

# HAC2018 | V Congreso Iberoamericano de Hormigón Autocompactante y Hormigones Especiales

Valencia, 5 y 6 de Marzo de 2018

## Protocolo de valorización de residuos en la fabricación de materiales de base cemento: sedimentos dragados como componente de hormigón autocompactante

F. Rozas <sup>(1)</sup>, A. Castillo <sup>(1)</sup>, I. Martínez <sup>(1)</sup> y M Castellote <sup>(1)</sup>

(1) Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja, Consejo Superior de Investigaciones Científicas, España.

DOI: <http://dx.doi.org/10.4995/HAC2018.2018.5637>

### RESUMEN

La incorporación de los materiales procedentes del dragado como materia prima en la industria de la construcción es uno de los principales objetivos del sector, dada la creciente demanda de este tipo de materiales y la cada vez mayor escasez de los recursos procedentes del interior. La mayor parte de las investigaciones realizadas se han centrado en la reutilización de residuos industriales y de demolición, sin embargo, el uso de materiales procedentes de dragado no ha sido tan ampliamente estudiado y no se han encontrado protocolos para evaluar de forma sistemática su viabilidad como materia prima en la fabricación de materiales con base cemento. En este sentido, el principal objetivo de esta investigación es el diseño de un protocolo que permita evaluar la idoneidad de un residuo procedente de un puerto español como componente de un hormigón autocompactante (SCC). Para ello se realizará un completo análisis químico, mineralógico y granulométrico del sedimento y, una vez comprobada su idoneidad, el éxito de su inclusión como parte del SCC se estudiará mediante ensayos de durabilidad y de compatibilidad medioambiental. Estos ensayos mostrarán que las propiedades del SCC obtenido están de acuerdo con las esperadas para uno convencional fabricado con filler silíceo normal.

**PALABRAS CLAVE:** Protocolo, valorización de residuo, material base cemento, sedimento dragado, hormigón autocompactante.

### 1.- INTRODUCCIÓN

Aunque la investigación en el área de la reutilización de materiales para la fabricación SCC se inició en la última década, se ha podido comprobar cómo ha experimentado un incremento considerable durante los últimos años dando lugar a interesantes contribuciones [1-3]. La elección de este tipo de hormigones se debe principalmente a las características fisicoquímicas y granulométricas del material dragado, que lo hacen susceptible para esta finalidad, así como a sus propiedades especiales: fluye bajo su propio peso sin necesidad de vibrado, autonivelándose por sí mismo, reduciendo la mano de obra y ruido. A estos

beneficios medioambientales también hay que unir que el uso de este hormigón permite una mayor flexibilidad en el diseño de los elementos estructurales aportando considerables mejoras en los acabados superficiales.

Por otro lado, la mayor parte de las investigaciones realizadas se han centrado en la reutilización de residuos industriales y de demolición, sin embargo, el uso de materiales procedentes de dragado no ha sido tan ampliamente estudiado.

El interés en la elección de los sedimentos dragados como materia prima se debe, en parte, a su abundancia. Una de las principales actividades industriales que se realizan en las zonas costeras son las operaciones de dragado. Estas operaciones son esenciales para facilitar la navegación en los puertos comerciales y los puertos deportivos, así como para la construcción de instalaciones portuarias, paliar inundaciones y retirar sedimentos de estructuras, dársenas y tomas de agua. Actualmente se dragan varios cientos de millones de metros cúbicos de sedimento en todo el mundo. La elevada disponibilidad, unida a las exigencias de los Convenios Internacionales de Protección del Medio Marino y la mayor sensibilidad medioambiental han hecho que el material dragado pueda y deba ser considerado como un recurso valioso y no como un residuo o material de desecho. Todos estos factores han llevado a una evolución en la gestión de los sedimentos dragados, en el sentido de potenciar la reutilización de los mismos frente a la opción de vertido al mar que, tradicionalmente, ha sido mayoritaria.

La ausencia de protocolos para evaluar la viabilidad de un sedimento dragado como materia prima en la fabricación de materiales con base cemento y la creciente demanda en el uso de hormigones con propiedades especiales han originado la necesidad de llevar a cabo estudios que, de forma sistemática, establezcan los análisis a los que tiene que ser sometido el material, así como los ensayos que hay que realizar sobre el hormigón fabricado para comprobar la validez de la solución planteada.

## **2.- PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL**

### **2.1.- Protocolo para la evaluación de la valorización del residuo.**

El esquema propuesto y diseñado para evaluar la viabilidad de utilización de un material de desecho para ser incorporado como materia prima en materiales de base cemento se detalla a continuación:

**Etapa 1:** En primer lugar, el sedimento debe someterse a un minucioso análisis químico y mineralógico para establecer su compatibilidad con el material en base cemento.

**Etapa 2:** Si la composición de los residuos es compatible con un material con base cemento, se debe realizar una caracterización exhaustiva de los posibles elementos de naturaleza peligrosa o tóxica que pudiera tener. Por ello es necesario evaluar su ignición, corrosividad, reactividad o toxicidad. En caso de que no se cumplan estos requisitos es necesario analizar las posibilidades existentes para su remediación, como, por ejemplo, las técnicas electrocinéticas [4-6]. Esto mismo sucede para componentes que no son peligrosos

pero que para el uso en el hormigón genera problemas de diferentes tipos, como por ejemplo el cloruro. [7-9].

**Etapa 3:** En esta etapa se lleva a cabo una caracterización granulométrica completa del material para estudiar sus diferentes tamaños de partícula.

**Etapa 4:** Una vez comprobada la compatibilidad y la ausencia de contaminación en el material, en función de su composición y granulometría, se establecen las mejores opciones para reutilizar el material en la fabricación del hormigón.

**Etapa 5:** Diseño final del material con inclusión de la mayor cantidad de sedimento posible.

**Etapa 6:** Una vez diseñado el hormigón se debe caracterizar tanto en estado fresco como en endurecido para comprobar que se cumplen con los requerimientos de resistencia mecánica, durables y de compatibilidad medio ambiental.

Este esquema de reutilización se muestra en la Fig 1.

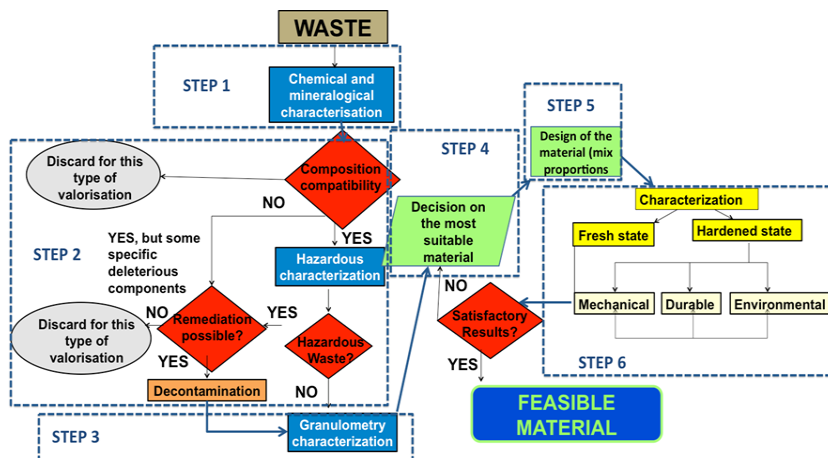


Figura 1. Esquema del protocolo de evaluación de la viabilidad del residuo para su uso en material en base cemento. [26].

## 2.2.- Caracterización del material dragado.

La caracterización completa se realizó siguiendo las directrices de trabajos anteriores y de acuerdo con recomendaciones establecidas para este tipo de materiales [10-13]. La composición elemental del sedimento se llevó a cabo por análisis químico. La determinación mineralógica se realizó por difracción de rayos X y la fracción en peso seco se determinó por pérdida de peso a 105° C.

Por otro lado, se realizó la caracterización física (análisis granulométricos) y la determinación del contenido orgánico total (TOC). Para la distribución del tamaño de partícula se siguió lo establecido para suelos por tamizado [14] y el contenido de carbono orgánico total (TOC) fue estimado por pérdida de ignición, calentando la muestra durante 15 minutos a la temperatura de 950° C ± 25° C y con determinación gravimétrica recomendada para volúmenes de dragado pequeños.

Se reservó la fracción con un tamaño de partícula inferior a 63  $\mu\text{m}$  para evaluar la presencia de metales pesados, hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP), plaguicidas organofosforados y otros compuestos orgánicos clorados.

### 2.3.- Fabricación de los hormigones.

El hormigón se fabricó con cemento de tipo I 42,5R sin adiciones. Otros componentes, aparte del sedimento, fueron agua, arena y agregados gruesos silíceos. Se trabajó con tres mezclas diferentes. Su composición se muestra en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Componentes de las mezclas.

Mezcla ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )	A	B	C
Cemento I 42,5 R	420	450	450
Material dragado	73	80	100
Agua	205	202	202
a/c	0,5	0,5	0,45
Arido silíceo (6/12)	717	676	667
Arena silícea (0/6)	850	870	859
Aditivo I	9,2	7,1	
Aditivo II			7,43

### 2.4.- Caracterización del hormigón.

En estado fresco, la fluidez del hormigón se caracterizó mediante el ensayo de consistencia con el cono de Abrams [15] y el de escurrimiento para SCC según norma UNE EN 12350-8 [16]. La densidad del hormigón fresco se midió de acuerdo con la norma UNE EN 12350-6 [17] y el aire ocluido según la norma UNE EN 12350-7 [18].

En estado endurecido, se llevaron a cabo ensayos mecánicos, de compatibilidad medioambiental y de durabilidad. Desde el punto de vista mecánico se determinó la resistencia a la compresión [19]. Para evaluar la compatibilidad medioambiental se realizaron ensayos de lixiviación [20], poniendo al hormigón en contacto con un agente lixivante para extraer sus componentes principales y analizando el residuo sólido de acuerdo con [21,22]. Por otro lado, las propiedades de durabilidad se determinaron mediante análisis de porosidad, distribución de tamaño de poro y densidad por porosimetría de intrusión de mercurio (MIP). Además, las fases cristalinas del hormigón se analizaron por difracción de rayos X utilizando un difractómetro modelo D8 Advance de Bruker AXS. Otro indicador de durabilidad es la resistividad eléctrica, que se midió mediante un resistímetro comercial. Además, se realizaron dos ensayos diferentes para evaluar las propiedades de transporte a través de la matriz cementicia: el primero fue la medición de los coeficientes de difusión de cloruro estacionario y no estacionario y el otro fue la absorción capilar. Los coeficientes de difusión de cloruros en estado estacionario ( $D_s$ ) y no estacionario ( $D_{ns}$ ) se determinaron usando el método multi-régimen [23]. El segundo fue la medida de la absorción de agua del hormigón endurecido por absorción capilar [24].

### 3.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1.- Caracterización química y mineralógica del material dragado.

La composición elemental del sedimento original y las fracciones menores de 2 mm y menores de 63  $\mu\text{m}$  (arena + fracciones fina) se muestra en la Tabla 2, donde se puede ver que el componente principal es óxido de silicio seguido de carbonato de calcio. En todas las fracciones analizadas se determinó la pérdida de material por calcinación (LOI, pérdida de ignición) calentando la muestra durante 15 minutos a la temperatura de  $950^\circ\text{C} \pm 25^\circ\text{C}$ . La composición del material dragado se pudo confirmar por difracción de rayos X, apreciando cuarzo y calcita como componentes principales. También se pudieron identificar silicatos de hierro y magnesio, junto con dolomita, sulfato de hierro titanio, cloruros complejos, hierro y algo de arcilla (chamosita) en pequeñas proporciones. Se buscaron específicamente arcillas expansivas del grupo de filosilicatos (montmorillonita, saponita, nontronita y sepiolita bentonita, entre otras), no habiendo sido identificadas en ningún momento. En base a estos resultados se pudo afirmar la total compatibilidad del sedimento con materiales con base cemento.

**Tabla 2.** Componentes del sedimento [26].

	Sedimento original	<2 mm	<63 $\mu\text{m}$
SiO <sub>2</sub>	70,6	71,9	68,5
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,1	4,7	5
FeO	2,3	2,2	2
CaO	0	0	0
CaO <sub>3</sub> (%)	26,3	27,4	34,2
MgO	2,3	2,6	2,1
Na <sub>2</sub> O	1,5	1,2	0,63
K <sub>2</sub> O	2	1,1	1,6
TiO <sub>2</sub>	0,24	0,24	0,43
SO <sub>2</sub>	0,11	0,07	0,11
Pérdida de material por calcinación	16	16	20
Humedad	21,9		
Concentración de sólidos	78,1		
TOC(%)		4,1	

#### 3.1.- Caracterización en cuanto a contenido en sustancias tóxicas.

En cuanto a las sustancias tóxicas la caracterización química de los contaminantes se realizó sobre la fracción menor de 63  $\mu\text{m}$ , que es donde se acumulan normalmente. Los resultados obtenidos por el ICP-AES se muestran en la Tabla 3. En esta tabla se puede apreciar que el sedimento corresponde a la Categoría I establecida en [10], excepto en el caso del cadmio, con una concentración correspondiente a la categoría ligeramente más contaminada. Además, el análisis bacteriológico sobre el sobrenadante del agua en el sedimento dio un recuento total de bacterias de coliformes: 0 ufc / 100 ml y también para el estreptococo fecal: 0 ufc / 100 ml. Por lo tanto, el material puede considerarse como no peligroso y no es necesario un paso previo de descontaminación antes de proceder a su reutilización.

**Tabla 3.** Caracterización toxicológica. [26].

mg/kg	< 63 µm	Nivel 1	Nivel 2
Mercurio	0,21	0,6	3
Cadmio	1,5	1	5
Plomo	11	12	600
Cobre	8,5	100	400
Zinc	150	500	3000
Cromo	30,5	200	1000
Níquel	9,5	100	400
PCB	< 0,03	0,03	0,1
Arsénico	6,6	80	200
Aceites y grasas	502		
Pesticidas orgánicos clorados	< 0,05 (cada uno)		
Compuestos orgánicos extraíbles			
PAHs	< 0,05 (cada uno)		
Pesticidas organofosforados	< 0,5 (cada uno)		
Compuestos orgánicos de estaño	< 0,01 (cada uno)		
Hidrocarburos de petróleo totales	< 5		

### 3.3.- Caracterización granulométrica.

El estudio de la distribución granulométrica del sedimento dragado se realizó por sedimentación, obteniéndose depósitos pertenecientes a las fracciones de arena situadas entre 2 mm y 63 µm (94%). La fracción de arcilla y limo alcanza el 5%. Los valores obtenidos en el análisis granulométrico del sedimento se compararon con los valores límite de los agregados finos para el hormigón [25] y del relleno para los SCC con el objetivo de comprobar su viabilidad.

### 3.4.- Decisión sobre el material más adecuado, incluido el residuo, que se realizará

Teniendo en cuenta la composición del sedimento, pero principalmente sus características granulométricas se ha elegido como primera opción el hacer un SCC ya que aportaría grandes cantidades de finos. Esta decisión también ha sido motivada por la novedad, como se ve en la búsqueda bibliográfica, y por el alto valor añadido que supondría.

### 3.5.- Diseño del material

En base a los resultados de las etapas anteriores se pudo concluir que el material dragado podría ser utilizado como una sustitución parcial de agregados finos o como pseudo-filler, con la adición de más finos. Los resultados de cada una de estas opciones se detallan a continuación.

Ensayos utilizando el sedimento como sustitución del agregado fino: En primer lugar se comenzó con una sustitución del 8% del agregado fino por sedimento dragado, en relación con un hormigón convencional. En estado fresco el comportamiento de este hormigón era bastante bueno, sin embargo, debido al alto contenido de finos y su alta demanda de agua, la mezcla no presentaba una adecuada cohesividad. Este comportamiento se confirmó con los datos obtenidos en la resistencia a la compresión medida a la edad de 28 días que mostraron valores promedio de 34 MPa, siendo los previsibles para hormigón convencional próximos a 40 MPa.

Ensayos que utilizan el sedimento como relleno: En función de los resultados obtenidos en estos ensayos preliminares y considerando que las soluciones a las que se llegaron no eran del todo satisfactorias se analizó la posibilidad de reutilizar el material como parte del filler, en lugar de hacerlo reemplazando el árido fino. El comportamiento observado para las primeras mezclas fue muy cercano a la consistencia de un SCC pero sin alcanzar completamente la autonivelación debido al alto grado de cohesión. Posteriormente, se realizaron más pruebas utilizando 450 Kg de cemento con una relación a/c de 0,45 y 100 Kg de material de dragado. El porcentaje de árido fue de 56% de arena y 44% de grava. Estas últimas mezclas se realizaron con un 1,7% en peso de cemento de aditivo policarboxilato, por lo que el hormigón obtenido fue extremadamente cohesivo y autocompactante con un escurrimiento de 56 cm.

### 3.6.- Caracterización del SCC diseñado

Como se ha señalado anteriormente, el SCC fabricado se caracterizó tanto en estado fresco como en estado endurecido. La caracterización en estado fresco del se realizó mediante la determinación de la consistencia, contenido de aire, densidad y fluidez. Los resultados se muestran en la Tabla 4. En esta tabla también se representan los resultados de resistencia a la compresión del hormigón fabricado a la edad de 28 días.

**Tabla 4.** Caracterización en estado fresco y resistencia a la compresión.

Propiedad	Valor	Probeta Resistencia compresión (Mpa)	
Contenido de aire (%)	3	1	43,8
Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	2,23	2	45,1
Diámetro de scurrimiento (cm)	56	3	43,7
		Media	44,2

Desde el punto de vista medioambiental, a pesar de que el sedimento fue previamente analizado y clasificado como Categoría I, se realizó el ensayo de lixiviación [20]. Todos los resultados obtenidos de lixiviación de metales se situaron dentro de los límites establecidos en la regulación de la eliminación de residuos por vertedero [27].

En relación con la durabilidad, los parámetros obtenidos por porosimetría de intrusión de mercurio (porosidad total, diámetro medio de poro y densidad aparente) se muestran en la Tabla 5. Los valores obtenidos mostraron una porosidad media de 9.12%, valores acordes con los esperados para un hormigón fabricado con un filler normal de naturaleza silíceo. En los difractogramas obtenidos por difracción de rayos X se pudo comprobar la ausencia de fases cristalinas perjudiciales para el hormigón. Otro indicador de durabilidad del hormigón es la resistividad eléctrica. En este caso, los valores medios obtenidos en diferentes muestras de hormigón fueron de 49 KΩ•cm, correspondientes a hormigones de alta durabilidad.

En la Tabla 5 también pueden verse los resultados de los ensayos de transporte a través de la matriz de cemento, es decir, los coeficientes de difusión de cloruros en estado estacionario y no estacionario. Estos resultados, junto con los valores correspondientes a la

medida de la absorción capilar, son indicativos de materiales con muy buena resistencia a la penetración de agua y al movimiento de especies en su interior.

**Tabla 5.** Caracterización micro-estructural y coeficientes de difusión de cloruros.

	Porosidad total	Diámetro medio de poro (4				
	(%vol.)	V/V) (µm)	Densidad (g/cm3)	Ds (cm <sup>2</sup> /s)	Dns (cm <sup>2</sup> /s)	Alpha
Muestra 1	8,74	0,0437	2,269	Muestra 1 1,21 E-08	8,28 E-08	0,146
Muestra 2	9,64	0,0394	2,203	Muestra 2 1,03 E-08	1,09 E-07	0,094
Media	9,12	0,041	2,236	Media 1,12 E-08	9,61 E-08	0,12
COV(%)	6,92	7,32	2,08	COV(%)	11,07	19,62 30,37

Los resultados obtenidos se evaluaron de acuerdo con los indicadores de durabilidad descritos en "Diseño de hormigón para una vida útil determinada de la estructura" [28] y se representaron en la Tabla 6. Los coeficientes de difusión determinados corresponderían con un hormigón de durabilidad intermedia, no obstante, estos valores indican poca afinidad del material por los iones cloruro. De forma global, teniendo en cuenta los resultados de los diferentes ensayos, se puede decir que el hormigón fabricado presenta unas características que están completamente de acuerdo con las esperadas de un hormigón convencional diseñado con un filler silíceo normal.

**Tabla 6.** Indicadores de durabilidad.

Indicadores de durabilidad	Resultados experimentales	Rango de evaluación
Porosidad Total (% vol.)	9,19	ALTO-MEDIO
Resistividad Eléctrica (kΩcm)	49,3	ALTO
Coefficiente Difusión (Ds) (cm <sup>2</sup> /s)	1,12 E-08	MEDIO
Coefficiente Difusión (Dns) (cm <sup>2</sup> /s)	9,6 E-08	MEDIO

#### 4.- CONCLUSIONES

En primer lugar, en este trabajo se ha demostrado la viabilidad del diseño de un protocolo de para evaluar la posibilidad de incluir un sedimento dragado en la producción de un material con base cemento estructural. Posteriormente, este protocolo se ha aplicado a un caso real y se ha podido comprobar la idoneidad de un sedimento dragado obtenido de un puerto español como materia prima en la fabricación de un SCC con propiedades similares a las que tendría un hormigón fabricado con materiales convencionales.

#### AGRADECIMIENTOS

Esta investigación formó parte del proyecto CLEAM CENIT patrocinado por el Centro Español de Desarrollo Tecnológico Industrial (CDTI) dentro del programa CENIT y ha sido posible gracias al apoyo económico del CDTI y A.I.E. (Asociación de Interés Económico) CLEAM-CENIT. Mención especial a DRAGADOS, que fue el responsable de la coordinación industrial de la tarea en la que se desarrolló este trabajo. Los autores también agradecen al Ministerio de Economía y Competitividad la financiación aportada por el proyecto BIA 2011-25653 " TELEPASSCLOR " otorgado en el marco del Plan Nacional de I + D + i.



## REFERENCIAS

- [1] Zaitri, R. Bederina, M. Bouziani, T. Makhloufi, Z, Hadjoudja, M. Development of high performances concrete based on the addition of grinded dune sand and limestone rock using the mixture design modelling approach. *Construction and Building Materials* 60, (2014) 8-16.
- [2] Yan, D. Y. S. Tang, I. Y. Lo, I. M. C. Development of controlled low-strength material derived from beneficial reuse of bottom ash and sediment for green construction, *Construction and Building Materials* 64, (2014) 201-207.
- [3] Madurwar, M. V. Ralegaonkar, R. V. Mandavgane, S. A. Application of agro-waste for sustainable construction materials: A review, *Construction and Building Materials* 38, (2013) 872-878.
- [4] Castellote, M. Andrade, C. Alonso, C. Electrochemical removal of chlorides - Modelling of the extraction, resulting profiles and determination of the efficient time of treatment, *Cement and Concrete Research* 30 (2000).
- [5] Rozas, F. Castellote, M. Electrokinetic remediation of dredged sediments polluted with heavy metals with different enhancing electrolytes, *Electrochimica Acta* 86, (2012)102-109.
- [6] Mulligan, C. N. Yong, R. N. Gibbs, B. F. Surfactant-enhanced remediation of contaminated soil: a review, *Engineering Geology* 60, (2001) 371-380.
- [7] Castellote, M. Ordonez, M. Andrade, C. Zuloaga, P. Navarro, M. Electrochemical treatment to condition contaminated EAFD as addition to immobilisation mortar in low level waste concrete containers, *Corrosion Engineering Science and Technology* 46 (2011).
- [8] Montero, N. Belzunce-Segarra, M. J. Gonzalez, J. L. Menchaca, I. Garmendia, J. M. Etxebarria, N Nieto, O. Franco, J. Application of Toxicity Identification Evaluation (TIE) procedures for the characterization and management of dredged harbor sediments, *Marine Pollution Bulletin* 71, (2013) 259-268.
- [9] Castellote, M. Andrade, C. Alonso, C. Measurement of the steady and non-steady-state chloride diffusion coefficients in a migration test by means of monitoring the conductivity in the anolyte chamber - Comparison with natural diffusion tests, *Cement and Concrete Research* 31 (2001).
- [10] Directrices para la caracterización del material dragado y su reubicación en aguas del dominio público marítimo-terrestre. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medioambiente. Puertos del Estado. Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (2015).
- [11] Casado-Martinez, M. C. Buceta, J. L. Belzunce, M. J. Delvalls, T. A. Using sediment quality guidelines for dredged material management in commercial ports from Spain, *Environment International* 32, (2006)388-396.
- [12] Casado-Martinez, M. C. Buceta, J. L. Forja, J. M. DelValls, T. A. Interlaboratory assessment of marine bioassays to evaluate the environmental quality of coastal

- sediments in Spain. I. Exercise description and sediment quality, *Ciencias Marinas* 32, (2006) 121-128.
- [13] Casado-Martínez, M. C. Forja, J. M. DelValls, T. A. A multivariate assessment of sediment contamination in dredged materials from Spanish ports, *Journal of Hazardous Materials* 163, (2009) 1353-1359.
- [14] UNE 103 101. Análisis granulométrico de suelos por tamizado.
- [15] UNE EN 12350-2. Ensayos de hormigón fresco. Parte 2: Ensayo de asentamiento.
- [16] UNE EN 12350-8. Ensayos de hormigón fresco. Parte 8: Hormigón autocompactante. Ensayo del escurrimiento.
- [17] UNE EN 12350-6. Ensayos de hormigón fresco. Parte 6: Determinación de la densidad.
- [18] UNE EN 12350-7. Ensayos de hormigón fresco. Parte 7: Determinación del contenido de aire. Métodos de presión.
- [19] UNE-EN 12390-3. Ensayos de hormigón endurecido. Parte 3: Determinación de la resistencia a compresión de probetas.
- [20] EN 12457-2: 2002. Caracterización de residuos. Lixiviación. Ensayo de conformidad para la lixiviación de residuos granulares y lodos. Parte 2: Ensayo por lotes de una etapa con una relación líquido-sólido de 10 l/kg para materiales con un tamaño de partícula inferior a 4 mm (con o sin reducción de tamaño).
- [21] UNE ENV 12506. Caracterización de residuos. Análisis de eluatos. Determinación del pH, As, Ba, Cd, Cl<sup>-</sup>, Co, Cr, Cr VI, Cu, Mo, Ni, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, Pb, S total, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, V y Zn.
- [22] UNE ENV 13370. Caracterización de residuos. Análisis de eluatos. Determinación de amoníaco, AOX, conductividad, Hg, índice de fenoles, TOC, CN<sup>-</sup> fácilmente liberable y F<sup>-</sup>
- [23] UNE 83987-2009. Durabilidad del hormigón. Métodos de ensayo. Determinación de los coeficientes de difusión de los iones cloruro en el hormigón endurecido. Método multirrégimen.
- [24] UNE 83982: 2008. Durabilidad del hormigón. Métodos de ensayo. Determinación de la absorción de agua por capilaridad del hormigón endurecido. Método Fagerlund.
- [25] Spanish Code on Structural Concrete EHE-08.
- [26] Rozas, F. Castillo, A. Martínez, I. Castellote, A. Guidelines for assessing the valorization of a waste into cementitious material: dredged sediment for production of self-compacting concrete. *Materiales de Construcción*. Vol.65 (2015) Issue 319.
- [27] Real Decreto 1481/2001, de 27 de diciembre, por el que se regula la eliminación de residuos mediante depósito en vertedero.
- [28] AFGC (Asociación francesa de ingeniería civil) Concrete design for a given structure service life.