO	AVISO	AVISO		BIEN	BIEN
O	BIEN	BIEN	BIEN	BIEN	AVISO		AVISO	BIEN
P	AVISO	BIEN	AVISO	BIEN	BIEN		BIEN	AVISO
Q	AVISO	BIEN	AVISO	BIEN	AVISO		BIEN	BIEN
R	BIEN	AVISO	BIEN	AVISO	BIEN		BIEN	BIEN

TABLA 9.

	SEPARADOR 2							
	1	7	2	6	3	5	4	8
Espesor chapa	AVISO	BIEN	BIEN	BIEN	BIEN	AVISO	AVISO	BIEN
A	BIEN	BIEN	BIEN	BIEN	AVISO		AVISO	BIEN
B	BIEN	BIEN	AVISO	BIEN	BIEN		AVISO	AVISO
C₁	BIEN	AVISO	BIEN		BIEN		BIEN	AVISO
C₂	BIEN	BIEN	BIEN	BIEN	AVISO		AVISO	BIEN
D	BIEN	BIEN	BIEN		BIEN		AVISO	AVISO
E	BIEN		BIEN	AVISO	BIEN		BIEN	
F₁	BIEN	AVISO	BIEN	AVISO	BIEN	AVISO	BIEN	AVISO
F₂	BIEN	AVISO	BIEN	BIEN	BIEN		AVISO	AVISO
G₁	BIEN	BIEN	BIEN	BIEN	AVISO		BIEN	AVISO
H₁	BIEN	BIEN	AVISO	BIEN	AVISO		BIEN	
I	BIEN	BIEN	AVISO	BIEN	BIEN		AVISO	BIEN
J₁	AVISO	BIEN	BIEN	BIEN	BIEN		AVISO	BIEN
J₂	BIEN	BIEN	AVISO	BIEN	AVISO		BIEN	BIEN
J₃	BIEN	BIEN	BIEN	BIEN	BIEN		AVISO	BIEN
M	BIEN	BIEN	BIEN	BIEN			AVISO	AVISO
N	BIEN	BIEN	AVISO	BIEN	AVISO		BIEN	AVISO
O	BIEN	AVISO	AVISO	AVISO	BIEN		BIEN	BIEN
P	BIEN	BIEN	AVISO	BIEN	AVISO		AVISO	
Q	BIEN	BIEN	BIEN	AVISO	AVISO		BIEN	BIEN
R	BIEN	BIEN	AVISO	BIEN	BIEN		AVISO	AVISO

TABLA 10.

	SEPARADOR 3							
	1	7	2	6	3	5	4	8
Espesor galvanizado	BIEN	BIEN	BIEN	BIEN	BIEN		AVISO	AVISO

TABLA 11.

	SEPARADOR 4							
	1	7	2	6	3	5	4	8
Espesor galvanizado	AVISO	BIEN	AVISO	BIEN	AVISO		BIEN	BIEN

TABLA 12.

	Poste 1		Poste 2	
	1	4	1	4
Espesor chapa	AVISO	AVISO	AVISO	AVISO
A		AVISO		AVISO
B	AVISO			
C ₁	AVISO		AVISO	
C ₂	AVISO		AVISO	
H				
L ₁	AVISO		AVISO	
L ₂				
N ₁		AVISO	AVISO	
N ₂			AVISO	
N _{3 izq}				
N _{3 der}				
O		AVISO		AVISO

TABLA 13. Resultados CEDEX dimensiones.

	Poste 3		Poste 4	
	1	4	1	4
Espesor galvanizado				

TABLA 14. Resultados CEDEX espesor galvanizado.

Los resultados obtenidos por el CEDEX para los postes son los mostrados en las tablas 13 y 14.

Los resultados obtenidos por el CEDEX para los separadores son los mostrados en las tablas 15 y 16.

3. RESUMEN Y CONCLUSIONES

La intercomparación está hecha para dimensiones y espesor del recubrimiento.

Todos los fabricantes han dado como resultado de la adherencia del recubrimiento que no se produce desprendimiento del zinc, excepto los identificados con los números 3 y 5 que no han dado ese resultado.

El ensayo del aspecto superficial del recubrimiento es tan subjetivo que no se ha intercomparado.

El análisis de resultados pone de manifiesto que el 64% de los valores de los ensayos dimensionales obtenidos se sitúan en la zona denominada zona buena, lo que confirma que la intercomparación está bien planteada y que se mide razonablemente bien.

3.1. POSTES

En el ensayo dimensional el número de resultados obtenidos clasificados en la zona denominada zona de aviso (fuera de $\bar{X} \pm \sigma$), está homogéneamente repartido entre todos los par-

	Separador 1		Separador 2	
	1	4	1	4
Espesor chapa	AVISO		AVISO	AVISO
A		AVISO		AVISO
B	AVISO			AVISO
C ₁				
C ₂	DISCR			AVISO
D		AVISO		AVISO
E				
F ₁		AVISO		
F ₂	AVISO	AVISO		AVISO
G ₁				
H ₁				
I	AVISO			AVISO
J ₁	AVISO	AVISO	AVISO	AVISO
J ₂	AVISO			
J ₃				AVISO
M				AVISO
N				
O		AVISO		
P	AVISO			AVISO
Q	AVISO			
R				AVISO

TABLA 15. Resultados CEDEX dimensiones.

	Separador 3		Separador 4	
	1	4	1	4
Espesor galvanizado		AVISO	AVISO	

TABLA 16. Resultados CEDEX espesor galvanizado.

ticipantes, obteniéndose como media cuatro valores en estas condiciones, que representa del orden del 30% del total.

El participante identificado como número 6 tiene todos los resultados en la zona buena, lo que se puede deber a que ha utilizado un procedimiento de medida diferente al resto, si bien en las determinaciones de las dimensiones de los separadores no ocurre esta circunstancia.

Sólo el identificado como número 8 tiene un resultado clasificado como crítico ya que sobrepasa el límite crítico ($\bar{X} \pm 2\sigma$).

No se aprecian tendencias en los parámetros medidos.

En el ensayo del espesor de galvanizado hay menor dispersión, todos los valores están en la zona buena excepto tres, dos de ellos están en la zona de aviso y uno en la zona crítica.

3.2. SEPARADORES

En el ensayo dimensional el número de resultados clasificados en la zona de aviso está homogéneamente repartido entre todos los participantes obteniéndose como media seis valores en estas condiciones, lo que representa el 40% de los resultados.

En este caso tampoco se aprecian tendencias en los parámetros medidos.

El identificado como número 5 para el separador 1 sólo ha dado cuatro resultados de los que tres están en la zona de aviso. Para el separador 2 de los cuatro resultados dos son discrepantes y los otros dos están en la zona de aviso.

En el ensayo del espesor de galvanizado hay menor dispersión. Todos los valores están en la zona buena excepto cinco que están en la de aviso.

El CEDEX sólo ha tenido un dato discrepante relativo a la medida C_2 (ver figura y Resultados CEDEX dimensiones separadores), que se produjo en la primera tanda de medidas en el separador 1. No hay límites críticos por lo que los resultados resultan satisfactorios.

4. BIBLIOGRAFÍA

- NT-03 Rev 3. Política de ENAC sobre Intercomparaciones.
- Acreditación nº 82/LE621.
- Reglamento particular de la marca AENOR para barreras metálicas, RP 52.03.
- Orden de 28 de diciembre de 1999 del Ministerio de Fomento, 704 Barreras de seguridad.
- UNE 135 121 Sistemas viales de contención de vehículos. Barreras metálicas. Valla de perfil de doble onda. Materiales, dimensiones, formas de fabricación y ensayos.
- UNE 135 122 Sistemas viales de contención de vehículos. Barreras metálicas. Elementos, accesorios de las barreras metálicas. Materiales, dimensiones, formas de fabricación y ensayos.
- UNE EN 1179 Cinc y aleaciones de cinc. Cinc primario.
- UNE EN 1317 Sistemas viales de contención de vehículos.
- UNE EN 10025 Productos laminados en caliente, de acero no aleado para construcciones metálicas de uso general. Condiciones térmicas de suministro.
- UNE EN ISO 1461 Recubrimientos galvanizados en caliente sobre productos acabados de hierro y acero. Especificaciones y métodos de ensayo.
- Procedimiento Bureau Veritas para la certificación de producto de barreras metálicas PE01CPI. Barreras metálicas.
- Orden circular 321/95 T y P. Recomendaciones sobre sistemas de contención de vehículos.
- Manual de la calidad (MC) y Procedimientos de la calidad (PC) del Laboratorio Central de Estructuras y Materiales (CEDEX).
- El zinc, ese gran desconocido. S. López Ramos y A. Martínez del Olmo. Ingeniería Civil nº 148, octubre, noviembre, diciembre 2007. Págs. 71-80.
- Control de calidad de los elementos de acero galvanizado utilizados en equipamientos de carreteras. S. López Ramos. Ingeniería Civil nº 106, abril, mayo, junio 1997. Págs. 45-51.

LÁMINAS DE PVC-P ALKORPLAN EN LA AGRICULTURA Y EN LA CONSTRUCCIÓN DE EMBALSES DE RIEGO

INTRODUCCIÓN

El déficit de agua para uso agrícola se ve agravado por las demandas de las ciudades y las industrias, por el aumento de la población, por un mayor número de tierras agrícolas abiertas al riego y por los cambios climatológicos causados por la deforestación o por el calentamiento de la atmósfera (efecto invernadero).

Las ventajas que presentan los embalses en el sector de la agricultura serán:

- Rapidez de la obra.
- Proximidad a la zona de servicio.

En todo proyecto de embalse se deberá tener una información completa y veraz de cualquier elemento que pueda tener incidencia sobre el mismo.

El diseño es un factor importante en la funcionalidad del embalse y su economía, tanto en sus aspectos constructivos como de explotación.

IMPERMEABILIZACIÓN Y TIPOS DE LÁMINAS

Un embalse se compone de dos elementos principales que son, una estructura de tie-

rras que conforma el vaso propiamente dicho y una impermeabilización que recubre totalmente su interior.

RENOLIT IBERICA, SA produce las membranas **ALKORPLAN SA B (35254)** y **ALKORPLAN PES B (00421)** para la impermeabilización de embalses.

1º ALKORPLAN SA B (35254) es una lámina sin armadura de color gris o azul, de policloruro de vinilo flexible (PVC-P) obtenida por calandrado o extrusionado. Según **Certificado de Conformidad CE 80099/CPD/A86/0003**, en base a **las normas UNE-EN13361 y UNE-EN 13362**.

2º ALKORPLAN PES B (00421) es una lámina gris o azul de policloruro de vinilo flexible (PVC-P), reforzada con malla de poliéster, obtenida por calandrado y doblado. Según **Certificado de Conformidad CE (0099/CPD/A86/0003)**, en base a **las normas UNE-EN 13361 y UNE-EN 13362**.

Ambas membranas ofrecen una excelente estabilidad frente a los rayos UV,

permitiendo ofrecer de una garantía de 10 años para colocaciones sin protección (intemperie).

Los espesores van desde 1.2 mm hasta 2.5 mm en anchos de 2.05 mts y longitudes standard de 20 mts, suministradas en rollos con mandril de cartón, convenientemente paletizados y protegidos.

MANTENIMIENTO

Para prolongar la vida de la balsa y de la membrana será necesario:

- 1º Proceder a la medida y análisis de los niveles de agua, del caudal de pérdida (teniendo en cuenta la evaporación).
- 2º Realizar un examen y control periódico anual de la geomembrana.
- 3º Limpiar eventualmente la geomembrana y verificar los anclajes.
- 4º Analizar los líquidos a almacenar.
- 5º Evitar el desbordamiento del líquido.
- 6º Controlar los respiraderos de los drenajes.
- 7º Extracción de los cuerpos flotantes.
- 8º Inspección de los taludes exteriores.



SABEMOS POR DONDE PISAMOS.

**SÓLO ASÍ PODEMOS ADELANTARNOS
A SUS NECESIDADES.**

Ofreciéndole todos los productos
que precisa su negocio.

Una gama de soluciones específicas que,
combinando innovación y sostenibilidad,
han sido desarrolladas para cualquier actividad.

**Gamas para carretera:
CEPSASFALT, STYRELF, FLEXODUR,
EMASFALT, STYEMUL Y NOVACEP.**

Gamas para industria: INDUSFALT y OXICEP.

Gamas para construcción: CONSTRUCEP.

Porque ofreciéndole soluciones, seguimos ampliando horizontes.

PROAS
Betunes **CEPSA**

Fábrica y comportamiento geotécnico de las arcillas volcánicas de Xalapa, México

OSCAR LENZ (*)

RESUMEN La Ciudad de Xalapa se encuentra enclavada en la parte oriental del Eje Neovolcánico Mexicano y está cimentada, en su mayoría, en arcillas de origen volcánico del cuaternario. Dichas cenizas tienen un comportamiento peculiar cuando el microclima que les rodea varía, lo anterior se observa en los deslizamientos de taludes y en terraplenes, por otra parte, estas arcillas presentan problemas para su identificación, dado que estos suelos son ricos en halloysita y en menor medida por alofana.

Para comprender la microestructura en estado natural de la arcilla se estudia las características físico-químicas de sus componentes por el método de cromatografía iónica y la composición química, en partículas aisladas, se analiza con un microscopio electrónico de transmisión (MET), con un detector acoplado de dispersión de energía de rayos-X. Por otro lado, la composición mineralógica se obtiene a partir de difractogramas de rayos-X de polvo en fracción arcillosa. La morfología de las partículas se identifica por medio del MET. Se asocian los límites líquidos con la superficie específica de las partículas, esta última determinada por adsorción de N_2 . Se compara la fábrica de la arcilla en estado natural y artificial (con diferentes métodos de compactación) en el microscopio electrónico de barrido (MEB). A partir de lo anterior, se estudia los niveles de la fábrica, la morfología de los poros y el tipo de conexiones de las partículas. Para verificar la hipótesis de que las propiedades mecánicas del suelo dependen de la fábrica de este, se preparan probetas artificiales y naturales y se caracteriza su comportamiento geotécnico para observar su respuesta y compararla. También se observa como influye la fábrica en la deformabilidad de éste bajo succión constante. Se investiga cuidadosamente la resistencia residual y se compara con la de pico.

FABRIC AND GEOTECHNICAL BEHAVIOR OF THE VOLCANIC CLAYS OF XALAPA, MÉXICO

ABSTRACT *The City of Xalapa is located in the Eastern part of the Mexican Neovolcanic Axis and is laid the foundations, in its majority, clays of volcanic origin of the Quaternary. These ashes have a peculiar behavior when the microclimate around them varies, as shown in previous slides of the slope and embankments. On the other hand, these clays have problems for their identification, as these soils are rich in halloysite and to a lesser extent by allophanes. To understand the microstructure in natural state of the clay one studies the characteristics physical-chemistries of his components by the method of ionic chromatography and the chemical isolated particle composition is analyzed with a transmission electron microscope (TEM) with a connected detector of dispersion of X-ray energy. On the other hand, the mineralogical composition is obtained from X-ray diffractometer of dust in argillaceous fraction. The morphology of particles is identified by means of the TEM. Limits liquid associated with the specific surface of particles, this last one determined by adsorption of N_2 . The fabric of the clay in natural and artificial state (with different methods from compaction) in the scanning electron microscope (SEM) is compared. In accordance with the above-mentioned, it is studied the levels of the fabric, the morphology of the pores and the type of connections of the particles. In order to verify the hypothesis that the mechanical properties of the soil depend on the fabric of this, artificial and natural samples prepared and geotechnical behavior is characterized to observe its answer and to compare it. Also it is observed as it influences the fabric in the deformation of this one under constant suction. The residual strength is investigated carefully and it is compared with that of the peak.*

Palabras clave: Microestructura, Fábrica, Fuerzas interpartículas, Cenizas volcánicas, Mineralogía, Succión, Deformabilidad y Resistencia residual.

Keywords: Microstructure, Fabric, Forces interparticles, Volcanic ashes, Mineralogy, Suction, Deformability and residual strength.

1. INTRODUCCIÓN

Las arcillas volcánicas forman un grupo importante dentro de los suelos que se distribuyen a todo lo largo y ancho del Eje Ne-

ovolcánico Mexicano (ENM) y se encuentran en altitudes entre 1,300 y 3,120 m con respecto al nivel medio del mar. La parte oriental del ENM está bajo la influencia de condiciones climáticas subtropicales húmedas a tropicales, con abundantes lluvias

(*) Catedrático de las asignaturas de cimentaciones y comportamiento de suelos de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Veracruzana, México.

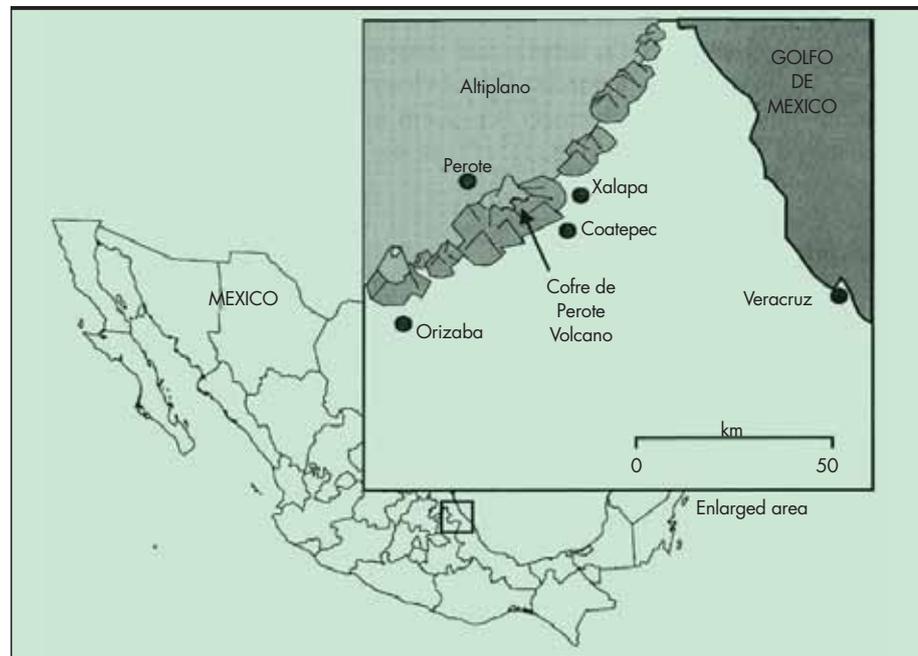


FIGURA 1. Localización de la Cuenca de Xalapa y la distribución de los volcanes de la región (Dubroeuq et al, 2002).

(precipitaciones anuales de 1,700 a 2,200 mm) y temperaturas altas, bajo estas condiciones, a las arcillas aquí estudiadas se les pueden denominar suelos tropicales (Vargas, M., 1985) o arcillas tropicales. Bajo este ambiente climático, las arcillas volcánicas sufren una intensa descomposición química (lixiviación¹) y evolucionan de cenizas volcánicas/vidrios a alofanos y halositas y ésta última hasta transformarse en metahalosita (González de Vallejo et al, 1981; Sifferman y Millot, 1969). Los depósitos de piroclastos que ocupan gran parte del área metropolitana de la Ciudad de Xalapa están constituidos por cenizas volcánicas (volcanic ash). Las laderas se encuentran compuestas por arcillas de color café rojizo *no saturadas*; y en las zonas bajas predominan las arcillas de color café oscuro o negras *saturadas*. Según González de Vallejo et al (2002), a estos depósitos se les puede considerar como suelos transportados, debido a la acción de las emisiones de materiales piroclásticos provenientes de los pequeños aparatos volcánicos del lugar.

Se ha observado en campo, que los taludes compuestos por arcillas café rojizas muestran un comportamiento inestable ante cambio climático. Estas arcillas o cenizas volcánicas presentan una compresibilidad baja anormal y resistencias altas, comparada con arcillas sedimentarias que tengan el mismo límite líquido. Por otro lado, el tratamiento previo a los ensayos de los límites de consistencia y análisis granulométrico influye en los resultados, como se apreciará más adelante, esto trae como consecuencia dificultad para la identificación en campo y dificulta la interpretación de los resultados de laboratorio.

En zonas constituidas por depósitos recientes de cenizas volcánicas meteorizadas y con buenas condiciones de drenaje, es común encontrarse a la alofana junto a la halosita; también se encuentra, específicamente, en las partículas de vidrio de suelos volcánicos meteorizados. Los suelos que contienen alofana, presentan propiedades plásticas anormales con respecto a otros suelos sedimentarios. Los contenidos de

humedad, en el límite líquido de un suelo compuesto por alofana y halosita, puede reducirse si se seca el suelo previo al ensayo (Terzaghi, 1958; Newill, 1961; Jiménez Salas, 1963; Wesley, 1973; González de Vallejo, 1979; Lenz, 2004). Como dato interesante, Mitchell (1993) apunta que la alofana no tiene una composición o forma definida y exhibe una gran variedad de propiedades físicas, por otra parte, Yong y Warkentin (1975) no consideran a la alofana dentro del grupo de las caolinitas o de algún otro grupo, sino la consideran como un grupo de mineral de arcilla aparte.

En resumen, la alofana la encontramos siempre asociada a la halosita en depósitos de cenizas y materiales piroclásticos que contienen partículas de vidrio meteorizados y de reciente deposición, como los suelos de Java, Indonesia, los suelos tropicales de África, Japón, Nueva Zelanda y Centro-América.

En los proyectos de ingeniería que han requerido utilizar rellenos compuestos por las arcillas volcánicas, confinadas por estructuras de retención, éstas han inducido el colapso a dichas obras ante cambios de sus propiedades, y por lo general estos rellenos han sido compactados con humedades de compactación inadecuadas.

Dado que se han tenido y existen problemas de inestabilidad en las laderas y taludes compuestos por estas arcillas de origen volcánico y también se presentan problemas en rellenos, se centrará nuestro estudio en ellas, partiendo del entendimiento de su fábrica y en general de su microestructura.

2. LA CUENCA DE XALAPA

Según la carta estatal de regionalización fisiográfica del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI, 1987), la cuenca que aloja a la Ciudad de Xalapa se encuentra enclavada en la parte oriental del Eje Neovolcánico y al sur de la Sierra Madre Oriental, en el paralelo 19 y meridiano 96, y su elevación, con respecto al nivel medio del mar, varía de 1,300 (en la parte más baja) a 1,500 metros en el pináculo del Cerro Macuiltepec. La Figura 1 muestra la Cuenca de Xalapa compuesta por un campo de pequeños volcanes, el más sobresaliente corresponde al Cerro Macuilte-

¹ Lixiviación: en geología se maneja como descomposición química.

MATERIAL	ANTIGUEDAD	COMPOSICIÓN ⁽¹⁾	OBSERVACIONES
Cenizas (arcillas volcánicas)	Cuaternario reciente (<1,5 m.a.)	Cuarzo, cristobalita y Halloysita (abundante)	Las capas superficiales de estos suelos tienen propiedades de un andosol y presentan fisuras
Arena pumítica	Cuaternario reciente (<1,5 m.a.)	Vidrios volcánicos ricos en silicio	Arenas de compacidad media a muy compactas
Lavas	Pleistoceno (aprox. 1.5 m.a.)	– Piroxenos pequeños (augita) – Plagioclasas, predominio de labradorita	Presenta formas vesiculares y muy porosas.
Basalto andesítico	Pleistoceno (aprox. 1.5 m.a.)	Fenocristales: piroxenos, plagioclasas y poco andesina. La matriz es vítrea: microlitos de plagioclasas	Esta roca presenta cierto grado de agrietamiento.

⁽¹⁾ Quantin, P y Geissert, D., 1982

TABLA 1. Litología que predomina en la Cuenca de Xalapa.

pec (estratovolcán), que inició su actividad en el Cuaternario, con una significativa aportación de rocas ígneas extrusivas básicas (Carta Estatal Geológica INEGI, 1987) y materiales piroclásticos. Después, estas áreas se rejuvenecieron en superficie por cenizas volcánicas del Holoceno (Quantin, P, y Geissert, D., 1982) que son las que terminaron de modelar el paisaje actual. La mancha urbana de la Ciudad de Xalapa rodea el pequeño Volcán Macuiltepec. Hacia su parte occidental colinda con las faldas del volcán Cofre de Perote, y hacia su parte oriental con la provincia fisiográfica Planicie Costera de Golfo de México, esta última recibe todas las brisas del Golfo de México.

Los rasgos geomorfológicos están condicionados por la actividad volcánica que hubo en la región, representada por los Volcanes Macuiltepec y Coatepec, y a los grandes movimientos de terreno que ocasionó el Volcán Cofre de Perote, ubicado éste al suroeste de la Cuenca Xalapa, a una distancia aproximada de unos 20 Kms.

La Región de Xalapa está representada por laderas con pendientes suaves a abruptas, dando a la topografía del lugar características de buen drenaje. Las laderas están constituidas por cenizas volcánicas² de consistencia muy firme (tobas de color café fisuradas), y las zonas bajas están ocupadas por corrientes de lavas y rocas basálticas, cubiertas por materiales arcillosos provenientes de las laderas, con espesores que varían desde un metro hasta más de dos metros. Éstos materiales arcillosos, por lo regular, se encuentran mezclados con gravas, arenas y bombas volcánicas, y a veces los bloques de rocas basálticas se encuentran empacadas en éste tipo de suelos. Otros materiales piroclásticos que se encuentran en la parte sur y oriental de la Cuenca de Xalapa son los grandes depósitos de arenas pumíticas que conforman una morfología muy irregular y accidentada.

De acuerdo con todo lo comentado en este apartado, se resume en la Tabla 1 la litología predominante del lugar y en la Figura 2 se muestra la estratigrafía típica que se encontró en sondeos realizados sobre las laderas que se localizan en la zona sur de la ciudad de Xalapa.

Además de lo comentado hasta aquí, cabe hacer mención del siguiente aspecto que influye en el entorno geológico de

2 Según Fisher (1961), estas cenizas volcánicas pertenecen al grupo de las rocas piroclásticas que contienen fragmentos producidos por explosiones volcánicas y lanzadas hacia el exterior desde las aberturas volcánicas, en partículas separadas. Estas partículas, según el autor, las denomina cenizas y tienen tamaños menores de 1/256 de mm.

la región: la tala inmoderada que se viene realizando en la Cuenca de Xalapa en los últimos 50 años, ha cambiado las condiciones climáticas del lugar, este cambio climático ha hecho que el régimen de temperaturas se torne más extremo y por tanto la meteorización de los materiales volcánicos se desarrolla con mayor velocidad y, por otra parte, la exclusión de la cobertura vegetal acelera el problema de erosión de los materiales superficiales que están a merced de los escurrimientos causados por las lluvias.

3. IDENTIFICACIÓN DE LAS ARCILLAS VOLCÁNICAS: MINERALOGÍA, FÍSICO-QUÍMICA DE LAS ARCILLAS Y SU CLASIFICACIÓN

3.1. CONSTITUYENTES MINERALÓGICOS

Difracción de rayos-X. El difractograma de polvo indica que la arcilla está compuesta por minerales de la familia de los filosilicatos, es decir, los componentes de minerales de arcilla son la halloysita y alofana. Hay que considerar que se determinó el ensayo de polvo de muestra total al suelo cuyos diámetros de partículas oscilan entre 0.01 y 0.0001 mm. En la Figura 3 se muestra un difractograma de polvo correspondiente al suelo analizado, en dicha figura se puede inferir, de acuerdo a las intensidades, que predomina la Halloysita. La alofana presenta dos composiciones: $Al Si O H_2O$ y $Al_2O_3 2SiO_2 3H_2O$. Quizás esta doble identificación del componente químico de la alofana se deba a que los cristales no están definidos por su pobre cristalización (Mitchell, 1993).

3.2. CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS

Espectroscopía de dispersión de energía de rayos-X. La identificación de los componentes químicos de partículas aisladas del suelo se analizaron en un microscopio electrónico de transmisión (MET), con un detector acoplado de dispersión de energía de rayos-X, que permitió observar la morfología de las partículas e identificar la composición química de los minerales. De acuerdo con el espectrómetro que se muestra en la Figura 4 de una partícula de halloysita, los elementos que predominan en los minerales son: aluminio, silicio, oxígeno, magnesio, potasio, titanio (en menor medida) y hierro. Prácticamente, la composición química en láminas de alofana es la misma que en tubos de halloysita.

En aras de la brevedad, se presentan las propiedades físico-química de las arcillas en la Tabla 2.

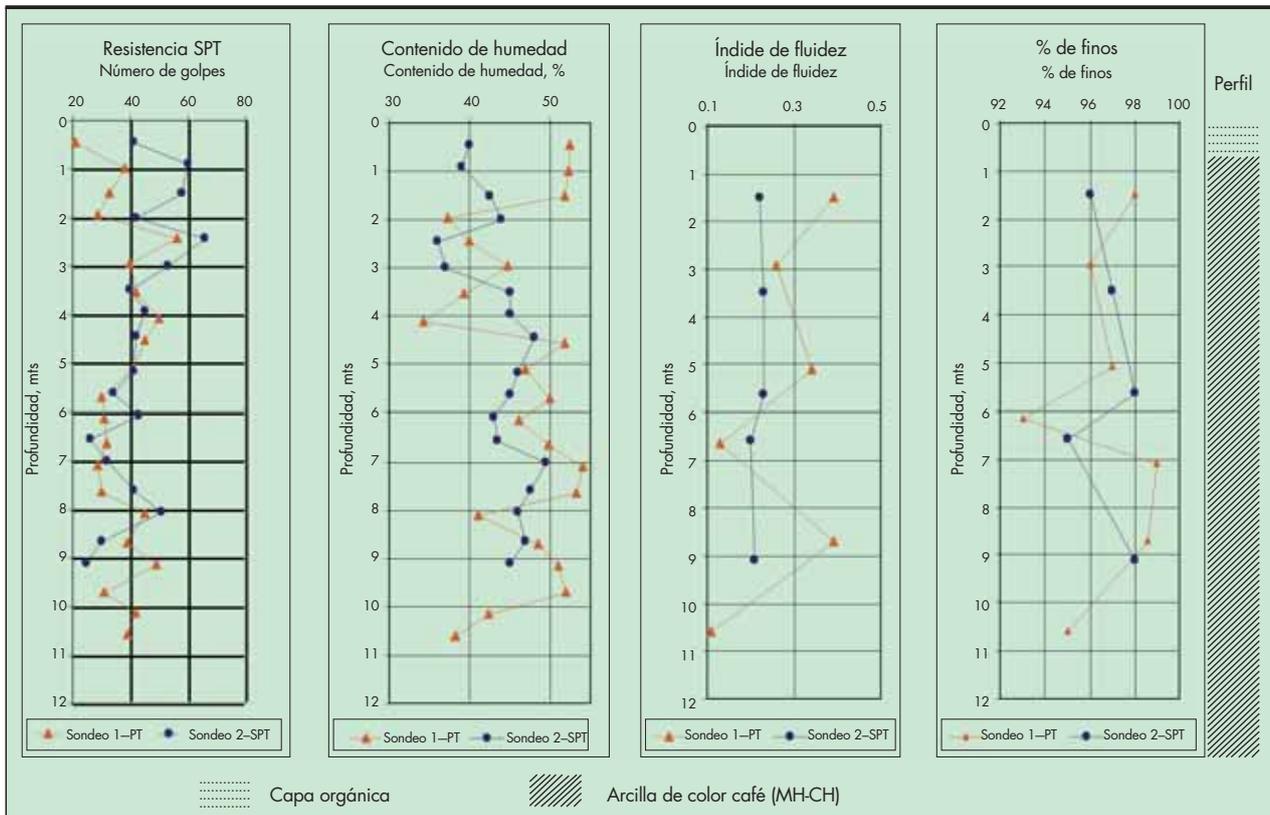


FIGURA 2. Estratigrafía típica detectada por sondeos realizados sobre ladera.

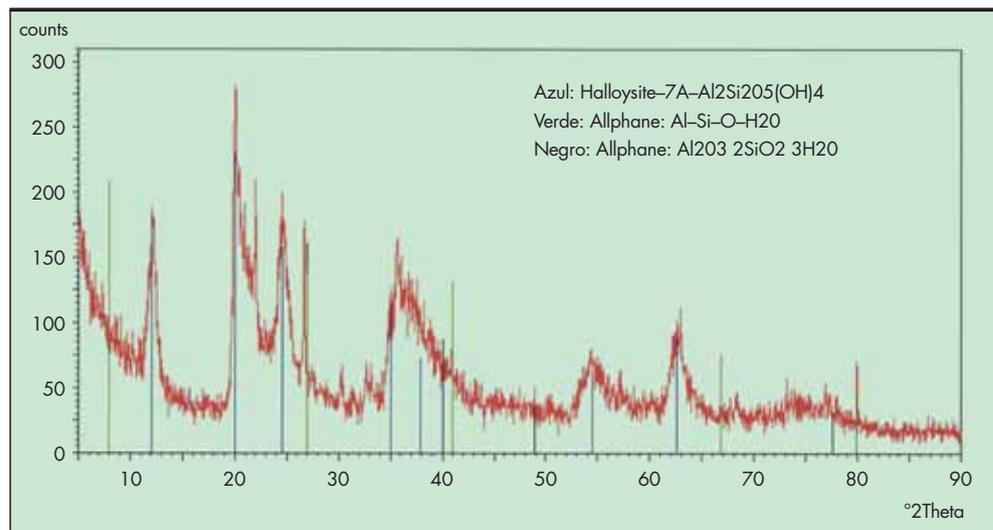


FIGURA 3. Difractograma de polvo.

Intercambio catiónico Meq/100 gr	Cont. de materia orgánica, %			pH -	Contenido de carbonatos %	Sup. específica m^2/gr
	MOT.	MOH	CO			
≈ 2	0.13	0.1	0.06	5.6	0.0	92.7

TABLA 2. Propiedades físico-químicas de la arcilla volcánica.

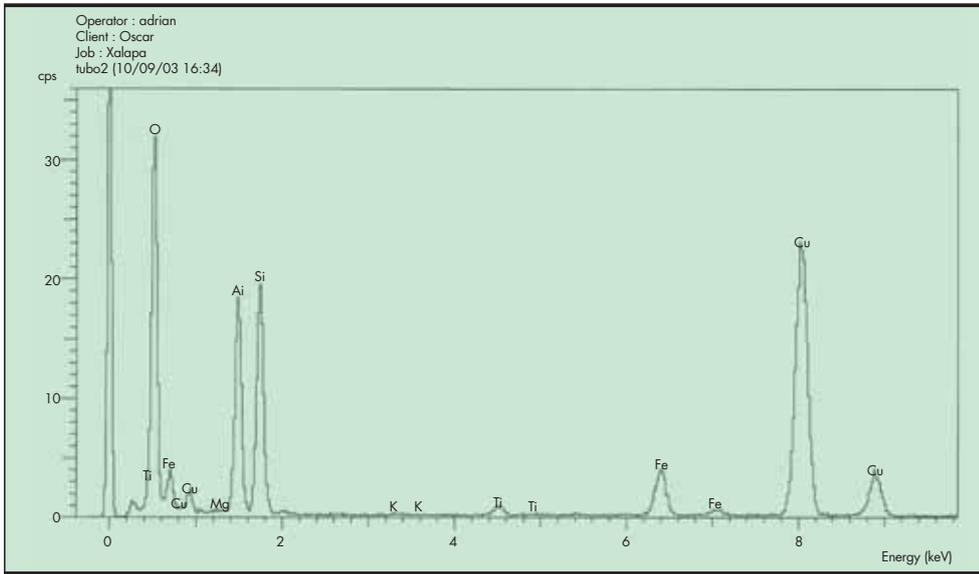


FIGURA 4. Espectrómetro que indica la composición química de las partículas de halloysita.

La capacidad total de intercambio catiónico (CTIC) fue determinada por el método de cromatografía iónica y los cationes de cambio detectados por el ensayo fueron el Sodio, potasio y calcio.

Es sabido que la presencia de materia orgánica en la trama porosa del suelo influye en su movilidad (conductividad hidráulica) y retención del agua, así como también en el intercambio catiónico de las partículas que componen el suelo. Por otro lado, la presencia de materia orgánica participa en la meteorización de los minerales de arcilla, aportando una fuerte influencia en las reacciones químicas del medio. Las sustancias húmicas son de carácter ácido y tienen carga eléctrica negativa que dependen del pH del suelo. Además, la presencia de materia orgánica influye en los límites líquido y plástico. En la Tabla 2 se puede apreciar los contenidos de materia orgánica total (MOT), húmica (MOH) y carbono orgánico (CO), obtenidos en laboratorio con el método modificado de Walkley-Black con valoración potenciométrica.

El pH del suelo se determinó con un equipo Tritino 751-GPD (valoración potenciométrica) en un período de una hora y el resultado reportado es de 5.6.

La carga eléctrica en la cara de las partículas de suelo depende del grado de sustitución isomórfica (sustitución del Si y Al por otro elemento dentro de la red cristalina de las laminas de arcilla) y del pH (González et al, 2002 y Tsige, 1999). Así por ejemplo, en medios con alto pH (>8.2) predominan las uniones de láminas de arcilla borde-cara, formándose una microestructura de tipo panal de abeja: estructuras abierta, típica de medios salinos y suelos susceptibles. El caso contrario, serían los suelos con bajo pH, que tienen microestructuras "oolíticas" o "nodular", éstas son representativas de suelos compactos, ricos en óxido de hierro y que preferentemente se localizan en terrazas continentales.

El contenido de carbonatos reportó el 0.0 %, lo que indica que no existe cementación entre las partículas por presencia de carbonatos.

La superficie específica fue determinada por adsorción de N₂, por el método de BET³, con una presión de saturación de

3 Este método fue propuesto en 1938 por Brunauer, Emmett y Teller.

718.38 mm de Hg y dicho valor está indicado en la Tabla 2. Un aspecto importante a destacar, es el hecho de que la superficie específica condiciona las fuerzas eléctricas de la superficie de las láminas de arcilla⁴ y por tanto, influye en las fuerzas interpartículas. La "actividad" de un suelo arcilloso, como la capacidad de adsorción del agua de sus partículas, aumenta con el incremento de la superficie específica. Por otro lado, el límite líquido se relaciona estrechamente con la superficie específica y éste, puede ser una medida índice de la superficie específica de las partículas. De acuerdo con Farrar y Coleman, Yong y Warkentin (1975) presentan una correlación entre el límite líquido y la superficie específica, en la cual el límite líquido está en función directa de la superficie específica y la pendiente de la recta de dicha correlación, depende de la naturaleza de la superficie específica.

3.3. PROPIEDADES ÍNDICE

Los resultados del análisis granulométrico se exponen en el gráfico de la Figura 5, en donde el eje de las abscisas indica el diámetro de las partículas, en escala logarítmica, y el eje de las ordenadas los porcentajes acumulativos. Como se puede apreciar en la citada figura, se dibujan dos curvas granulométricas que representan a dos muestras de la misma porción de suelo tratado con diferentes agentes dispersantes; la muestra 2 se ha tratado con menor energía de dispersión que el utilizado para la muestra 1. En la muestra 2 se puede ver que como el agente dispersivo era de menor intensidad no logró vencer las fuerzas eléctricas interpartículas de los agregados⁵ y el resultado del análisis granulométrico presentó menor porcentaje de arcilla. Sin embargo, los resultados obtenidos, para ambos casos, arrojan fracción arcillosa mayor del 60%, característica que coincide con el

4 Regularmente las partículas de arcilla suelen presentar morfologías de tipo laminar, excepto los minerales de arcilla de forma fibrosa (sepíolita y paligorskita) y tubular (halloysita). Las arcillas presentan superficies específicas muy grandes en comparación a las arenas y depende del tamaño y forma de las partículas.

5 Agregado (cluster) es el apilamiento o agrupación de partículas de minerales de arcilla. La misma acepción la da Terzaghi (1958), que fue el primero en llamar a los agregados clusters.

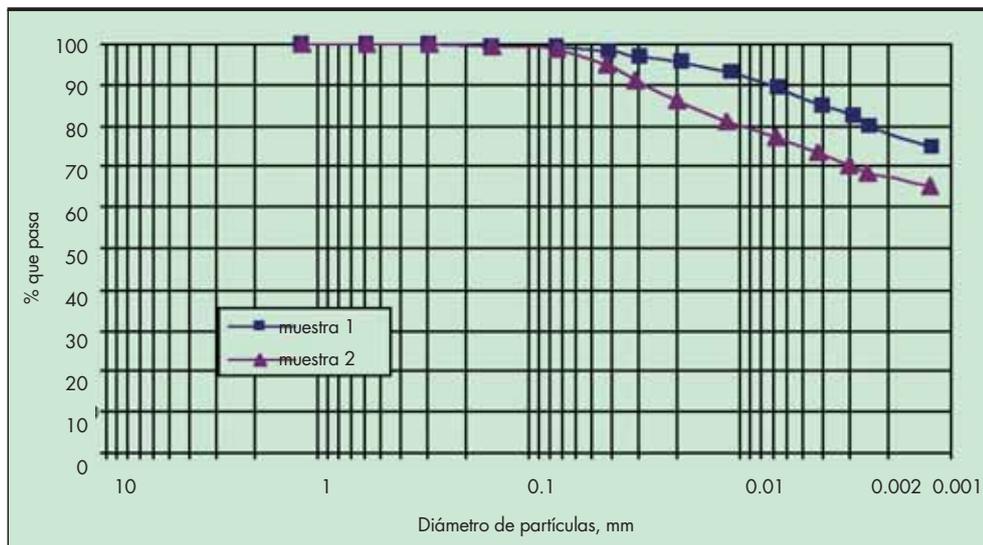


FIGURA 5. Curvas granulométricas de dos muestras que se trataron con diferentes energías de dispersión.

tamaño típico de las partículas arcillosas observadas en el microscopio electrónico de transmisión.

Llama la atención las discrepancias que se observan en la Figura 5, pues las muestras corresponden al mismo suelo, es decir, pertenecían a la misma muestra. Se ve claramente como el procedimiento del ensayo influye en los resultados del análisis granulométrico. Ya Terzaghi (1958) lo indicó en su reporte geotécnico de la Presa de Sasumua, Kenia, pero además, no tan sólo influye el método de ensayo, sino también el contenido de humedad del suelo con que se haga el ensayo. Newill (1961) reporta ensayos granulométricos realizados a dos arcillas rojas de Kenia⁶, con diferentes contenidos de humedad. Primero ensayó las arcillas rojas con su contenido de humedad natural y luego con secado en la estufa a 105°C.

La primera condición de ensayo, reportó mayor contenido de partículas arcillosas que la segunda. Lo anterior sugirió a Newill, que el secado en estufa causó el apilamiento de las partículas de arcilla en agregados (clusters o peds) y que el método de dispersión, parcialmente disgregó los agregados de las partículas.

Con lo comentado en las líneas de arriba, se quiere poner énfasis en la importancia del método que se utilice para realizar un análisis granulométrico que represente realmente el contenido de la fracción arcillosa del suelo. Los investigadores antes mencionados se han valido de otros recursos, como conocer las propiedades físico-químicas del suelo, identificar por medio de análisis de rayos-X la fracción arcillosa y conocer el carácter mineralógico del suelo. Con los métodos convencionales de análisis, a veces estos suelos de comportamiento anómalo (Terzaghi, 1958) no es posible conocerles sus contenidos reales de fracción arcillosa.

En la determinación del límite líquido y plástico se optaron por dos procedimientos: el primero consistió en secar la muestra en horno de una temperatura de 105°C, previo al ensayo, y el segundo procedimiento consistió en realizar los ensayos con el contenido de humedad natural. Se pudo apreciar como influye en los valores del límite líquido y plástico, el secado previo al ensayo. En la Figura 6 se muestran las características de plasticidad de las arcillas volcánicas en

ensayos realizados con la humedad natural del suelo y con secado previo. En la misma figura puede apreciarse que los puntos que representan los ensayos con previo secado disminuyeron en sus límites, con respecto a los que se determinaron con la humedad natural, es decir, de arcillas de alta plasticidad (CH), pasaron a ser limos de alta compresibilidad (MH), se aproximaron más a la línea recta vertical que pasa por el 50% del límite líquido y se instalaron, en definitiva, por debajo de la línea "A" del gráfico de Casagrande. Con lo anterior se verifica lo que Terzaghi (1958) y Newill (1961) afirmaron en sus investigaciones: la halloysita deshidratada es irreversible en su hidratación, es decir, toda vez que es excluida el agua del espacio basal del mineral, no vuelve absorberla. Mitchell (1993) afirma que a 60°C se presenta la pérdida de agua en la halloysita, cambiando su espacio basal de 10 Å a 7 Å, una vez que se ha deshidratado. Esto explica por qué los límites líquido y plástico varían con el secado del suelo⁷, previo al ensayo, con respecto a los límites determinados con la humedad natural. Esta es una de las causas por las que Terzaghi (1958) llamó a estas arcillas rojas "de comportamiento anómalo".

En virtud de que el suelo en estudio está compuesto, principalmente, por arcillas (ver Figura 5), se llevó a cabo el cálculo y la identificación de la actividad de los minerales de arcilla. Como la actividad de una arcilla está en función directa del índice de plasticidad (Skempton, 1953) y éste último en función de los límites líquido y plástico, basándose en lo anterior se efectuaron los cálculos considerando dos condiciones de ensayo en la determinación de los límites líquido y plástico: determinación de los límites con la humedad natural del suelo y con previo secado. Los resultados se muestran en la Tabla 3.

3.4. CLASIFICACIÓN

Para la clasificación se consideró las propiedades granulométricas que presentó el suelo tratado con mayor energía

⁶ Estos suelos son de origen volcánico (Newill, 1961).

⁷ González de Vallejo (1979) encontró, en suelos de origen volcánico, que el tiempo de mezclado suelo-agua influye en la determinación del límite líquido y límite plástico, a medida que se incrementa el tiempo de mezclado, crecen ligeramente los mencionados límites de consistencia.

Condición del ensayo (LL y LP)	Origen geológico	Actividad	Mineral predominante	Observaciones
Realizado con la humedad natural	Volcánico, cuaternario	0.58	Halosita y alofana	Arcillas inactivas
Realizado con previo secado	Volcánico, cuaternario	0.48	Halosita y alofana	Arcillas inactivas

TABLA 3. Actividad de las arcillas en estudio, considerando dos condiciones en la determinación de los límites de consistencia.

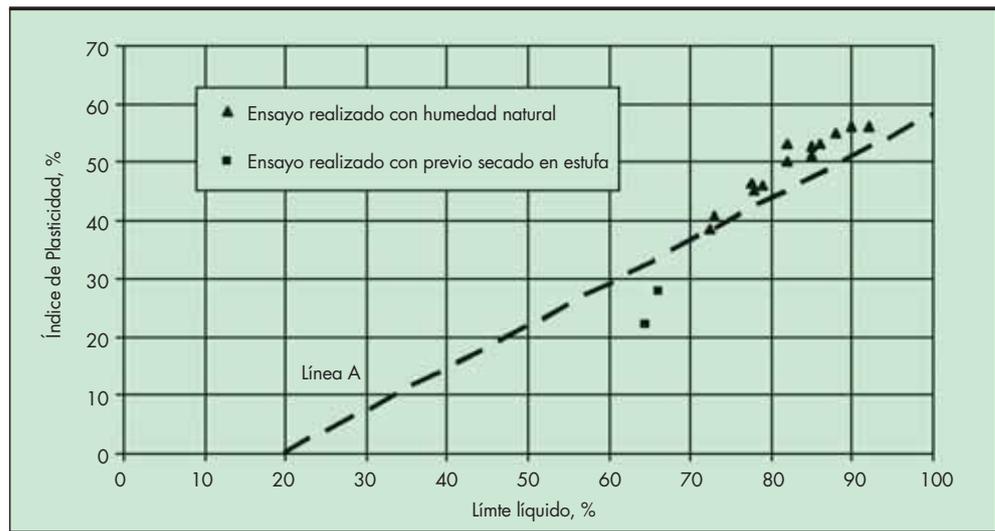


FIGURA 6. Características de plasticidad de la arcilla volcánica.

de dispersión (Figura 5, muestra 1), en la que predominó la fracción arcillosa (79%) con respecto a la limosa (20 %), a las características de plasticidad que manifestó el suelo en ensayos realizados con humedad natural (puntos localizados por arriba de la línea “A” en el gráfico de Casagrande de la Figura 6), al contenido de materia orgánica (ver Tabla 2) y de acuerdo al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), la ceniza volcánica se clasifica como arcilla limosa de color café rojizo de alta plasticidad “CH”.

4. FÁBRICA DE LAS ARCILLAS VOLCÁNICAS EN ESTADO NATURAL Y COMPACTADO

4.1. MORFOLOGÍA DE LAS PARTÍCULAS CONSTITUYENTES DE LA ARCILLA VOLCÁNICA

Con el microscopio electrónico de transmisión (MET) se pudo observar la morfología de las partículas de arcilla y además, con un detector acoplado de dispersión de rayos-X a dicho microscopio se comprobó la composición química de las mencionadas partículas.

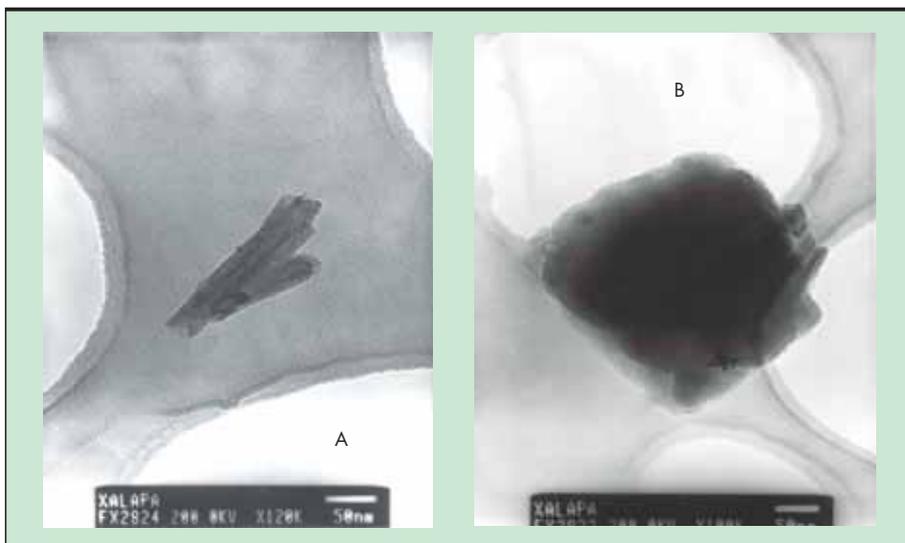


FIGURA 7. a) Microfotografía de partícula de halosita y b) lámina de alofana.

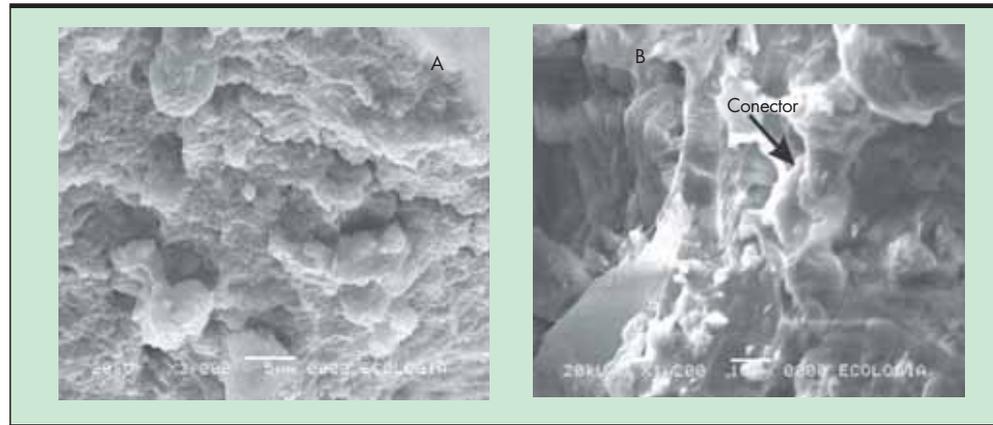


FIGURA 8.

a) Microfábrica de la arcilla en estado natural tipo oolítica y b) Detalle de conector.

En la Figura 7a puede apreciarse un par de partículas aisladas de halloysita en forma típica tubular⁸, de longitudes que varían entre 60 a 156 nm (600 a 1,560 Å) y sus diámetros entre 24 a 51 nm (240 a 510 Å) y la Figura 7b muestra una lámina de alofana con sus bordes rotos, manifestación de alteración por lixiviación. De acuerdo a microfotografías tomadas a tres muestras aleatorias analizadas, la morfología predominante de partículas de la arcilla volcánica son de forma tubular y laminar, predominando los tubos de halloysita respecto a la alofana.

4.2. FÁBRICA EN ESTADO NATURAL

La fábrica de un suelo arcilloso se entiende aquí, como al arreglo espacial de sus partículas y la distribución de tamaños de las mismas, así como también, a la forma de las partículas y los huecos. La microestructura asocia a la fábrica y a las fuerzas interpartícula⁹.

De acuerdo con las observaciones de Mitchell (1993), la disposición o arreglo de los sedimentos ya sea ocasionada por un agente transportador como el agua o el aire, obedecen a las mismas leyes de transportación. La arcilla volcánica (cenizas) fue movilizada por aire al lugar de deposición y dado el tipo de fuerzas repulsivas que predominan entre las partículas que constituyen estos depósitos, forman estructuras dispersas¹⁰, muy cerradas y con poros pequeños (Lambe, 1953; 1958, 1975), típicas de depósitos continentales. Acorde a lo comentado anteriormente y con la caracteri-

zación propuesta por Yong y Warkentin (1975), la fábrica de la arcilla volcánica corresponde a una “fábrica total anisótropa”; en donde las partículas tienen un arreglo orientado dentro de los peds o clusters y disposición orientada de los peds, *bajo estas condiciones el sistema es anisótropo*. Puede apreciarse en las microfotografías de la Figura 8a, obtenida con microscopio electrónico de barrido (MEB), como los agregados están constituidos por varios paquetes¹¹ formados por partículas dispuestas en paralelo (cara-cara), que a su vez forman agregados en forma de oolitos (microfábrica oolítica). En la microfotografía de la Figura 8b se muestra detalle de conector de la arcilla en estado natural, los peds se asocian en paralelo.

4.3. FÁBRICA EN ESTADO COMPACTO

Con el objeto de observar como influye en la fábrica del suelo el método de compactación, se analizó la arcilla en el MEB con la humedad óptima y bajo dos métodos de compactación, a saber: por amasado, utilizando el equipo Harvard-miniatura (Wilson, 1958) y por impactos, utilizando equipo Proctor estándar (Proctor, 1933; ASTM-D698-78). La Figura 9a expone una microfotografía de una muestra compactada por amasado, con la humedad óptima de 40.0%. La matriz arcillosa está compuesta por agregados con partículas orientadas y dispuestas cara-cara, y a su vez estos agregados se asocian en paralelo, quedando algunos agregados sin orientación preferente; también puede observarse los macroporos que se encuentran entre los agregados. De acuerdo a la microfotografía, la fábrica de la arcilla compactada por amasado que se observa es anisótropa.

En la imagen de la Figura 9b, puede apreciarse la fábrica de la arcilla compactada por impactos, con la humedad del ensayo Proctor normal ($\omega_{op} = 39\%$). La fábrica característica bajo estas condiciones de amasado es isotropa. Persiste la asociación de las partículas cara-cara en los agregados, pero estos no se encuentran orientados, sino tiene un arreglo al azar. Comparando las imágenes de las Figuras 9a y 9b, puede distinguirse que el método de compactación por amasado (Harvard miniatura) forma una fábrica bien orientada que la formada por impactos (Proctor normal), de hecho, los microporos de la fábrica que se forma por el método de compactado por amasado son más

8 La explicación de que los tubos de halloysita se encuentran enrollados, según Bates (1955), se debe a que las láminas de caolinita llegan a ser tan delgadas que sus bordes se rizan e incluso se enrollan completamente, esta curvatura es el resultado de la inadaptabilidad de las capas tetraédricas y octaédricas y a la presencia de uniones débiles de inter-capas.

9 Las fuerzas interpartículas están representadas por las eléctricas y los enlaces cementantes; las fuerzas eléctricas son de naturaleza repulsivas y atractivas y los enlaces son de carácter orgánico e inorgánico. La forma y tamaño de las partículas, el ambiente físico-químico del medio (pH, salinidad y presencia de materia orgánica), son factores que influyen en la microestructura (fábrica y fuerzas interpartícula) de una arcilla. Otro factor postsedimentario que influye en la microestructura del suelo arcilloso es el incremento de las presiones geostáticas por deposición de sedimentos, que provoca una reorientación de las partículas, disminución de la porosidad y por otro lado, un aumento de su densidad.

10 Cuando la concentración del electrolito disminuye (agua con mínimo de sales), aumenta la doble capa eléctrica difusa y las fuerzas que predominan son de carácter repulsivo; por tanto, las partículas se aplatan con alto grado de “orientación” para formar una estructura dispersa.

11 Los paquetes o dominios los constituyen dos o más partículas y en general se presentan ordenadas en paralelo (Yong y Warkentin, 1975; Mitchell, 1993).

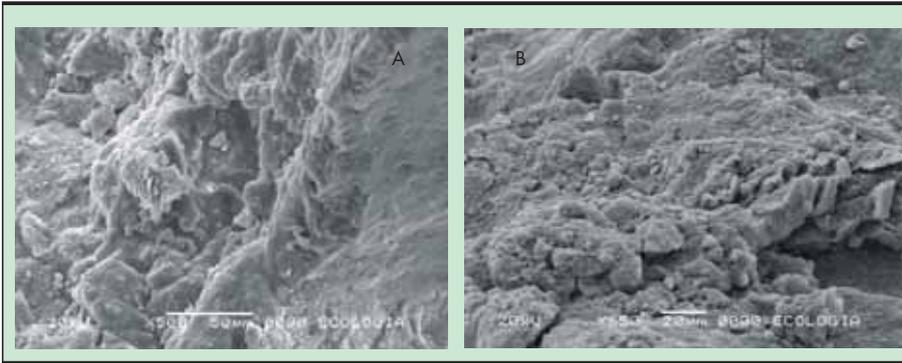


FIGURA 9. a) Microfábrica de la arcilla compactada por amasado y b) compactada por impactos.

pequeños que los formados por el método de impactos. Cabe destacar, que la diferencia de las densidades máximas obtenidas por ambos métodos es mínima, como se podrá comprobar en el siguiente apartado.

5. COMPORTAMIENTO GEOTÉCNICO

5.1. COMPACTACIÓN

No se trata de comparar aquí el método de compactación por impacto con el método por amasado, sino observar el resultado que da cada uno de ellos y cual produce una mejor orientación de las partículas en este suelo. Interesa observar como varía la densidad de la arcilla por diferentes métodos de compactación.

La Figura 10 muestra una curva de compactación que representa al suelo compactado por impactos (Proctor normal), en la que el suelo no se hidrató previo al ensayo y otra curva que representa al suelo compactado por amasado (Harvard-miniatura), en la que sí se hidrató al suelo durante un periodo de diez días antes de realizar el ensayo. En la misma figura puede apreciarse que el lugar geométrico de la densidad máxima-humedad óptima de la curva de compactación por

amasado está más próximo a la curva de saturación del 100% que el de la curva de compactación por impactos, también puede observarse que en las ramas húmedas de las curvas se obtiene una mayor orientación de las partículas (alto grado de orientación de las partículas) por el método de compactación por amasado que por el método por impactos, independientemente del tratamiento previo de la muestra. Marsal y Reséndiz (1975) ensayaron arenas arcillosas con ambos procedimientos de compactación y obtuvieron resultados similares a los que se determinaron aquí, es decir, los puntos geométricos de la densidad máxima-humedad óptima de las curvas de compactación por amasado estaban más próximas a la curva de saturación del 100% que los de compactación por impactos.

Para observar como influye el tratamiento del suelo (previo al ensayo de compactación) en la fábrica del mismo se prepararon dos muestras: una con hidratación por un periodo de diez días (suelo hidratado) y la otra sin hidratación, es decir, se seco al aire e inmediatamente se le empezó a incorporar el agua para definir su curva de compactación (suelo no hidratado). Las dos muestras se ensayaron con un mismo método y energía de compactación Proctor estándar. En la Figura 11 pueden apreciarse las curvas de compactación obtenidas.

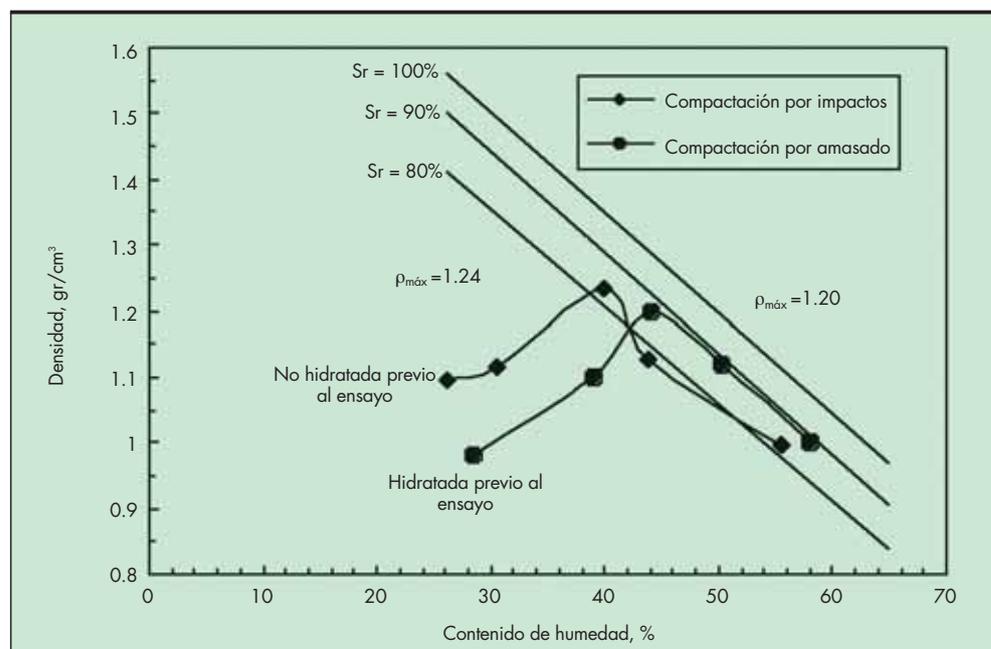


FIGURA 10. Influencia del método de compactación en la densidad y en la orientación de las partículas.

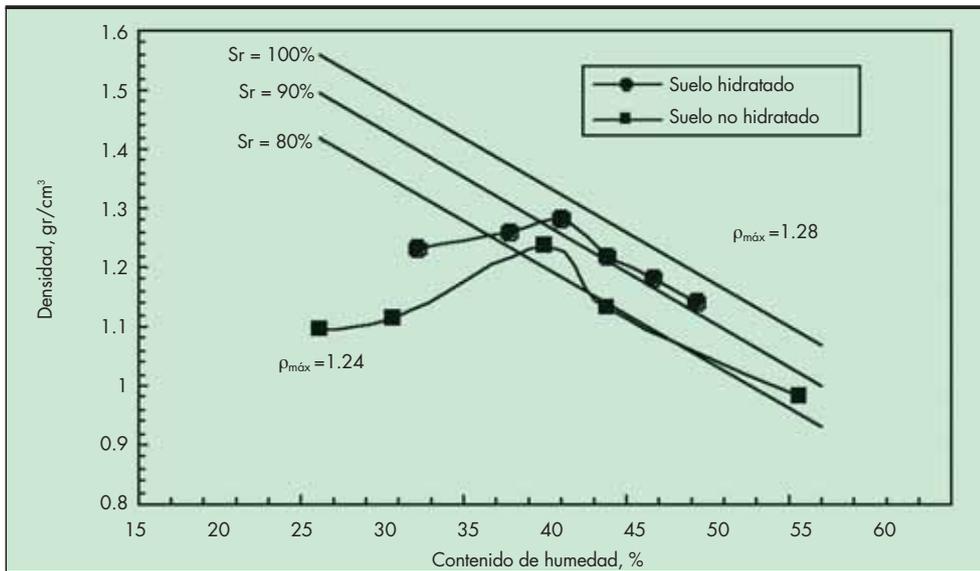


FIGURA 11. Comparación de curvas de compactación Proctor normal con diferente tratamiento.

5.2. RESISTENCIA PICO Y RESIDUAL DETERMINADA EN APARATO DE CORTE DIRECTO Y ANULAR

Cuando las arcillas normalmente consolidadas y preconsolidadas se someten a estados de tensiones, tienden a valores idénticos en cuanto a resistencia residual (Skempton, 1985). Ante este comportamiento, se estudia a las arcillas volcánicas en estado compactado por carga estática y con densidad seca máxima y contenido de humedad óptima (condiciones Proctor estándar), para determinar la resistencia de pico y residual. En la formación de las probetas se cuidó que la presión de compactación estática fuera mayor que las presiones normales aplicadas en ensayo de corte, para que de esta forma la relación OCR (razón de sobreconsolidación) fuera mayor que 1, y bajo esta circunstancia se represente las condiciones de preconsolidación que muestra en la naturaleza la arcilla volcánica. Tanto en el ensayo de corte directo como en el anular¹² se permitió la disipación completa de las presiones intersticiales, aplicando a las probetas de suelo baja velocidad de corte y consolidándolas previamente a la falla. Por otro lado, es bien sabido que la resistencia residual es un pequeño porcentaje de la resistencia máxima¹³ (de pico), y en este rango de tensiones (tensiones tangenciales constantes con gran-

des desplazamientos) representa la destrucción de los enlaces de las partículas de minerales arcillosos (Lambe, 1979; Lupini et al, 1981; Skempton, 1985). Wesley (1977), considera que la pequeña caída post-pico en estos suelos con gran contenido de Halloysita y alofana, se debe a la ausencia de partículas parecidas (ver Figura 7a, b), en las que dichas partículas no logran reorientarse en esa etapa de falla de la arcilla. La observación de Wesley no es en nada desatinada, pues se han observado curvas tensión-desplazamiento en arcillas inalteradas y no presentan una caída post-pico. De acuerdo a la evidencia experimental, la fábrica del suelo juega un papel influyente en la etapa de la caída post-pico de la arcilla. Resumiendo, la resistencia residual¹⁴ depende del porcentaje de partículas de arcillas (Skempton, 1964; Lupini et al, 1981), de la composición mineralógica (Kenney, 1967) y no a las tensiones que haya sufrido el suelo en su historia geológica. En suelos arcillosos procedentes de Java, Indonesia, compuestos por minerales de arcilla de Halloysita y alofana y compactados en laboratorio, Wesley (1977) reporta en resistencia residual (en corte anular) ángulos de fricción interna (ϕ_r) de 24.5° en suelos con fracción arcillosa de 83%. La fracción arcillosa (< 2 μm) en nuestro suelo es de 79%. La humedad de compactación del suelo analizado por Wesley es de 50%, la humedad de compactación empleada en este estudio es de 49.5%. En la Tabla 4 se muestran las condiciones del suelo ensayado y en la Figura 12 se dibujan las envolventes de falla en resistencia de pico y residual.

12 La confiabilidad del ensayo de corte anular, en la obtención de los parámetros de resistencia residual, consiste en la característica del ensayo de que la superficie de falla se mantiene constante en todo el proceso de ensayo, como sucede en la naturaleza.

13 La resistencia de punta se ve severamente afectada por la presencia de fisuras o grietas en la masa arcillosa, dado que estas actúan como planos de debilitamiento (Skempton, 1964).

14 Cuando la reorientación de las partículas se concluye, a lo largo de grandes desplazamientos, la resistencia permanece constante en el valor residual (Skempton, 1985).

Tipo de ensayo	Condiciones de ensayo	Contenido de humedad %	Índice de huecos -	Densidad seca gr/cm³	Presión de compactación kPa
Corte directo	Inundado Consolidado Rotura lenta	39.83	1.1	1.29	477.0
Corte anular	Inundado Consolidado Rotura lenta	49.5	1.31	1.2	-

TABLA 4. Condiciones del suelo y de ensayo.

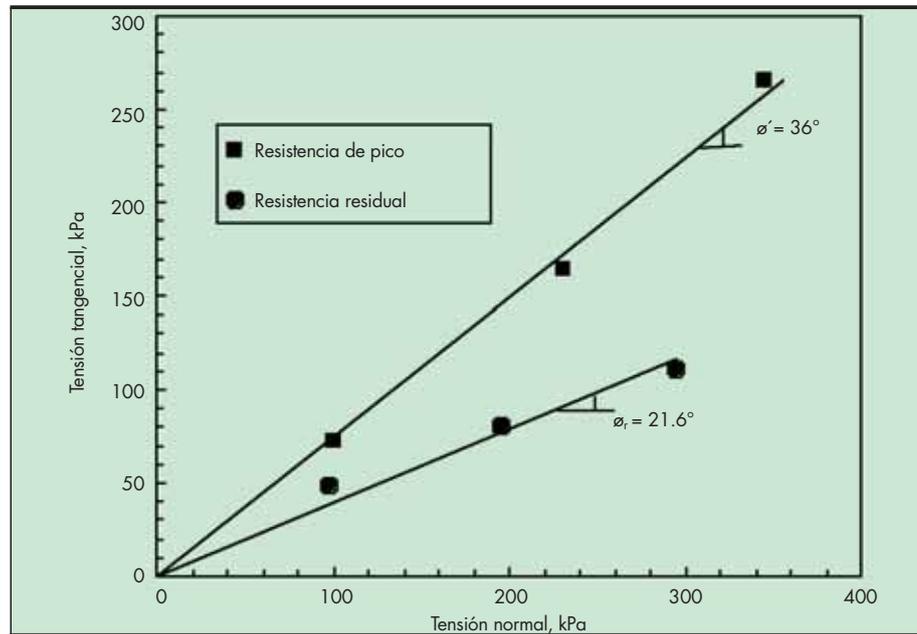


FIGURA 12. Envolturas de falla en resistencia de pico y residual.

5.3. DEFORMABILIDAD

Se ensayaron cuatro probetas para montarse en la célula edométrica (o edómetro de succión controlada¹⁵), con objeto de observar su deformabilidad ante el incremento de tensiones verticales y con succión constante de 539.33 kPa, la primera, fue en estado natural (M-td), otra se compactó con carga estática con densidad y humedad natural (M-td1) y las dos restantes se compactaron con la humedad y densidad del ensayo Proctor normal, pero una se compactó con

carga estática por una cara (M-td3) y la otra por impactos (M-td2); de tal forma que se tiene tres fábricas del suelo: una oolítica; representada por el estado natural de la arcilla, floculada; creada por la compactación por carga estática y una fábrica tendiente a la dispersa, con agregados sin dispersar; creada por la compactación por impactos.

Puede apreciarse en la Figura 13 como influye el tipo de fábrica en la deformabilidad de la arcilla. La probeta de arcilla inalterada (M-td) y la compactada por carga estática con humedad natural (M-td1), presentan menor variación volumétrica¹⁶ ante la aplicación de las tensiones verticales,

15 El edómetro de succión controlada fue desarrollado en el actual Laboratorio de Geotecnia del Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas, de Madrid (Escario, 1967). Con lo que se consigue en el edómetro de succión controlada es aplicar la técnica de traslación de ejes que aplicó Hilf (1956), para medir la presión de agua en los poros del suelo.

16 Entiéndase a la variación volumétrica, a la diferencia del índice de huecos e_v , para el primer incremento de tensión vertical y e_f , que corresponde a una tensión vertical máxima aplicada a la probeta.

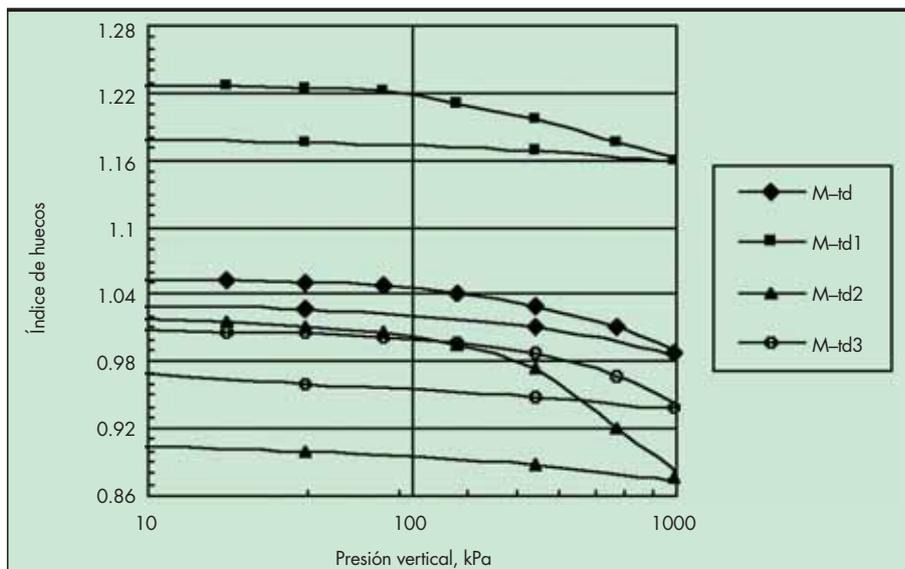


FIGURA 13. Influencia de la fábrica en la deformabilidad de la arcilla, bajo presión de succión constante.

Probeta	Condiciones de la probeta	W %	ρ gr/cm ³	e_o -	e_{min} -	Δe -	I_L -	E_m kPa	C_c -
M-d	Inalterada	43.5	1.21	1.05	0.987	0.065	0.12	30,142.7	0.073
M-d1	Compactación por carga estática, con humedad natural	43.4	1.20	1.22	1.16	0.06	0.11	42,365.0	0.068
M-d2	Compactación por impactos, densidad y humedad Proctor normal	43.0	1.25	1.017	0.876	0.141	0.10	14,279.1	0.185
M-d3	Compactación por carga estática, con densidad y humedad Proctor normal	41.5	1.24	1.01	0.939	0.071	0.08	28,140.7	0.69

w: contenido de humedad; ρ : densidad seca; e: índice de huecos; I_L índice de fluidez; E_m : módulo edométrico; C_c : índice de compresión

TABLA 5. Deformabilidad volumétrica bajo influencia de la fábrica en ensayo edométrico con succión constante.

que las otras dos. La probeta compactada por impactos, con densidad y humedad de las condiciones del ensayo Proctor normal (M-dt2) es la que presentó mayor variación volumétrica ante la aplicación de tensiones verticales, que la probeta compactada con las mismas condiciones (M-dt3).

Las condiciones de los ensayos se muestran en la tabla 5. Como se desprende de esta tabla, la fábrica de la arcilla en estado natural presenta menor deformabilidad que la creada por impactos.

En adición de lo dicho anteriormente, se investigó la sensibilidad (S_t) de la arcilla, considerando la relación de la resistencia no drenada en estado natural y amasada, en igual contenido de humedad que en estado natural, y se estimó un valor promedio de 2.42, que corresponde a una susceptibilidad “moderadamente susceptible”, valor típico de suelos fuertemente consolidados (Jiménez salas y De Justo, 1975), suelos que en su historia geológica han estado a tensiones mayores que en el momento en que se analizan. Los valores del grado de sobreconsolidación OCR, de estas muestras inalteradas, están por arriba de la unidad, valores que denotan sobreconsolidación de la arcilla volcánica. Los suelos con altos valores de S_t , como las arcillas rápidas, suelen tener fábricas abiertas e inestables; nuestra arcilla, en estado natural, presenta una fábrica cerrada tipo oolítica, con partículas asociados cara-cara. Por lo expuesto por Terzaghi et al (1996), se infiere que los suelos con un índice de fluidez (I_L) mayor que la unidad pueden ser muy susceptibles. Para la arcilla que se estudia (en estado natural), el índice de fluidez es menor que la unidad (Ver Tabla 5), valores próximos a cero.

6. CONCLUSIONES

De lo expuesto en este trabajo se pueden derivar muchas conclusiones, pero el espacio aquí requiere brevedad, por tanto, presentaremos las más importantes, a saber:

- La formación y morfología de la Cuenca de Xalapa es el resultado de una fuerte actividad volcánica, desarrollada en el Cuaternario y compuesta por materiales volcánicos básicos. La litología del lugar está representada por grandes depósitos de arcillas (cenizas), depósitos de arenas pumíticas, lavas y basaltos andesíticos. Por otro lado, el clima de la región lo condiciona la fisiografía y el efecto antrópico.
- Según la Figura 2, los depósitos de cenizas están constituidos por arcillas de color café rojizo, de consistencia firme (de 20 a 40 golpes en ensayos SPT).

- De acuerdo con los resultados obtenidos en los ensayos con el aparato de rayos-X de difracción, el difractograma correspondiente detectó haloysita y alofana como minerales constituyentes de la arcilla volcánica y los componentes químicos de estos minerales son el aluminio, el silicio, y en menor medida, el magnesio, cobre y hierro (ver Figuras 3 y 4).
- El contenido de materia orgánica en la arcilla es prácticamente nulo y no existe presencia de carbonatos en la matriz arcillosa, lo cual indica que los enlaces entre partículas son de naturaleza puramente eléctrica o se encuentre soldadas entre si. Por otra parte, la arcilla volcánica tiene un pH de 5.6, valor característico de arcillas compactas, sobreconsolidadas y formadas en depósitos continentales. Bajo estas condiciones, *el tipo de contactos entre las partículas es cara-cara*, imperando las fuerzas repulsivas entre las partículas y adquiriendo un arreglo orientado.
- Los factores que mayor influyen, en los resultados para identificar las características reales de estos suelos volcánicos son: la presencia de agregados fuertemente apilados (partículas soldadas entre si), que presentan dificultad para disgregarse en el ensayo de análisis granulométrico y por otro lado, la disminución del espacio basal de la haloysita hidratada, producida por el secado previo a los ensayos para determinar los límites de consistencia (ver Figuras 5 y 6). Otro factor que incide, pero en menor medida, en los resultados para identificar la plasticidad de estos suelos es la estructura indefinida del mineral de alofana. Por tanto, la clasificación de la arcilla volcánica de acuerdo con el SUCS es CH, es decir, arcilla de alta plasticidad.
- De acuerdo con las observaciones llevadas a cabo con el MEB, la caracterización de la fábrica que presenta la arcilla en estado natural, corresponde a una fábrica total anisótropa (Yong y Warkentin, 1975). Por consiguiente, **el tipo de microfábrica de la arcilla analizada es de tipo oolítica o nodular**. Los conectores se encuentran unidos por agregados dispuestos cara-cara (ver Figura 8b).
- La arcilla *compactada por amasado* (Harvard miniatura) presenta una fábrica anisótropa, caracterizada por agregados constituidos por partículas orientadas y dispuestas en paralelo y agregados dispuestos en paralelo (Figura 9a). La arcilla *compactada por impactos* (Proctor normal) exhibe una fábrica isotrópica. Las partículas se encuentran orientadas cara-cara en los agregados y éstos se encuentran dispuestos dentro de la matriz arcillosa al azar (Figura 9b). Los macroporos son más pequeños en la arcilla

compactada por amasado, que en la arcilla compactada por impactos, pero en ambos métodos de compactación se manifiestan los agregados compuestos por partículas dispuestas cara-cara. El procedimiento de compactación influye en el arreglo de las partículas. El método de compactación por amasado proporciona una mayor orientación de los agregados, que el de compactación por impactos. Lo anterior se puede corroborar en las microfotografías de las Figuras 9a y 9b y en las curvas densidad máxima-humedad mostradas en la Figura 10. El tratamiento de las muestras antes de ser compactadas, influye en los resultados de los ensayos de compactación (ver Figura 11).

- Se distinguió que el porcentaje de partículas arcillosas y la mineralogía de la arcilla volcánica influyó en la resistencia residual. Suelos reportados por Wesley (1977), con mismas características mineralógicas y con casi el mismo contenidos de finos arcillosos que la arcilla volcánica de Xalapa, tienen ángulos de fricción muy similares a los obtenidos en este estudio (ver Figura 12). La diferencia de la forma del mineral de la halosita (forma tubular) y la alofana (forma laminar) que constituye la arcilla volcánica, influye en la reorientación de las partículas en la etapa de falla post-pico.
- En ensayos bajo succión constante y variación de la tensión vertical, el tipo de fábrica (estado natural y compactado) influye en la deformabilidad de la arcilla volcánica (ver Figura 13 y Tabla 5).

7. RECONOCIMIENTOS Y AGRADECIMIENTOS

Los ensayos físico-químicos y geotécnicos fueron realizados en el Laboratorio de Geotecnia del Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX) del Ministerio de Fomento Español, y el análisis de microscopía de transmisión se realizó en el Centro de Microscopía Electrónica "Luis Brú, de la Universidad Complutense, de Madrid, España. La microscopía electrónica de barrido fue realizada en el Instituto de Ecología, A. C. de Xalapa, México. Doy mi agradecimiento al Dr. Jesús Sáez Auñón por sus consejos para la buena orientación de los ensayos geotécnicos. Agradezco también, al Ing. Juan Francisco Capallera Cabada la revisión crítica del texto de este trabajo.

8. REFERENCIAS

- BATTEY, M. H. Y PRING, A. (1997). *Mineralogy for students*. Hong Kong: Longman.
- ESCARIO, V. (1967). Measurement of the swelling characteristics of a soil fed with water under tension. *Int. Cooperative Research on the Prediction of moisture Content under road Pavements*. (paper).
- ESCARIO, V. (1967). Measurement of the swelling characteristics of a soil fed with water under tension. *Int. Cooperative Research on the Prediction of moisture Content under road Pavements*. (paper).
- BISHOP, A. W., GREEN, G. E., GARGA, V. K., ANDRESEN, A. Y BROWN, J. D. (1971). A new ring apparatus and its application to the measurement of residual strength, *Geotechnique* 21, No. 4, 273-328.
- DUBROEUCQ, D., GEISSERT, D., BAROIS, I. Y LEDRU, M-P. (2002). Biological and mineralogical features of andisols in the Mexican volcanic highlands. *Catena* 49, 183-202.
- FISHER, R. V. (1961). Proposed classification of volcanoclastic sediments and rocks. *Geological Society of American Bulletin*, Vol. 72, 1409-1414.
- GONZÁLEZ DE VALLEJO, L. (1979). *Influencia de la génesis, mineralogía y fábrica en las propiedades geotécnicas de los suelos volcánicos de La Laguna (Tenerife)*. Madrid: Tesis doctoral, UCM.
- GONZÁLES DE VALLEJO, L., FERRER, M., ORTUÑO, L. Y OTEO, C. (2000). *Ingeniería geológica*. Madrid: Prentice-Hall.
- HILF, J. W. (1956). An investigation of pore-water pressure in compacted cohesive soils. *Tech. Memorandum 654*. USA: Bureau of Reclamation.
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA, GEOGRAFÍA E INFORMÁTICA (1987). *Carta Estatal Geológica y fisiográfica. Escala 1:1 000 000*. México: INEGI.
- JIMÉNEZ SALAS, J. A. (1963). Note on a halloysite red clay from Fernando Poo Island. *3rd Reg. Conf. Africa on soil mech. F. Eng.*, 1: 85-88.
- JIMÉNEZ SALAS, J. A. Y DE JUSTO, J. L. (1975). *Geotecnia y cimentaciones, Propiedades de los suelos y de las rocas*. Madrid: Editorial Rueda.
- KENNEY, T. C. (1967). The influence of mineral composition on the residual strength of natural soil, *Proc. Of the Geotech. Conf. on Shear Strength Properties of Natural Soils and Rocks*, Oslo, Vol. I, 123-129.
- LAMBE, T. W. (1953). The structure of inorganic soil. *Jl. Of the Soil Mech. and Foun. Div. ASCE* Vol. 79, No. 315.
- LAMBE, T. W. (1958). The structure of compacted clay. *Jl. of the soil mech. and Foun. Div. Proc. Of the ASCE (Proc. Paper 1654)*. 1-34.
- LAMBE, T. W. (1959). Physico-chemical properties of soils: role of soil technology. *J. of the Soil Mech. and found. Div. ASCE*, Vol. 85, No. SM 2, 55-70.
- LAMBE, T. W. Y WHITMAN, R. V. (1975). *Mecánica de suelos*. Traducción de Jiménez Salas, J. A. México: Editorial Limusa.
- LENZ, O. (2004). *Influencia de la fábrica de las arcillas volcánicas de la Ciudad de Xalapa en su comportamiento geotécnico*. Madrid: Tesis doctoral, UPM.
- LUPINI, J. F., SKINNER, A. E. Y VAUGHAN, P. R. (1981). The drained residual strength of cohesive soils, *Geotechnique*, 31, No. 2, 181-213.
- MARSAL, R. J. Y RESÉNDIZ, D. (1975). *Fundamentos del diseño y construcción de presas de tierra y enrocamiento*. México: Editorial Limusa.
- MITCHELL, J. K. (1993). *Fundamentals of soil behavior*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- NEWILL, D. (1961). A laboratory investigation of two red clays from Kenya. *Geotechnique* 11, No. 4, 302-318.
- PROCTOR, R. R. (1933). Fundamentals principles of soil compaction (first of four articles on the design and construction of rolled-earth dams). *Eng. News-Record*, 9, 111, 245-248.
- QUANTIN, P Y GEISSERT, D (1982). *Características químicas y mineralógicas de un andosol y de un suelo ferralítico de Xalapa, México*. Xalapa, México: Boletín del Instituto Nacional de Investigaciones sobre recursos Recursos Bióticos. (paper).
- SIEFFERMANN, G. Y MILLOT, G. (1969). Equatorial and tropical weathering of recent basalt from Cameroon: Allophones, halloysite, methahalloysite, kaolinite and gibbsite. *Proc. Of the International Clay Conference. Tokio, Japan*. 417-428.
- SKEMPTON, A. W. (1953). The colloidal activity of clays. *Proc. 3rd Int. Conf. Soil Mech.*, 1, 57-61.
- SKEMPTON, A. W. (1964). Long-term stability of clay slope, *Geotechnique* 14, No 2, 77-102.
- SKEMPTON, A. W. (1985). Residual strength of clays in landslides, folded strata and the laboratory, *Geotechnique* 35, No. 1, 3-18.
- TERZAGHI, K. (1958). Design and performance of the Sasumua Dam (with appendix: A mineralogical analysis of Sasumua Clay, by R.H. S. Robertson). *Proc. Inst. Civ. Engrs*. Vol. 9, 369-394.
- TERZAGHI, K., PECK, R. B. Y MESRI, G. (1996). *Soil Mechanics in Engineering Practice*. USA: John Wiley & Sons, Inc. Third edition.
- TSIGE, M. (1999). Microfábrica y mineralogía de las arcillas azules del Guadalquivir: influencia en su comportamiento geotécnico. Madrid: CEDEX.
- VARGAS, M. (1985). The concept of tropical soils. *First Int. Conf. On Geomech. in Tropical Lateritic and Saprolitic soils. Brazilian Soc. for Soil Mech.* Vol. 3, 101-134.
- WILSON, S. D. (1958). Suggested method of test for moisture-density relations of soil using Harvard compaction apparatus. *Proc. For testing soil, ASTM, Filadelfia*, 133-135.
- WESLEY, L. D. (1977). Shear strength properties of halloysite and allophane clays in Java, Indonesia. *Geotechnique* 27, No.2, 125-136.
- YONG, R. N AND WARKENTING, B. P. (1975). *Soil properties and behaviour*. Amsterdam: Elsevier scientific Publishing Company. cap. 2, 3.

DIRECCIÓN GENERALDirector General: **Ángel Aparicio Mourelo**Calle de Alfonso XII, 3
28014 MADRID

- Telf.: 913 357 500
- Télex: 45022 CEDEX E
- Fax: 915 280 354

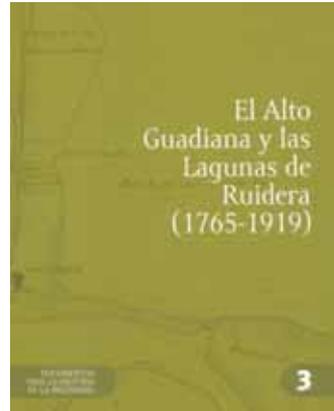
GABINETE TÉCNICODirectora: **Lucía Beloqui Urmeneta****SUBDIRECCIÓN GENERAL DE PROGRAMACIÓN
TÉCNICA Y CIENTÍFICA**Subdirector General: **Manuel Echeverría Martínez****CENTRO DE ESTUDIOS DE PUERTOS Y COSTAS**Director: **José María Grassa Garrido**Calle Antonio López, 81 • 28026 MADRID
Telf.: 913 357 700 • Fax: 913 357 622**CENTRO DE ESTUDIOS HIDROGRÁFICOS**Director: **Juan Manuel Ruiz García**Paseo Bajo de la Virgen del Puerto, 3 • 28005 MADRID
Telf.: 913 357 900 • Fax: 913 357 922**CENTRO DE ESTUDIOS DEL TRANSPORTE**Director: **Alberto Compte Anguela**Autovía de Colmenar Viejo, km 18,2
28049 El Goloso (MADRID)
Telf.: 913 357 800 • Fax: 913 357 822**CENTRO DE ESTUDIOS DE TÉCNICAS APLICADAS**Director: **Antonio Sánchez Trujillano**Calle de Alfonso XII, 3 • 28014 MADRID
Telf.: 913 357 200 • Fax: 913 357 249— **GABINETE DE FORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN**Directora: **Isabel Vilches Dueñas**Calle de Alfonso XII, 3 • 28014 MADRID
Telf.: 913 357 307 • Fax: 913 357 314**LABORATORIO CENTRAL DE ESTRUCTURAS
Y MATERIALES**Director: **Rafael Astudillo Pastor**Calle de Alfonso XII, 3 • 28014 MADRID
Telf.: 913 357 400 • Fax: 913 357 422**LABORATORIO DE GEOTECNIA**Director: **Fernando Pardo de Santayana Carrillo**Calle de Alfonso XII, 3 • 28014 MADRID
Telf.: 913 357 300 • Fax: 913 357 322**CENTRO DE ESTUDIOS HISTÓRICOS DE
OBRAS PÚBLICAS Y URBANISMO (CEHOPU)**Gerente: **Amparo Precioso de Murga**Calle de Zurbano, 7 • 28010 MADRID
Telf.: 913 489 800 • Fax: 913 489 816

EDICIONES DEL CEDEX



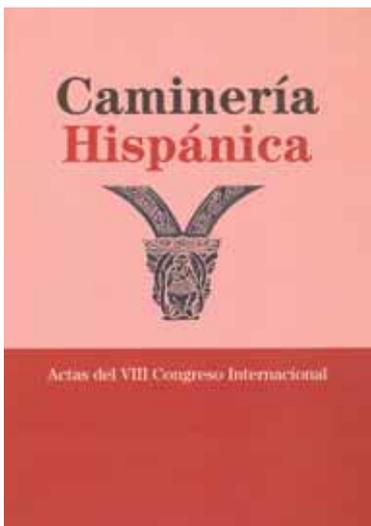
Colección: Documentos para la historia de la ingeniería, nº 2
Nº de páginas: 56 + CD
Año de edición: 2008
P.V.P.: 10€

En esta publicación se muestra una selección documental de la primera infraestructura de abastecimiento de agua potable a Pamplona. Siguiendo un orden cronológico, estructurado en ocho capítulos, el trabajo muestra los distintos dispositivos técnicos para superar la diferencia de cota topográfica, característicos de cada proyecto planteado. El soporte digital contiene la totalidad de la cartografía histórica conservada (planos de François de Gency, Ventura Rodríguez o Juan de Villanueva, entre otros), además de una selección de informes técnicos procedentes del Archivo Municipal de Pamplona y de la Institución Príncipe de Viana. Todo ello ayudará al lector a tener una visión global, que llega hasta la actualidad, de cada uno de los proyectos que se plantearon para realizar la obra.



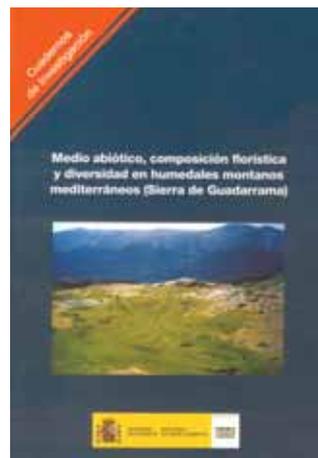
Colección: Documentos para la historia de la ingeniería, nº 3
Nº de páginas: 47 + CD
Año de edición: 2008
P.V.P.: 10€

Con motivo del 75 aniversario de la declaración de Lagunas de Ruidera como espacio natural protegido se presenta esta publicación, que pretende acercarse a la labor llevada a cabo por los ingenieros y técnicos del medio físico de uno de los humedales más emblemáticos de la Península Ibérica. En ella se dan a conocer las primeras tomas de datos o levantamientos cartográficos. El cd-rom que acompaña a la publicación contiene una exhaustiva recopilación cartográfica constituida por planos y mapas cronológicamente encuadrados entre los siglos XVIII al XX procedentes de diversas instituciones entre ellas, la más destacada, el Archivo del Ministerio de Fomento.



Se recoge en esta publicación, editada en soporte digital, el contenido de la VIII edición del ya tradicional Congreso Internacional de Caminería Hispánica que, convocado cada dos años, tuvo lugar en el 2006 en la localidad de Pastrana. En esta ocasión, junto con los contenidos tradicionales sobre la caminería histórica, las vías romanas o itinerarios turísticos y literarios, destacó la atención a las vías indígenas americanas y su relación con los Caminos Reales castellanos.

Nº de páginas: 21 + CD
Año de edición: 2008
P.V.P.: 10€



Nº de páginas: 275
Año de edición: 2008
P.V.P.: 25€

¿Cuál es el control ambiental de la composición y la diversidad de las comunidades de plantas de los humedales en regiones montanas mediterráneas? Esta es la principal pregunta que trata de responder este trabajo, completando así anteriores investigaciones en humedales originados por la descarga de agua subterránea en acuíferos regionales detríticos. La zona estudiada es la sierra de Guadarrama, localizada en el centro de la península Ibérica. Esta región, de sustrato fundamentalmente granítico, incluye un intervalo altitudinal de casi 2.000 m, con la correspondiente variación climática asociada. Las relaciones entre las características ambientales abióticas y los gradientes biológicos se han examinado a distintos niveles de detalle. Para ello se han realizado 92 inventarios de 100 m².



Nº de páginas: 141
Año de edición: 2008
P.V.P.: 20€

Esta publicación resume el estudio realizado sobre el problema de las colisiones de aves en ferrocarriles de alta velocidad, investigación promovida por la Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental del Ministerio de Medio Ambiente y el Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX) del Ministerio de Fomento, con el fin de abordar esta problemática mediante criterios científico-técnicos y de proponer medidas correctoras eficaces desde las fases iniciales del desarrollo de los proyectos. El estudio consta de tres partes: la descripción del problema de las colisiones de aves con los medios de transporte terrestre, la identificación de los tipos de medidas disponibles para reducir los impactos que se producen, y unas recomendaciones para la aplicación de las medidas en líneas de ferrocarril de alta velocidad. Por

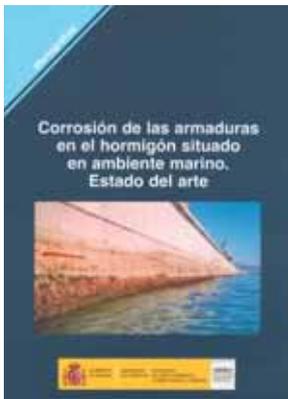
último, se propone una serie de investigaciones que convendría realizar para conocer la magnitud real del problema y para mejorar la selección y diseño de las medidas preventivas a desarrollar en cada caso.



Nº de páginas: 447
Año de edición: 2008
P.V.P.: 30€

Aunque hoy en día nadie pone en duda el valor económico de la vegetación autóctona de ribera por los beneficios que suministra, no obstante, no se ha llevado a cabo hasta ahora ningún análisis económico completo que tenga en cuenta toda la diversidad de esos beneficios, debido a la falta de seguimiento y evaluación de sus servicios medioambientales y a las dificultades para atribuirles un determinado valor. Para ayudar a proteger el mejor estado ecológico posible, mediante la gestión sostenible de sus múltiples aspectos, se presenta un procedimiento de valoración conjunta de daños e impactos a las funciones productivas, sociales y medioambientales de la vegetación de ribera de las cuencas de la España peninsular y sirva de base para establecer las sanciones o indemnizaciones que se produzcan por negligencias, accidentes o actuaciones malintencionadas sobre sus elementos, independientemente de cuál sea su tipo de propiedad (pública o privada). Para ello, es necesario, no sólo tener en cuenta sus funciones, sino el medio físico en el que se encuentran, la vegetación existente, la legislación que le es aplicable, las agresiones que pueden sufrir y los procedimientos de su valoración.

EDICIONES DEL CEDEX



Nº de páginas: 175
Año de edición: 2008
P.V.P.: 15€

En esta Monografía se describe el fenómeno de la corrosión de las armaduras del hormigón armado en ambiente marino. Tras un breve repaso sobre aspectos generales de la corrosión del acero en el hormigón, la Monografía se centra en la acción de los cloruros de procedencia marina. Además se consideran los principales factores que influyen en la corrosión de las armaduras y la sintomatología asociada a esta patología. También se ha recopilado información sobre técnicas de detección y ensayos de laboratorio que se utilizan, las medidas preventivas que se estiman necesarias para evitar que el fenómeno surja (se han recopilado además las prescripciones incluidas en diferentes normas internacionales), técnicas de tratamiento del hormigón deteriorado y la descripción de algunos casos de estructuras marinas reales en las que se ha manifestado la patología.



El objeto fundamental de esta Monografía es dar unas directrices claras de diseño de diques exentos para las costas españolas, basado principalmente en dos fuentes: los datos de inventario de diques exentos de las costas españolas y la adaptación de las diversas teorías explicativas del comportamiento de éstos y las formas morfológicas que generan, que han sido dos estudios diferentes realizados por el CEDEX para la Dirección General de Sostenibilidad de la Costa y del Mar en los años precedentes.

Nº de páginas: 153
Año de edición: 2008
P.V.P.: 15€



Nº de páginas: 97
Año de edición: 2008
P.V.P.: 15€

La Directiva Marco del Agua (DMA) especifica la necesidad de establecer unos programas de seguimiento del estado de las aguas subterráneas con objeto de obtener una visión general, coherente y completa del mismo. En esta monografía se presenta la metodología desarrollada por el CEDEX para definir Redes de Control de la Calidad de Aguas Subterráneas en las distintas Demarcaciones Hidrográficas intercomunitarias, en función de la información disponible. La metodología propuesta incluye la sistemática para la estimación del número mínimo de puntos de control requeridos en cada masa de agua, así como recomendaciones para la ubicación de los mismos siguiendo las directrices de la DMA y EIONET (Eurowaternet).



Nº de páginas: 300
Año de edición: 2008
P.V.P.: 20€

La restauración fluvial constituye un proceso encaminado a la recuperación de la integridad ecológica del medio fluvial, en términos de biodiversidad y funciones y procesos ecológicos. Este Manual examina las técnicas más destacadas para la consecución de estos fines, diferenciando entre aquellas dirigidas a la restauración de los ecosistemas acuáticos y ribereños, y las que tienen por objeto la integración de las actividades humanas en la protección y mejora de los medios fluviales. Se presta especial atención a las técnicas de ampliación y mejora de las formaciones vegetales de ribera, bioingeniería e incremento de la biodiversidad florística y faunística. Finalmente, se dedica un capítulo específico a los procedimientos que deben guiar los programas y proyectos de restauración fluvial.



Nº de páginas: 395
Año de edición: 2008
P.V.P.: 20€

En este trabajo se profundiza en la deformabilidad de los medios granulares gruesos. Se hace una revisión de los principales parámetros que afectan a dicha deformabilidad y se recogen resultados empíricos de módulos de deformación obtenidos tanto de mediciones de asientos en obras de escollera, como de ensayos llevados a cabo en laboratorio. A partir de los ensayos se estudian los módulos de carga, descarga y recarga, así como la evolución de los mismos con los ciclos de carga y descarga. Asimismo, se desarrolla un nuevo modelo teórico para el estudio de la deformabilidad de las escolleras, que se ha denominado "modelo sincrético", que considera la estructura del medio, dependiente de su granulometría, y la resistencia de los contactos entre partículas.



Nº de páginas: 600
Año de edición: 2008
P.V.P.: 30€

Los sistemas de saneamiento urbano han sufrido en los últimos años un cambio de paradigma, motivado por la irrupción de criterios que emanan esencialmente de la Directiva Marco del Agua, y cuyo fin último es la protección de los medios receptores (ríos, mar).

En este libro se realiza un compendio del conocimiento más o menos asentado sobre lo que se podría denominar la nueva concepción de los sistemas de alcantarillado, en que el ciclo del agua urbana, desde la precipitación o consumo, hasta su depuración y entrega al medio se considera como un conjunto necesariamente armónico, y cuya orientación incluye tanto la protección frente a inundaciones urbanas como la consecución del buen estado ecológico de los cauces o zonas costeras.

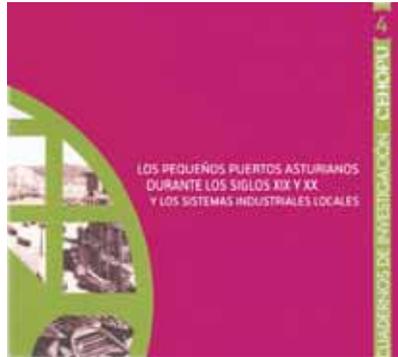
Se incluyen desarrollos extensos sobre las Técnicas de Drenaje Urbano Sostenible (TDUS), que de algún modo son la plasmación física de este nuevo enfoque. Estas TDUS, integradas en el sistema, lograrán conjugar los aspectos cuantitativos y cualitativos y lograr una gestión de los sistemas de saneamiento más acorde con los objetivos de la DMA. Incluye una extensa bibliografía sobre cada uno de los temas tratados, que permitirá al técnico ahondar en los temas que conciten su interés.

EDICIONES DEL CEDEX



**Colección: Cuadernos de investigación
CEHOPU, nº 3
Nº de páginas: 101 + CD
Año de edición: 2008
P.V.P.: 10€**

Los molinos hidráulicos establecidos sobre el río Guadalquivir en la ciudad de Córdoba son construcciones centenarias que llevan prestando servicio a la producción industrial de la ciudad desde hace cientos de años. En esta publicación el profesor Córdoba de la Llave y su equipo recorren cada uno de ellos, estudiando detenidamente su evolución histórica y arquitectónica. Se llega, por tanto, a la conclusión de que con la profundización en el conocimiento de estos edificios se pueden acometer proyectos de conservación y restauración, así como estudiar posibles usos alternativos adaptados a la sociedad del siglo XXI.



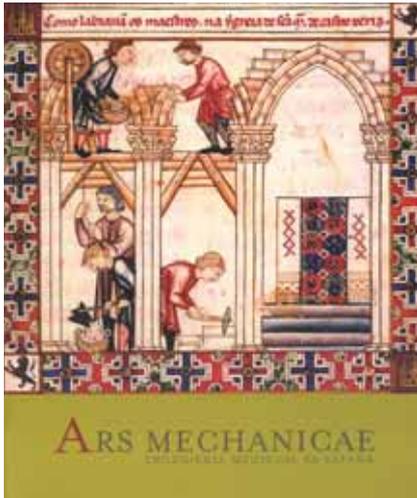
**Colección: Cuadernos de investigación
CEHOPU, nº 4
Nº de páginas: 173
Año de edición: 2008
P.V.P.: 10€**

Los pequeños puertos asturianos constituyeron una de las claves del sistema productivo de la región durante buena parte de los siglos XIX y XX apoyados en los recursos de mar. Así la actividad pesquera de este periodo pasó de ser un mero recurso de subsistencia a convertirse en actividad pujante. El alcance de este trabajo se motiva por la escasez de estudios que sobre este tema se han hecho. El libro comienza con una introducción histórica, le sigue la metodología utilizada en el estudio, la descripción general de la evolución de los pequeños puertos astures y se termina con una descripción detallada de quince de ellos, entre los que se encuentran Vegadeo, Luarca, Llanes o Lastres.



**Nº de páginas: 37 + CD
Año de edición: 2008
P.V.P.: 10€**

El CEHOPU organizó en el año 2007 y 2008 dos simposios que reunieron a especialistas procedentes de distintas disciplinas y que debatieron sobre la apreciación de paisajes modificados por la obra pública: infraestructuras del transporte o energéticas, núcleos urbanos, etc. Parte de estas intervenciones se recogen ahora en cd-rom acompañado de un estudio preliminar realizado por Francisca Pérez Carreño.



**Nº de páginas: 297
Año de edición: 2008
P.V.P.: 30€**

Esta publicación se presenta junto a la exposición del mismo nombre inaugurada en el otoño de 2008 en el Real Jardín Botánico de Madrid. En ella reconocidos investigadores del mundo medieval y de la historia de la tecnología recorren las denominadas artes mecánicas dando a conocer al gran público, mediante un lenguaje sencillo y directo, un bosquejo de lo que significaron para los reinos que poblaron la Península Ibérica. El recorrido nos lleva desde las vías terrestres y marítimas, los puentes, el abastecimiento de agua y los regadíos, la construcción de bóvedas de

Esta publicación se presenta junto a la exposición del mismo nombre inaugurada en el otoño de 2008 en el Real Jardín Botánico de Madrid. En ella reconocidos investigadores del mundo medieval y de la historia de la tecnología recorren las denominadas artes mecánicas dando a conocer al gran público, mediante un lenguaje sencillo y directo, un bosquejo de lo que significaron para los reinos que poblaron la Península Ibérica. El recorrido nos lleva desde las vías terrestres y marítimas, los puentes, el abastecimiento de agua y los regadíos, la construcción de bóvedas de



**Nº de páginas: 86
Año de edición: 2008
P.V.P.: 45€**

Sáenz Ridruejo, reconocido especialista en la trayectoria vital y profesional de Betancourt, ha realizado para esta ocasión un análisis completo de su figura, su tiempo y su obra a modo de complemento.

Este libro, obra de Agustín de Betancourt y Molina, describe con minuciosidad una fábrica de cañones ubicada en la pequeña isla de Yndrid (Francia), en el río Loira, junto a Nantes, cuyo original se guarda en la actualidad en la biblioteca del Palacio Real de Madrid bajo la custodia de Patrimonio Nacional. Esta edición, con la que se finaliza la conmemoración del 250 aniversario del nacimiento de su autor, respeta con la máxima exactitud el contenido del manuscrito original, pero no así su formato (demasiado grande para ser consultado) ni su encuadernación (en piel con guardas en seda). El libro original incluye un texto preliminar manuscrito, seguido de 49 láminas de factura impecable. Fernando

Pedidos

Para realizar un pedido de publicaciones puede hacerlo por teléfono, fax o correo a:

CEDEX Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas

c/ Alfonso XII, 3 - 28014 Madrid

Teléfono: (+34) 91 335 72 95 • Fax: (+34) 91 335 72 49 • E-mail: publicaciones@cedex.es

JORNADA TÉCNICA: CÁLCULO DE TÚNELES

FECHA: 22 de Abril de 2009
LUGAR: Centro de Estudios de Técnicas Aplicadas (CEDEX) Alfonso XII, 3
COORDINADOR: Áurea Perucho
PRECIO: 150€

JORNADAS SOBRE DINÁMICA Y VIBRACIONES EN INGENIERÍA CIVIL

FECHA: Del 26 al 28 de mayo de 2009
LUGAR: Centro de Estudios de Técnicas Aplicadas (CEDEX) Alfonso XII, 3
DIRECTORES: Francisco Navarro Colom y Jorge Fernández

CURSO SOBRE DISEÑO DE CARRETERAS

FECHA: 1 al 5 de junio de 2009
LUGAR: Centro de Estudios de Técnicas Aplicadas (CEDEX) Alfonso XII, 3
DIRECTOR: Miguel Ángel Carrillo Suárez

JORNADA TÉCNICA SOBRE ENSAYOS DE PENETRACIÓN EN EL PROYECTO GEOTÉCNICO

FECHA: 2 de junio de 2009
LUGAR: Centro de Estudios de Técnicas Aplicadas (CEDEX) Alfonso XII, 3
DIRECTORES: José Estaire, Herminia Cano, Marcos Arroyo

JORNADAS TÉCNICAS SOBRE MODELOS MATEMÁTICOS PARA LA INGENIERÍA HIDRÁULICA

FECHA: Del 3 al 5 de junio de 2009
LUGAR: Centro de Estudios Hidrográficos, Pº Bajo de la Virgen del Puerto,3
DIRECTOR: David López Gómez

III JORNADAS HISPANO-PORTUGUESAS DE GEOTECNIA

FECHA: 25 y 26 de junio de 2009
LUGAR: Centro de Estudios de Técnicas Aplicadas (CEDEX) Alfonso XII, 3
DIRECTOR: José Estaire Gepp

El Comité de Redacción de **Ingeniería Civil** está abordando una serie de iniciativas encaminadas a fomentar su difusión entre los especialistas en las materias sobre las que versa. Con ese objeto, para promover el conocimiento de sus contenidos, se le remite el presente ejemplar.

Para que pueda suscribirse a ella y recibirla con regularidad, se acompaña el boletín de suscripción adjunto, que deberá remitir cumplimentado a la dirección abajo indicada.

El Comité de Redacción



Boletín de suscripción

Email: ingcivil@cedex.es

Teléfono: 91 335 72 69

España un año: **49 €**

Extranjero un año: **81,12 €**

Empresa N.I.F. Particular N.I.F.
Nombre Cargo
Dirección
..... Código Postal
Población Provincia
Teléfono Fax E-mail

Formas de Pago

(Elijase solamente una opción)

Domiciliación bancaria (Solamente para cuentas bancarias en España)

Muy Sres. míos:

Ruego que, con cargo a mi cuenta y hasta nuevo aviso, atiendan el pago de los recibos correspondientes a mi suscripción que les presentaré al cobro la REVISTA INGENIERIA, editada por el Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas CEDEX.

Les saluda atentamente

Entidad bancaria
Domicilio entidad
C.P. Localidad Provincia

Entidad	Oficina	D.C.	Núm. de cuenta

Transferencia a favor del Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas CEDEX

Cuenta del CEDEX (desde España):

0182 - 2370 - 45 - 0200200574

Cuenta del CEDEX (desde el extranjero):

IBAN: ES6501822370450200200574

SWIFT: BBVAESMM

Cheque nominativo a favor del Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas CEDEX

Fecha

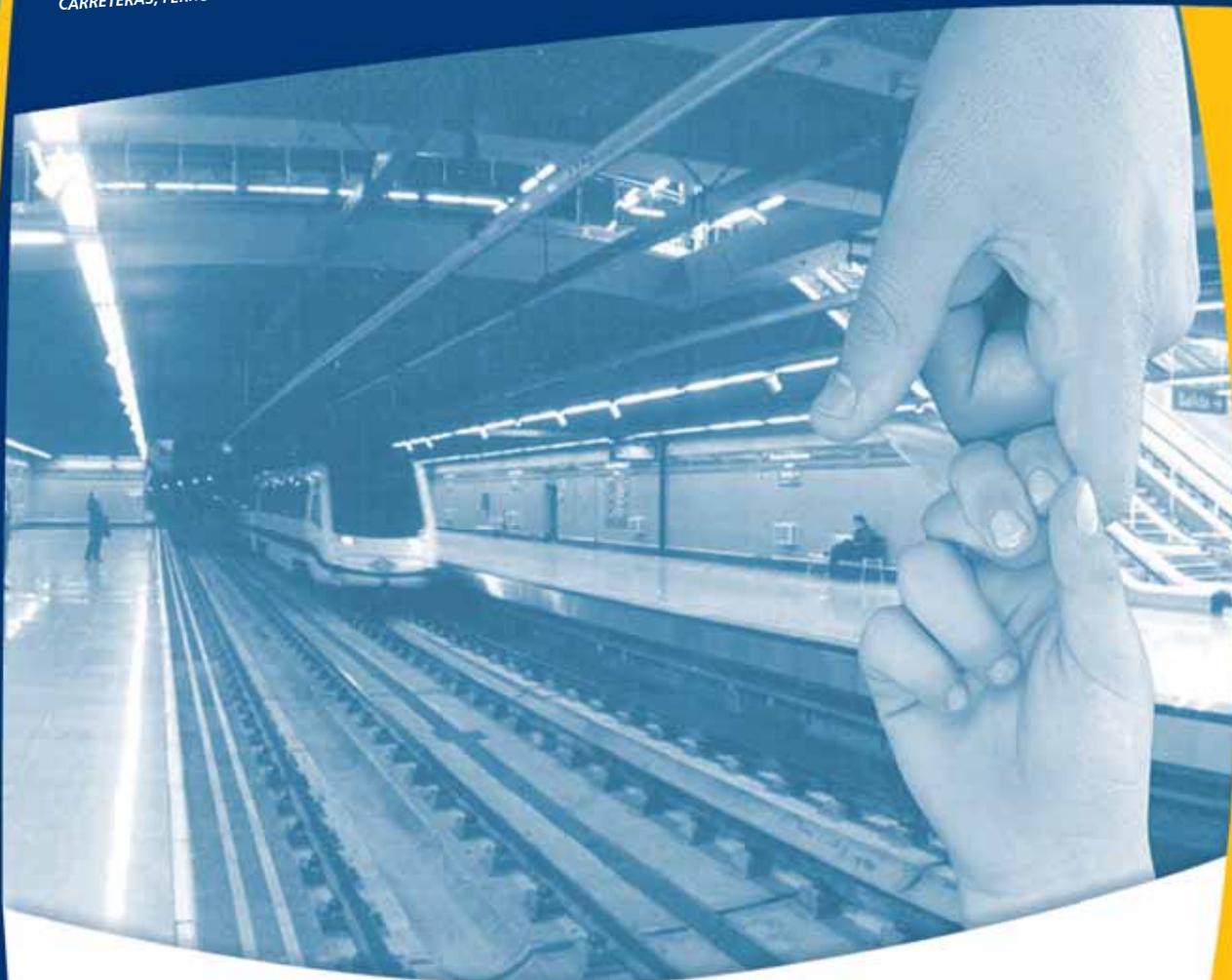
Firma

El Titular, Fdo.

Enviar a:

Revista **Ingeniería Civil** (PUBLICACIONES)

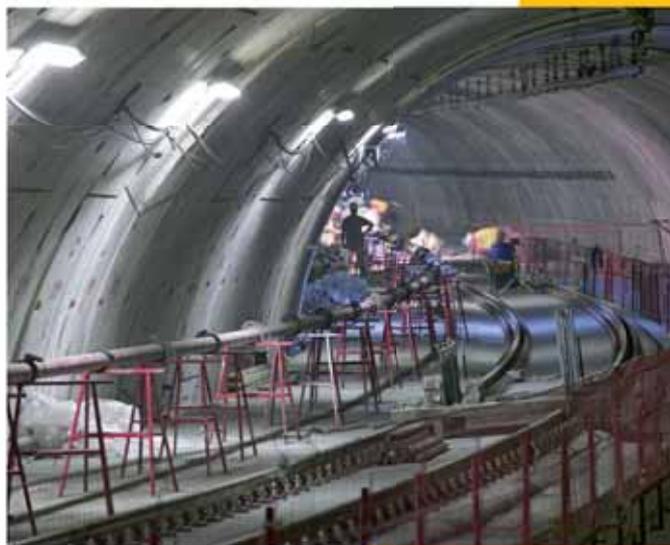
Centro de Estudios de Técnicas Aplicadas del **CEDEX** • c/ Alfonso XII, 3 • 28014 Madrid



Hacemos GRANDES hasta los SUEÑOS más pequeños...

... porque en Ferrovial Agromán,
ponemos en tus manos
a los profesionales más cualificados del sector,
las más avanzadas tecnologías y más de 80 años
de experiencia en servicio y atención al cliente,
lo que nos ha dado reconocido prestigio
como empresa líder a nivel nacional e internacional.

Nosotros creemos en cada uno de nuestros clientes,
creemos en **ese sueño** y lo convertimos
en el más importante, dándole el respaldo
y la **seguridad** de hacerlo realidad.



Línea 9 del Metro de Barcelona. Tramo: 4T Bon Pastor-Can Zam.

ferrovial
AGROMAN

CONSTRUIMOS SUEÑOS

www.ferrovial.com