

**PROCEDIMIENTO DE PREPARACIÓN DE UNA MEZCLA DE MATERIAS PRIMAS QUE
COMPRENDE ÓXIDO DE CALCIO**

MEMORIA DESCRIPTIVA

5

La invención se refiere al campo de la industria vidriera. La fusión de los materiales que conforman el vidrio requiere de la aportación de una gran cantidad de energía. La temperatura del baño de vidrio es del orden de 1,300°C a 1,500°C. De acuerdo con una composición, el vidrio está diseñado para un uso doméstico directo, por ejemplo, vidrio para botellas, ventanas; o indirecto, por ejemplo, para placas vitrocerámicas; o industrial.

10

El horno está sujeto a restricciones térmicas o mecánicas muy elevadas. El horno está construido con revestimientos refractarios de alta calidad. Estos revestimientos refractarios son costosos y sensibles a ciertos componentes del vidrio que son susceptibles a la reacción química. Los revestimientos refractarios son conductores deficientes de calor, el calentamiento del baño de vidrio se lleva a cabo por medio de los mismos.

15

Entre el baño de vidrio y la parte superior del horno, llamada cúpula, se encuentra dispuesto un mechero de flama de combustible líquido o gaseoso. Esencialmente, el baño de vidrio es calentado por radiación. La temperatura de salida del gas es de 1,300 a 1,600°C, según el tipo de vidrio.

20

Además, a fabricación de vidrio libera grandes cantidades de gas. El gas en el baño de vidrio es vaciado durante varias horas para evitar la formación de burbujas en el vidrio. Para facilitar el vaciado de gas se puede utilizar aditivos de refinación, tal como los sulfatos. El horno funciona mediante lotes de vidrio de la composición elegida.

25

El gas de salida, emitido por el vaciado de gas y por la combustión, son evacuados por medio de una chimenea.

El solicitante tiene como objetivo una reducción mayor en el consumo de energía relacionada con la masa de vidrio producida.

30

En un vidrio sodocálcico, los materiales iniciales son principalmente de roca caliza, de sosa, por ejemplo, en la forma de carbonato de calcio Na_2CO_3 y de sílice en la forma de arena de calcio. La roca caliza y el carbonato de sodio son liberados del CO_2 durante la afinación del vidrio.

El documento JPS55100236 describe el uso de con el propósito de fabricar vidrio. Sin embargo, no se aborda una cantidad de obstáculos técnicos. El solicitante no tiene conocimiento de la implementación de una modalidad industrial de dicha tecnología.

35

La publicación US 2,084,328 describe una carga del horno para fabricar vidrio elaborada a partir de una dolomita y caolina mezcladas en un canal húmedo. La mezcla de dolomita y

caolina es calcinada, después es mezclada con la ceniza de sosa, de la arena y de la cal viva.

El documento US2005/0022557 describe una premezcla de Na_2CO_3 y SiO_2 y, al mismo tiempo, una premezcla de CaCO_3 y SiO_2 con prerreacción, seguido de una mezcla de las premezclas y de un complemento de SiO_2 , después de la introducirla en un horno para producción de vidrio.

5 El documento US2012/0216574 se refiere a un método de fabricación de vidrio que comprende la calcinación de CaCO_3 para formar CaO , la formación de un vidrio de Na_2SiO_3 en fase líquida, y la mezcla en fase líquida de CaO y de Na_2SiO_3 para formar un vidrio sodocálcico.

Además, la solicitante tiene conocimiento de un seminario titulado "Glass Trend Seminar" del 18 y 19 de octubre en Eindhoven impartido por MM. Hande Sesigür, Melek Orhon, Banu Arslan de la sociedad SISECAM que presentaron el documento "Alternative Raw Materials for Improving the Melting Properties in Glass Production" que reporta un ensayo para introducir un horno para producción de vidrio de roca caliza calcinada que resulta en una ligera reducción del consumo de energía, en una fusión más fácil, en un incremento de la corrida específica del horno pero a un precio de coste más elevado de la tonelada de vidrio producida, en una fuerte presencia de flotantes por encima del baño de vidrio, en una corrosión incrementada de las paredes del horno y en problemas de adhesión entre partículas.

La solicitante llevó a cabo las pruebas. El reemplazo de roca caliza por cal viva en los materiales de fabricación de vidrio supone diferentes dificultades, principalmente relacionadas con la radiactividad de la cal con la humedad del aire. El balance económico de la cal es menos favorable que el de la roca caliza a pesar de un reducido tonelaje transportado y manipulado. Además, una cal de granulometría fuerte es de fusión lenta en el baño de vidrio y puede dejar defectos de fusión. Una cal de granulometría débil genera flotantes arrastrados por el gas de combustión. Una parte de la cal se pierde y atasca los conductos de humo corriente abajo del horno.

A pesar de estos obstáculos, la solicitante continuó y desarrolló una mezcla de materia prima de vidrio. Una dificultad aparece durante la preparación de la mezcla. En ausencia del agua, la mezcla polvorienta no tiene sujeción y genera flotantes en gran cantidad. Pero el agua y la cal reaccionan en conjunto de manera exotérmica. La temperatura alcanzada produce una mezcla difícil de manipular.

La solicitante ha desarrollado un método para preparar una mezcla precursora que provee una mezcla con bajo calentamiento y una generación débil de flotantes, véase la publicación WO2019002802. La granulometría de los componentes aportados a la mezcla es sustancialmente conservada con excepción de que las manipulaciones mecánicas de transferencia pueden generar un efecto de molienda que reduce ligeramente la granulometría. Dicha mezcla introducida en un horno para producción de vidrio permite reducir la energía requerida para la producción de vidrio y de la cantidad de CO_2 liberado en el orden de 3 a 6%. Además, la duración de la fundición de la mezcla es

inferior a la duración confirmada durante el uso de carbonato de calcio. Esto resulta en un aumento en la producción del horno, se traduce también en una caída complementaria en el consumo de energía del orden de 4 a 6%.

La solicitante continuó con su investigación con el objetivo de comprender el fenómeno de generación de flotantes. Para una cinética elevada de la fusión, en consecuencia, se utilizó una cal fina para la adecuación en la oferta de quemador. Sin embargo, en el taller de preparación de mezclas y en el circuito de transportación de la composición preparada, el inconveniente surgió del polvo emitido al aire ambiental. Se emplea un circuito de eliminación de polvo. Sin embargo, el circuito de recolección de recolección de polvo se obstruyó con cal fina, adherible y, por lo tanto, inestable con el transcurso del tiempo.

La invención va a mejorar la situación.

La invención propone un método para fabricar un vidrio que comprende preparar una mezcla de materias primas de vidrio para un horno de producción de vidrio, en el que se mezcla agua, arena, carbonato de sodio en las proporciones en masa comprendidas entre 0 y 5 %, 40 y 65 %, y más de 0 y aún más de 25 % respectivamente, y de materias primas secundarias para vidrio y, en un plazo menor a 10 minutos, de preferencia simultáneamente, se agrega el óxido de calcio y, eventualmente, el carbonato de calcio en una proporción en masa comprendida entre 1 y 20% del total, el óxido de calcio posee una granulometría tal que más de 97% en masa no pasa por el tamiz de 0.125 mm, más de 96% en masa no pasa por el tamiz de 0.5 mm, de preferencia, más de 95% en masa no pasa por el tamiz de 1 mm.

En una modalidad, las materias primas secundarias para vidrio comprenden al menos uno de entre: Al_2O_3 , MgO , K_2O , BaO , CeO_2 , Er_2O_3 , TiO_2 , B_2O_3 , ZnO , SrO , SnO_2 .

En una modalidad, la preparación de la mezcla se lleva a cabo sin aportación de calor.

En una modalidad, las materias primas son polvorizadas.

En una modalidad, la granulometría es medida en un tamiz con malla cuadrada.

En una modalidad, dicho óxido de calcio posee una granulometría d_{10} comprendida entre 0.5 y 2 mm, y d_{90} comprendida entre 3 y 4.5 mm.

En una modalidad, dicho óxido de calcio está formado por granos con un espesor comprendido entre 20 y 60% de longitud y ancho. Se puede llevar a cabo un cribado para medir la granulometría de los granos extendidos.

En una modalidad, dicho óxido de calcio está formado en granos con un ancho de 10 mm.

En una modalidad, dicho óxido de calcio está formado por granos con un espesor inferior a 3 mm.

En una modalidad, dicho óxido de calcio está formado por granos con un largo inferior

a 15 mm para 90% de los granos.

En una modalidad, dicha mezcla de agua, arena, óxido de calcio y carbonato de sodio, posee como máximo 5% de humedad.

En una modalidad, el carbonato de sodio presenta una granulometría de la que menos de 5% pasa por el tamiz de 0.0075 mm, menos de 15% pasa por el tamiz de 0.150 mm y menos de 5% no pasa por el tamiz de 0.600 mm.

En una modalidad, dicha mezcla de agua, arena y carbonato de sodio tiene al menos 3% de humedad, con carbonato de sodio de una granulometría mayormente superior a 0.500 mm e inferior a 1,000 mm.

En una modalidad, dicha mezcla de agua, arena y carbonato de sodio tiene al menos 2% de humedad, con carbonato de sodio de una granulometría mayormente inferior a 0.250 mm.

En una modalidad, dicho óxido de calcio comprende en masa menos de 1,000 ppm de Fe_2O_3 , de preferencia, menos de 900 ppm, más preferiblemente, menos de 850 ppm.

En una modalidad, la temperatura inicial de materias primas es de al menos 30°C. La velocidad de hidratación del carbonato de sodio incrementa.

En una modalidad, el óxido de calcio presenta una granulometría tal que, más de 98% en masa no pasa por el tamiz de 0.008 mm.

En una modalidad, el óxido de calcio presenta una granulometría tal que, más de 97.5% en masa no pasa por el tamiz de 0.2 mm.

En una modalidad, el óxido de calcio presenta una granulometría tal que, más de 97.5% en masa no pasa por el tamiz de 0.5 mm.

En una modalidad, el óxido de calcio presenta una granulometría tal que, más de 98% en masa no pasa por el tamiz de 0.125 mm.

En una modalidad, el óxido de calcio presenta una granulometría tal que, más de 97% en masa no pasa por el tamiz de 1 mm.

En una modalidad, el óxido de calcio presenta una granulometría d_{50} comprendida entre 1 y 4 mm, de preferencia, entre 1.5 y 5 mm, más preferiblemente entre 2 y 3.25 mm.

En una modalidad, dicha arena es seca. La cantidad de agua aportada está bien controlada. En la variante sin aportación de agua, asociada de preferencia con una granulometría media o fuerte, se reduce el consumo de energía. La arena es considerada como seca a una humedad inferior a 0.1%. La arena se puede secar mediante calentamiento a una temperatura de 15 a 20°C por debajo de la temperatura ambiente.

En una modalidad, el agua está presente en dicha arena, de preferencia de 3 a 6% en masa. Al menos 3% evita un secado de arena. Al menos 4.8% es favorable para un calentamiento lento. A menos 6% es favorable para una baja formación de polvo. Se evita el costo de agregar agua

voluntariamente.

En una modalidad, el óxido de calcio carece de adición voluntaria de óxido de aluminio. El óxido de aluminio puede ser agregado durante la mezcla.

En una modalidad, se agrega vidrio desecho a la mezcla de materias primas, antes o después de agregar óxido de calcio, en una proporción en masa que comprende entre 5 y 40% del total. El vidrio desecho puede provenir de lotes de vidrio degradado. Los lotes son de una composición conocida, de manera que las cantidades de otras materias primas se ajusta a la cantidad del vidrio deseado.

En una modalidad, la mezcla de materias primas se prepara en estado sólido. En el caso de una papilla se evita la evaporación de agua. Se evita el consumo de energía de una fusión previa de las materias primas.

En una modalidad, la mezcla de materias primas se prepara a una temperatura comprendida entre la temperatura ambiente y la temperatura ambiente aumentada en 20°C.

En una modalidad, la mezcla de materias primas se prepara a una temperatura comprendida entre +0 y +35°C de la temperatura previa del agua, de la arena, del carbonato de arena y del óxido de calcio. Un promedio ponderado puede ser tomado como temperatura previa.

En una modalidad, la mezcla de materias primas es preparada sin aportar energía térmica. Se evita una desecación de la mezcla, lo que genera partículas finas y flotantes.

En una modalidad, dicha mezcla es metida al horno en un horno eléctrico.

En una modalidad, se suministra una mezcla de agua, arena y de óxido de calcio y, eventualmente, de carbonato de calcio a un horno para fabricación de vidrio, el óxido de calcio se encuentra en una proporción de masa comprendida entre 1 y 20% del total de la mezcla, y la mezcla se pone en fusión mediante al menos un mechero de flama dirigido hacia la mezcla. Dicho mechero ofrece un buen rendimiento y un efecto de recubrimiento de los flotante hacia la superficie del baño de vidrio en el transcurso de la fusión o fundido:

En una modalidad, el carburante proporcionado al mechero es oxígeno. El efecto de recubrimiento de los flotantes aumenta.

En una modalidad, el agua, la arena, el carbonato de sodio y el óxido de calcio y, eventualmente, el carbonato de calcio está presentes en proporciones en masa comprendidas entre 0 y 5%, 40 y 65%, 1 y 25%, y 1 y 20 % respectivamente para 25% de vidrio pulverizado agregado. La proporción de vidrio pulverizado puede variar al ajustar las proporciones mencionadas.

En una modalidad, la descarbonización de Na_2CO_3 se lleva a cabo en el horno para fabricación de vidrio en fase líquida.

En general, la mezcla de materias primas se entiende como materias primas para vidrio.

Otras características y ventajas de la invención serán evidentes tras estudiar la siguiente descripción detallada y de los dibujos adjuntos, en los que:

La figura 1 es un diagrama de las mediciones de aire ambiente tomadas del fundidor de horno con los lotes de cal viva de prueba.

5 La figura 2 es un diagrama de las mediciones de aire ambiente tomadas bajo la tolva del horno, a nivel de los pasajes vibrantes con los lotes de cal viva de prueba.

La figura 3 es una curva de evolución de la temperatura de las mezclas vitrificables de acuerdo con la cal viva utilizada y con la tasa de humedad de la arena.

10 La figura 4 es una curva de evolución de la cantidad de flotantes recuperados durante los ensayos de laboratorio de acuerdo con la cal viva utilizada y la tasa de humedad de la arena.

Por lo tanto, los dibujos adjuntos pueden no solo servir para comprender mejor la presente invención, sino también contribuyen a su definición, según sea el caso.

Además de las pruebas reportadas en la publicación WO2019002802, se llevan a cabo otras pruebas.

15 La mayoría de los subsectores de la industria vidriera utilizan mezclas húmedas para limitar la volatilidad de la materia prima, en específico, carbonato de sodio o arena (sílice cristalina). El porcentaje de humedad objetivo varía entre una instalación y otra. En presencia de la humedad, la cal viva reacciona, lo que resulta en la liberación de calor bajo el efecto de la reacción de hidratación y en una generación incrementada de polvo. La cal es sujeta aún más a este fenómeno que la cal viva
20 o la cal anhidra. Estos flotantes son emitidos tanto durante la preparación de mezclas de la materia prima, en circuitos transportadores corriente arriba del horno, cuando la mezcla es introducida en el horno, pero también en el mismo horno; lo que finalmente genera la obstrucción de los regeneradores al depositarse en las pilas refractarias corriente abajo del horno.

Además, aunque se utiliza poco en la fabricación de vidrio, las cales disponibles en el
25 mercado son poco adecuadas para las necesidades específicas para el vidrio transparente:

- características químicas: pocas cales poseen un nivel adecuado de contenido de hierro para las necesidades, el hierro es un contaminante de hierro que degrada la decoloración y la transparencia del vidrio producido.

- la granulometría de cales vivas es, a menudo, muy fina (d50 comprendida entre 0.15
30 y 0.5 mm) para responder a las necesidades de las aplicaciones existentes, por ejemplo, metalúrgicas, químicas o agrícolas.

A través de su programa de investigación, el solicitante ha logrado utilizar este tipo de cal en sus hornos para fabricación de vidrio.

35 El solicitante ha identificado que las partículas de cal inferiores a 0.100 mm suponen un problema. Después, se identificó que reducir la proporción de pequeñas partículas, en caso de ser

necesario, al establecer el límite anterior a 0.100 mm, demostró ser ventajoso para un resultado estable y reproducible en emisiones de partículas flotantes. Después, varios lotes de cal fueron sometidos a pruebas:

- 2 lotes de granulometrías muy diferentes: el lote 1 posee una granulometría d10 inferior a 0.08 mm, d50 de 0.17 mm, y d90 de 3.18 mm, en tanto que el lote 2 posee una granulometría d10 inferior a 0.08 mm, d50 mayor a 2.5 mm y d90 de 3.76 mm. Las partículas presentan una forma con las tres dimensiones aproximadamente iguales. El lote 2 pareció haber sido particularmente impactado por la presencia de partículas bastante gruesas, las cuales no pasaron a través de un tamiz de 8 mm, lo que resulta en una fusión demasiado lenta.

10

CUADRO 1

Muestra	Cal, lote 1	
Diámetro del tamiz	medida	
mm	Porcentaje de rechazo	Porcentaje de acumulado
4	10.3	10.3
3.15	4.5	14.8
2	6.9	21.7
1	9.4	31.1
0.5	8.5	39.6
0.2	13.5	53.1
0.125	26.5	79.6
0.08	3.7	83.3
resto	16.6	99.9

CUADRO 2

Muestra	Cal, lote 2	
Diámetro del tamiz	medida	
mm	Porcentaje de rechazo	Porcentaje de acumulado
4	34.9	34.9
3.15	15.2	50.1
2	12.4	62.5
1	10	72.5
0.5	5.4	77.9
0.2	4.6	82.5
0.125	2.5	85
0.08	2.4	87.4
resto	12.5	99.9

15

Después de eliminar en laboratorio las partículas más grandes por medio de tamizaje,

el espectro del tamaño de partículas del lote 2 tamizado, con un tamaño de partícula d10 menor a 0.08 mm, d50 de 0.19 mm, y d90 de 1.9 mm, es similar al del lote 1.

CUADRO 3

Muestra	cal viva, lote 2, tamizado de 5 mm	
Diámetro del tamiz	medida	
mm	Porcentaje de rechazo	Porcentaje de acumulado
4	2.5	2.5
3.15	4.3	6.8
2	10.8	17.6
1	15.4	33
0.5	12.4	45.4
0.2	14.2	59.6
0.125	7	66.6
0.08	8.3	74.9
resto	25	99.9

5

Un lote núm. 3 de granos de cal viva con una granulometría inferior a 3.6 mm. Las partículas presentaron una forma en la que las tres dimensiones son aproximadamente iguales. La taza de las partículas finas es igual a las del lote núm. 4.

Un lote núm. 4f de granos de cal viva de forma plana. En otras palabras, el grosor es del orden de 20 a 60% de longitud y de ancho. El largo es inferior a 10 mm. El grosor es inferior a 3 mm. El ancho es generalmente inferior a 15 mm.

Pruebas industriales

Para confirmar el impacto de esas granulometrías en el sitio de producción, las pruebas se llevan a cabo en un horno de producción con los lotes 1 a 4 mencionados anteriormente.

La cal viva es introducida conforme a la publicación WO2019002802. Se midieron el impacto en las emisiones de partículas flotantes en el entorno de trabajo.

CUADRO 4

	Horno			Colores vibrantes		
	Inhalable [10 ⁻⁶ g/m3]	Torácico [10 ⁻⁶ g/m3]	Alveolar [10 ⁻⁶ g/m3]	Inhalable [10 ⁻⁶ g/m3]	Torácico [10 ⁻⁶ g/m3]	Alveolar [10 ⁻⁶ g/m3]
Cal de referencia	2604	788	217	2065	1132	432
Cal, lotes 1 y 2	936	519	154	4034	1740	453
Cal, lote 3	825	239	103	208	134	70
Cal, lote 4	121	68	38	379	174	78

- Los lotes 1 y 2 no permiten garantizar una mejora sustancial de emisiones de partículas flotantes. Si el equilibrio es favorable para la entrada de materiales en el horno, el nivel de emisión a nivel de los corredores de alimentación queda sin cambio o es degradado, según se ilustra anteriormente. La fracción de partículas finas es identificada como la causa de este problema.

5 - El lote 3 presenta emisiones de partículas flotantes de interés, sobre todo en proximidad de colores vibrantes, entre 85 y 95% de reducción de partículas flotantes inhalables, y entre 80 y 90% de reducción de partículas flotantes alveolares definidas de acuerdo con la lista de control técnica ed984 de INRS, 4a edición, octubre de 2016, ISBN 978-2-7389-2240-3.

10 - El lote 4 presenta emisiones de partículas flotantes de interés, sin importar la ubicación en la que se lleva a cabo la medición: más de 80% de reducción de partículas flotantes inhalables, y más de 80% de reducción de partículas flotantes alveolares según se definen anteriormente.

Con respecto a los resultados, se seleccionó el lote 4.

15 Las pruebas a mayor plazo se organizaron con un tamaño de partícula del lote 4 para, así también, tener una visión más completa del comportamiento de este material en el horno, y para calcular el impacto de este nuevo tamaño de partícula sobre el tonelaje producido y el consumo de energía observado con su variante finamente molida:

Fase 1: introducción conforme a la publicación WO2019002802.

20

CUADRO 5

Muestra	Cal, lote 4			
Diámetro del tamiz	Medida 1		Medida 2	
mm	Porcenta je de rechazo	Porcentaje de rechazo acumulado	Porcenta je de rechazo	Porcentaje de rechazo acumulado
4	9.4	9.4	22.3	22.3
3.15	23.6	33	41.6	63.9
2	45	78	31.9	95.8
1	19.3	97.3	2.5	98.3
0.5	0.4	97.7	0.5	98.8
0.2	0.2	97.9	0.2	99
0.125	0.2	98.1	0.1	99.1
0.08	0.3	98.4	0.2	99.3
resto	1	99.4	0.2	99.5

Las mediciones 1 y 2 se llevan a cabo al tomar muestras de dos subdivisiones del mismo lote de cal, las cuales se mezclaron y, después, se colocaron en el horno. La taza de partículas finas menores a 0.20 mm es menor a 2.5%. La taza de partículas finas menores a 0.125 mm es menor

a 2.0%.

Los principales aprendizajes de esta prueba son los siguientes:

5 Tonelaje diario alcanzado: incremento en comparación con el mismo vidrio obtenido a partir de piedra caliza en ausencia de cal viva. El desempeño del tonelaje diario se conserva en comparación con una cal viva a pesar del incremento de la granulometría.

El consumo de energía por tonelada de vidrio fundido: sin incremento en el consumo del horno en relación con el incremento de granulometría de la materia prima, o incluso una ligera disminución de 3.46% con la cal viva del lote 4.

10 Los cuadros anteriores comparan 4 periodos diferentes, los cuales toman la cal viva del lote de referencia, del lote 3 y del lote 4. Todos los periodos de producción son con la misma tasa de fundición (25%) y con las mismas materias primas: arena, carbonato de sodio, etc. Durante estos 4 periodos, la producción diaria se estableció de acuerdo con las necesidades sin buscar ningún rendimiento en específico, la producción diaria del horno es de 110 toneladas/día mediante el uso de alimentación convencional con piedra caliza y sin cal viva.

15 El lote de referencia es una cal viva que posee una granulometría $d_{10} < 0.1 \text{ mm}$; $d_{50} < 0.1 \text{ mm}$; $d_{90} < 0.92 \text{ mm}$.

CUADRO 6

Lote de referencia

Día	Tonelaje	Consumo de energía
1	127.1	100.1%
2	127.1	100.2%
3	127.3	101.7%
4	128.2	99.6%
5	128.2	98.0%
6	126.7	99.9%
7	132.1	100.8%
8	134.7	99.7%
Promedio	128.9	100.0%

20

La producción llevada a cabo con la cal de referencia arrojó un promedio arrojado de 128.9 toneladas por día durante 8 días y un consumo de energía equivalente a gas metano y corregido para temperatura y presión normalizada a 100% en para comparación con lo siguiente. Los valores diarios no son muy representativos debido a la inercia significativa y al tiempo de residencia de los materiales en el horno; los promedios durante 5 días o más proporcionan indicios interesantes.

25

CUADRO 7**Lote 3**

Día	Tonelaje	Consumo de energía
1	135.0	97.7%
2	134.0	102.1%
3	131.8	103.4%
4	131.3	100.4%
5	121.2	104.0%
6	133.7	96.1%
Promedio	131.2	100.6%

- La producción llevada a cabo con la cal del lote 3 arrojó 131.2 toneladas por día durante 5 días y un consumo de energía por tonelada de gas fundido de 100.6% en comparación con la cal de referencia. La diferencia de consumo no es muy significativa salvo que se esperaba que el consumo fuer muy ligeramente menor a 100%. De hecho, con materias primas idéntica, una mayor producción implica mayor cinética de fundición sin implicar pérdidas térmicas del horno, lo que incrementa en la misma proporción, por lo tanto, menor consumo de energía por tonelada de vidrio fundido. Al presionar más, se comprende que mantener el horno a una temperatura de nula producción, consume energía y que, además, mientras más aumenta la producción, mayor será dividido este valor de energía de mantenimiento entre un mayor número de toneladas, lo que da un menor consumo de energía inferior por tonelada de vidrio fundido.

15

CUADRO 8**Lote 4**

Día	Tonelaje	Consumo de energía
1	116.4	99.4%
2	120.2	104.1%
3	128.3	97.0%
4	128.2	103.6%
5	125.7	100.1%
6	127.2	99.3%
Promedio	124.3	100.6%

La producción llevada a cabo con la cal del lote 4 durante los días 1 a 6 arrojaron una producción de 124.3 toneladas por día y un consumo de energía por tonelada de vidrio fundido de

100.6%. En comparación con la cal de referencia, el consumo de energía por tonelada es muy próximo y el resultado inferior en 3.57%, en tanto que se esperó que el consumo de energía incrementara en varios puntos. En relación con el lote 3, el consumo de energía por tonelada es idéntico y la salida disminuyó en 5.53%. Para dicha reducción de salida, se esperó que el consumo de energía por

5 tonelada incrementara de manera significativa.

CUADRO 9

Día	Tonelaje	Consumo de energía
7	138.0	92.3%
8	138.0	91.7%
9	120.0	106.5%
10	123.0	103.8%
11	132.0	101.4%
12	138.0	93.6%
13	138.0	93.8%
14	138.0	93.4%
15	135.0	93.5%
16	125.0	99.1%
17	125.0	99.8%
18	125.0	97.7%
Promedio	131.3	97.2%

La producción llevada a cabo con la cal del lote 4 durante los días 7 a 8 arrojaron una

10 producción de 131.3 toneladas por día y un consumo de energía por tonelada de vidrio fundido de 97.2%. En relación con la cal de referencia, el consumo de energía por tonelada se redujo en 2.8%, y el resultado es superior en 1.86%

En relación con el lote 3, el resultado es sustancialmente idéntico y el consumo de energía por tonelada se redujo en 3.40 puntos porcentuales. Tal disminución de consumo de energía

15 por tonelada es inesperada.

Desde otro punto de vista, asumir que el consumo de energía por tonelada evoluciona de manera lineal con el resultado, un resultado de 128.9 toneladas correspondería a un consumo de energía por tonelada de 98.4 % o una caída en 1.60 puntos porcentuales. Sin embargo, en la industria vidriera se considera que una materia prima más gruesa toma mayor tiempo para fundirse que una

20 materia prima fina y, por lo tanto, requiere de mayor energía por tonelada de vidrio fundido. Este comportamiento esperado es ilustrado con el lote 3, para el que el resultado incrementado en 1.78% observó un incremento de consumo de energía por tonelada en 0.6%. Se esperó el mismo

comportamiento para el lote 4. Sin embargo, el consumo de energía por tonelada del lote 4 disminuyó en 3.40 puntos porcentuales en relación con el lote 3. Esta diferencia es considerable y difícil de explicar. Una hipótesis es la de mejor transmisión de calor dentro de la materia prima, relacionada con la forma plana de los granos de cal.

5 La temperatura de la composición en la tolva diaria de composición es menor con el lote 4 que con el lote de referencia. La temperatura es del orden de 37/38°C. Claramente disminuyen las emisiones de partículas flotantes en el aire ambiental. Las emisiones de polvo en el horno son valoradas mediante una medición durante 24 horas al utilizar una paleta enfriada y colocada en la parte superior de los regeneradores.

10 En promedio, durante esta prueba de cal viva del lote 4, se recolectaron 84 mg de partículas flotantes en esta paleta, en comparación con un promedio en cal viva del lote de referencia de 100 mg/tonelada de vidrio fundido. Además, el análisis clínico de las partículas flotantes recolectadas muestra una caída en 50% en su contenido de CaO, lo que demuestra que esta diferencia en volatilidad proviene de un cambio en el comportamiento de la cal viva en el horno.

15 Después se preparó una prueba industrial A. Las mezclas idénticas son preparadas con la cal viva del lote 4. Esta vez, la cal viva se introdujo directamente en los mezcladores, sin respetar el retraso de introducción planteado por WO2019002802 y suministrada al mismo horno. La temperatura de la composición fue medida a 22°C en los mezcladores, a 25°C en el camión de transporte al salir del taller, y a 27°C en la tolva receptora de los camiones de horno. No hubo ninguna
20 emisión notable de partículas volátiles al vaciar el camión en la tolva. Estas mezclas fueron introducidas en el horno, con una temperatura de composición medida a 37°C, sin ocasionar ningún problema en el horno. La prueba corresponde a aproximadamente 2 horas de operación del horno.

 Durante la prueba B, se llevó a cabo una alimentación continua de aproximadamente 30 horas en de alimentación continua para una composición idéntica. La preparación de mezclas se
25 llevó a cabo con la cal viva del lote 4 sin tiempo inactivo para que la cal viva entrara en contacto con el resto de la materia prima. Esta prueba a largo plazo hizo posible confirmar las buenas condiciones para la manipulación de las mezclas tanto en el taller de la composición como en el sector de producción (sin emisiones de partículas flotantes en los transportadores, elevadores, corredores vibrantes, cargador etc.) y no se observó una ausencia en la elevación de temperatura ni en el taller
30 de la composición ni en el horno, ya sea que la medición se lleve a cabo en la tolva receptora de carga con temperaturas que varían de 25 a 31°C o en la tolva diaria con temperaturas que varían de 30 a 45°C. Esta observación es válida cualquiera que sea el nivel de humedad objetivo en la composición: 1.4% al inicio de la prueba, 2.5% sobre las últimas 3 cargas.

 El continuo registro de la temperatura de la composición a nivel de la tolva
35 inmediatamente corriente arriba del horno mostró de manera simultánea una estabilidad incrementada

de este parámetro en comparación con la operación con cal viva del lote de referencia.

Durante esta prueba no se observó ninguna anomalía en la operación del horno.

Para completar estas pruebas industriales se llevaron a cabo experimentos en el laboratorio para confirmar el comportamiento de esta cal viva del lote núm. 4.

5 Estos estudios se llevaron a cabo al preparar una mezcla vitrificable de vidrio sodocálcico en una mezcladora de pruebas (mezclador de concreto) de acuerdo con el siguiente procedimiento

- Humidificar arena seca a un nivel deseado de humedad al agregar agua y mezclar durante 180 segundos.

10 - Agregar simultáneamente carbonato de sodio, alúmina, dolomita y cal viva a la arena humedecida y mezclar durante 120 segundos, sin tapar la mezcladora de concreto.

Todos los materiales fueron pesados para reproducir una mezcla sodocálcica estándar del solicitante a una escala reducida.

Se llevaron a cabo dos enfoques distintos y complementarios:

15 - Estudio de reacción de cal viva/materia prima húmeda: la temperatura de la mezcla vitrificable después de su reacción fue registrada al insertar un termopar en el centro de la materia. Las materias de inicio son las mismas para todas las pruebas. Para una bajo nivel de humedad de la arena de 1.3% y la cal del lote núm. 4 no se percibió ninguna reacción (curva fina punteada hace referencia a la "prueba 15" de la figura 3), lo que respalda las pruebas industriales. Este resultado se
20 compara con la curva para la cal de referencia a 1.6% de humedad en la arena (línea curva sólida que hace referencia a la "prueba 14") que alcanza los 40°C en aproximadamente 5 a 6 minutos. Al apuntar a una mayor humedad de la arena a 4.8% y la cal del lote núm. 4 se lleva a cabo una reacción exotérmica (curva de guiones largos, que hace referencia a la "prueba 17" de la figura 3) que alcanza los 40°C en aproximadamente 10 minutos. Este incremento es significativamente más lento que para
25 la cal viva del lote de referencia a 4% (curva de guiones mixtos que hace referencia a la "prueba 16") y 6% (curva de guiones largos que hace referencia a la "prueba 3") de humedad en la arena. Estas dos pruebas a la cal de referencia con 4% y 6% de humedad en la arena muestra una elevación fuerte y rápida de temperatura en pocos segundos. La prueba a 3% (curva de guiones cortos que hace referencia a la "prueba 3b") de humedad en la arena y cal de referencia, presenta un comportamiento
30 intermedio pero con mayor temperatura que la de la prueba 17 entre 10 y 16 minutos después de la mezcla. En otros temas, las temperaturas de 40, 50 y 60% se logran más rápido con la prueba 3b que con la prueba 17. La prueba de la cal del lote núm. 4 con humedad de hasta, al menos, 4.8% es adecuada para herramientas industriales.

Medición de liberación/emisión de partículas flotantes: se prepararon mezclas
35 mediante el uso del mismo procedimiento. Las emisiones de partículas flotantes de la mezcladora de

concreto fueron medidas al hacerla girar con regularidad (cada 15 minutos) para simular la manipulación de la composición (transporte, paso a través de un corredor vibrante, etc.). Esta medición se realizó al utilizar un dispositivo medidor de partículas flotantes, y durante una duración de aproximadamente 3.5 horas; la duración hace posible tomar en cuenta el almacenamiento temporal de la composición en órganos de almacenamiento antes de la alimentación al horno.

La comparación de las lecturas llevadas a cabo entre la cal viva del lote 4 muestra una mejora muy clara al utilizar cal viva del lote 4: ganancia de al menos 50% o incluso 90% en emisiones de partículas flotantes (las gráficas en la figura 4 se encuentran en la misma escala; la disminución en la amplitud de los picos que indican menos emisión de partículas flotantes) sin importar el porcentaje de agua en la arena, para valores de 3 y 6%. De esta manera, se considera un porcentaje de agua en la arena de entre 2 y, al menos, 7%.

Por lo tanto, la cal viva con bajo contenido de partículas provee ventajas para la preparación y manipulación de mezclas vitrificables al reducir de manera considerable las emisiones de partículas flotantes al aire ambiental. Su gran granulometría limita la reacción de hidratación exotérmica debido al área superficial expuesta más pequeña. De manera inesperada, la capa de la cal hidratada creada sobre la superficie de los granos de cal viva por contacto con el agua presente en otros materiales, en específico, la arena, parece no participar en la flotación en el suministro y en los órganos de almacenamiento ubicados corriente arriba del horno. Como resultado, dicha materia prima se puede utilizar sin respetar un tiempo de espera para que la cal viva entre en contacto con el resto de la materia prima húmeda.