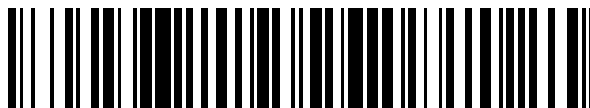


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 958 169**

21 Número de solicitud: 202230623

51 Int. Cl.:

C04B 18/04 (2006.01)

C04B 18/16 (2013.01)

C04B 20/00 (2006.01)

12

PATENTE DE INVENCION CON EXAMEN

B2

22 Fecha de presentación:

07.07.2022

43 Fecha de publicación de la solicitud:

02.02.2024

Fecha de modificación de las reivindicaciones:

06.02.2024

Fecha de concesión:

14.02.2025

45 Fecha de publicación de la concesión:

21.02.2025

73 Titular/es:

UNIVERSIDAD DE BURGOS (100.00%)

C/ Hospital del Rey s/n

09001 Burgos (Burgos) ES

72 Inventor/es:

REVILLA-CUESTA, Víctor;

ORTEGA-LÓPEZ, Vanesa;

SKAF REVENGA, Marta;

SERRANO LÓPEZ, Roberto y

MANSO VILLALAÍN, Juan Manuel

54 Título: **HORMIGÓN SOSTENIBLE CON RESIDUO DE PALA DE AEROGENERADOR Y SU PROCEDIMIENTO DE ELABORACIÓN**

57 Resumen:

Hormigón sostenible con residuo de pala de aerogenerador y su procedimiento de elaboración.

Hormigón sostenible con residuo de pala de aerogenerador que comprende cemento Portland como conglomerante, áridos, agua y aditivos, los áridos son de tipo natural silíceo estando incluidos en fracción gruesa, en fracción media y en fracción fina, los aditivos comprenden dos aditivos superplastificantes, el residuo de pala de aerogenerador comprende: composite con fibras de vidrio y/o carbono, poliuretano, madera de balsa y resina de poliéster. El procedimiento de elaboración adiciona la totalidad de los áridos y un tercio del agua aproximadamente en una primera etapa, con un primer mezclado, luego se añade el cemento y el agua restante, segundo mezclado, adición de la mitad de los aditivos disueltos en agua, tercer mezclado, adición del residuo de pala de aerogenerador, cuarto mezclado, adición del resto de los aditivos disueltos en agua, quinto mezclado.

Aviso: Se puede realizar consulta prevista por el art. 41 LP 24/2015.
Dentro de los seis meses siguientes a la publicación de la concesión en el Boletín Oficial de la Propiedad Industrial cualquier persona podrá oponerse a la concesión. La oposición deberá dirigirse a la OEPM en escrito motivado y previo pago de la tasa correspondiente (art. 43 LP 24/2015).

ES 2 958 169 B2

DESCRIPCIÓN

HORMIGÓN SOSTENIBLE CON RESIDUO DE PALA DE AEROGENERADOR Y SU PROCEDIMIENTO DE ELABORACIÓN

5

CAMPO TÉCNICO DE LA INVENCION

La presente invención se engloba en el campo de los materiales de construcción, en concreto de los hormigones y con componentes recuperados, sobre todo
10 provenientes de palas de aerogeneradores, haciéndolos sostenibles.

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

Los aerogeneradores se han instaurado como una de las fuentes de energía
15 renovable y su crecimiento es continuo. En Europa se prevé que para el año 2050 la energía eólica llegue a suponer la fuente utilizada para generar la mitad de la energía eléctrica. Esto hace que la instalación de aerogeneradores no sólo se mantenga en los niveles actuales, sino que vaya creciendo de manera constante.

20 Se prevé que la vida media de un aerogenerador esté entre los veinte y los treinta años, con lo que los primeros aerogeneradores instalados están comenzando ya a retirarse y hay que tener en cuenta el crecimiento mencionado. De manera local, en España se prevé que el 40% de los aerogeneradores deban ser renovados antes del año 2030, contando el parque actual de energía eólica en España con más de 21.000
25 aerogeneradores los cuales suman una potencia total de 27 GW.

Cada aerogenerador cuenta con tres palas, una góndola y una torre que hay que retirar cuando se desmantela un aerogenerador, y con el mínimo impacto medioambiental. El reciclado de la torre y la góndola es lo más sencillo, puesto que
30 su composición a base de acero permite que pueda ser introducida nuevamente en la cadena de valor al fundirla. El principal problema está en la reutilización y reciclaje de las palas de los aerogeneradores. Las palas de aerogenerador se fabrican con un compuesto de resina con fibras de vidrio y/o carbono, espuma de poliuretano, madera de balsa y un recubrimiento ("gel coat" según su denominación común en

inglés) a base de resinas de poliéster. La compleja composición del material está provocando que las palas retiradas se estén almacenando en vertedero.

Actualmente el foco de la investigación en relación con el reciclaje de las palas de aerogenerador se encuentra en separar los distintos componentes de las palas mediante procesos de pirólisis, solvólisis o gasificación (J. Beauson, A. Laurent, D.P. Rudolph, J. Pagh Jensen, The complex end-of-life of wind turbine blades: A review of the European context, *Renewable Sustainable Energy Rev.* (2021) 111847. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111847>). Sin embargo, el coste económico de estos procesos es muy elevado. Es por ello que es necesario apostar por otras técnicas más económicas, como son el corte de las palas para separar los diferentes materiales y su posterior machaqueo mecánico. Estos tratamientos mecánicos permiten obtener elementos con formas sencillas, como fibras y piezas de forma cúbica o esférica.

En la bibliografía existente se encuentran muy pocos estudios donde el residuo machacado de las palas de aerogenerador haya sido incorporado en hormigones. Un ejemplo de ellos es la incorporación de piezas cúbicas y esféricas en sustitución al árido (A. Yazdanbakhsh, L.C. Bank, K.A. Rieder, Y. Tian, C. Chen, Concrete with discrete slender elements from mechanically recycled wind turbine blades, *Resour. Conserv. Recycl.* 128 (2018) 11-21. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.08.005>) o la incorporación de las fibras recicladas en hormigones (D. Baturkin, O.A. Hisseine, R. Masmoudi, A. Tagnit-Hamou, L. Massicotte, Valorization of recycled FRP materials from wind turbine blades in concrete, *Resour. Conserv. Recycl.* 174 (2021) 105807. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105807>). Sin embargo, en ningún caso se ha evaluado la posibilidad de incorporar al hormigón el residuo triturado de las palas de aerogeneradores sin haberle realizado previamente una separación de los diferentes componentes de las palas, es decir, empleándole en bruto después de su machaqueo.

En relación con el proceso de fabricación del hormigón elaborado con diferentes tipos de residuos, se conoce la existencia de procedimientos basados en la realización del amasado en dos etapas con presaturación (I. González-Taboada, B. González-Fontboa, J. Eiras-López, G. Rojo-López, Tools for the study of self-compacting

recycled concrete fresh behaviour: Workability and rheology, J. Clean. Prod. 156 (2017) 1-18. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.04.045>) o sin presaturación del árido (E. Güneyisi, M. Gesoğlu, Z. Algin, H. Yazici, Effect of surface treatment methods on the properties of self-compacting concrete with recycled aggregates, 5 Constr. Build. Mater. 64 (2014) 172-183. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.04.090>). No obstante, no se ha definido todavía en la literatura ningún proceso de mezcla que, al añadir este tipo de residuo, de pala de aerogenerador machacada, al hormigón permita obtener un hormigón con adecuada trabajabilidad para su bombeo y suficiente resistencia.

10

DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION

La presente invención queda establecida y caracterizada en las reivindicaciones independientes, mientras que las reivindicaciones dependientes describen otras 15 características de la misma.

El objeto de la invención es un hormigón sostenible con residuo de pala de aerogenerador y su procedimiento de elaboración. El problema técnico a resolver es constituir los componentes del hormigón y establecer las etapas de elaboración del 20 mismo de manera que se consiga un hormigón para uso estructural, con buena trabajabilidad.

A la vista de lo anteriormente enunciado, la presente invención se refiere a un hormigón sostenible con residuo de pala de aerogenerador que comprende cemento 25 Portland como conglomerante -cemento tipo I o Portland ordinario-, áridos, agua y aditivos, como se conoce en el estado de la técnica.

Caracteriza al hormigón el que los áridos son de tipo natural silíceo estando incluidos en fracción gruesa, en fracción media y en fracción fina, los aditivos comprenden dos 30 aditivos superplastificantes, el residuo de pala de aerogenerador comprende: composite con fibras de vidrio y/o carbono, poliuretano, madera de balsa y resina de poliéster; los porcentajes en volumen son:

- cemento Portland entre el 9,5 % y el 10,5 %;
- árido en fracción gruesa entre el 32 % y el 35 %;

- árido en fracción media entre el 21 % y el 23 %;
 - árido en fracción fina entre el 17 % y el 19 %;
 - agua entre el 12,5 % y el 13,5 %;
 - aditivos superplastificantes entre el 0,3 % y el 0,5 %;
- 5 • residuo de pala de aerogenerador entre el 1,5 % y el 6 %..

Con “composite” se quiere significar un compuesto formado por una matriz de resina sintética, normalmente epóxica y/o de poliéster, con fibras de vidrio y/o carbono.

10 El poliuretano en las palas de los aerogeneradores suele estar en forma espumada. La madera de balsa proviene de una especie tropical conocida por su ligereza y flexibilidad, lo que la hace ideal para algunos usos, incluso industriales, como la fabricación de palas para aerogeneradores.

15 Una ventaja del hormigón es que presenta una buena trabajabilidad, que permite una puesta en obra sencilla y económica, incluso mediante bombeo para elaborar elementos estructurales.

Otra ventaja del hormigón es que las fibras de vidrio y/o carbono que incorpora el residuo utilizado proporcionan una buena resistencia a flexión y una buena resistencia post-fisuración, por lo que es válido para su utilización en cualquier tipo de elemento estructural según la normativa actual de aplicación (pavimentos, vigas a flexión,...) y permite dotar a las estructuras en las que se utilice de una mayor seguridad al proveer al elemento estructural de resistencia post-rotura, lo cual proporciona un mayor tiempo de evacuación del edificio o estructura en caso de que se produzca la rotura o fallo del mismo.

20

25

Otra ventaja del hormigón es que contribuye a la economía circular, minimizando el vertido de residuos de pala de aerogenerador en vertedero y disminuyendo el consumo de recursos naturales, pues disminuye la necesidad de producción de clínker de cemento y de árido natural, y el consiguiente impacto medioambiental, como la reducción de emisión de dióxido de carbono y la explotación de canteras y graveras.

30

Asimismo, la invención se refiere a un procedimiento de elaboración de hormigón sostenible con residuo de pala de aerogenerador según se ha descrito, caracterizado por que comprende las siguientes etapas en secuencia:

- adición de la totalidad de los áridos, en sus fracciones gruesa, media y fina, y el 30 % de agua;
- primer mezclado;
- adición del cemento Portland como conglomerante y el agua restante;
- segundo mezclado;
- adición de la mitad de los aditivos disueltos en agua;
- tercer mezclado;
- adición del residuo de pala de aerogenerador;
- cuarto mezclado;
- adición del resto de los aditivos disueltos en agua;
- quinto mezclado.

Una ventaja del procedimiento es que permite maximizar la trabajabilidad del hormigón y transportarlo desde la central de hormigonado al lugar de puesta en obra con una trabajabilidad similar a la obtenida en el hormigón sin residuo.

EXPOSICIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

La invención es un hormigón sostenible con residuo de pala de aerogenerador que comprende cemento Portland como conglomerante, áridos, agua y aditivos, en el que los áridos son de tipo natural silíceo estando incluidos en fracción gruesa, en fracción media y en fracción fina, los aditivos comprenden dos aditivos superplastificantes (como los aditivos Sika® citados en el ejemplo más abajo), el residuo de pala de aerogenerador comprende: composite con fibras de vidrio y/o carbono, poliuretano, madera de balsa y resina de poliéster; los porcentajes en volumen son:

- cemento Portland entre el 9,5 % y el 10,5 %;
- árido en fracción gruesa entre el 32 % y el 35 %;
- árido en fracción media entre el 21 % y el 23 %;
- árido en fracción fina entre el 17 % y el 19 %;
- agua entre el 12,5 % y el 13,5 %;
- aditivos superplastificantes entre el 0,3 % y el 0,5 %;

- residuo de pala de aerogenerador entre el 1,5 % y el 6 %.

En lo que respecta al residuo de pala de aerogenerador unos porcentajes en peso de su composición que se muestran adecuados son:

- 5
- composite con fibras de vidrio y/o carbono entre el 63 % y el 71 %;
 - poliuretano entre el 6 % y el 10 %;
 - madera de balsa entre el 4 % y el 8 %;
 - mezcla de componentes entre el 14,5 % y el 22,5 % formada por partículas de tamaño menor a 0,063 mm, que comprende resina de poliéster (la cual ha
- 10
- formado parte de la pala a modo de recubrimiento, "gel coat" según su denominación común en inglés), composite con fibras de vidrio y/o carbono, poliuretano y madera de balsa; siendo estos componentes no separables mediante tamizado mecánico por su reducido tamaño de partícula.
- 15
- Con esos porcentajes se tienen los siguientes valores aproximados del residuo de pala de aerogenerador: densidad real del conjunto $1,63 \text{ Mg/m}^3$, densidad aparente del conjunto $0,25 \text{ Mg/m}^3$, densidad real de las fibras $2,04 \text{ Mg/m}^3$, longitud media de las fibras 8,08 mm.
- 20
- Un detalle del hormigón es que la fracción gruesa del árido son partículas de tamaño mayor que 6 mm y menor o igual que 22 mm, la fracción media del árido son partículas de tamaño mayor que 2 mm y menor o igual que 6 mm, la fracción fina del árido son partículas de tamaño mayor que 0 mm y menor o igual que 2 mm.
- 25
- La invención es también el procedimiento de elaboración de un hormigón sostenible con residuo de pala de aerogenerador según se ha descrito, que comprende las siguientes etapas en secuencia:
- adición de la totalidad de los áridos, en sus fracciones gruesa, media y fina, y el 30 % de agua;
- 30
- primer mezclado;
 - adición del cemento Portland como conglomerante y el agua restante;
 - segundo mezclado;
 - adición de la mitad de los aditivos disueltos en agua;
 - tercer mezclado;

- adición del residuo de pala de aerogenerador;
- cuarto mezclado;
- adición del resto de los aditivos disueltos en agua;
- quinto mezclado.

5

Una opción ventajosa sobre los tiempos de mezclado de cada etapa de mezclado, primera, segunda, tercera, cuarta, quinta, es que tiene una duración entre 2 minutos y 5 minutos. Preferiblemente, el primer mezclado 3 minutos, el segundo mezclado 3 minutos, el tercer mezclado 2 minutos, el cuarto mezclado 2 minutos y el quinto mezclado 5 minutos.

10

Un detalle es que los aditivos se disuelven en una cantidad de agua entre 0,15 l y 0,35 l. Preferiblemente, 0,25 l.

15

Siguiendo las proporciones mencionadas según el procedimiento citado se obtiene un hormigón con una consistencia fluida (clase de consistencia S3), con un asiento en el cono de Abrams entre 10 cm y 15 cm, según las especificaciones internacionales para la caracterización del hormigón en estado fresco (EN 206). La densidad fresca de las mezclas estuvo comprendida entre 2,28 y 2,43 Mg/m³ y su contenido en aire ocluido estuvo en el rango de 1,4 % a 2 %. En relación con las propiedades endurecidas, presentó una densidad comprendida entre 2,28 y 2,39 Mg/m³ para diferentes edades de curado, una resistencia a compresión a 7 días entre 33,79 y 48,59 MPa, a 28 días entre 41,81 y 52,46 MPa y a 56 días entre 40,70 y 50,79 MPa. Su resistencia a tracción indirecta a 7 días estuvo entre 3,33 y 3,53 MPa, a 28 días entre 3,35 y 3,97 MPa y a 56 días entre 3,71 y 4,25 MPa. La resistencia a flexión de las mezclas curadas durante 7 días estuvo en el rango 5,03-5,57 MPa, a 28 días en el rango 5,75-6,07 MPa y a 56 días en el rango 5,57-6,25 MPa, soportando un porcentaje de la carga de rotura del 20 % al 26 % para un contenido de residuo del 3,0 %, del 34 % al 46 % para un contenido del residuo del 4,5 %, y del 45 % al 58 % para un contenido del residuo del 6,0 %. El módulo de elasticidad del hormigón estuvo en el rango 26,10-38,28 GPa para los 7 días de curado, en el rango 27,78-40,98 GPa para los 28 días y en el rango 28,41-40,49 GPa para los 56 días. Su coeficiente de Poisson estuvo entre 0,19 y 0,21 para diferentes edades de curado. La velocidad del impulso ultrasónico a 7 días estuvo en el rango 4450-4640

20

25

30

m/s, a 28 días en el rango 4484-4651 m/s y a 56 días en el rango 4545-4728 m/s. El índice de rebote dio lugar a resultados comprendidos entre 41,1 y 43,9 para edades de curado de 56 días. Respecto a la resistencia a la penetración de agua, en el ensayo de agua a presión sobre probetas curadas durante 28 días, la altura media de penetración de agua estuvo entre 7,7 y 14,8 mm, y la altura de penetración máxima de agua entre 15,6 y 21,1 mm.

Ejemplo

- 10 Se muestra a continuación la comparación entre el comportamiento de cinco hormigones de consistencia fluida, con adición de residuo de pala de aerogenerador en los siguientes porcentajes: 0%, 1,5%, 3%, 4,5% y 6% en volumen, La mezcla M0,0 es el hormigón de referencia (sin adición de residuo) que servirá para establecer comparaciones entre sus resultados y los de los cuatro hormigones objeto de esta
- 15 invención. La Tabla 1 contiene la dosificación de dichas mezclas.

Componente/mezcla	M0,0	M1,5	M3,0	M4,5	M6,0
Cemento Portland	318	312	306	300	295
Agua	127	129	131	133	134
Árido fracción fina	497	488	478	469	461
Árido fracción media	597	585	574	563	553
Árido fracción gruesa	895	878	861	845	829
Aditivo SIKAR® 5970	2,2	2,6	2,9	3,2	4
Aditivo SIKAR® 20HE	1,1	1,28	1,5	1,6	2,0
Residuos de pala de aerogenerador	0	24	47	69	90

Tabla 1. Dosificación de las mezclas (kg/m³)

- Las propiedades en estado fresco se muestran en la Tabla 2 (todas las mezclas fueron de clase de consistencia S3):

	M0,0	M1,5	M3,0	M4,5	M6,0
Asiento en el cono de Abrams (cm)	10,0	10,5	13,0	13,5	12,0
Densidad fresca (Mg/m ³)	2,43	2,37	2,35	2,30	2,28

Aire ocluido (%)	1,4	1,5	1,6	1,6	2,0
------------------	-----	-----	-----	-----	-----

Tabla 2. Propiedades en estado fresco

- Las propiedades en estado endurecido se recogen en la Tabla 3. Estas propiedades muestran que las mezclas objeto de la invención pueden ser consideradas hormigón de resistencia media y que el empleo de residuos de palas de aerogenerador permite conservar la resistencia a flexión (variaciones mínimas) a pesar de la disminución del contenido de cemento.

Propiedad	Edad ensayo (días)	M0,0	M1,5	M3,0	M4,5	M6,0
Densidad endurecida (Mg/m ³)	7	2,39	2,35	2,33	2,28	2,28
	28	2,40	2,35	2,33	2,28	2,28
	56	2,40	2,35	2,34	2,28	2,28
Resistencia a compresión (MPa)	7	48,59	45,80	42,41	36,83	33,79
	28	52,46	52,52	47,48	40,42	41,81
	56	50,79	51,10	47,71	44,07	40,70
Resistencia a tracción indirecta (MPa)	7	3,53	3,65	3,56	3,39	3,33
	28	3,97	4,03	3,94	3,44	3,35
	56	4,25	4,30	4,21	3,67	3,71
Resistencia a flexión (MPa)	7	5,03	5,33	5,34	5,48	5,57
	28	6,05	5,93	5,75	5,89	6,07
	56	6,25	5,95	5,57	5,66	5,97
Porcentaje sobre la carga de rotura soportada inmediatamente después de la fisuración (%)	7	0,0	0,0	25,8	45,3	57,0
	28	0,0	0,0	23,2	49,7	44,1
	6	0,0	0,0	21,5	34,0	46,4
Módulo de	7	38,28	35,21	31,47	26,10	28,18

elasticidad (GPa)	28	40,98	37,80	34,24	27,78	29,44
	56	40,49	38,01	34,31	28,41	30,08
Coeficiente de Poisson	7	0,21	0,20	0,21	0,21	0,21
	28	0,21	0,20	0,22	0,20	0,19
	56	0,20	0,19	0,21	0,20	0,19
Velocidad del impulso ultrasónico (m/s)	7	4640,37	4555,81	4514,67	4494,38	4454,34
	28	4651,16	4587,16	4555,81	4524,89	4484,30
	56	4728,13	4683,84	4694,84	4545,45	4535,15
Índice de Rebote	56	43,90	45,40	42,60	39,30	41,10
Altura máxima de penetración de agua (mm)	28	15,6	20,1	20,6	18,3	21,1
Altura media de penetración de agua (mm)	28	7,7	8,3	9,5	11,6	14,8

Tabla 3. Propiedades en estado endurecido

REIVINDICACIONES

- 1.- Hormigón sostenible con residuo de pala de aerogenerador que comprende cemento Portland como conglomerante, áridos, agua y aditivos, **caracterizado por**
- 5 que los áridos son de tipo natural silíceo estando incluidos en fracción gruesa, en fracción media y en fracción fina, los aditivos comprenden dos aditivos superplastificantes, el residuo de pala de aerogenerador comprende: composite con fibras de vidrio y/o carbono, poliuretano, madera de balsa y resina de poliéster; los porcentajes en volumen son:
- 10
- cemento Portland entre el 9,5 % y el 10,5 %;
 - árido en fracción gruesa entre el 32 % y el 35 %;
 - árido en fracción media entre el 21 % y el 23 %;
 - árido en fracción fina entre el 17 % y el 19 %;
 - agua entre el 12,5 % y el 13,5 %;
- 15
- aditivos superplastificantes entre el 0,3 % y el 0,5 %;
 - residuo de pala de aerogenerador entre el 1,5 % y el 6 %.
- 2.- Hormigón según la reivindicación 1 en el que en el residuo de pala de aerogenerador los porcentajes en peso son:
- 20
- composite con fibras de vidrio y/o carbono entre el 63 % y el 71 %;
 - poliuretano entre el 6 % y el 10 %;
 - madera de balsa entre el 4 % y el 8 %;
 - mezcla de componentes entre el 14,5 % y el 22,5 % formada por partículas de tamaño menor a 0,063 mm, que comprende resina de poliéster, composite
- 25 con fibras de vidrio y/o carbono, poliuretano y madera de balsa.
- 3.- Hormigón según la reivindicación 1 en el que la fracción gruesa del árido son partículas de tamaño mayor que 6 mm y menor o igual que 22 mm, la fracción media del árido son partículas de tamaño mayor que 2 mm y menor o igual que 6 mm, la
- 30 fracción fina del árido son partículas de tamaño mayor que 0 mm y menor o igual que 2 mm.
- 4.- Procedimiento de elaboración de hormigón sostenible con residuo de pala de aerogenerador según la reivindicación 1, **caracterizado por** que comprende las

siguientes etapas en secuencia:

- adición de la totalidad de los áridos, en sus fracciones gruesa, media y fina, y el 30 % de agua;
- primer mezclado;
- 5 • adición del cemento Portland como conglomerante y el agua restante;
- segundo mezclado;
- adición de la mitad de los aditivos disueltos en agua;
- tercer mezclado;
- adición del residuo de pala de aerogenerador;
- 10 • cuarto mezclado;
- adición del resto de los aditivos disueltos en agua;
- quinto mezclado.

5.- Procedimiento según la reivindicación 4 en el que cada etapa de mezclado, 15 primera, segunda, tercera, cuarta, quinta, tiene una duración entre 2 minutos y 5 minutos.

6.- Procedimiento según la reivindicación 4 en el que los aditivos se disuelven en una 20 cantidad de agua entre 0,15 l y 0,35 l.