

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **3 014 011**

51 Int. Cl.:

C04B 7/02 (2006.01)

C04B 28/04 (2006.01)

C04B 40/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **19.04.2016 PCT/ES2016/070274**

87 Fecha y número de publicación internacional: **26.10.2017 WO17182678**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **19.04.2016 E 16899311 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **18.12.2024 EP 3447036**

54 Título: **Cementos y mezclas de cementos que presentan altas prestaciones mecánicas a edades cortas**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
16.04.2025

73 Titular/es:

CEMENT INTERNATIONAL TECHNOLOGIES, S.L.
(100.00%)
Pº de la Castellana 135, Edificio Cuzco III
28046 Madrid , ES

72 Inventor/es:

LIZARRAGA GALARZA, SERAFÍN

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 3 014 011 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Cementos y mezclas de cementos que presentan altas prestaciones mecánicas a edades cortas

- 5 La presente invención se refiere a cementos y mezclas de cementos que presentan altas prestaciones mecánicas a edades cortas, y a su uso en hormigones, morteros, lechadas y otros derivados de cementos.

Antecedentes de la Invención

En la fabricación del hormigón y otros derivados del cemento, existen diversas técnicas para desarrollar altas resistencias iniciales cuando se quieren conseguir rápidos desencofrados o puestas en servicio de obras de forma rápida.

- 10 Entre las técnicas más habituales para conseguir dichas elevadas resistencias iniciales se encuentra la alta dosificación de cemento en el hormigón. A este respecto, ha de tenerse en cuenta que el contenido máximo de cemento en hormigón se encuentra limitado a aproximadamente 400 kg/m³, con el fin de reducir los efectos negativos de la retracción hidráulica y térmica. También existe un límite superior para los valores de algunos componentes del hormigón, tales como, por ejemplo los álcalis y el aluminato tricálcico (C3A) los cuales proceden principalmente del
15 cemento con objeto de evitar posibles patologías en el hormigón como la reacción álcali-árido (*alkali silica reaction* ASR) y la de etringita secundaria (*delayed ettringite formation* DFR). Esto implica que el uso de elevadas cantidades de cemento conduce a elevadas cantidades de dichos componentes los cuales también pueden comprometer la durabilidad del hormigón. Además, esta técnica supone un coste elevado y desde el punto de vista medioambiental no es muy recomendable debido a la elevada emisión de CO₂, y a la gran cantidad de materias primas y energía que son necesarias.

- Otra de las técnicas ampliamente utilizada para conseguir resistencias elevadas a edades cortas es el tratamiento térmico del hormigón. En Calleja, J. "Tratamientos térmicos del hormigón", *Informes de la construcción* Vol. 120, 193, 1967, se describe el tratamiento térmico del hormigón usando distintas técnicas, tales como el calentamiento previo de los materiales, la inmersión en agua caliente, el curado en vapor y el calentamiento eléctrico. A pesar de ser un sistema muy efectivo, requiere inversiones importantes, con costes elevados debido a las fuentes de energía como la electricidad o el vapor. Además es un sistema que por las razones anteriores no se aplica más que a instalaciones
25 fijas, principalmente de prefabricación, que suponen un porcentaje muy bajo de los derivados del cemento.

- Otra forma conocida de aceleración de las prestaciones de los derivados del cemento es el uso de aditivos químicos "aceleradores" tales como cloruro de calcio o formiato de calcio, entre otros. En el documento "Effect of calcium formate as an accelerator on the physicochemical and mechanical properties of pozzolanic cement pastes", *Cement and Concrete Research* 06/2004; 34(6), 1051-1056 se describe como la adición del formiato de calcio al cemento acorta el tiempo inicial y aumenta la resistencia a la compresión y el contenido de agua combinada.

- La función principal de estos aditivos es favorecer el endurecimiento, si bien también pueden acelerar el fraguado. Esto implica que han de controlarse tanto el tiempo de fraguado como el tiempo de endurecimiento, lo cual es sumamente complicado en la práctica, debido principalmente a la gran influencia de pequeñas variaciones de temperatura y de la composición del producto. En la práctica estos aceleradores se han desechado principalmente en la práctica por los problemas de trabajabilidad comentados y de durabilidad.

- Otros aditivos que se pueden añadir al hormigón para aumentar su resistencia a la compresión son los aditivos plastificantes y superplastificantes. Dicha resistencia es inversamente proporcional a la cantidad de agua añadida. Por ello, con el fin de producir hormigones más resistentes se reduce la cantidad de agua considerablemente, lo cual da lugar a mezclas de difícil manejo, y se hace necesaria la presencia de aditivos plastificantes y superplastificantes. Es una Tecnología que se usa y muy efectiva especialmente para conseguir altas resistencias finales, 28 días, pero con límites muy importante a cortas edades, especialmente cuando son menos de 24 horas.

- También se ha descrito el uso de los denominados "cementos especiales" para conseguir resistencias a la compresión elevadas a tiempos cortos. Dichos cementos, son cementos que además de cumplir las especificaciones físicas, mecánicas y químicas que establece la norma UNE-EN 197-1:2000 al respecto de los cementos comunes, presentan unos requisitos más exigentes, en lo que respecta a determinadas características de los mismos, tales como, por ejemplo, resistencias a un día, granulometría y finura elevada. Así, por ejemplo, en el documento ES2438621 B2 se

describe un cemento de altas prestaciones mecánicas a cortas edades que comprende en su composición C3A en una proporción del 0 al 3%, y C3S en una cantidad superior al 80%, que es un cemento sulforesistente.

El documento de patente JP 2012 184148 A, a nombre de Taiheiyo Cement Corp, describe una composición que incluye clínker de cemento, material triturado y yeso.

- 5 Si bien el uso de dichos cementos especiales constituye una alternativa muy interesante para obtener derivados de cemento con resistencias elevadas a tiempos cortos, el coste asociado a la misma es muy elevado y como veremos más adelante un despilfarro de sus propiedades en la mayoría de las ocasiones.

- 10 Sería deseable, por tanto, encontrar una alternativa que supere las deficiencias anteriormente indicadas. Es decir, sería deseable encontrar una alternativa a los derivados del cemento existentes habitualmente, tales como hormigones, morteros y lechadas, entre otros, que permitiera desarrollar resistencias a la compresión elevadas a tiempos inferiores a 24 horas, a la vez que fuese económica, medioambientalmente viable y técnicamente aceptable por el estado del arte en la tecnología de los derivados de cemento y sus Normativas.

Sumario de la Invención

- 15 El problema a ser resuelto en la presente invención es, por tanto, proporcionar una alternativa a los derivados de cemento existentes habitualmente, que permita desarrollar resistencias a la compresión elevadas en tiempos inferiores a 24 horas, y que a la vez sea económica y medioambientalmente viable.

- 20 La solución se basa en que los inventores han descubierto que esto es posible gracias al uso de una mezcla de dos cementos. Más concretamente, han descubierto que cuando se mezcla un cemento común según la norma UNE-EN 197-1 con un cemento que además de cumplir la citada norma presenta requisitos más exigentes, tales como resistencias elevadas a un día, se obtienen mezclas cuyo comportamiento depende fuertemente de la cantidad de dicho cemento en la mezcla, como se explicará en detalle en la descripción detallada de la invención. En lo que respecta a dicho cemento que además de cumplir la norma UNE-EN 197-1 presenta requisitos más exigentes, tales como resistencias elevadas a un día, un primer aspecto que no es parte de la invención reivindicada se dirige a un cemento E, que es un Cemento Portland de tipo y categoría CEM I 52,5 R según norma UNE-EN 197-1 y que tiene adicionalmente una distribución granulométrica con una finura Blaine superior a 6500 cm²/g, un contenido en silicato tricálcico, C3S, superior al 55% en peso y un contenido en aluminato tricálcico, C3A, superior al 4% e inferior al 25% en peso y con una suma de ambos superior al 75% con una resistencia según UNE 196-1 a 1 día superior a 40 MPa y a 28 días superior a 65 MPa, determinada utilizando 225±1 g de agua y la cantidad de superplastificante requerida para conseguir que el mortero tenga una consistencia de 200±5 mm de acuerdo con EN 1015-3.

- 30 En un segundo aspecto, la invención se dirige a una mezcla de cementos que comprende un cemento C, que es un cemento común según norma UNE-EN 197-1, con un cemento E tal como el definido anteriormente, donde la proporción de cemento E en el total de la mezcla se encuentra en el intervalo de 0,5 % a 50 %. A partir de dichas mezclas, es posible obtener derivados de cemento que presentan resistencias a la compresión elevadas en tiempos inferiores a 24h.

- 35 Por tanto, un tercer aspecto, que no es parte de la invención reivindicada, se dirige a un procedimiento de obtención de derivados de cemento a partir de mezclas de cementos, los cuales presentan resistencias a la compresión en el intervalo de 1 MPa a 100 MPa a tiempos inferiores a 24h, que comprende las etapas de:

a) preparar una pluralidad de mezclas de cementos C y E según las reivindicaciones 6 o 7, variando los porcentajes de cemento E desde 0,5% a 50% en relación al total de la mezcla;

- 40 b) determinar la resistencia a la compresión de cada una de las mezclas obtenidas en la etapa a), $R_{i\text{mezcla}}$, y la resistencia a la compresión del cemento C, R_{ic} a diferentes edades comprendidas en el intervalo de 0 a 28 días;

c) obtener la contribución a la resistencia a la compresión de las mezclas, CR_i , por kg de cemento C y de cemento E para cada edad y para cada mezcla, utilizando las fórmulas:

CRi por kg de cemento C = $R_{iC}/m_{\text{totalcementoC}}$

CRi por kg de cemento E = $(R_{i\text{mezcla}} - (R_{iC} \cdot m_C / m_{\text{total}})) / m_E$

donde m_{total} es la suma de la masa de cemento C, m_C , y la masa de cemento E, m_E .

- 5 d) obtener el porcentaje de contribución a la resistencia a la compresión del cemento E con respecto a la del cemento C para cada edad y para cada mezcla; dado por:

$(\text{CRi por kg de cemento E} / \text{CRi por kg de cemento C}) \times 100$

e) repetir las etapas a) a d) usando distintos cementos E y C y distintas masas totales de cemento, obteniendo así un conjunto de resultados en función de los cementos empleados, de la edad de las mezclas y del porcentaje de cada uno de los cementos en la mezcla;

- 10 f) en función de la resistencia a la compresión deseada en las diferentes edades y de los requisitos técnicos y económicos requeridos, usando el conjunto de resultados de la etapa e), determinar las mezclas que satisfacen dichos requisitos.

En una realización preferida, las mezclas preparadas en la etapa a) se someten a tratamientos térmicos y/o se añaden acelerantes químicos.

- 15 En un cuarto aspecto, la invención se dirige al uso de las mezclas anteriormente citadas para la fabricación de hormigones, morteros y lechadas.

Descripción de las figuras

- 20 **Figura 1-** La Figura 1a) es una gráfica de referencia que representa la como se esperaba que fuera la aportación del cemento E por kg, a la resistencia a compresión en una mezcla de cementos. La Figura 1b) representa la aportación real del cemento E por kg, a la resistencia a la compresión a 28 días de una mezcla de un cemento C (CEM I 42,5 N) con un cemento E cuyas características se definen en la Tabla 11.

Figura 2- Aportación del cemento E por kg, a la resistencia a compresión en mezclas de un cemento común CEM I 42,5 R con un cemento E de composición C3S- 82 %, C3A- 8% ,C2S-0 %, C4AF-4 % a una edad de 12 horas a distintos Blaines.

25 Descripción detallada de la invención

Como se ha indicado previamente, **en un primer aspecto**, que no es parte de la invención reivindicada, se dirige a un cemento que es un Cemento Portland de tipo y categoría CEM I 52,5 R según norma UNE-EN 197-1 y que además tiene unos requisitos más exigentes en lo que respecta a composición química, resistencias a la compresión a un día y a granulometrías y finuras elevadas.

- 30 La composición química del clínker de este cemento E en lo que respecta a sus componentes C3S (silicato tricálcico) y C3A (aluminato tricálcico), que son los que aportan elevadas resistencias a la compresión iniciales, es tal que el contenido de C3S es superior al 55% en peso y el contenido de C3A es superior al 4 % e inferior al 25% en peso, con la condición de que la suma de ambos sea superior al 75 %.

- 35 Preferiblemente el contenido de C3S se encuentra en el intervalo de 55% a 75% en peso y el contenido de C3A se encuentra en el intervalo de 10 a 25 % en peso, más preferiblemente el contenido de C3S se encuentra en el intervalo de 75% a 90% en peso y el contenido de C3A se encuentra en el intervalo de 10 a 25 % en peso. Aún más preferiblemente, el contenido de C3S se encuentra en el intervalo de 65% a 75% en peso y el contenido de C3A se

ES 3 014 011 T3

encuentra en el intervalo de 4 a 10 % en peso. Y aún más preferiblemente, el contenido de C3S es superior a 75% en peso y el contenido de C3A se encuentra en el intervalo de 4 a 10 % en peso.

En la tabla 1, se muestran las propiedades físicas de un cemento E. Concretamente, se muestran las propiedades físicas de un cemento cuya composición del clinker es la siguiente:

5 C3S- 82% en peso

C3A- 9% en peso

C2S (silicato dicálcico)- 0

C4AF (Ferrito aluminato tetracálcico)- 5% en peso

10 **Tabla 1-** Comportamiento físico de un cemento E cuyo contenido en C3S es 82 % en peso y su contenido en C3A es 9% en peso, determinado por Normas EN vigentes.

Consistencia de sacudidas al mortero (%)	57,0
Agua de amasado (%)	37,1
Principio de fraguado (min)	80
Final de fraguado (min)	105
Expansión Le Chatelier (m.m)	C-0.0

Los componentes del cemento se sometieron a un proceso de molienda para estudiar la granulometría del mismo, la cual debe ser lo más elevada posible ya que cuanto más fino sea el cemento mayor es su velocidad de hidratación y desarrollo de prestaciones.

15 En la tabla 2 se muestra la distribución granulométrica correspondiente a un cemento cuya composición química es la siguiente:

C3S- 82% en peso

C3A- 9% en peso

C2S (silicato dicálcico)- 0

20 C4AF (Ferrito aluminato tetracálcico)- 5% en peso

En esta tabla se presentan las granulometrías para tres grados distintos de molienda, denominados TP-24, TP-12 y TP-6 que se refieren, respectivamente, a aquellos en los que el 95% de las partículas presentan tamaños inferiores a 24, 12 y 6 micras.

ES 3 014 011 T3

Tabla 2- Análisis granulométrico de un cemento cuyo contenido en C3S es 82 % en peso y su contenido en C3A es 9% en peso.

Pasa (%)	TP-24	TP-12	TP-6
Tamiz de 0,20 micras	2,27	5,53	13,12
Tamiz de 0,30 micras	3,46	9,86	22,67
Tamiz de 0,40 micras	4,74	12,44	28,34
Tamiz de 0,50 micras	6,06	13,47	30,64
Tamiz de 0,60 micras	7,14	14,04	31,88
Tamiz de 0,70 micras	7,95	14,51	32,83
Tamiz de 0,80 micras	8,55	15,04	33,85
Tamiz de 0,90 micras	9,08	15,62	34,91
Tamiz de 1,00 micras	9,62	16,24	36,02
Tamiz de 1,10 micras	10,21	16,89	37,17
Tamiz de 1,20 micras	10,84	17,61	38,40
Tamiz de 1,30 micras	11,51	18,38	39,72
Tamiz de 1,40 micras	12,20	19,23	41,14
Tamiz de 1,60 micras	13,65	21,15	44,30
Tamiz de 1,80 micras	15,14	23,34	47,77
Tamiz de 2,00 micras	16,65	25,72	51,37
Tamiz de 2,20 micras	18,16	28,25	55,05
Tamiz de 2,40 micras	19,65	30,88	58,66
Tamiz de 2,60 micras	21,11	33,56	62,13

ES 3 014 011 T3

Pasa (%)	TP-24	TP-12	TP-6
Tamiz de 3,00 micras	23,96	38,98	68,50
Tamiz de 3,20 micras	25,34	41,67	71,33
Tamiz de 3,60 micras	28,06	46,91	76,35
Tamiz de 4,00 micras	30,73	51,88	80,58
Tamiz de 4,30 micras	32,74	55,39	83,28
Tamiz de 4,60 micras	34,73	58,71	85,63
Tamiz de 5,00 micras	37,38	62,84	88,29
Tamiz de 5,60 micras	41,31	68,43	91,45
Tamiz de 6,00 micras	43,90	71,78	93,11
Tamiz de 6,50 micras	47,10	75,61	94,80
Tamiz de 7,00 micras	50,22	79,01	96,14
Tamiz de 8,00 micras	56,22	84,66	98,01
Tamiz de 9,00 micras	61,80	88,93	99,09
Tamiz de 10,00 micras	66,90	92,19	99,66
Tamiz de 11,00 micras	71,48	94,69	99,91
Tamiz de 12,00 micras	75,57	96,55	100,00
Tamiz de 13,00 micras	79,20	97,87	100,00
Tamiz de 14,00 micras	82,39	98,78	100,00
Tamiz de 15,00 micras	85,15	99,37	100,00
Tamiz de 17,00 micras	89,56	99,90	100,00

ES 3 014 011 T3

Pasa (%)	TP-24	TP-12	TP-6
Tamiz de 20,00 micras	94,11	100,00	100,00
Tamiz de 22,00 micras	96,15	100,00	100,00
Tamiz de 25,00 micras	98,11	100,00	100,00
Tamiz de 28,00 micras	99,19	100,00	100,00
Tamiz de 32,00 micras	99,82	100,00	100,00
Tamiz de 36,00 micras	100,00	100,00	100,00
Tamiz de 40,00 micras	100,00	100,00	100,00
Tamiz de 45,00 micras	100,00	100,00	100,00
Tamiz de 50,00 micras	100,00	100,00	100,00
Diametro a 50 % (micras)	6,96	3,84	1,92

Los Blaines de estos tres cementos son 8240 cm²/g en el caso del cemento denominado TP-24, 11300cm²/g en el caso del cemento denominado TP-12, y 17400cm²/g.

5 En lo que respecta a la resistencia a la compresión, desarrollada por el cemento E anterior de Blaine 8240 cm²/g, se obtuvieron las resistencias a la compresión de un hormigón cuya composición viene dada por:

Tabla 3- Composición de un hormigón fabricado con un cemento E cuyo contenido en C3S es 82 % en peso y su contenido en C3A es 9% en peso, determinadas según Normas EN vigentes.

Cemento (contenido de C3S: 82%, contenido de C3A: 9%)	390kg/m ³
Grava caliza 6-14	800 kg/m ³
Arena caliza 0-6	635 kg/m ³
Arena caliza 0-2	450 kg/m ³
Aditivo Sika Viscocrete 20	2,0 kg/m ³
a/c (agua/cemento)	0,380
Extensión de flujo (diámetro en mm)	700
Densidad	2463 kg/m ³
Temperatura del hormigón	20.5°C

10 Las resistencias a la compresión medidas a distintas edades se presentan en la Tabla 4 de acuerdo con la Normativa Vigente en probetas cilíndricas de 15 cm de diámetro y 30 cm de altura.

Tabla 4- Resistencias a la compresión desarrolladas por un hormigón obtenido a partir de un cemento E cuyo contenido en C3S es 82% y su contenido en C3A es 9%, determinadas según Normas EN vigentes.

Tiempo	Resistencia a la compresión en (MPa)
6 horas	15,2
8 horas	47,6
10 horas	62,6
12 horas	71
15 horas	72,4
20 horas	76,2
1 día	78,8
2 días	84,4
3 días	85
7 días	88,7
28 días	96,1

5 **En un segundo aspecto**, la invención se refiere a una mezcla de cementos que comprende un cemento común según norma UNE-EN 197-1, que denominaremos de aquí en adelante cemento C, con el cemento E anteriormente descrito. La proporción de cemento E en el total de la mezcla se encuentra en el intervalo de 0,5 % a 50 % en peso, más preferiblemente en el intervalo de 0,5 a 30% en peso.

10 Los presentes inventores han descubierto que, al contrario de lo que se podría pensar, la aportación a la resistencia a la compresión en kg/cm² de una mezcla de cementos como la indicada anteriormente por kg de cemento E no sigue una relación lineal con el porcentaje de cemento E añadido, sino que dicha aportación va disminuyendo a medida que va aumentando el porcentaje de cemento E en la mezcla en el intervalo de 0 a 50%. En la Figura 1a) se presenta la variación esperada en la aportación a la resistencia a la compresión de la mezcla y en la Figura 1b) se encuentra la variación experimental observada por los presentes inventores.

15 Además, los inventores han comprobado que este comportamiento especial de los cementos E, es decir, un rendimiento superior en mezclas con pequeños porcentajes, tal como se muestra figuras 1a) y 1b), se produce a partir de una determinada finura tal como se describe en el siguiente ejemplo en el que se mezcla un cemento E de composición: C3S- 82 %, C3A- 8% ,C2S- 0 %, C4AF- 4 %, en mezclas con un cemento común CEM I42,5 R con diferentes porcentajes obteniéndose los siguientes resultados a una edad de 12 horas.

% de cemento E	10	20	50	100
Blaine (cm ² /g)				
11200	3,2	2,4	2	1,6
8430	2,49	1,89	1,43	1,32
6470	1,65	1,65	1,45	1,28

20 **Tabla 5-** Resistencias a la compresión (MPa) de diversas mezclas de cemento C (CEM I 42,5 N) y E en función del porcentaje de cemento E en la mezcla, partiendo de cementos E con distinta finura

En la Figura 2, se representan los datos obtenidos. En dicha figura se ve a que a Blaines inferiores a 6500 cm²/g el rendimiento es relativamente bajo, y, tanto en bajos porcentajes como en altos porcentajes, es parecido. Son cementos que al utilizarlos en altos porcentajes e incluso al 100 % no hay prácticamente pérdida de rendimiento, por kg de cemento E, como sucede con Blaines superiores a 6500 aproximadamente.

- 5 Con objeto de determinar una cota superior, si la tuviese, al comportamiento descrito del Cemento E en mezclas en pequeños porcentajes se molió el cemento anterior hasta blaines de 24500 cm²/g , no pudiéndose alcanzar con las tecnologías disponibles finuras superiores y se comprobó la base de esta invención: que cuanto más fino es el cemento E, el rendimiento en las mezclas es mayor a menores porcentajes, debido al elevado número de partículas muy finas y reactivas por su composición, y que superando una determinada cantidad no funcionan de forma individual perdiéndose rendimiento.

A modo de ejemplo, para ver los beneficios de la mezcla anteriormente definida, consideremos un hormigón formado por:

- 15 a) 350 kg/m³ de cemento común C, que es un cemento común CEM I 42,5 N cuya resistencia a 12 horas es 100 kg/cm². Por tanto, se puede considerar que la aportación a la resistencia a 12 horas por kg de cemento común C será de 100/350=0,28.

b) 350 kg/m³ de cemento E que es un cemento 52,5 R cuyo contenido en C3S es 82% y su contenido en C3A es 8% cuya resistencia a 12 horas es 370 kg/cm². Por tanto, se puede considerar que la aportación a la resistencia a 12 horas por kg de cemento especial será de 370/350=1,06.

- 20 Si se quiere conseguir un hormigón cuya resistencia a la compresión a 12 horas sea de 150kg/cm², hasta el momento la forma de conseguir dichas propiedades implicaban o bien aumentar la dosificación de cemento común C, lo cual, por las razones previamente comentadas en la sección de antecedentes, no es aconsejable o bien se recurre a utilizar el cemento E directamente, lo cual supone un despilfarro de recursos, ya que dicho cemento E desarrolla resistencias a la compresión considerablemente superiores a la deseada en el ejemplo mostrado y supone un coste muy elevado.

- 25 Los presentes inventores han descubierto que con una mezcla de ambos cementos, usando un bajo porcentaje de cemento E, se desarrolla la resistencia deseada superando, por tanto, la desventajas que suponen la sobredosificación de cemento común C o el empleo de cemento E. Es decir, solucionan el problema de una manera más eficiente.

- 30 Si se considerase que la aportación a la resistencia a la compresión de cada uno de los cementos varía de forma lineal, en base al ejemplo planteado anteriormente cabría esperar que una mezcla que contiene un 90% de cemento C y un 10% de cemento E, desarrollaría una resistencia a la compresión dada por la suma de las aportaciones del cemento C y del cemento E, de modo que la resistencia a la compresión a 12 horas de dicha mezcla sería:

$$(350 \times 0,9 \times 0,28) + (350 \times 0,1 \times 1,06) = 125 \text{ kg/cm}^2$$

Si la mezcla fuera tal que contuviera 80% de cemento C y 20% de cemento E, la resistencia teórica esperada sería:

$$(350 \times 0,8 \times 0,28) + (350 \times 0,2 \times 1,06) = 152 \text{ kg/cm}^2$$

- 35 Por lo que, con hacer una mezcla de cementos como la indicada en una proporción de 80% de cemento C y 20% de cemento E se obtendrían la resistencia de 150kg/cm² deseada, con el consiguiente ahorro de cemento común C que hubiera sido necesario si hubiera que aumentar la dosificación, y de cemento E si se hubiera tenido que usar de manera independiente.

- 40 Como se ha comentado, esto sería lo esperable si la aportación a la resistencia a la compresión del cemento E variase de forma lineal. Pero, los investigadores han descubierto que dicha aportación no es lineal, sino que sigue la variación mostrada en la Figura 1b), lo cual lleva a ahorros en el consumo de cemento E aún superiores a lo esperado si hubiera una relación lineal, con las importantes mejoras económicas, medioambientales e industriales que eso supone. En la tabla 6 se muestran los resultados obtenidos.

Tabla 6- Resistencias a la compresión esperada y experimental de dos mezclas de cementos según la invención

% de cemento C	90	80
% de cemento E	10	20
Resistencia a la compresión teórica esperada (kg/cm ²)	125	152
Resistencia a la compresión teórica experimental (kg/cm ²)	172	197

5 Como esta tecnología de mezcla de cementos no se encuentra recogida en las actuales Normativas de Hormigón, para evaluar la calidad del cemento obtenido como mezcla de acuerdo con esta patente, se realizará mediante media ponderada de componentes de los cementos y las de sus composiciones mineralógicas de sus clínkeres.

Así, la composición mineralógica del clínker del cemento que resulta de la mezcla vendrá dada por la media ponderada de sus contenidos en el cemento común C y en el cemento E y de igual manera en el derivado de cemento obtenido. A modo de ejemplo, el contenido de C3S en la mezcla viene dado por:

$$\% \text{ C3S en la mezcla} = (m_C \times \% \text{ C3S en cemento C} + m_E \times \% \text{ C3S en cemento E}) / m_{\text{total}}$$

10 donde $m_{\text{total}} = m_C + m_E$, siendo m_C la masa de cemento C y m_E la masa de cemento E.

El contenido del resto de componentes del clínker se calcula de igual manera.

Además de las ventajas anteriormente indicadas, ha de hacerse notar que las mezclas de cemento anteriormente descritas permiten controlar las variables que se requieren en un derivado de cemento tales como:

1) Tiempo de trabajabilidad

15 Como se ha comentado en la sección de antecedentes de la invención, el tiempo de trabajabilidad es un enorme inconveniente en algunas de las técnicas de aceleramiento, por lo que constituye una variable importante a controlar en las mezclas descritas anteriormente.

La trabajabilidad de los derivados de cementos es muy sensible al contenido de C3A y a la temperatura, mientras que es muy poco sensible al contenido de C3S.

20 En la Tabla 7 se presentan los ensayos de dosificación para la fabricación de un hormigón con el cemento E descrito en la presente invención, variando la cantidad de C3A y C3S presente en dicho cemento.

A la vista de estos resultados, se puede comprobar como un aumento de C3A a expensas del C3S permite aumentos considerables de la resistencia a la compresión inicial, pero la resistencia final es peor, y el tiempo de trabajabilidad disminuye considerablemente como se ha indicado anteriormente.

25 Este comportamiento del cemento E se reproduce en las mezclas de cementos descritas en la presente invención, tal como se pone de manifiesto en las Tablas 8 y 9, donde se presentan los resultados de los estudios equivalentes para mezclas de cemento C (CEM I 42,5 R) con cemento E, con proporciones de cemento E del 10% (Tabla 8) y del 20% (Tabla 9). claro

Tabla 7- Ensayos de dosificación para la fabricación de un hormigón obtenido a partir de únicamente cemento E con las concentraciones de C3S y C3A indicadas.

			Dosificación áridos (kg/m³)			%		Cono	Densidad probetas	Tiempo de trabajabilidad antes de añadir el acelerante	Resistencias mecánicas (Mpa)						
												7 horas	8 horas	1 día	2 días	7 días	28 días
Cemento E	%C3S	%C3A/C	Arido 4-12	Arena 0-6	Silicea L70/80	Superplast. Glenium T	Estabilizador Delvocrete E	Acelerante (aluminato)	(kg/m³)	minutos							
400	81	9	0,35	650	770	450	1,40%	0,35%	2,50%	2372	103	10,3	24,1	56,7	63,4	77,2	89,7
400	75	17	0,35	650	770	450	1,40%	0,35%	2,50%	2365	57	12,8	16,8	47,9	56,3	69,9	79,9

Tabla 8- Ensayos de dosificación para la fabricación de un hormigón obtenido a partir de una mezcla de cemento C (CEM I 42,5 R) con cemento E, donde el porcentaje de cemento E es del 10%.

Cemento C	Cemento E	%C3S	%C3A	Dosificación áridos (kg/m3)				%	Cono	Densidad probetas	Tiempo de trabajabilidad antes de añadir el acelerante	Resistencias mecánicas (Mpa)					
				A/C	Árido 4-12	Arena 0-6	Arena Silicea L70/80					7 horas	8 horas	1 día	2 días	7 días	28 días
360	40	81	9	0,35	650	770	450	1,40%	0,35%	2,50%	2342	2,6	5,3	30,8	37,9	43,0	48,7
360	40	75	17	0,35	650	770	450	1,40%	0,35%	2,50%	2336	3,2	3,9	28,7	37,1	41,3	47,2

Tabla 9- Ensayos de dosificación para la fabricación de un hormigón obtenido a partir de una mezcla de cemento C (CEM I 42,5 R) con cemento E, donde el porcentaje de cemento E es del 20%.

					Dosificación áridos (kg/m3)				%			Cono	Densidad probetas	Tiempo de trabajabilidad antes de añadir el acelerante	Resistencias mecánicas (Mpa)					
															7 horas	8 horas	1 día	2 días	7 días	28 días
Cemento C	Cemento E	%C3S cemento E	%C3A cemento E	A/C	Árido 4-12	Arena 0-6	Arena Silicea L70/80	Superplast. Glenium T	Estabilizante Delvocrete E	Acelerante (aluminato)	cm	(kg/m3)	minutos							
320	80	81	9	0,35	650	770	450	1,40%	035%	2,50%	25	2356	115	3,8	73	32,5	39,8	45,4	50,1	
320	80	75	17	0,35	650	770	450	1,40%	035%	2,50%	24	2334	67	5,0	5,2	32,0	35,9	45,1	48,8	

ES 3 014 011 T3

Se han realizado también estudios de consistencia de las mezclas de cemento C (CEM I 42,5 R) con cemento E obtenidas según la invención. En la Tabla 10 se presentan los resultados obtenidos. En esta, se pone de manifiesto como el uso de una mezcla de cemento C (CEM I 42,5 R) con cemento E con las siguientes características:

5 3S- 82% en peso

C3A- 9% en peso

C2S (silicato dicálcico)- 0

C4AF (Ferrito aluminato tetracálcico)- 5% en peso

Blaine: 7200 cm²/g

10 y a la que además se ha añadido un retardador, permite obtener trabajabilidades constantes superiores a 12 horas sin perjuicio del resto de propiedades.

Tabla 10- Ensayo de consistencia de una mezcla de cementos según la invención.

	% cemento E		0	30
Cemento Total	430 kg/m ³			
Aditivo fluidificante retardador SIKA (% peso del cemento)	TM 30		0,25	0,3
Aditivo superplastificante	SikaViscocrte SC50		0,85	1,0
	Relación agua/cemento		0,438	0,438
			Slump	Slump
		Inicial	23,5	24,5
		60 minutos	23	24,5
		120 minutos	22	25,5
		150 minutos	22,5	25,5
		180 minutos	19	23,5
		240 minutos	14,5	23,0

15 Sin emplear aditivos retardantes, los tiempos de trabajabilidad a 20°C de hormigón son del orden de 2 horas y en el caso de utilizar otras tecnologías de aceleración, tales como las comentadas en la sección de antecedentes, los tiempos de trabajabilidad pueden ser reducidos a voluntad hasta hacerlo prácticamente inmediato.

ES 3 014 011 T3

Por lo tanto, a la vista de los resultados mostrados, se puede concluir que el uso de las mezclas de la invención permite controlar a voluntad el tiempo de trabajabilidad desde un minuto a muchas horas.

2) Límite en la Temperatura máxima a alcanzar en el hormigón.

- 5 Actualmente para conseguir una resistencia temprana hay que sobredosificar con cementos normales, lo cual implica que las temperaturas suben mucho incluso por encima de las que se consideran muy peligrosas en la durabilidad futura del hormigón.

- 10 Las mezclas de cementos según la invención permiten conseguir una alta resistencia inicial pero con menor subida de temperatura ya que su rendimiento mecánico a edades iniciales es muy alto comparado su desarrollo de calor y como se puede apreciar en la Tabla 11, donde se muestra la comparación de variación de la temperatura para un cemento C (CEM I 42,5 R) y para su mezcla con un cemento E, es posible conseguir resistencias a la compresión de 4,5 MPa a 8 horas con menor temperatura máxima en el hormigón. Para realizar las medidas, el hormigón una vez mezclado y amasado y confectionado las probetas, se somete a un ambiente calefactado de 30°C durante 8 horas y después se mantiene a una temperatura ambiente de 20°C y se miden las temperaturas según se van rompiendo las probetas a compresión.
- 15

Tabla 11- Resultado del tratamiento térmico de una mezcla de cementos.

	Cemento C, CEM I 42,5 R (kg/m ³)	400	400	300	300
	Cemento E, CEM I 52,5 R, C3S-79%, C3A-9% (kg/m ³)	0	0	6	6
Edades		MPa	T (°C)	MPa	T (°C)
4 horas		0	32,3	0,2	31,8
6 horas		0,3	34,1	0,6	34,5
8 horas		4,7	42,6	5,0	43,3
12 horas		13,8	54,2	15,6	48,8
1 día		27,0	33,5	26,7	32,7
7 días		34,6		33,4	
28 días		41,4		36,5	
	Densidad (kg/m ³)	2413		2408	
	C3A total (%)	0,33		0,26	
	Na ₂ O total (%)	0,13		0,10	
	Kg Na ₂ O equiv del cemento	3,2		2,4	

3) Durabilidad

- 20 Como se ha indicado en la sección de antecedentes, la durabilidad de derivados de cementos tales como el hormigón se ve afectada por factores tales como por ejemplo las reacciones de los álcalis del cemento con los áridos que constituyen el derivado del hormigón y los ambientes químicamente agresivos entre otros.

ES 3 014 011 T3

Con las mezclas descritas en la presente invención disminuye considerablemente la cantidad de cemento a utilizar, y por tanto la cantidad total de álcalis y de C3A (la cual también debe ser controlada dependiendo de la aplicación deseada del hormigón, tal como es el caso, por ejemplo de cementos sulforesistentes) disminuye considerablemente, pues como se ha indicado previamente, la cantidad total de dichos componentes bien en la mezcla de cementos, bien en el derivado de cemento obtenido, se obtiene como una media ponderada de los componentes en los cementos que constituyen dicha mezcla.

A modo de ejemplo, si se necesita un hormigón que requiera una resistencia a la compresión a 8 horas de 5 MPa y a 28 días de 35 MPa, con una temperatura máxima a alcanzar de 50 °C y un contenido en álcalis inferior a 3 kg/m³, vemos a partir de los datos de la Tabla 10 anterior, que el uso de un cemento C, CEM I 42,5 R, proporciona resistencias a la compresión a 8 horas ligeramente inferiores a lo deseado, mientras que las resistencias a 28 días son superiores a lo requerido. Además, se sobrepasa la temperatura de 50 °C. Por el contrario, si se emplea una mezcla de dicho cemento C con una baja cantidad de cemento E, se satisfacen los requisitos establecidos, y además se disminuye la cantidad de álcalis de forma drástica. Lo mismo sucede con el C3A. Esto supone que esta tecnología permite muchas soluciones sin necesidad de emplear en muchos casos cementos bajo en álcalis o bajos en C3A, con frecuencia no disponibles en distancias razonables, lo cual implica en su conjunto mejoras medioambientales derivadas del uso de menos recursos, por utilizarse menos cemento, mayor durabilidad por disminuirse elementos nocivos, mayor economía y por tanto menores emisiones de CO₂.

También son importantes las ventajas económicas derivadas del uso de una menor cantidad de cemento. Concretamente, se ha hecho una estimación del ahorro que supone el uso de la mezcla definida en la tabla 10, y se ha determinado que hay una ventaja económica siempre que el precio del cemento E sea inferior a 16 veces el precio del CEM I 42,5 R.

Un **tercer aspecto**, que no es parte de la invención reivindicada, se dirige a un procedimiento de obtención de derivado de cemento a partir de las mezclas de cementos indicadas anteriormente, que como se detallará a continuación se basa en la preparación de un conjunto de mezclas de cementos C y E de las cuales se determina su resistencia a la compresión, y la contribución del cemento E en función del porcentaje del mismo a dicha resistencia. A partir de los resultados obtenidos se construye una matriz de resultados, y en función de la resistencia a la compresión deseada en las diferentes edades del derivado de cemento que se quiera obtener, y de los requisitos técnicos y económicos requeridos, se determinan las mezclas que satisfacen dichos requisitos. El procedimiento detallado se describe en un el siguiente ejemplo.

Se selecciona como derivado de cemento un hormigón cuya composición es:

Cemento (kg/m³)- 390

Grava caliza 6-14 (kg/m³)- 800

Arena caliza 0-6 (kg/m³)- 635

Aditivo Sika Viscocrete 20 (% en peso en el cemento)- 2,0

a/c (agua/cemento)- 0,380

Extensión de flujo (diámetro en mm)- 700

Densidad (kg/m³)- 2463

Temperatura del hormigón (°C)- 20,5

El cemento para la preparación de dicho hormigón, corresponde a mezclas de cemento C y cemento E en el intervalo de 0,5% a 50%, más preferiblemente de 0,5% a 30% en peso, en relación al peso total de la

ES 3 014 011 T3

mezcla. Se determina la resistencia a la compresión de dichas mezclas, $R_{i\text{mezcla}}$, y la resistencia a la compresión del cemento C, R_{ic} a diferentes edades comprendidas en el intervalo de 0 a 28 días.

5

En las Tablas 12 y 13 se muestran, respectivamente, la descripción de los cementos utilizados y los resultados de las resistencias a la compresión de las mezclas y del cemento C. Las medidas se realizan preferiblemente en intervalos de 2 horas en el intervalo de tiempos de 0 a 24 horas, y en intervalos de 1 día en el intervalo de tiempos de 1 día a 28 días.

Tabla 12- Características de los cementos empleados.

	Resistencia a la compresión (MPa) UNE 196-1	
	Cemento C (CEM I 42,5 N)	Cemento E (CEM I 52,5 R)
Edades		
1 día	12,0	47,1
2 días	22,0	55,5
7 días	39,0	65,5
28 días	54,0	71,8
Consistencia de sacudidas del mortero (%)	96,0	57,0
Agua de amasado (%)	26,6	37,1
Principio de fraguado (min)	210	80
Final de fraguado (min)	290	105
Expansión Le Chatelier (m.m)	C-0,0	C-0,0
Clinker (%)	95	95
Yeso (%)	5	5
C3S (%)	41	82
C3A (%)	36	9

ES 3 014 011 T3

C2S (%)	9	0
C4AF (%)	36	5

Tabla 13- Resistencias a la compresión de diversas mezclas de cemento C (CEM I 42,5 N) y E en función del porcentaje de cemento E definido en tabla 12 en la mezcla, a diversas edades.

	Resistencias a la compresión (MPa)			
	0 % cemento E	15 % de cemento E	30 % de cemento E	40 % de cemento E
Edades				
6 horas	0	1,4	1,9	2,5
8 horas	0	4,3	6,5	11,2
10 horas	4,2	14,7	18,6	27,1
12 horas	8,2	25,3	31,5	37,7
15 horas	13,1	33,2	38,3	43,2
20 horas	19,5	39,2	43,4	46,4
1 día	24	41,9	45,3	48,0
2 días	28	49,2	53,0	55,2
3 días	32	51,5	54,7	57,0
7 días	37	58,2	63,2	64,1
28 días	41	65,6	69,4	69,6

- 5 A continuación se obtiene la contribución a la resistencia a la compresión de las mezclas, CR_i , por kg de cemento C y de cemento E para cada edad, utilizando las fórmulas:

$$CR_i \text{ por kg de cemento C} = R_{iC} / m_{\text{totalcementoC}} \quad (1)$$

$$CR_i \text{ por kg de cemento E} = (R_{i\text{mezcla}} - (R_{iC} \cdot m_C / m_{\text{total}})) / m_E \quad (2)$$

ES 3 014 011 T3

donde m_{total} es la suma de la masa de cemento C, m_C , y la masa de cemento E, m_E .

Los resultados de dichas contribuciones se presentan en la Tabla 14 a continuación.

Tabla 14- Contribución a la resistencia a la compresión en MPa de las mezclas, CR_i , por kg de cemento C (CEM I 42,5 N) y de cemento E definido en Tabla 12 en función de la edad.

	CRi por kg de cemento C	CRi por kg de cemento E		
	0 % cemento E	15 % de cemento E	30 % de cemento E	40 % de cemento E
6 horas	0	0,02	0,02	0,02
8 horas	0	0,07	0,06	0,07
10 horas	0,01	0,19	0,13	0,16
12 horas	0,02	0,31	0,22	0,21
15 horas	0,03	0,38	0,25	0,23
20 horas	0,05	0,39	0,25	0,22
1 día	0,06	0,37	0,24	0,22
2 días	0,07	0,43	0,29	0,25
3 días	0,08	0,42	0,28	0,24
7 días	0,09	0,46	0,32	0,27
28 días	0,11	0,53	0,35	0,29

5

De estos datos se confirma la tendencia que se había indicado previamente, que consiste en que la contribución del cemento E a la resistencia de la mezcla por kg de cemento no sigue una tendencia lineal, sino una tendencia como la mostrada en la Figura 1b), que corresponde concretamente a la variación de la resistencia a la compresión de los datos mostrados en la Tabla 14 a una edad de 28 días.

- 10 A continuación se obtiene el porcentaje de contribución a la resistencia a la compresión del cemento E con respecto a la del cemento C; dado por:

$$(CR_i \text{ por kg de cemento E} / CR_i \text{ por kg de cemento C}) \times 100 \quad (3)$$

ES 3 014 011 T3

Los resultados se muestran en la Tabla 15 a continuación.

Tabla 15- Porcentaje de contribución a la resistencia a la compresión del cemento E definido en Tabla 12 con respecto a la del cemento C (CEM I 42,5 N) en función de la edad.

	Porcentaje de contribución a la resistencia a la compresión del cemento E con respecto a la del cemento C (%)		
	15 % de cemento E	30 % de cemento E	40 % de cemento E
6 horas	∞	∞	∞
8 horas	∞	∞	∞
10 horas	1767	1244	1490
12 horas	1493	1045	866
15 horas	1125	740	553
20 horas	773	508	391
1 día	597	396	328
2 días	605	397	301
3 días	506	337	266
7 días	482	336	240
28 días	500	331	234

- 5 En esta tabla se puede ver que la eficiencia es máxima a edades cortas y bajos porcentajes de sustitución de cemento común C, por cemento E y que dicha contribución va decreciendo al aumentar el porcentaje de cemento E en la mezcla y la edad del hormigón. Aquellos casos en los que la contribución a la resistencia por kg de cemento C es nula (a edades de 6 y 8 horas), el valor del porcentaje de contribución a la resistencia de la mezcla del cemento E resulta matemáticamente un valor igual a infinito.
- 10 De estos resultados se puede deducir que, por ejemplo, para conseguir hormigones con resistencias a edades inferiores a 10 horas con este cemento C, necesariamente hay que utilizar un porcentaje del cemento E. Si lo que se desea es conseguir un hormigón que desarrolle 4,2MPa a 10 horas, se puede emplear sólo el cemento común C (véase Tabla 13). A modo de ejemplo, se podría preparar una mezcla con 275kg de cemento C y 25kg de cemento E, la cual desarrolla las resistencias a la compresión mostradas en la Tabla 16 y supone un ahorro de aproximadamente el 6% incluso con un precio de cemento E, 4 veces superior al de cemento C, además de la mejora medioambiental que supone el ahorro de kilogramos de cemento empleados.
- 15

ES 3 014 011 T3

Tabla 16- Resistencias a la compresión de una mezcla de cemento que contiene 275 kg de cemento C (CEM I 42,5 N) con 25 kg de cemento E definido en Tabla 12.

Edades	Resistencia a la compresión (MPa)
6 horas	0,63
8 horas	1,88
10 horas	7,71
12 horas	13,58
15 horas	18,56
20 horas	23,18
1 día	25,79
2 días	30,23
3 días	32,50
7 días	37,00
28 días	41,48

- 5 En otras aplicaciones en las que, por ejemplo, sólo se requiere una resistencia de 4,2 MPa a 10 horas, pero no es necesario llegar 41 MPa a 28 días (véase Tabla 13), la solución más eficiente es la siguiente es una mezcla que contiene 294 kg/m³ de cemento de los cuales 6 son de cemento E. En este caso las resistencias a la compresión de esta mezcla en función de la edad, son las siguientes:

Tabla 17- Resistencias a la compresión de una mezcla de cemento que contiene 294 kg de cemento C (CEM I 42,5 N) con 6 kg de cemento E definido en Tabla 12.

Edades	Resistencia a la compresión (MPa)
6 horas	0,1
8 horas	0,4
10 horas	4,2

ES 3 014 011 T3

12 horas	7,9
15 horas	11,8
20 horas	16,6
1 día	19,8
2 días	23,1
3 días	26,0
7 días	29,9
28 días	33,2

Esta mezcla presenta unas ventajas económicas que son del orden del 20 % para un precio del cemento E 4 veces superior al cemento C. Además, las ventajas medioambientales también son muy importantes, tal y como se puede apreciar en la tabla 18 donde se muestra la reducción de CO₂ por m³ de hormigón, habiéndose obtenido la cantidad de CO₂ con la fórmula:

5

$$\text{Kg CO}_2/\text{m}^3 \text{ hormigón} = (m_C \times \text{Kg CO}_2/\text{t cemento C} + m_E \times \text{Kg CO}_2/\text{t cemento E}) / 1000.$$

En dicha tabla se presenta la reducción en CO₂ que se consigue en dos mezclas con distinta cantidad de cemento E.

Tabla 18- Reducción en CO₂ para dos mezclas de cemento C (CEM I 42,5 N) con el cemento E definido en Tabla 12.

10

		Reducción (%)
Kg CO ₂ / t cemento C	850	
Kg CO ₂ / t cemento E	920	
Kgs CO ₂ /m ³ hormigón empleando 390kg de cemento C	331,5	
Kgs CO ₂ /m ³ hormigón empleando 274kg de cemento C y 26 kg de cemento E	256,82	22,5
Kgs CO ₂ /m ³ hormigón empleando 294kg de cemento C y 6 kg de cemento E	255,42	23

ES 3 014 011 T3

Todos los datos anteriores demuestran la flexibilidad de esta tecnología en la obtención de derivados de cemento que son eficientes no solamente desde el punto de vista económico, sino también de la durabilidad y medioambiental, por la importante reducción de la cantidad de cemento a emplear.

- 5 Usando este procedimiento se pueden usar distintos cementos E y C y distintas masas totales de cemento, y construir una matriz de resultados como las indicadas anteriormente, de modo que en función de la resistencia a la compresión deseada en las diferentes edades, y de los requisitos técnicos y económicos requeridos, usando los resultados de la matriz de soluciones, las contribuciones de los cementos C y E en las resistencias para cada edad y el porcentaje de cemento E, se pueden determinar las mezclas óptimas que satisfacen dichos requisitos.
- 10 Estos resultados se ponen aún más de manifiesto si el cemento común C empleado es un cemento de categoría 32,5 o inferior. No obstante, si los cementos comunes C empleados son de categoría superior al indicado en el ejemplo anterior también se obtienen resultados que evidencian las ventajas de estas mezclas. Así, por ejemplo, se incluyen a continuación los resultados obtenidos para un hormigón que se obtiene de la misma manera que en el ejemplo anterior, usando el mismo cemento E, pero usando ahora
- 15 un cemento común C, CEM I 52,5 R cuyas características son las siguientes:

Tabla 19- Características del cemento común C, CEM I 52,5 R

	Resistencia a la compresión (MPa) UNE 196-1 Cemento C
Edades	
6 horas	0,5
8 horas	0,8
10 horas	2,9
12 horas	4,1
14 horas	6,3
20 horas	9,8
1 día	13,0
2 días	27,7
7 días	46,1
28 días	59,9
Consistencia de sacudidas del mortero (%)	85
Agua de amasado (%)	27,7
Principio de fraguado (min)	190
Final de fraguado (min)	240
Expansión Le Chatelier (m.m)	C-0,0

- 20 Las resistencias a la compresión de las mezclas obtenidas usando un porcentaje de cemento E del 15%, así como la la contribución a la resistencia a la compresión de las mezclas, CRi, por kg de cemento C y de cemento E y el porcentaje de contribución a la resistencia a la compresión del cemento E con respecto a la del cemento C obtenidas según las fórmulas (1) a (3) anteriormente indicadas, son los siguientes:

Tabla 20- Resistencias a la compresión de diversas mezclas de cemento C (CEM I 52,5 R) y E en función del porcentaje de cemento E en la mezcla, a diversas edades.

ES 3 014 011 T3

	Resistencias a la compresión (MPa)	
	0 % cemento E	15 % de cemento E
Edades		
6 horas	0	1,7
8 horas	3,3	9,6
10 horas	9,4	27,8
12 horas	22,1	48,0
15 horas	31,4	59,3
20 horas	39,6	63,2
1 día	41,0	65,3
2 días	51,9	70,6
3 días	56,4	71,5
7 días	61,9	79,8
28 días	71,5	91,3

Tabla 21- Porcentaje de contribución a la resistencia a la compresión del cemento E con respecto a la del cemento C (CEM I 52,5 R) en función de la edad.

	Porcentaje de contribución a la resistencia a la compresión del cemento E con respecto a la del cemento C (%)
	15 % de cemento E
6 horas	∞
8 horas	1373
10 horas	1405

ES 3 014 011 T3

12 horas	881
15 horas	692
20 horas	497
1 día	495
2 días	340
3 días	278
7 días	293
28 días	285

De igual manera que en el caso anterior, se pone de manifiesto el elevado porcentaje de contribución a la resistencia a la compresión de las mezclas por parte del cemento E, que si bien son valores inferiores a los observados usando un cemento C de menor categoría, aún son muy elevados.

- 5 Se han obtenido también mezclas usando el cemento E de los ejemplos anteriores con varios cementos comunes que contienen puzolanas, cenizas volantes, escorias y humo de sílice, y se ha observado que las ventajas obtenidas son aún superiores a las observadas en los casos anteriormente descritos, por dos razones: una porque estos cementos tienen una resistencia inicial baja y son generalmente de categoría 32,5 y 42,5 y como se ha comentado en estas categorías la aportación del cemento E es superior, y la otra,
- 10 que el nivel de activación de las adiciones activas con las partículas del cemento E es muy elevado, lo cual conduce a que las resistencias que normalmente estas adiciones activas las dan a largo plazo, incluso superando los 28 días, se consigan en plazos inferiores y por tanto en tiempos industrialmente operativos.

- En la Tabla 22 se muestran los resultados obtenidos del porcentaje de contribución a la resistencia a la compresión del cemento E con respecto a la del cemento C para dichas mezclas, las cuales se han obtenido
- 15 de la manera descrita anteriormente.

Tabla 22- Porcentaje de contribución a la resistencia a la compresión del cemento E con respecto a la del cemento C para distintos tipos de cemento C en función de la edad.

	Porcentaje de contribución a la resistencia a la compresión del cemento E con respecto a la del cemento C, para mezclas con distintos cementos C que contienen un 15% de cemento E (%)					
	CEM II/A-V 32,5N	CEM II/A-V 42,5 R	CEMII/B-V 32,5N	CEM II/A-S 32,5N	CEM II/A-S 42,5R	CEMII/B-S 32,5N
6 horas	∞	∞	∞	∞	∞	∞
8 horas	∞	∞	∞	∞	∞	∞

ES 3 014 011 T3

10 horas	∞	∞	∞	∞	∞	∞
12 horas	∞	1990	∞	∞	1678	∞
15 horas	∞	1500	∞	∞	1399	∞
20 horas	3487	1031	3700	3133	1130	3021
1 día	2823	796	2890	2623	843	2390
2 días	2390	807	2345	2511	790	2123
3 días	1234	765	1890	1034	715	1090
7 días	980	720	1800	680	620	800
28 días	874	694	1780	674	584	580

Como se ha indicado anteriormente, los valores “∞” indican que la contribución del cemento C a la resistencia de la mezcla es nula.

- 5 Todo lo descrito hasta aquí es compatible con los procedimientos de aceleración de las prestaciones de los derivados de cementos, tales como adición de aditivos químicos o tratamientos térmicos. De hecho, son técnicas que se pueden utilizar simultáneamente presentando sinergias interesantes en los casos que hayan demostrado ser efectivas, aunque también esta invención permite eliminarlas o mitigar su uso.

- 10 A modo de ejemplo, se presenta un ejemplo de sinergia de la presente invención con la técnica de tratamiento térmico. Concretamente, se muestran los resultados de porcentajes de contribución a la resistencia a la compresión del cemento E con respecto a la del cemento C, de un hormigón preparado con mezclas de un cemento C, que es un cemento CEM I 42,5 R y un cemento especial E, que es el mismo que en los ejemplos anteriores. El hormigón una vez mezclado y amasado y confeccionado las probetas, se somete a un ambiente calefactado de 30°C durante 8 horas y después se mantiene a una temperatura ambiente de 20°C y se miden las temperaturas según se van rompiendo las probetas a compresión.

- 15 Los resultados obtenidos se muestran en las Tablas 23 (resultados del ensayo térmico) y 24 (porcentajes de contribución a la resistencia a la compresión del cemento E con respecto a la del cemento C).

Tabla 23- Resultado del tratamiento térmico de una mezcla de cementos.

Cemento C, CEM I 42,5 R (kg/m³)			400	400	360	360	320	320	200	200
Cemento E, CEM I 52,5 R, C3S-79%, C3A-9% (kg/m³)			0	0	40 (10%)	40	80 (20%)	80	200 (50%)	200
Edades			MPa	T(°C)	MPa	T(°C)	MPa	T(°C)	MPa	T(°C)
4 horas			0	32,3	1,2	35,6	2,3	37,5	4,9	40,1

ES 3 014 011 T3

6 horas			0,3	34,1	2,1	39,7	4,6	40,1	9,5	44,7
8 horas			4,7	42,6	14,1	53,7	15,9	48,9	21,8	63,4
12 horas			13,8	54,2	23,2	53,5	26,4	63,8	30,5	65,4
1 día			27,0	33,5	36,7	33,8	37,2	64,4	37,2	52,3
7 días			34,6		46,5		45,4		45,6	
28 días			41,4		50,1		53,4		53,8	

Tabla 24- Porcentaje de contribución a la resistencia a la compresión del cemento E con respecto a la del cemento C en función de la edad, para un hormigón obtenido a partir de mezclas que se han sometido a tratamiento térmico.

	Porcentaje de contribución a la resistencia a la compresión del cemento E con respecto a la del cemento C (%)		
	10 % de cemento E	20 % de cemento E	50 % de cemento E
4 horas	∞	∞	∞
6 horas	6100	7100	3867
8 horas	2100	1296	920
12 horas	781	559	399
1 día	458	289	243
7 días	445	256	214
28 días	309	244	189

5

A partir de estos datos se observa la misma tendencia que en aquellos casos en los que no ha habido tratamiento térmico, pero adelantándose en un par de horas los resultados elevados, lo cual pone de manifiesto no solamente las ventajas de las mezclas de cementos descritas en la presente invención, sino también la versatilidad que ofrecen para ser combinadas con otras de las técnicas de aceleración que ya son conocidas en la técnica.

10

Además de las ventajas anteriormente indicadas, a través de la descripción y ejemplos anteriores, el inventor considera que han quedado demostradas las ventajas de la utilización de las mezclas de un cemento C, que es un cemento común según norma UNE-EN 197-1, con un cemento E definido también en la descripción, donde la proporción de cemento E en el total de la mezcla se encuentra en el intervalo de 0,5 % a 50 % en peso, así como el uso de las mismas en la fabricación de derivados del cemento tales como hormigones. También es posible el uso de las mismas para la fabricación de otros derivados del cemento, tales como morteros y lechadas.

15

Además, también es reseñable el hecho de que el uso de estas mezclas es compatible con las antiguas fábricas de cemento, las cuales, al contrario que las fábricas modernas, presentan dimensionamientos pequeños que no son competitivos en costes con las modernas lo que aboca a su cierre o una supervivencia

20

- 5 penosa. Esto es debido a que actualmente las fábricas de cemento tienden a diseñarse con una tendencia de grandes instalaciones destinadas a altas producciones. Sus materias primas, sus tecnologías de combustión que tienden a utilizar combustibles alternativos, sistemas de molienda y almacenamiento están pensados para producir clínkeres estándar con costes muy bajos y que atienden el mayor porcentaje de uso de las aplicaciones de los cementos, en los que no se requiere unas elevadas resistencias iniciales, pero que descuidan ese nicho tecnológico, muy importante, de derivados con altas resistencias iniciales, con soluciones no optimizadas como la sobredosificación.
- 10 Sin embargo, este dimensionamiento reducido de fábricas antiguas es el requerido para la producción de los cementos E de las mezclas aquí descritas, ya que como se ha visto se obtienen productos de gran valor añadido usando solamente un porcentaje muy pequeño de cemento E, del total del cemento. Por lo tanto, es posible mantener unos activos en valor a la vez que se proporcionan nuevas y mejores soluciones para aquellos *casos en los que se requieran altas resistencias iniciales*.

REIVINDICACIONES

1. Una mezcla de cementos que comprende:

- 5 un cemento C, que es un cemento común según norma UNE-EN 197-1, con un cemento E, que es un Cemento Portland de tipo y categoría CEM I 52,5 R según norma UNE-EN 197-1 y que tiene también una distribución granulométrica con una finura Blaine superior a 6500 cm²/g, un contenido en silicato tricálcico, C3S, superior al 55% en peso y un contenido en aluminato tricálcico, C3A, superior al 4% e inferior al 25% en peso, y con una suma de ambos superior al 75% con una resistencia según UNE 196-1 a 1 día superior a 40 MPa y a 28 días superior a 65 MPa determinada utilizando 225±1 g de agua y la cantidad de superplastificante requerida para conseguir que el mortero tenga una consistencia de 200±5 mm de acuerdo con EN 1015-3, donde la proporción de cemento E en el total de la mezcla se encuentra en el intervalo de 0,5 % a 50 % en peso.

2. La mezcla de cementos según la reivindicación 1, en la que la proporción de cemento E en el total de la mezcla se encuentra en el intervalo de 0,5% a 30% en peso.

- 15 3. La mezcla de cementos según la reivindicación 1, en la que el cemento E tiene un porcentaje de C3S en el intervalo de 55% a 75% en peso y el contenido de C3A se encuentra en el intervalo de 10 a 25 % en peso.

- 20 4. La mezcla de cementos según la reivindicación 1, en la que el cemento E tiene un porcentaje de C3S en el intervalo de 75% a 90% en peso y el contenido de C3A se encuentra en el intervalo de 10 a 25 % en peso.

5. La mezcla de cementos según la reivindicación 1, en la que el cemento E tiene un porcentaje de C3S en el intervalo de 65% a 75% en peso y el contenido de C3A se encuentra en el intervalo de 4 a 10 % en peso.

- 25 6. La mezcla de cementos según la reivindicación 1, en la que el cemento E tiene un porcentaje de C3S es superior a 75% en peso y el contenido de C3A se encuentra en el intervalo de 4 a 10 % en peso.

7. Uso de las mezclas de las reivindicaciones 1 o 6 para la fabricación de hormigones, morteros y lechadas.

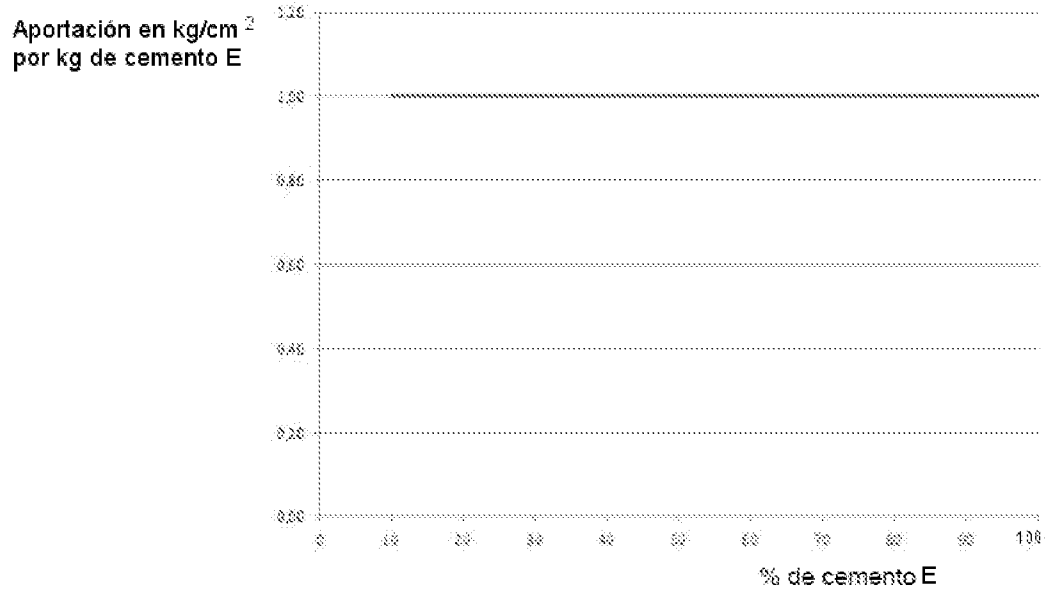


Figura 1a)

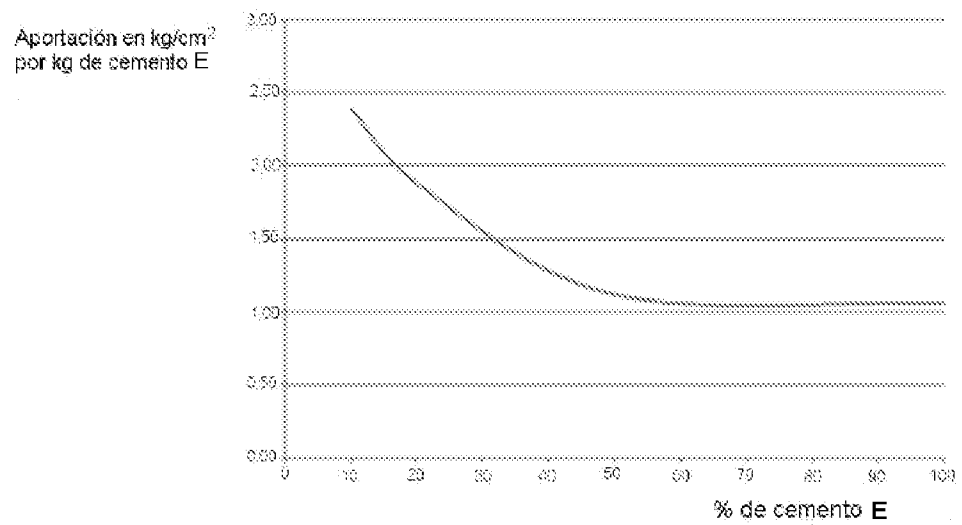


Figura 1b)

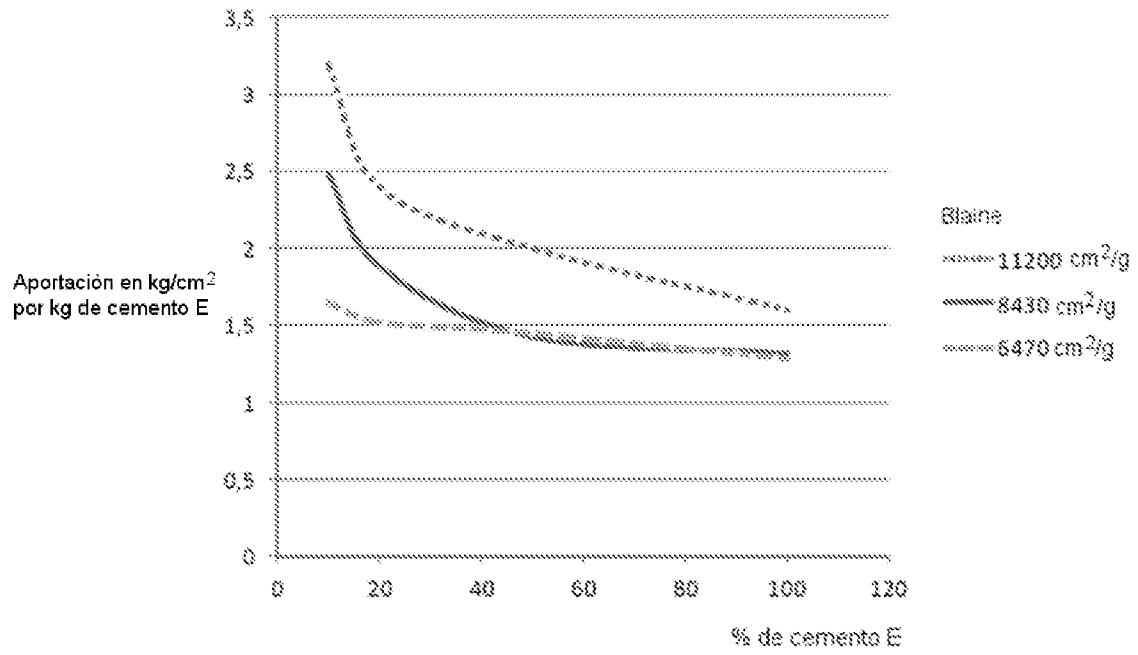


Figura 2