Proceso de fabricación de puzolana con cambio de color y puzolana así obtenida

[001] La presente invención se refiere a un proceso de fabricación de puzolana artificial que tiene el color final gris, con la particularidad de una atmósfera controlada durante el proceso de activación de la puzolana.

ESTADO DE LA TÉCNICA

[002] El uso de material puzolánico como sustituto del clinker en la fabricación de cemento es de gran interés para las industrias de cemento, hormigón y mortero debido a las siguientes razones:

- Pozolana tiene un costo de producción más bajo que el clínker;
- La producción de puzolana tiene una tasa de emisión de CO_2 más baja que la producción de clínker;
- Existe una gran disponibilidad de material de arcilla para la producción de puzolana;
- La adición de puzolana al cemento reduce el calor de hidratación de la mezcla, lo que a su vez reduce la expansión de grandes bloques de hormigón, evitando en consecuencia rajaduras.

[003] En la actualidad, hay muchas formas de producir puzolana artificial a través de la activación térmica de las arcillas en un horno. Las técnicas ya conocidas para la activación de la arcilla se resumen a continuación.

[004] El documento BRPI 1002450-6 se refiere a un proceso de fabricación de puzolana artificial activada mediante la calcinación de arcilla en un horno horizontal, con la adición de un combustible sólido a temperaturas entre 300 y 900º C. Dentro del horno habrá una atmósfera reductora, con niveles de

monóxido de carbono (CO) que varían entre el 0,5% hasta el 3% y el tiempo de permanencia del material varía entre 40 y 70 minutos. El proceso de enfriamiento se realizará con aire a contracorriente o a temperatura ambiente. El proceso descrito tiende a reducir o eliminar el resultante color rojizo de la puzolana para las tonalidades entre marrón oscuro y gris claro. El proceso descrito ocurre en una atmósfera reductora con el 0,5% hasta el 3% de monóxido de carbono, lo que indica que habrá CO en la composición de los gases de escape del horno. No hay ninguna mención sobre el proceso de enfriamiento y sus consecuencias para el color final del material. La descripción no menciona ningún control sobre el color final exacto del producto.

[005] El documento BRPI 020453-9 se refiere a un proceso de fabricación de puzolana artificial, activada mediante la calcinación de una mezcla de arcilla caolinítica y piedra caliza a temperaturas entre 600 y 1000º C. El proceso descrito no proporciona información sobre qué tipo de horno se utiliza para la calcinación de arcilla y tampoco proporciona información sobre el proceso de enfriamiento del material. No se especifica qué tipo de enfriador se usa, ni la composición de la atmósfera requerida dentro del enfriador, ni la necesidad de ningún agente de enfriamiento adicional. El proceso descrito no especifica si existe algún control sobre el color final del material.

[006] El documento BRPI 1004045-5 se refiere a un proceso para controlar la calcinación de arcilla dentro de un horno horizontal giratorio, bajo atmósfera reductora, con o sin adición de combustible sólido. El proceso de enfriamiento puede realizarse con o sin aplicación directa de agua. El producto final se puede encontrar en tres colores distintos, de acuerdo con los procesos elegidos: (1) coloración rosada, si no se agrega combustible sólido durante la calcinación de

la arcilla y no se inyecta agua durante el enfriamiento; (2) color gris claro, si se agrega una pequeña cantidad de combustible sólido durante la calcinación de la arcilla y no se usa agua durante el proceso de enfriamiento; (3) color gris oscuro, si se agrega una gran cantidad de combustible sólido durante la calcinación de la arcilla y se inyecta agua durante el proceso de enfriamiento. El proceso descrito es capaz de generar una puzolana de color grisáceo solo mediante la adición de combustible sólido a la fase de calcinación, lo que significa que el monóxido de carbono estará en la composición de los gases de escape del horno. Además, la etapa de enfriamiento utiliza agua directamente sobre el material.

[007] El documento WO 2012/126696 se refiere a un proceso de fabricación de un sustituto de clínker en la producción de cemento que puede reemplazar del 10% hasta el 40% de clínker en la composición de cemento. El material referido está hecho de arcilla con una fracción de masa de hierro superior al 1,5% (base húmeda) y una fracción de masa de caolinita inferior al 40% (base húmeda). La calcinación de arcilla se realizará en un horno de lecho fluidizado o en un horno rotativo o en un calcinador ascendente o en una torre de ciclones, con atmósfera reductora, con gases de escape y con temperaturas entre 600 y 1000° C. El proceso de enfriamiento se realizará hasta que la temperatura sea inferior a 300° C, con la adición de un combustible líquido (generalmente aceite), que se gasifica durante el contacto con el material caliente y genera monóxido de carbono (CO), lo que contribuye al mantenimiento de una atmósfera reductora. El material final contendrá más del 90% de magnetita - Fe_3O_4 - fracción de masa (base húmeda), más del 0,1% de fracción de masa de CaO y ninguna cantidad de hematita - Fe_2O_3. El color final del material será gris. El proceso descrito hace uso de un combustible líquido (aceite) sobre el material caliente para mantener la atmósfera reductora durante el proceso de enfriamiento. Esta solución conduce a un sistema más complejo (tanque, bombas, válvulas) y generalmente el resultado es una operación más costosa, debido al mayor precio del combustible.

[008] El documento US 2012/0160135 se refiere a la fabricación de puzolana artificial mediante tratamiento térmico de materia prima a base de alúmina. El material resultante presenta un color gris claro o blanco. El proceso de calentamiento se realizará en un horno rotativo o un calcinador ascendente, con la adición de combustible líquido (aceite) hasta la temperatura de activación de la arcilla (entre 700 hasta 850° C). El proceso de enfriamiento se realizará bajo atmósfera reductora con la adición de combustible líquido (aceite) o una pulverización de agua sobre el material caliente, hasta que se alcance la temperatura de estabilización del color de la puzolana (entre 180 y 400° C). Una cantidad de la puzolana sintética generada se recircula de nuevo al proceso de calentamiento en el horno rotativo o el calcinador. El proceso descrito explica la adición de combustible líquido durante el proceso de enfriamiento y también el uso directo de agua sobre el material caliente.

[009] El documento US 2016/0304395 se refiere a la fabricación de material puzolánico para ser utilizado como sustituto del clínker en la composición de cemento. La metodología se basa en la calcinación de una mezcla que contiene arcilla y combustible sólido mineral (carbón) o una mezcla de arcilla y cenizas. El proceso de calentamiento se realizará en un horno rotativo o un horno de lecho fluidizado o una torre de calentamiento o un intercambiador de calor de suspensión neumática. Las temperaturas de calentamiento deberán estar preferentemente entre 700 y 900° C. El enfriamiento del material caliente se realizará en un enfriador rotativo o un enfriador de rejilla o un enfriador de lecho fluidizado o un enfriador vertical o un enfriador tipo rosca. El proceso descrito no proporciona detalles con respecto al proceso de enfriamiento.

[0010] Debe destacarse un punto importante con respecto a la presencia de monóxido de carbono (CO) en el escape de un proceso químico. El monóxido de carbono es un gas tóxico y contaminante que puede causar la muerte de las personas que lo inhalan durante un período prolongado. Por esta razón, las agencias ambientales exigen que el control de emisiones de CO se realice en todos los procesos industriales, especialmente los que queman combustibles fósiles, donde la presencia de este gas es más probable.

[0011] El uso de agua para el enfriamiento directo de la puzolana activada (por ejemplo, usando una pulverización de agua sobre el material caliente) tiene un efecto negativo de aumentar el consumo de calor en el proceso. El vapor de agua se genera dentro del enfriador y se aspira hacia el horno, elevando el flujo de gases de escape del horno y, en consecuencia, aumentando las pérdidas térmicas del proceso. Esto es lo que caracteriza el aumento de consumo de calor del horno

[0012] Además de la ineficiencia de los procesos de fabricación de las puzolanas existentes, el uso a gran escala todavía enfrenta una resistencia del mercado debido al color rojizo de las puzolanas con alto contenido de hierro.

[0013] Aunque el color no tenga influencia sobre las propiedades de resistencia de la puzolana, los cementos rojizos no son bien aceptados en el mercado de la construcción civil, puesto que el color rojo está asociado a la adición de tierra al cemento, lo que daría como resultado un material de baja calidad. Actualmente, todavía no existe una tecnología que sea económica y energéticamente eficiente para la activación de arcillas con alto contenido de hierro resultando en una puzolana grisácea de buena calidad.

Objetos de la Invención

[0014] El primer objeto de la presente invención es un proceso de fabricación mejorado de cementos basados en puzolanas.

[0015] El segundo objeto de la presente invención es un proceso de fabricación innovador de puzolana, que permite cambios controlados en el color del producto final.

[0016] El tercer objeto de la presente invención es un proceso de fabricación de cemento, mejorado y compatible con el medio ambiente, a base de puzolana, en el que la presencia de monóxido de carbono (CO)es eliminada en el escape del horno.

[0017] Otros objetos de la presente invención se delinearán en el breve reporte y en la descripción de una forma preferencial de proporcionar la invención.

Síntesis de la Invención

[0018] El proceso de esta invención consiste en un método para activación de arcillas y obtención de puzolana grisácea a partir de arcillas blancas, amarillas o rojizas y otras materias primas. El proceso de activación se realizará en un horno rotativo o en un "calcinador rápido" (en inglés "Flash Calciner") o en un horno de lecho fluidizado. Para realizar los procesos de activación y cambio de color de la manera deseada, la atmósfera del horno debe presentar una baja concentración de oxígeno (entre el 1% y el 5%), sin permitir el monóxido de carbono (CO) en los gases de escape del horno.

[0019] Por lo tanto, más particularmente, la presente invención se refiere a un proceso de fabricación de puzolana con cambio de color, que comprende los siguientes pasos:

- Calentamiento: consiste en calentar las materias primas a una temperatura entre 100 y 350° C hasta que el secado del material presente entre el 0% y el 5% de humedad.

- Mezcla: consiste en mezclar las materias primas secas originadas en la etapa de calentamiento, en una proporción de fracción de masa de combustible entre el 1% y el 5%, de acuerdo con el contenido de hematita en las materias primas.

- Calcinación: consiste en calentar una mezcla de combustible y materias primas secas a una temperatura entre 700 y 900° C, con una concentración de oxígeno entre el 1% y el 5%.

- Enfriamiento: consiste en una primera etapa de disminución rápida de la temperatura hasta 600° C y una segunda etapa de disminución lenta de la temperatura hasta 120° C.

[0020] Además, el proceso descrito en esta invención está particularmente definido por las reivindicaciones de 2 a 11.

[0021] Por último, la presente invención se refiere a una puzolana que se fabrica mediante lo definido en las reivindicaciones de 1 a 11.

Breve descripción de los dibujos

[0022] La presente invención se entenderá mejor con una descripción detallada de una forma preferencial (pero no la única) de la invención, que hace uso de las figuras adjuntas que no serán restrictivas.

- La figura 1 contiene un diagrama de las etapas de fabricación de puzolanas de acuerdo con la presente invención, con la adición de combustible sólido después de la etapa de calentamiento.

- La figura 2 contiene un diagrama de las etapas de fabricación de puzolanas de acuerdo con la presente invención, con la adición de combustible sólido antes de la etapa de calentamiento.

- La figura 3 contiene un diagrama de reacciones reductoras de hematita (Fe_2O_3) para magnetita (Fe_3O_4) de acuerdo con la cantidad de combustible sólido mezclado con el material.

- La figura 4 contiene el cuadro de la reacción de *Boudouard.*

Descripción Preferencial de la Invención

[0023] El proceso descrito en la presente invención tiene como objetivo obtener una puzolana activada grisácea que pueda sustituir parcialmente los componentes del cemento, mejorando o manteniendo las propiedades de resistencia del cemento, sin cambios en el color original del cemento, y manteniendo su valor comercial. Además, el proceso de esta invención es particularmente importante desde el punto de vista ambiental, una vez que elimina el monóxido de carbono de los gases de escape del horno.

[0024] La emisión de monóxido de carbono (CO) a través de los gases de escape a la atmósfera después del proceso de activación de la arcilla no es aceptable. Hay algunos procesos de activación de arcilla descritos en el estado de la técnica que presentan del 0,5% hasta el 3% (5000-30000 ppmv) de monóxido de carbono dentro de la atmósfera del horno, por ejemplo, como en el documento BRPI 1002450-6. Además de no presentar ninguna estimación de la fracción de

CO dentro del horno o dentro del enfriador o en la chimenea, todos los inventos de los documentos BRPI 1004045, WO 2012/126696 y US 2012/0160135 usan otro combustible (más ligero, como el aceite combustible) para mantener una atmósfera reductora durante el proceso de enfriamiento.

[0025] Las agencias ambientales son responsables por delimitar la emisión máxima permitida de monóxido de carbono por procesos industriales. El Consejo Nacional de Medio Ambiente de Brasil (CONAMA), por ejemplo, reglamenta las "Normas para la calidad del aire" en la resolución 03/90, que establece las concentraciones de contaminantes del aire que pueden afectar la salud, la seguridad y el bienestar de la población local, así como causar daños a la fauna y flora, a materiales y al ambiente en general. Esta resolución establece para el monóxido de carbono que una concentración promedio durante 8 horas de 10000 µg por metro cúbico de aire (9 ppm) no debe excederse más de una vez al año. También establece que una concentración promedio de monóxido de carbono durante 1 hora de 40000 µg por metro cúbico de aire (35 ppm) no debe excederse más de una vez al año. Otra resolución de CONAMA es la 264/99, que se refiere a la licencia de hornos rotativos de clínker que coprocesan los residuos. Esta resolución establece una emisión máxima de monóxido de carbono de 100 ppmv para el 7% de oxígeno. Un proceso que permite la emisión de monóxido de carbono entre 5000 y 30000 ppmv no se considera seguro para el medio ambiente. Por lo tanto, para que el proceso de activación de la arcilla sea ambientalmente seguro, el monóxido de carbono deberá ser eliminado de la composición de los gases de escape

[0026] En la industria, la forma más común de mitigar el CO de los gases de combustión es quemándolo en la presencia de aire. Este agotamiento conduce a un aumento en la temperatura del gas debido a la energía liberada por el proceso de combustión. El aumento de la temperatura de los gases de escape representa un desperdicio de energía y tiene como resultado un aumento del consumo de calor específico del horno. Consecuentemente, no se puede afirmar que un proceso de fabricación de puzolanas que elimine el monóxido de carbono mediante el aumento de la temperatura de los gases de combustión sea el más

eficiente. Por lo tanto, la presencia de monóxido de carbono (CO) en el escape del horno no es deseable, ya sea debido a los impactos ambientales o al aumento en el consumo de calor específico del horno.

[0027] El método de la presente invención consiste en las siguientes etapas: 1) calentamiento; 2) mezcla; 3) calcinación y 4) enfriamiento.

[0028] En la "etapa 1", el horno se alimenta con materias primas que contienen del 0% hasta el 50% de humedad. Estos materiales se calientan dentro del horno. El proceso de calentamiento se puede hacer de manera lenta, como ocurre en un horno rotativo (en el que el tiempo de permanencia es de aproximadamente una hora), o se puede hacer de manera rápida, como sucede en un lecho fluidizado o en un "calcinador rápido" (en inglés "Flash Calciner") (en el que el tiempo de permanencia es de solo unos segundos). El proceso de calentamiento continúa hasta que la temperatura alcanza entre 100 y 350° C, lo que permite el secado del material del 0% hasta el 5% de humedad. Durante esta etapa, todavía no hay preocupación por la concentración de oxígeno, porque la oxidación del material no es significativa en este rango de temperatura.

[0029] En la "etapa 2", las materias primas calientes se mezclan con un combustible sólido, en una proporción del 1% hasta el 5% de combustible (fracción en peso) de acuerdo con el nivel de hematita en la composición de la materia prima. Cuando los insumos exhiben un alto contenido de hematita (Fe_2O_3) ellos muestran el color rojizo, que se intensifica durante la calcinación debido a la alta temperatura que facilita la reacción de oxidación del hierro. La granulometría del combustible mezclado debe estar cerca de la granulometría de la materia prima. Las materias primas sólidas que se pueden aplicar en este caso son: carbón mineral, carbón vegetal, coque de petróleo, biomasa u otros residuos ricos en carbono. El combustible sólido es necesario puesto que el óxido de hierro contenido en la materia prima exige la presencia de carbono para reducirse a magnetita. Esta reducción química tiene lugar cuando la mezcla de arcilla y combustible sólido alcanza una temperatura de alrededor de 600° C. En niveles inferiores a esta temperatura, la generación de CO, controlada por el mecanismo de Boudouard ($C + CO_2 \rightarrow 2CO$), alcanza una tasa cinética mínima que activa el

proceso. La figura 3 muestra un diagrama de reacciones reductoras de hematita (Fe_2O_3) a magnetita (Fe_3O_4) de acuerdo con la cantidad de combustible sólido mezclado con el material. La figura 4 contiene el gráfico de reacción de Boudouard. El gráfico muestra que casi no hay formación de monóxido de carbono hasta la temperatura de 500° C. La generación de CO se vuelve más expresiva después de 600° C, favoreciendo el proceso reductor de la hematita.

[0030] En la "etapa 3" tiene lugar la activación de la materia prima. El agua se libera de la estructura cristalina de la materia prima y la reducción de la hematita conduce a un cambio en el color de la puzolana. La liberación de agua conduce a una estructura amorfa que activa la materia prima. La activación de la arcilla se lleva a cabo entre 700 y 900° C, cuando se elimina el agua cristalizado, causando una destrucción en la estructura cristalina del material, proporcionando a la puzolana actividad hidráulica. (La actividad hidráulica es la reactividad del aluminio u óxido de silicio contenido en la puzolana con óxidos de calcio del clínker o de la cal). Por lo tanto, la temperatura para la calcinación de arcilla puede variar de 700° C a 900° C, de acuerdo con su composición mineralógica. Además, durante esta etapa se produce el cambio de color de la materia prima, de rojizo a grisáceo. La hematita (Fe_2O_3) contenida en la arcilla reacciona con la atmósfera reductora, preferiblemente con monóxido de carbono, y se convierte en magnetita (Fe_3O_4), liberando dióxido de carbono (CO_2) en el proceso. La magnetita muestra un color parduzco o grisáceo. La reacción simplificada que ocurre se muestra a continuación:

$$3Fe_2O_3 + CO \rightarrow 2Fe_3O_4 + CO_2$$

[0031] En caso de que la "etapa 1" y la "etapa 3" se realicen en equipos separados (por ejemplo, en un horno rotatorio o un “secador rápido” (en inglés “flash dryer”), respectivamente), el combustible sólido se mezclará con arcilla justo después de que se haya calentado y secado, como se muestra en la figura 1. La cantidad de combustible sólido agregado a la mezcla varía entre el 1,5% y el 5% (fracción en peso) de acuerdo con el nivel de hematita contenido en la materia prima. La Tabla I muestra la cantidad necesaria de combustible sólido

que se agregará a la mezcla en función de la concentración de hematita en la arcilla.

Tabla I - Adición de combustible sólido de acuerdo con el contenido de hematita.

Hematita (Fe_2O_3) contenida en la materia prima	Fracción en masa de combustible sólido en la mezcla (*)
< 3%	No se hace necesario
3-5%	1,5%
5-8%	3,0%
8-12%	5,0%

(*) Estos valores se toman para un combustible de referencia con parámetro (% C_{fijo} +% Volátiles) = 90%; Utilice la relación entre el parámetro (% C_{fijo} +% volátiles) del combustible de referencia y el combustible efectivamente utilizado para corregir la cantidad de combustible que se mezclará con arcilla.

[0032] En caso de que las etapas de "calentamiento" y "calcinación" se realicen en el mismo equipo, el combustible sólido se agregará antes de la "etapa 1" para que se caliente y se seque al mismo tiempo que la materia prima. Este proceso se muestra en la figura 2.

[0033] Para maximizar los resultados de cambio de color, se debe mantener la atmósfera interna del horno con muy baja concentración de oxígeno (entre el 1 y el 5%). Una forma de lograr esta atmósfera reductora es mediante la combustión de combustibles sólidos, líquidos o gaseosos (que se alimentan en la "etapa 2") con un muy pequeño exceso de aire.

[0034] Un equipo que puede promover la combustión adecuada de muchos tipos de combustibles (sólidos y líquidos), especialmente en las condiciones críticas determinadas en la presente invención, es una precámara de combustión compacta, como se describe en el documento BRPI 1000417- 3, que se lo utiliza como referencia. Este equipo es capaz de quemar combustibles sólidos y líquidos en condiciones de bajo exceso de aire (contenido de oxígeno entre el 1 y el 5%).

Sin embargo, los resultados de la presente invención también se pueden lograr usando otro equipo similar.

[0035] La temperatura media de la puzolana no debe exceder los 900° C, que es la temperatura de formación de la mulita, una estructura cristalina estable que no tiene propiedades de activación como la puzolana. Para mantener el rango de temperatura correcto del proceso, se debe limitar la temperatura de los gases. Una forma de hacerlo sin la dilución con aire, lo que significa mantener una baja concentración de oxígeno, es mediante la recirculación de los gases de escape del sistema. En otras palabras, la combustión tiene lugar con un pequeño exceso de oxígeno y el control de la temperatura del proceso también se realiza con gases con poco oxígeno (y no con aire ambiente, como es habitual). De esta manera, todo el proceso en el interior del horno se realiza con baja disponibilidad de oxígeno, lo que contribuye para el cambio efectivo en el color del producto.

[0036] En la siguiente etapa ("etapa 4"), la puzolana que se generó en el horno y tenía el color modificado ahora entrará en un proceso de enfriamiento. La presente invención puede aplicarse para diferentes tipos de enfriadores: un enfriador rotativo, un enfriador de lecho fluidizado o un "enfriador rápido" (en inglés "flash cooler").

[0037] Durante el proceso de enfriamiento, se debe tener especial cuidado para no revertir el cambio de color que tuvo lugar dentro del horno, de lo contrario, el color del producto puede volver a ser rojizo.

[0038] Por la razón, explicada anteriormente, una característica obligatoria de la presente invención es que el proceso de enfriamiento se realizará en dos etapas: una etapa inicial que disminuye la temperatura de la puzolana rápidamente a 600° C y una etapa final que lleva la temperatura de la puzolana hasta 120º C. La presente invención sugiere que la primera etapa de enfriamiento puede aumentar el coeficiente de intercambio de calor mediante el uso indirecto de agua (por ejemplo, manteniendo el lado externo del tambor húmedo en un enfriador rotativo o "enfriador rápido" (en inglés "flash cooler"), o mediante el uso de un agua serpentina en un enfriador de lecho fluidizado). La segunda etapa de enfriamiento, por otro lado, se realizará con el uso de aire o una corriente de

gas con poco oxígeno (de los gases de recirculación). La necesidad de usar agua, así como una corriente de gas con baja concentración de oxígeno, depende del contenido de hematita que se encuentre en la materia prima. Los inventores definieron rangos para la aplicación de cada método de enfriamiento (uso directo de aire ambiente; uso indirecto de agua; uso directo de gases recirculados bajos en oxígeno). La Tabla II relaciona los métodos de enfriamiento aplicados según la concentración de hematita en la materia prima. Se puede verificar a partir de la Tabla II que hay un aumento en la sofisticación del proceso de enfriamiento, a medida que aumenta también la concentración de hematita de la materia prima. Esto se explica porque la reversión del color es más rápida e intensa a medida que la concentración de hematita de la puzolana caliente y la concentración de oxígeno del proceso de enfriamiento son más altas.

Tabla II - Condiciones de enfriamiento según la concentración de hematita en la materia prima.

Concentración de hematita (Fe_2O_3) en la materia prima	Técnica de Enfriamiento.
< 3%	Uso directo de aire ambiente
3-6%	Uso directo de gases recirculados
6-10%	Uso directo de aire ambiente y uso indirecto de agua
> 10%	Uso directo de gases recirculados y uso indirecto de agua

[0039] La puzolana artificial generada mediante el método descrito en este documento cumple con las siguientes normas:

- NBR 5736 Cemento Portland Puzolánico

- NBR 5737 Cemento Portland Resistente a Sulfato

- NBR 12653 Material Puzolánico

- NBR 5751 Material Puzolánico - Determinación de la actividad puzolánica - índice de actividad puzolánica con cal

- NBR 5752 Material puzolánico - Determinación de la actividad puzolánica con cemento

- NBR 5753 Cemento Portland - Ensayo de actividad puzolánica para cemento Portland Puzolánico

[0040] Las técnicas conocidas hasta la actualidad para producir puzolana artificial activada tienen cinco diferencias importantes con respecto a la técnica desarrollada por Dynamis:

(1) Aplicación directa de combustible líquido sobre el material caliente durante el proceso de enfriamiento, para permitir el cambio de color deseado; y / o

(2) Uso de combustibles sólidos durante la etapa de "calcinación", para mantener una atmósfera reductora dentro del horno, permitiendo la emisión de monóxido de carbono en los gases de escape del proceso; y / o

(3) Aplicación directa de agua sobre el material caliente durante el proceso de enfriamiento; y / o

(4) No hay generación de puzolana grisácea; y / o

(5) No hay control sobre el color final de la puzolana.