

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 525 416**

21 Número de solicitud: 201330715

51 Int. Cl.:

C04B 18/16 (2006.01)

12

SOLICITUD DE PATENTE

A1

22 Fecha de presentación:

20.05.2013

43 Fecha de publicación de la solicitud:

22.12.2014

56 Se remite a la solicitud internacional:

PCT/ES2014/070406

71 Solicitantes:

**CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES
CIENTÍFICAS (CSIC) (100.0%)
Serrano nº 117
28006 Madrid ES**

72 Inventor/es:

**SANCHEZ DE ROJAS GOMEZ, Maria Isabel;
FRIAS ROJAS, Moises;
MEDINA MARTINEZ, Cesar y
ASENSIO DE LUCAS, Eloy**

74 Agente/Representante:

UNGRÍA LÓPEZ, Javier

54 Título: **RESIDUO DE SANITARIOS PARA LA ELABORACIÓN DE CEMENTOS, PROCEDIMIENTO DE OBTENCIÓN Y CEMENTOS QUE LO COMPRENDEN**

57 Resumen:

Residuo de sanitarios para la elaboración de cementos, procedimiento de obtención y cementos que lo comprenden.

La presente invención describe un residuo obtenido de la industria cerámica de sanitarios o de vertedero o de plantas de reciclaje como componente puzolánico de cementos. Se presenta además un método de obtención de estos residuos de sanitarios y otro procedimiento de fabricación de cementos (cementos comunes y cementos blancos) utilizando estos residuos. Este tipo de residuos, son recogidos directamente en la industria que fabrica cerámica de sanitarios, en vertederos o en las plantas de reciclaje, donde se realiza su gestión. Con esta invención se podría facilitar una posible salida comercial a estos residuos.

ES 2 525 416 A1

DESCRIPCIÓN

Residuo de sanitarios para la elaboración de cementos, procedimiento de obtención y cementos que lo comprenden.

5

SECTOR DE LA TÉCNICA

La presente invención se enmarca en el sector de la construcción, y más concretamente en la industria cementera, que forzada por una previsible disminución de los materiales utilizados actualmente y de un endurecimiento de las políticas medioambientales nacionales e internacionales demandará productos alternativos, que presenten ventajas tecnológicas, medioambientales y económicas viables para el sector.

10

ESTADO DE LA TÉCNICA

15

Los residuos sanitarios pueden tener dos orígenes: a) De la industria cerámica de sanitarios que están constituidos por aquellos productos rechazados a la venta que no cumplen con los requisitos exigidos por el fabricante y; b) De los vertederos o de las plantas de reciclaje que están constituidos por aquellos productos procedentes de la rehabilitación o reformas de viviendas, industrias, etc.

20

En el proceso de fabricación de los productos cerámicos se utilizan, como materia prima, materiales naturales, que contienen una proporción elevada de minerales arcillosos, los cuales mediante un proceso de deshidratación, seguido de otro de cocción controlada a temperaturas entre 700°C y 1290°C adquieren sus propiedades características de "arcilla cocida". Por lo tanto, el propio proceso de fabricación de los materiales cerámicos lleva aparejado temperaturas de cocción elevadas, que pueden dar lugar a la activación de los minerales arcillosos, proporcionando actividad puzolánica a los mismos.

25

30

La incorporación de estos residuos sanitarios en la fabricación de cementos permitiría introducir el concepto de sostenibilidad en el sector de la construcción, sector que tradicionalmente es considerado como poco respetuoso con el medio ambiente, estando en consonancia de este modo con las políticas europeas y nacionales de desarrollo sostenible.

35

En la presente invención se describe un nuevo uso de los residuos sanitarios para la elaboración de cementos comunes y cementos blancos.

DESCRIPCIÓN BREVE DE LA INVENCION

40

Un objeto de la invención lo constituye un residuo basado en productos cerámicos sanitarios procedentes directamente de la industria cerámica de sanitarios o de vertederos, que posee una actividad puzolánica y una granulometría inferior a 63 µm. Se ha observado que la finura del material es determinante en la actividad puzolánica del mismo.

45

Otro objeto de la invención es el procedimiento de obtención de los residuos sanitarios de la invención que comprende las siguientes etapas:

a) recogida de residuos de partida en la industria cerámica de sanitarios o de los vertederos o plantas de reciclaje,

50

b) secado del residuo de a) en una estufa a 105°C hasta peso constante, para facilitar el proceso de trituración y molienda,

c) trituración o molienda del residuo de b) el tiempo necesario para obtener un tamaño inferior a 63 µm, que se considera idóneo para su uso como material puzolánico y

d) tamizado del residuo de c) con un tamiz de 63 μm para obtener el residuo de sanitarios homogéneo.

5 Otro objeto de la invención lo constituye el cemento común o blanco, en adelante cemento de la invención, que comprende el residuo de sanitarios de la invención como componente en dicho cemento en un porcentaje de entre un 0.1% y un 55%.

10 En una realización preferente de la invención el cemento común comprende el residuo de sanitarios como componente principal en dicho cemento en un porcentaje de entre un 6% y un 55%.

15 En otra realización preferente de la invención el cemento común comprende el residuo de sanitarios como componente minoritario adicional en dicho cemento en un porcentaje de entre un 0.1% y un 5%.

20 En otra realización preferente los cementos blancos fabricados comprenden el residuo de sanitarios como componente principal en dicho cemento en un porcentaje de entre un 6% y un 55% o como componente minoritario adicional en dicho cemento en un porcentaje de entre un 0,1% y un 5% y tienen un valor del parámetro L^* de las coordenadas CIELAB mayor o igual a 85.

Otro objeto de la invención es el procedimiento de obtención del cemento de la invención, en adelante procedimiento de la invención, que comprende las siguientes etapas:

- 25 a) mezcla del residuo de sanitarios de la invención con un cemento en una proporción entre 0.1% y 55% hasta garantizar una correcta homogeneización, y
b) almacenamiento de la mezcla de a) en un lugar estanco para evitar la carbonatación y humectación de las mismas.

DESCRIPCIÓN DETALLADA

30 La presente invención se basa en que se ha observado que a partir de residuos de sanitarios (Figura 1) es posible obtener un producto que actúa como un material puzolánico útil como aditivo para la elaboración de cementos cuando se prepara como un producto homogéneo, con un tamaño de grano fino inferior a 63 μm (tamaño de partícula similar al cemento) (Figura 2). Estos residuos pueden proceder de la industria cerámica de sanitarios, constituidos por aquellos productos rechazados a la venta que no cumplen con los requisitos exigidos por el fabricante, y de los vertederos o de las plantas de reciclaje, constituidos por aquellos productos procedentes de la rehabilitación o reformas de viviendas, industrias, etc. y pueden ofrecer de este modo una salida comercial a este material de desecho.

35

40 Este residuo de sanitarios (Figura 2), se introduce en los cementos como componente principal (6-55% en masa) y se encuadra dentro de puzolanas naturales calcinadas (Q) y también como componente minoritario (porcentajes inferiores al 5% en masa), siempre que no esté incluido ya como componente mayoritario. Con este producto se pueden obtener, en función de las dosificaciones realizadas, distintos tipos de cementos, siendo además posible su uso para la elaboración de cementos blancos.

45

50 Los residuos de sanitarios descritos en la presente invención pueden ser considerados como puzolanas naturales calcinadas, donde según la norma UNE-EN 197-1:2011 (Norma Española UNE-EN 197-1:2011 "*Cemento. Parte 1: Composición, especificaciones y criterios de conformidad de los cementos comunes*", Diciembre de 2011), se definen puzolanas naturales calcinadas(Q) como materiales de origen volcánico, arcillas, pizarras o rocas sedimentarias activadas por tratamientos térmicos y conformes con el apartado 5.2.3.1. (*Generalidades de materiales puzolánicos P, Q*).

5 Estas puzolanas naturales calcinadas, *tal y como recoge el apartado 5.2.3.1. de la norma UNE EN 197-1*, se caracterizan por estar compuestas esencialmente por dióxido de silicio (> 65% en masa) y óxido de aluminio (> 20%), así como óxido de hierro y otros óxidos minoritarios. Además, se caracterizan por tener un contenido de dióxido de silicio reactivo superior al 25% en masa (> 45% en masa). La composición química de estos residuos de sanitarios están en consonancia con lo indicado anteriormente, tal y como se indica en los valores mostrados dentro de los paréntesis.

10 De esta manera y de acuerdo a la norma UNE-EN 197-1:2011, podrían ser empleados como componente principal (porcentajes hasta 55% en masa) en la fabricación de cementos CEM II/A-Q, CEM II/B-Q, CEM IV/A, CEM IV/B, CEM V/A y CEM V/B, pudiéndose emplear además como componente minoritario (porcentajes inferiores al 5% en masa) dando lugar a cualquiera de los tipos principales de cemento (CEM I, CEM II, CEM III, CEM IV y CEM V) siempre que no esté incluido ya como componente mayoritario.

15 Además, según la norma UNE 80305:2012 y UNE-EN 197-1:2011, con estos residuos sanitarios se pueden obtener, en función de las dosificaciones realizadas, cementos blancos homólogos tipo BL II/A-Q, BL II/B-Q, IV/A, BL IV/B y BL V o cementos de cualquier tipo (BL I, BL II, BL III, BL IV y BL V) si se emplean como componentes minoritarios.

20 Así, un objeto de la invención lo constituye un residuo de sanitarios útil para la elaboración de cementos, en adelante residuo de sanitarios de la invención, que posee una actividad puzolánica y una granulometría adecuada para este fin con un tamaño de partícula inferior a 63 μm .

25 Otro objeto de la invención lo constituye el procedimiento de obtención del residuo de sanitarios de la invención, en adelante procedimiento de obtención del residuo de sanitarios de la invención, que comprende las siguientes etapas:

- 30 a) recogida de residuos de partida en la industria cerámica de sanitarios o de los vertederos o plantas de reciclaje,
 b) secado del residuo de a) en una estufa a 105°C hasta peso constante, para facilitar el proceso de trituración y molienda,
 c) trituración o molienda del residuo de b) el tiempo necesario para obtener un tamaño inferior a 63 μm , que se considera idóneo para su uso como material puzolánico, y
 35 d) tamizado del residuo de c) con un tamiz de 63 μm para obtener el residuo de sanitarios homogéneo.

40 Los cementos con el que se harezado la invención, son un cemento Portland gris de clase resistente 42.5 R y un cemento común blanco de clase resistente 52.5 R según norma UNE-EN 197-1:2011, aunque no es limitante; la diferencia en el empleo de un cemento u otro, influirá en las prestaciones finales, pudiendo adecuarse el comportamiento final de la invención a las características del cemento empleado.

45 También, si el proceso de incorporación de los residuos de sanitarios se llevase a cabo directamente en la fábrica de cemento, éstos podrían ser añadidos y molidos conjuntamente con el clinker, en los porcentajes adecuados para la fabricación de los diferentes tipos de cementos comunes de la norma UNE-EN 197-1:2011.

50 Otro objeto de la invención lo constituye el cemento, en adelante cemento de la invención, que comprende el residuo de sanitarios de la invención como componente en dicho cemento en un porcentaje de entre un 0.1% y un 55%.

En una realización preferente de la invención el cemento común comprende el residuo de sanitarios como componente principal en dicho cemento en un porcentaje de entre un 6% y un 55%.

5 En otra realización preferente de la invención el cemento común comprende el residuo de sanitarios como componente minoritario adicional en dicho cemento en un porcentaje de entre un 0.1% y un 5%.

10 En otra realización preferente los cementos blancos fabricados comprenden el residuo de sanitarios como componente principal en dicho cemento en un porcentaje de entre un 6% y un 55% o como componente minoritario adicional en dicho cemento en un porcentaje de entre un 0,1% y un 5% y tienen un valor del parámetro L* de las coordenadas CIELAB mayor o igual a 85.

15 Otro objeto de la invención es el procedimiento de obtención del cemento de la invención, en adelante procedimiento de obtención del cemento de la invención, que comprende las siguientes etapas:

- 20 a) mezcla del residuo de sanitarios de la invención con un cemento en una proporción entre 0.1% y 55% hasta garantizar una correcta homogeneización, y
 b) almacenamiento de la mezcla de a) en un lugar estanco para evitar la carbonatación y humectación de las mismas.

25 Otro objeto particular de la invención lo constituye el procedimiento de obtención del cemento donde la proporción entre residuo de sanitarios y el cemento de a) se cumple la siguiente fórmula:

$$m_{total} = m_{cemento} + m_{residuo}$$

$$m_{cemento} = m_{total} * (1-X)$$

$$m_{residuo} = X * m_{total}$$

siendo:

- 30 - m_{total} : masa total de la mezcla a realizar
 - $m_{cemento}$: masa de cemento utilizada
 - $m_{residuo}$: masa del residuo de sanitarios.
 - X: porcentaje en tanto por uno residuo de sanitarios.

35 BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

Figura 1. Aspecto inicial de la muestra de aparatos cerámicos de sanitarios.

Figura 2. Aspecto de la muestra molida y tamizada por debajo de 63 µm.

40 **Figura 3.** Gráfico en el que se muestran las resistencias a compresión obtenidas en los morteros realizados con 20% y 30% de dosificación a las edades indicadas.

Figura 4. Gráfico en el que se muestran las resistencias a flexión obtenidas en los morteros realizados con 20% y 30% de dosificación a las edades indicadas.

45 **Figura 5.** Gráfica en la que se muestra la curva de solubilidad del óxido de calcio a 40°C y los valores correspondientes al ensayo de puzolanicidad de los cementos grises a las edades de 8 y 15 días, llevado a cabo para la invención con un 20% y 30% de dosificación.

Figura 6. Gráfica en la que se muestra la curva de solubilidad del óxido de calcio a 40°C y los valores correspondientes al ensayo de puzolanicidad de los cementos blancos comunes a las edades de 8 y 15 días, llevado a cabo para la invención con un 20% y 30% de dosificación.

50 EJEMPLOS DE REALIZACIÓN DE LA INVENCION

En este ejemplo de la invención se lleva a cabo una mezcla de cemento con residuo de sanitarios como componente. Los residuos de sanitarios (Figura 1), podrían actuar en los

5 cementos como componente principal (6-55% en masa) y se encuadrarían dentro de
puzolanas naturales calcinadas (Q) y también como componente minoritario (porcentajes
inferiores al 5% en masa), siempre que no esté incluido ya como componente mayoritario,
según la norma UNE-EN 197-1: 2011. Con este residuo de sanitarios de la invención se
10 pueden obtener, en función de las dosificaciones realizadas, cementos de tipo CEM II/A-Q,
CEM II/B-Q, CEM IV/A, CEM IV/B, CEM V/A y CEM V/B, o cementos de cualquier tipo (CEM
I, CEM II, CEM III, CEM IV y CEM V) si se emplean como componentes minoritarios.
También, con estos residuos sanitarios se pueden obtener, en función de las dosificaciones
realizadas, cementos blancos homólogos tipo BL II/A-Q, BL II/B-Q, IV/A, BL IV/B y BL V o
15 cementos de cualquier tipo (BL I, BL II, BL III, BL IV y BL V) si se emplean como
componentes minoritarios, según la norma UNE 80305:2012 y UNE-EN 197-1:2011.

Para estudiar la conformidad de este residuo de sanitarios con la norma y su posibilidad de
15 ser empleados como material puzolánico, se recogió directamente de la industria cerámica
de sanitarios o de los vertederos o plantas de reciclaje. Después se procedió a su
acondicionamiento, basado primeramente en un secado de la muestra en una estufa a
105°C. Posteriormente, se realizó una trituración del material, disminuyendo su tamaño y
facilitando la posterior molienda en un molino de anillos. Una vez conseguido esta molienda
se procedió al tamizado de la muestra obteniendo un producto homogéneo, con una finura
20 inferior a 63 µm, semejante a la del cemento, tal y como puede observarse en la Figura 2.

La composición química de los residuos de sanitarios así obtenidos se caracterizan por estar
compuestas esencialmente por dióxido de silicio (> 65% en masa) y óxido de aluminio (>
25 20%), así como óxido de hierro y otros óxidos minoritarios. Además, se caracterizan por
tener un contenido de dióxido de silicio reactivo superior al 25% en masa (> 45% en masa).

Para su empleo como adición activa al cemento, es necesario realizar una molienda y un
tamizado del material, obteniendo un producto homogéneo, con una finura inferior a 63 µm,
tal y como puede observarse en la Figura 2.

30 Posteriormente, se fabrican los diferentes cementos que deben de cumplir los requisitos
mecánicos, físicos y químicos exigidos en los *punto 7.1, 7.2 y 7.3 de la norma UNE EN 197-
1:2011*, respectivamente. Adicionalmente, en el caso de los cementos blancos homólogos
deben de cumplir el requisito físico adicional de blancura exigido en el *punto 7.1.2. de la
norma UNE 80305:2012*.

Respecto a las propiedades mecánicas de los cementos portland grises tipo II/A-Q, tipo II/B-
Q y tipo IV/A que contengan como componente principal este material sanitario en un
40 porcentaje comprendido entre 6% - 20%, 21% - 30% y 11% - 30% en masa,
respectivamente, podrían ser utilizados para fabricar cementos portland con una clase de
resistencia 32.5 (N y R) y 42.5 (N y R), según los requisitos mecánicos establecidos en la
tabla 3 de la norma UNE EN 197-1:2011. Cuando su contenido este entre el 31% - 35% en
masa los cementos portland tipo II/B-Q y tipo IV/A podrían ser utilizados para fabricar
45 cementos de una clase de resistencia 32.5 (N y R), 42.5 N, cumpliendo con los requisitos
mecánicos establecidos en la tabla indicada anteriormente. Cuando el contenido está entre
36% -55% en masa, los cementos CEM IV/B y tipo CEM V/B se podrían conseguir clases
resistentes de 32,5 N.

En cuanto a los cementos blancos homólogos tipo II/A-Q, tipo II/B-Q y tipo IV/A que
50 contengan como componente principal este material cerámico sanitario blanco en un
porcentaje comprendido entre 6% - 20 , 21% - 35% y 11% - 35% en masa, respectivamente
podrían ser utilizados para fabricar cementos blancos con una clase de resistencia 32.5 (N y
R), 42.5 (N y R) y 52.5 (N y R), según los requisitos mecánicos establecidos en la *tabla 3 de
la norma UNE EN 197-1:2011*. Cuando el contenido está entre 36% - 55% en masa, los

cementos BL IV/B y tipo BL V/B se pueden conseguir clases resistentes de 32,5 N. En las Figura 3 y 4 se representan los resultados obtenidos con distintos cementos fabricados con el residuo de sanitarios.

- 5 En cuanto a los requisitos físicos (tiempo de principio de fraguado y estabilidad de volumen), obtenidos según la norma UNE EN 196-3:2005+A1:2009, se obtiene que los cementos portland grises y blancos tipo II (A-Q y B-Q) y tipo IV/A que contienen como componente principal este residuo de sanitarios cumplen con las especificaciones recogidas en la tabla 3 de la norma indicada anteriormente, presentando tiempos de fraguados superiores a los 60 minutos y una expansión inferior a 10 mm.

15 Respecto al requisito físico adicional de blancura; exigido en el *punto 7.1.2 de la norma UNE 80305:2012* para los cementos blancos; ha sido determinado según la norma UNE 80117:2012. Todos los cementos comunes blancos tipo II/A-Q (6% - 20% en masa), tipo II/B-Q (21% - 35% en masa) y tipo IV/A (11% - 35% en masa) que incorporan como componente principal este material cerámico tienen un valor del parámetro L* de las coordenadas CIELAB mayor o igual a 85, cumpliendo así el requisito establecido por la norma UNE 80305 de cementos blancos (Tabla 1).

20 *Tabla 1. Resultados obtenidos de luminosidad*

Tipo de cemento	L*
Cemento blanco BL 52.5 R	92,77
Cemento blanco con un 10% en masa de residuo de sanitarios blancos	91,70
Cemento blanco con un 20% en masa de residuo de sanitarios blancos	90,82
Cemento blanco con un 30% en masa de residuo de sanitarios blancos	88,88

25 En relación a los requisitos químicos de contenido de cloruros y sulfatos determinados según la metodología descrita en la norma UNE EN 196-2:2006, se obtuvo que los cementos que contengan este residuo sanitario como componente principal cumplen con los requisitos establecidos en *la tabla 4 de la norma UNE EN 197-1:2011*, tal y como se recoge en la Tabla 2.

30 *Tabla 2. Contenido de cloruros y sulfatos de los cementos que contienen como componente principal el residuo de sanitarios*

Tipo cemento	Componente principal (%residuo de sanitarios)	Propiedad (% en masa del cemento final)	
		Contenido de cloruros	Contenido de sulfatos (SO ₃)
CEM II/A-Q	6 - 20	0,00 - 0,001	3,48 - 2,97
CEM II/B-Q	21 - 35	0,001 - 0,001	3,48 - 2,94
CEM IV/A	11 - 35	0,001 - 0,001	3,30 - 2,43
CEM IV/B	36 - 55	0,001 - 0,002	2,39 - 1,70
CEM V/A	18 - 30	0,001 - 0,001	3,05 - 2,61
CEM V/B	31 - 49	0,001 - 0,002	2,57 - 1,92
BL II/A-Q	6 - 20	0,014 - 0,013	2,73 - 2,33
BL II/B-Q	21 - 35	0,012 - 0,011	2,31 - 1,91
BL IV/A	11 - 35	0,014 - 0,011	2,59 - 1,91
BL IV/B	36 - 55	0,010 - 0,009	1,88 - 1,34
BL V/A	18 - 30	0,013 - 0,011	2,39 - 2,05

BL V/B	31 - 49	0,011 – 0,009	2,02 – 1,51
<i>Contenido máximo según norma UNE EN 197-1:2011</i>		$\leq 0,10$	$\leq 3,5-4$

5 Adicionalmente a estos requisitos químicos, la norma UNE EN 197-1:2011 establece que los cementos puzolánicos tipo CEM IV deben de cumplir la propiedad de puzolanicidad, según el ensayo descrito en la norma UNE EN 196-5:2011. Los cementos tipo IV que contiene como componente principal este residuo cerámico sanitario entre 18% - 35% en masa y 11% - 35% en masa cumplen este requisito a los 8 y 15 días, respectivamente (Figura 5 y 6).

REIVINDICACIONES

- 5 1. Residuo de sanitarios procedentes de la industria cerámica de sanitarios o de los vertederos o plantas de reciclaje y útil para la elaboración de cementos caracterizado porque posee actividad puzolánica y una granulometría inferior a 63 µm.
- 10 2. Procedimiento de obtención del residuo de sanitarios según la reivindicación 1 caracterizado por que comprende las siguientes etapas:
 a) recogida del residuo de sanitarios de la industria cerámica de sanitarios o de los vertederos o plantas de reciclaje,
 b) secado del residuo de a) en una estufa a 105°C hasta peso constante,
 c) trituración o molienda del residuo de b) el tiempo necesario para obtener un tamaño inferior a 63 µm, y
 15 d) tamizado del residuo de c) con un tamiz de 63 µm para obtener el residuo de sanitarios homogéneo.
- 20 3. Cemento caracterizado por que comprende el residuo de sanitarios según la reivindicación 1.
4. Cemento según la reivindicación 3 caracterizado por que el residuo de sanitarios está comprendido entre un 0.1% y un 55% como componente en dicho cemento.
- 25 5. Cemento según la reivindicación 4 caracterizado por que el residuo de sanitarios está comprendido entre un 0.1% y un 5% como componente en dicho cemento.
6. Cemento según la reivindicación 4 caracterizado por que el residuo de sanitarios está comprendido entre un 6% y un 55% como componente en dicho cemento.
- 30 7. Cemento según la reivindicación 4 caracterizado por que el residuo de sanitarios tiene un valor del parámetro L* de las coordenadas CIELAB mayor o igual a 85.
- 8.- Procedimiento de obtención del cemento según las reivindicaciones 3 a la 7 caracterizado porque comprende las siguientes etapas:
 35 a) mezcla del residuo de sanitarios según la reivindicación 1 con un cemento en una proporción entre 0.1 y 55% hasta garantizar una correcta homogeneización, y
 b) almacenamiento de la mezcla de a) en un lugar estanco para evitar la carbonatación y humectación de las mismas.
- 40 9. Procedimiento según la reivindicación 8 caracterizado por que en la etapa de mezcla las proporciones entre el residuo de sanitarios y el cemento cumplen la siguiente fórmula:

$$m_{total} = m_{cemento} + m_{residuo}$$

$$m_{cemento} = m_{total} * (1-X)$$

$$m_{residuo} = X * m_{total}$$

45 siendo:

- m_{total} : masa total de la mezcla a realizar
- $m_{cemento}$: masa de cemento utilizada
- $m_{residuo}$: masa del residuo de sanitarios.
- X: porcentaje en tanto por uno residuo de sanitarios.

50



Fig. 1



Fig. 2

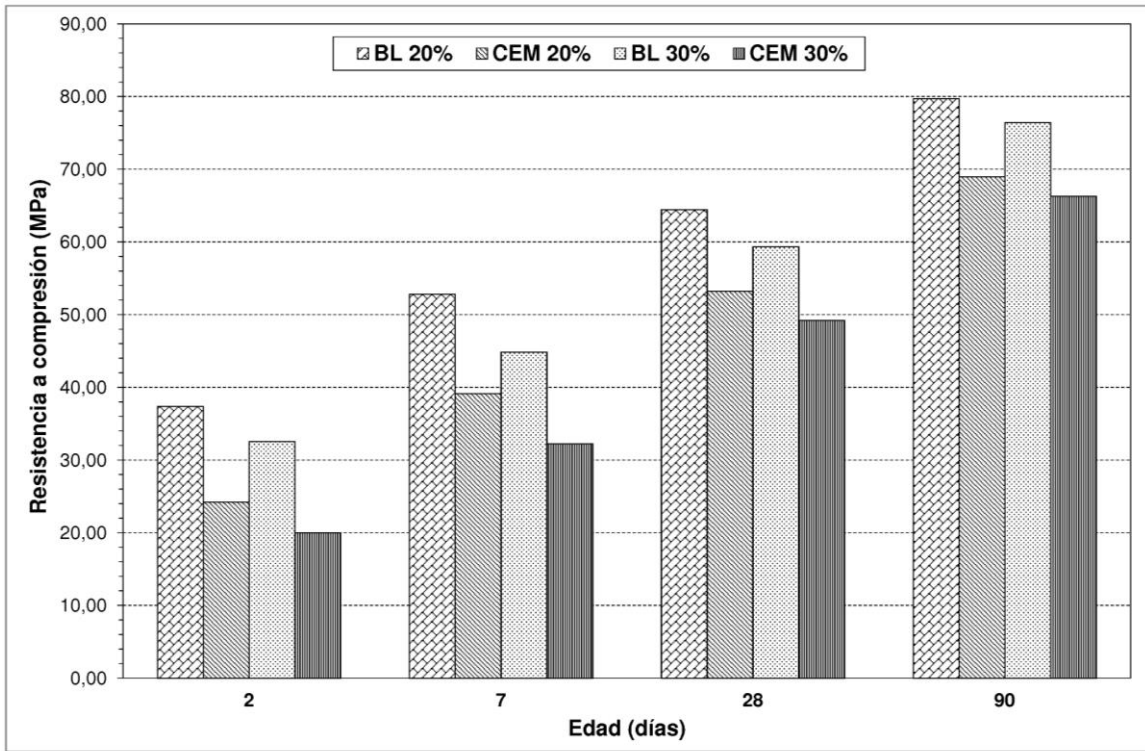


Fig. 3

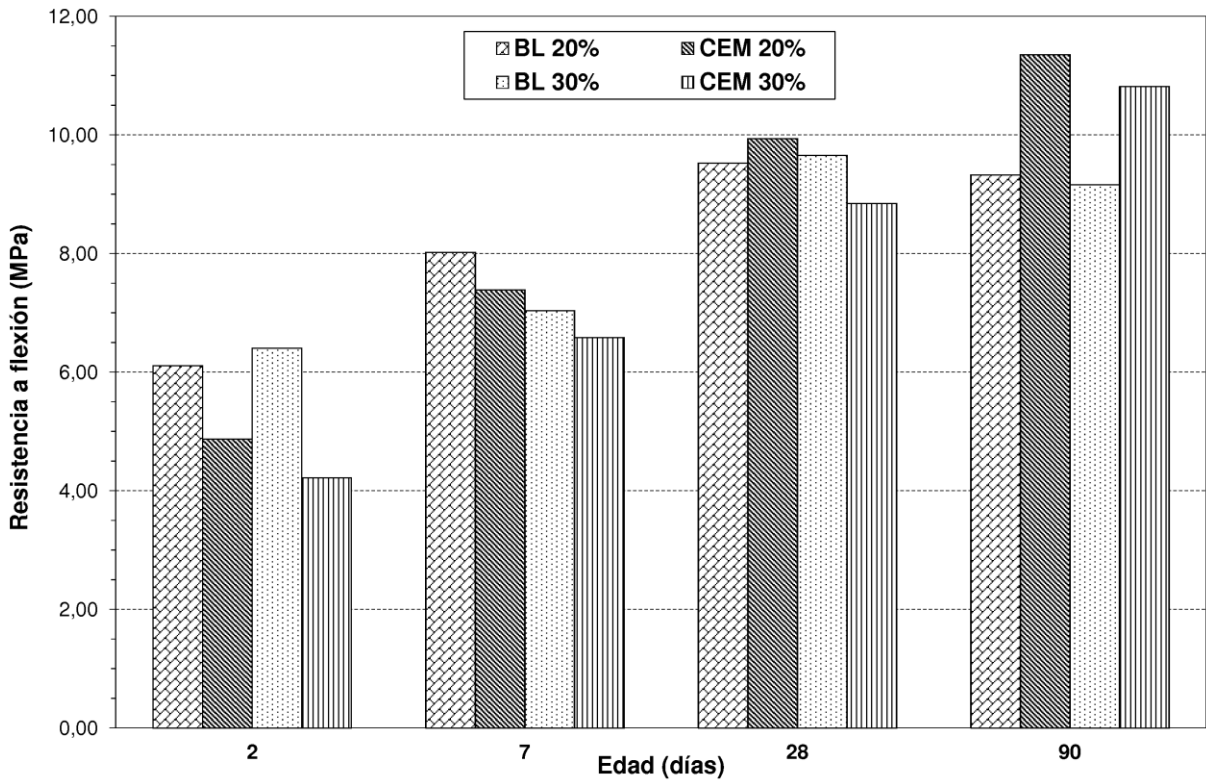


Fig. 4

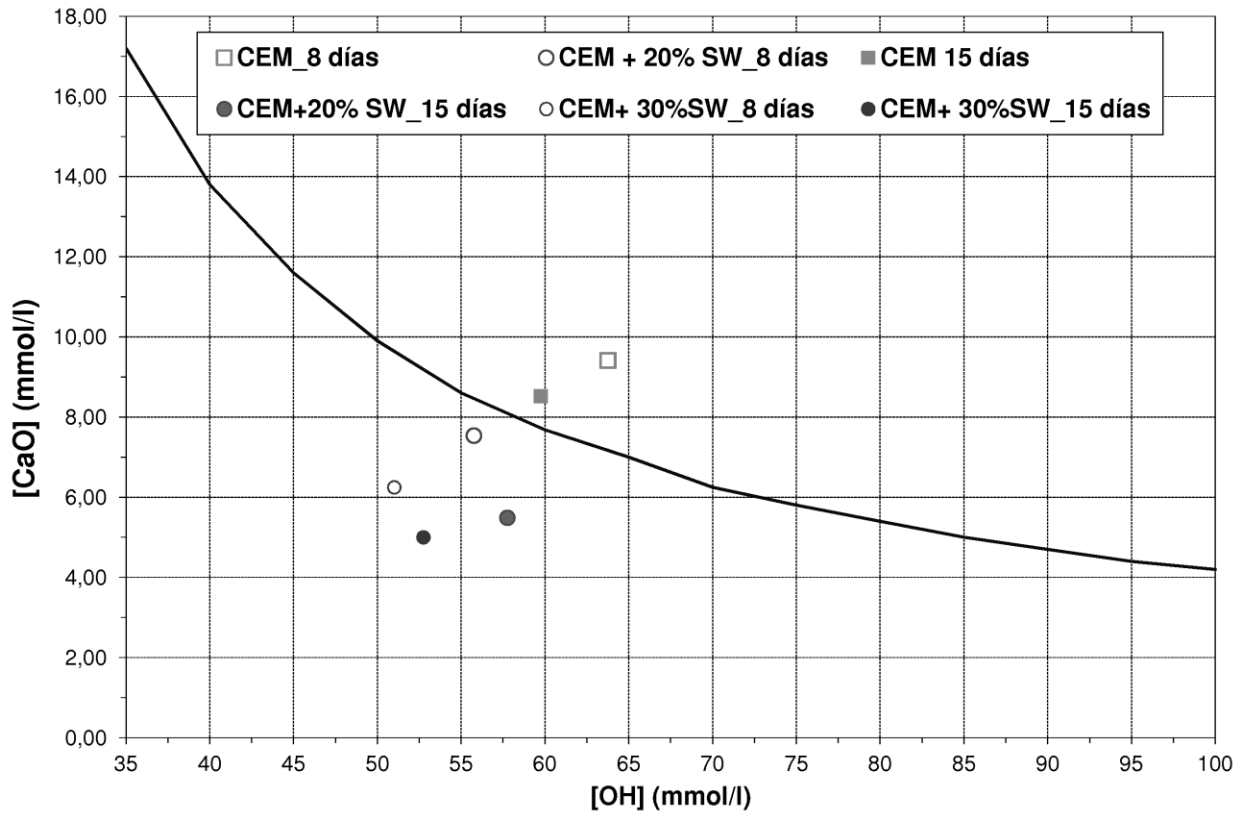


Fig. 5

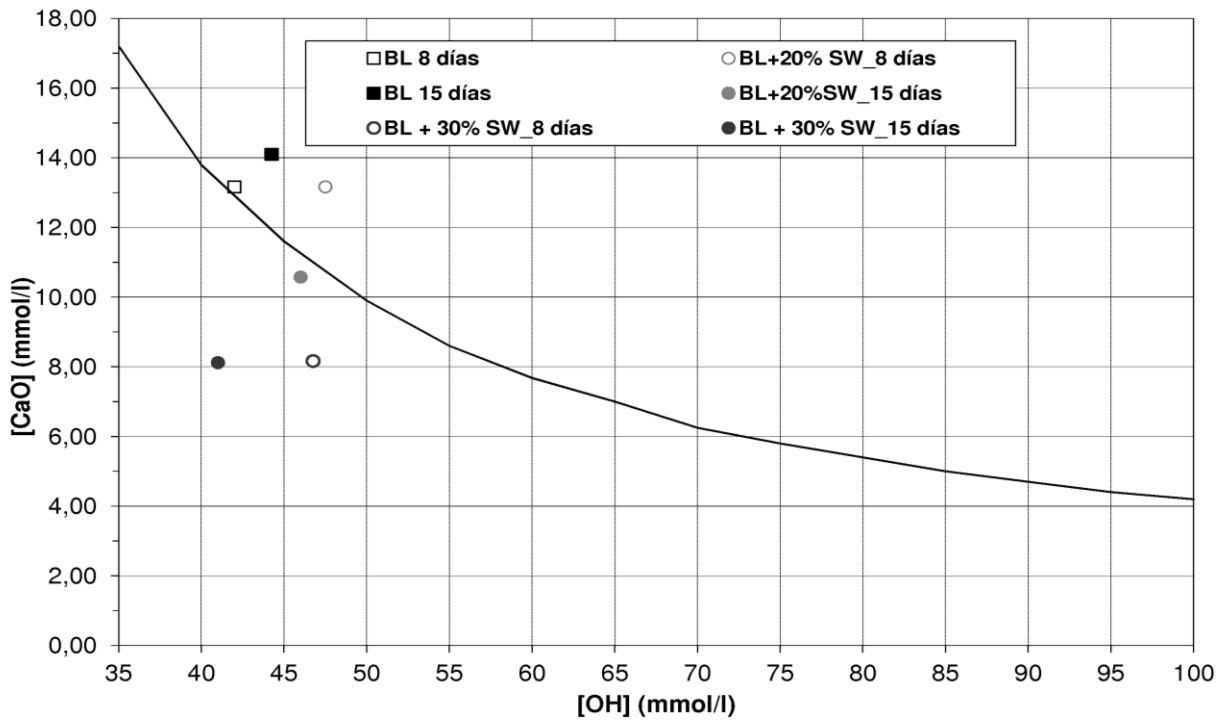


Fig. 6