

PRODUCTOS DE ESCORIA GRANULADOS Y PROCESOS PARA SU
PRODUCCIÓN

CAMPO DE LA INVENCION

5 La presente descripción se relaciona a productos de escoria granulados, incluyendo apuntalantes, gránulos para techados y soportes de catalizadores y procesos para su producción.

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

10 La escoria es un subproducto de los procesos de producción de metales llevados a cabo en hornos metalúrgicos. Aunque la composición y cantidad de escoria producida es altamente dependiente en los procesos específicos, la escoria típicamente comprende una mezcla de
15 óxidos de metal con dióxido de silicio y se produce en cantidades que van desde aproximadamente 10 por ciento a diversas veces la cantidad de metal producido por el proceso.

 Durante la producción de metal, la escoria está
20 presente en el horno metalúrgico en forma fundida. La temperatura de la escoria depende en el proceso, pero puede ser en el orden de aproximadamente 1500-1600 grados Celsius. La escoria fundida se saca periódicamente del horno y típicamente se deja enfriar por aire y
25 solidificarse, con el calor perdido para el medio ambiente.

La escoria solidificada se puede procesar en un número de productos comerciales, tal como mezclas de concreto o material aislante fibroso, pero grandes cantidades de escoria continúan eliminándose como residuos.

5 Ha habido un interés reciente en el uso de escoria granulada como un material de cerámica en producción de aceite y gas o como gránulos para techados. Sin embargo, los costos involucrados en la transportación, molienda y/o refundiendo escoria solidificada para la producción de

10 tales materiales puede hacer estos usos económicamente poco atractivos.

Además, los procesos usados para convertir escoria a productos tales como agentes apuntalantes o gránulos para techados no son totalmente satisfactorios, y

15 pueden dar como resultado materiales los cuales no cumplen con uno o más requisitos del producto. Por ejemplo, se requiere que los agentes apuntalantes tengan propiedades específicas de resistencia, tamaño, forma y composición. Es difícil producir gránulos de escoria que tengan todas las

20 propiedades requeridas de agentes apuntalantes conservando al mismo tiempo el beneficio económico de la escoria, en lugar de otros materiales de partida.

Sigue existiendo la necesidad de procedimientos sencillos y económicamente viables para convertir la

25 escoria en productos granulares comercialmente viables y

para productos granulares tal como apuntalantes y gránulos de tejado producidos por tales procesos.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION

En una modalidad, se proporciona un proceso para
5 preparar gránulos de escoria sólidos de una composición de escoria fundida. El proceso comprende: (a) proporcionar la composición de escoria fundida; (b) convertir la composición de escoria fundida en los gránulos de escoria sólidos en un aparato de dispersión; y (c) clasificar los
10 gránulos de escoria sólidos por forma en un separador para producir una pluralidad de fracciones que tienen esfericidad diferente.

En otra modalidad, se proporciona un producto de escoria granular que comprende una o más de las fracciones
15 de gránulos de escoria sólidos producidos por el proceso como se define en la presente. El producto de escoria granular puede comprender apuntalantes, gránulos para techados, soportes de catalizadores, puede ser poroso o no poroso y puede estar recubierto o no recubierto.

20 Aun en otra modalidad, el aparato de dispersión comprende un aparato de atomización, y la etapa de convertir la composición de escoria fundida en los gránulos de escoria sólidos comprende atomizar la composición de escoria fundida al hacer contacto la composición de escoria
25 fundida con una corriente de gas en el aparato de

dispersión. En algunas modalidades la corriente de gas comprende aire.

Aun en otra modalidad, el aparato de atomización comprende un ventilador, y la atomización de la composición de escoria fundida comprende usar el ventilador para soplar la corriente de gas en una corriente descendente de la composición de escoria fundida en el aparato de dispersión, separando así la corriente descendiente de la composición de escoria fundida en gotas las cuales se solidifican para formar los gránulos de escoria sólidos. En algunas modalidades, el ventilador se adapta para producir una presión total máxima de menos que aproximadamente 2.03 metros (80 pulgadas) de agua.

Aun en otra modalidad, los gránulos de escoria sólidos son no porosos.

Aun en otra modalidad, al menos una de las fracciones producidas por la clasificación consiste de los gránulos de escoria sólidos que tienen una esfericidad promedio de mayor que 0.6. En algunas modalidades, los gránulos de escoria sólidos tienen una esfericidad promedio y/o redondez de aproximadamente 0.7 a aproximadamente 0.9.

Aun en otra modalidad, al menos una de las fracciones producidas por la clasificación consiste de los gránulos de escoria sólidos que tienen una esfericidad promedio de menos que 0.6 que puede incluir gránulos

alargados. Los gránulos alargados pueden incluir gránulos en forma de mancuerna y/o gránulos en forma de mancuerna fracturados.

Aun en otra modalidad, el aparato de atomización
5 además comprende una placa de impacto, y al menos algunos de los gránulos de escoria sólidos se producen por gotas que se impactan en la placa de impacto, en donde los gránulos de escoria sólidos producidos por gotas que se impactan en la placa de impacto tienen una esfericidad
10 promedio de menos que 0.6.

Aun en otra modalidad, el proceso además comprende la etapa de clasificar los gránulos de escoria sólidos por densidad.

Aun en otra modalidad, el proceso además
15 comprende la etapa de mezclar la composición de escoria fundida con un aditivo que reduce la densidad antes de y/o de manera simultánea con la etapa de convertir la composición de escoria fundida en los gránulos de escoria sólidos en el aparato de dispersión. Los gránulos de
20 escoria sólidos producidos de acuerdo a esta modalidad pueden tener huecos internos. En algunas modalidades, la etapa de mezclar la composición de escoria fundida con el aditivo que reduce la densidad comprende inyectar el aditivo que reduce la densidad en la composición de escoria
25 fundida. El aditivo que reduce la densidad se puede

seleccionar del grupo que comprender agua líquida, vapor, carbón, un carbonato de metal y mezclas de dos o más de los mismos. En algunas modalidades, la etapa de mezclar la composición de escoria fundida con un aditivo que reduce la
5 densidad comprende expandir la composición de escoria fundida al inyectar agua y/o vapor en la composición de escoria fundida antes de la etapa de convertir la composición de escoria fundida en los gránulos de escoria sólidos.

10 Aun en otra modalidad, el proceso además comprende la etapa de recubrir al menos algo de los gránulos de escoria sólidos en un aparato de recubrimiento. En algunas modalidades, la etapa de recubrimiento comprende recubrir los gránulos de escoria sólidos con una
15 composición de recubrimiento seleccionada del grupo que comprende una composición de resina y una composición de cerámica. En algunas modalidades donde al menos una de las fracciones producidas por la clasificación consiste de los gránulos de escoria sólidos que tienen una esfericidad
20 promedio de mayor que 0.6, y donde la composición de recubrimiento comprende una composición de resina, la etapa de recubrimiento se puede llevar a cabo después de la etapa de clasificar los gránulos de escoria sólidos por forma.

 En algunas modalidades donde la etapa de
25 recubrimiento comprende combinar una composición de resina

con los gránulos de escoria sólidos, los gránulos de escoria sólidos se calientan a una temperatura suficiente para fundir la composición de resina, y el proceso además comprende voltear los gránulos de escoria sólidos con la
5 composición de resina para producir gránulos de escoria recubiertos con polímero.

En algunas modalidades donde la etapa de recubrimiento comprende combinar una composición de resina con los gránulos de escoria sólidos, el proceso además
10 puede comprender curar la composición de resina durante o después de la etapa de recubrimiento. La etapa de curación puede comprender reticulación de la composición de resina con un activador de reticulación, en donde el activador de reticulación se incluye en la composición de resina.

15 En modalidades donde al menos una de las fracciones producidas por la clasificación consiste de los gránulos de escoria sólidos que tienen una esfericidad promedio de mayor que 0.6, y al menos una de las fracciones producidas por la clasificación consisten de los gránulos
20 de escoria sólidos que tienen una esfericidad promedio de menos que 0.6, la relación de los gránulos de escoria sólidos que tienen una esfericidad promedio de mayor que 0.6 a gránulos de escoria sólidos que tienen una esfericidad promedio de menos que 0.6 es controlable al
25 ajustar uno o más de los siguientes parámetros: (a) la

temperatura de la composición de escoria fundida; y (b) un ángulo entre una corriente de gas y una corriente descendiente de la composición de escoria fundida, donde el aparato de dispersión comprende un aparato de atomización.

5 Aun en otra modalidad, donde la composición de escoria fundida comprende sin hierro, y donde el hierro metálico está sustancialmente oxidado en su totalidad durante la atomización de la composición de escoria fundida, tal que los gránulos de escoria sólidos son
10 sustancialmente no magnéticos.

 Aun en otra modalidad, el proceso además comprende las etapas de: (i) proporcionar la composición de escoria fundida en un horno metalúrgico; (ii) retirar la composición de escoria fundida del horno metalúrgico; (iii)
15 mientras se mantiene la composición de escoria fundida a una temperatura suficientemente alta para prevenir su solidificación, transportar la composición de escoria fundida al aparato de dispersión. En algunas modalidades, la composición metalúrgica de la composición de escoria
20 fundida permanece constante después de retirarse del horno y hasta que se convierta a los gránulos de escoria sólidos.

 Aun en otra modalidad, el dispositivo para separar los gránulos por forma comprende un separador en espiral.

25 Aun en otra modalidad, la composición de escoria

fundida esta sustancialmente libre de cal.

Aun en otra modalidad, la composición de escoria fundida es una escoria no ferrosa.

Aun en otra modalidad, se proporciona un producto
5 de escoria granular que comprende una o más de las
fracciones de gránulos de escoria sólidos producidos por el
proceso como se describe en la presente, que puede
comprender atomización por gas de una composición de
escoria fundida. El producto de escoria granular puede
10 comprender gránulos para techados, un apuntalante no
poroso, un producto de escoria granular poroso, un soporte
de catalizador, y/o un apuntalante recubierto. El producto
de escoria granular puede comprender gránulos de escoria
sólidos que tienen una esfericidad promedio de mayor que
15 0.6; gránulos de escoria sólidos recubiertos con una
composición de resina que está curada o parcialmente curada
de manera opcional; y/o gránulos de escoria sólidos que
tienen una esfericidad promedio de menos que 0.6.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

20 La invención ahora se describirá, a modo de
ejemplos solamente, con referencia a las figuras adjuntas,
en las que:

La Figura 1 es una ilustración esquemática de una
modalidad de un proceso como se describe en la presente;

25 Las Figuras 2A, 2B, 2C y 2D son fotografías de

gránulos de escoria recubiertos o no recubiertos producidos por un proceso como se describe en la presente, antes y después de la trituración, en donde la Figura 2A muestra gránulos de escoria 20/40 no recubiertos; la Figura 2B muestra gránulos de escoria 20/40 recubiertas de resina; la Figura 2C muestra gránulos de escoria 20/40 recubiertos de resina triturados a 703 kg/cm^2 (10,000 psi); y la Figura 2D muestra gránulos de escoria no recubiertos triturados a 703 kg/cm^2 (10,000 psi) (Figura 2D);

La Figura 3 muestra una imagen de microscopía electrónica de barrido en sección transversal de un gránulo de escoria recubierto de resina; y

Las Figuras 4A y 4B muestran imágenes de microscopía electrónica de barrido en sección transversal que comparan la suavidad, esfericidad y redondez de partícula apuntalante de cerámica convencional (Figura 4A) con un gránulo de escoria producido de acuerdo a un proceso como se describe en la presente (Figura 4B).

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

Lo siguiente es una descripción detallada de procesos para producir productos granulares comerciales de composiciones de escoria producidos por procesos metalúrgicos. Tres tipos de productos granulares descritos en la presente son: apuntalantes para la recuperación de aceite y gas, gránulos para techados y soportes de

catalizadores. Los apuntalantes son partículas que se inyectan en fisuras hidráulicas inducidas en el área que rodea un pocillo de aceite o gas para así prevenir que las fisuras se cierren y para proporcionar una vía porosa a través de la cual aceite o gas puedan entrar al pocillo. Se requieren que los apuntalantes tengan un número de propiedades, incluyendo alta resistencia a la compresión, resistencia a la solubilidad ácida, resistencia a la lixiviación y forma esférica.

Los gránulos para techados son partículas las cuales se aplican a las tejas de asfalto y revestimiento y que proporcionan a estos materiales de construcción su textura y apariencia características. Los gránulos para techados típicamente se proporcionan con recubrimientos cerámicos y pigmentos, que se aplican en un secador.

Los gránulos de escoria se pueden usar como soportes de catalizadores para diversos tipos de catalizadores y se pueden recubrir con partículas de catalizador para este propósito. Alternativamente, los propios gránulos pueden utilizarse como catalizadores, dependiendo en su composición. Cuando el catalizador está en forma de un lecho poroso de partículas, la esfericidad y distribución de tamaño de partícula son propiedades importantes de gránulos de escoria usadas para este propósito. También puede ser importante la porosidad de los

gránulos.

Aunque la siguiente descripción se limite a la producción de apuntalantes, gránulos para techados y soportes de catalizadores, se apreciará que los procesos descritos en la presente se pueden aplicar a la producción de una gran variedad de productos granulares, incluyendo abrasivos.

Los materiales de partida usados en los procesos descritos en la presente son composiciones de escoria. Típicamente estas composiciones de escoria son subproductos de procesos para la producción de metal. Las composiciones de escoria para usarse en los procesos descritos en la presente pueden tener diversas composiciones, dependiendo en los procesos de los cuales se originan.

Las composiciones de escoria usadas en la presente pueden ser ferrosas o no ferrosas. Las escorias ferrosas se producen en la fabricación de metal y típicamente comprenden cal, dióxido de silicio, alúmina y magnesia y también pueden comprender libre de hierro. Las escorias no ferrosas se producen en procesos de fundición de metal no ferrosos tal como cobre, níquel y grafito. Las escorias no ferrosas pueden comprender diversas cantidades de dióxido de silicio, óxido de hierro, magnesia y cal.

Cuando los gránulos de escoria descritos en la presente se usan como gránulos para techados, puede ser

deseable evitar las escorias ferrosas que contienen grandes cantidades de cal, debido a la tendencia de la cal a combinarse con agua para producir hidróxido de calcio, que puede reducir las características meteorológicas del tejado o revestimiento en donde se usan. Por lo tanto, se prefiere escoria que no es ferrosa y/o sustancialmente libre de cal donde los gránulos de escoria son para usarse como gránulos para techados.

Para maximizar la eficiencia en la producción de productos granulares como se describen en la presente, es deseable evitar trituración y/o fundición de la escoria que previamente se enfrió y se solidificó. Por lo tanto, en las modalidades descritas en la presente, una composición de escoria fundida producida durante un proceso de producción de metal se retira de un horno metalúrgico y se mantiene en un estado fundido a manera que se transfiere del horno a un aparato de dispersión. De esta manera, el proceso conserva el calor de la escoria fundida y reduce o elimina la necesidad de agregar energía térmica para conversión de la escoria fundida a gránulos sólidos, y también elimina la necesidad de moler mecánicamente la escoria. Se apreciará, sin embargo, que un número de beneficios de los procesos descritos en la presente no se basan en la conservación del calor de la escoria fundida, y que estos beneficios se realizarán independientemente de si el calor de la escoria

fundida se conservará, o si la escoria se le permite enfriarse y solidificarse antes de que se refunda y se convierta en gránulos sólidos.

Las Figura 1 es un diagrama esquemático que
5 ilustra procesos para producir apuntalantes, gránulos para techados y/o soportes de catalizadores.

La escoria dentro del horno se mantiene en un estado sólido, a una temperatura que es ligeramente por arriba de su temperatura de fusión. La temperatura de la
10 escoria fundida depende en el proceso específico, pero puede están en el intervalo de aproximadamente 1500-1600 grados Celsius en un proceso para la fabricación de metal, con la escoria sobrecalentada a aproximadamente 40-150 grados Celsius por arriba de su temperatura de fusión. La
15 temperatura de la escoria fundida puede ir de aproximadamente 1000-1700 grados Celsius para escorias no ferrosas. Sin embargo, se apreciará que los intervalos de la temperatura de la escoria, mencionados en la presente, no se limitan y dependen en el proceso de donde la escoria
20 se origina.

La escoria fundida se saca periódicamente del horno, y se saca directamente en un recipiente de escoria móvil o un lavador o corredor de escoria, en que la escoria fundida se transporta a otra área de la planta. Durante el
25 transporte, la escoria se mantiene en un estado sólido.

Típicamente la escoria se saca en una base intermitente.

En una modalidad, la escoria fundida se transfiere del recipiente de escoria a un aparato de dispersión, donde la escoria fundida se convierte a
5 gránulos de escoria sólidos. El aparato de dispersión puede comprender ya sea un aparato de peletización que incluye un tambor rotatorio, como se describe en el documento de Patente de los Estados Unidos con Nos. 3,584,142 y 5,944,861, o un aparato de atomización. Sin embargo, un
10 aparato de peletización típicamente producirá gránulos de escoria con diámetros que van de aproximadamente 0.15 a 13mm, con la mayoría de partículas teniendo diámetros dentro del intervalo 1.5 a 10 mm. Las partículas con estos diámetros son más adecuadas para usarse como agregado de
15 concreto.

La siguiente descripción se enfocará en modalidades en que el aparato de dispersión es un aparato de atomización en que la escoria fundida se atomiza por una corriente de gas, que puede comprender aire. La atomización
20 produce gránulos de escoria con una distribución de tamaño de partícula más pequeño y tamaño de partícula más estrecho que aquellos producidos por un peletizador, las partículas atomizadas siendo más adecuadas para usarse como apuntalantes y gránulos para techados.

25 El aparato de atomización puede comprender una

planta de atomización por gas que se ubica en estrecha proximidad al horno metalúrgico, para que la escoria se pueda mantener en un estado fundido a medida que se transfiere desde el horno a la planta de atomización por gas. Por ejemplo, la planta de atomización por gas y el horno pueden estar separados por una distancia de menos que aproximadamente 1 km.

En la modalidad actual, la escoria fundida se transfiere directamente del horno al aparato de atomización, para así minimizar la pérdida de calor y solidificación de la escoria fundida. En algunas modalidades, la escoria fundida no se somete a ningún procesamiento intermedio tal como adición de aditivos para alterar la composición o propiedades de la escoria fundida. Sin embargo, en otras modalidades, la escoria fundida se puede mezclar con un aditivo que reduce la densidad antes de y/o simultáneamente con la conversión de la escoria fundida en gránulos de escoria sólidos dentro del aparato de atomización.

Por ejemplo, en algunas modalidades el aditivo que reduce la densidad se puede inyectar en la composición de escoria fundida, y se puede seleccionar de uno o más de agua líquida, vapor, carbono o carbonato de metal. Mezclar la escoria fundida con un aditivo que reduce la densidad expande la escoria fundida, y la atomización de la escoria

expandida en el aparato de atomización da como resultado la producción de gránulos de escoria sólidos que tienen huecos internos, y por lo tanto son de baja densidad y mayor porosidad que los gránulos de escoria sólidos que se producen sin el uso de aditivos que reducen la densidad. La adición de agua típicamente da como resultado gránulos que tienen huecos internos y una superficie externa no porosa, mientras que la adición de carbono u óxido de metal típicamente da como resultado gránulos que tienen huecos internos y una superficie externa porosa. La habilidad de proporcionar densidad y porosidad adaptadas es ventajosa en la producción de apuntalantes y soportes de catalizadores.

Por ejemplo, en un aparato de atomización, un aditivo que reduce la densidad, tal como vapor o agua líquida, se puede incorporar en la corriente de gas con el fin de ajustar las propiedades y/o la composición de los gránulos de escoria sólidos. Otros aditivos posibles incluyen carbono y carbonatos de metal para alterar la densidad, porosidad y/o composición de los gránulos de escoria sólidos. También, se pueden agregar óxidos de metal a la corriente de gas para alterar la composición de los gránulos de escoria.

En algunas modalidades, puede ser ventajoso producir gránulos de escoria sólidos de baja porosidad para usarse como apuntalantes, gránulos para techados y/o

soportes de catalizadores. Por ejemplo, los inventores han encontrado que gránulos de escoria atomizados con gas, particularmente aquellos producidos de una composición de escoria fundida no expandida, tienen baja porosidad. Esto
5 puede ser ventajoso en casos donde los gránulos están recubiertos de manera subsecuente, como es el caso de los gránulos para techados (recubrimiento de cerámica y pigmento en un secador) y soportes de catalizadores, o en el caso de apuntalantes recubiertos, que se describirán
10 mejor más adelante. La baja porosidad es ventajosa ya que se espera que reduzca la cantidad de material de recubrimiento necesitada para proporcionar un recubrimiento uniforme.

Además, los inventores han encontrado que la
15 atomización por gas con un gas que contiene oxígeno tal como aire tiene a oxidar cualquier metal libre en la escoria, tal como hierro. Es ventajosa la reducción o eliminación de hierro libre en los gránulos de escoria ya que reduce las propiedades magnéticas de los gránulos y
20 reduce la tendencia de las partículas a oxidarse. Esto es deseable tanto para apuntalantes como gránulos para techados.

Dentro de la planta de atomización por gas, la escoria fundida se vierte del recipiente de escoria o se
25 lava y se permite caer a través de una cámara de

atomización en donde se sopla una corriente de gas de un ventilador. Cuando la corriente de gas hace contacto con la corriente fundida de escoria que cae, la escoria se separa de manera simultánea en gotas y se enfría a un estado sólido, de esta manera formando gránulos de escoria sólidos que caen a la parte inferior de la cámara.

La entrada de gas al ventilador puede comprender gas a presión ambiental en lugar de gas comprimido, que comúnmente se usa en procesos de atomización por aire de la técnica anterior. El uso de gas a presión ambiental permite que el aparato de atomización use un ventilador común en lugar de un sistema de inyección de gas comprimido relativamente complicado, más costoso. El ventilador puede ser del tipo que produce una presión total máxima de menos que aproximadamente 2.03 metros (80 pulgadas) de agua, o aproximadamente 20kPa.

Las partículas apuntalantes se requieren que sean esféricas, teniendo una esfericidad de mayor que aproximadamente 0.60. El presente proceso se puede optimizar para producir predominantemente gránulos de escoria sólidos que tienen alta esfericidad, adecuados para usarse como apuntalantes. Los parámetros los cuales se pueden ajustar para optimizar la producción de partículas esféricas incluyen la temperatura de la escoria fundida que entra la cámara de atomización; el ángulo de la corriente

de gas relativa a la corriente que cae de escoria fundida en la cámara de atomización; la anchura del lavado relativa al ancho de la boquilla de gas del ventilador; y la relación de gas/escoria.

5 Los gránulos de escoria sólidos producidos por el aparato de atomización se recuperan para un procesamiento adicional en un producto comercial. El aparato de atomización de baja presión producirá una cierta proporción de gránulos esféricos (definido en la presente como que
10 tiene una esfericidad mayor que 0.60) y una cierta proporción de gránulos no esféricos (definido en la presente como que tienen una esfericidad menor que 0.60).

 Con el fin de maximizar la producción de gránulos esféricos adecuados para usarse como apuntalantes, la
15 presente modalidad usa una etapa de separación de forma que separa los gránulos de escoria sólidos en al menos dos fracciones separadas. Una de estas fracciones predominantemente se comprende de gránulos de escoria esféricos y otra de las fracciones predominantemente se
20 comprende de gránulos de escoria no esféricos. Los inventores han encontrado que esta separación de forma es capaz de producir un producto de escoria granular que contiene una proporción de gránulos de escoria altamente esféricos. Por ejemplo, la esfericidad recomendada y
25 redondez de partículas apuntalantes es de 0.6 y es de 0.7

para apuntalantes de alta resistencia. Los inventores han encontrado que los gránulos esféricos de escoria sólidos producidos de acuerdo al presente proceso tienen una esfericidad y/o redondez mayo que aproximadamente 0.90 como se define por la gráfica Krumbein and Sloss, como se muestra en ANSI/API Recommended Practice 19C, First Edition, May 2008, entitled " Measurement of Properties of Proppants Used in Hydraulic Fracturing and Gravel-Packing Operations". La esfericidad se relaciona a que tan cerca una partícula se acerca a la forma de una esfera, es decir que tan cerca el área superficial de una partícula corresponde al área superficial de una esfera. La redondez es una medida de la nitidez de los bordes de una partícula, independientemente de la forma de la partícula.

Los inventores también han encontrado que los gránulos de escoria sólidos producidos por el presente proceso tienen un alto grado de redondez y alta suavidad superficial/baja rugosidad superficial. La rugosidad superficial se puede definir como rugosidad superficial media aritmética (Ra), que es el promedio de las profundidades/alturas individuales de la elevación media del perfil superficial.

Como se puede ver de las Figuras 4A y 4B, los gránulos de escoria producidos por el presente proceso (Figura 4B) pueden tener suavidad, esfericidad y redondez

mejorada en comparación con partículas apuntalantes de cerámica convencionales (Figura 4A). Estas propiedades mejoradas se esperan que sean ventajosas de manera particular donde los gránulos de escoria se usan como
5 apuntalantes o soportes de catalizadores, ya que se esperan que proporcionen resistencia compresiva mejorada y mejoren la porosidad de los lechos de tales partículas. También, el recubrimiento de tales partículas se esperaría que consuma cantidades más pequeñas de material de recubrimiento.
10 También la redondez mejorada es ventajosa donde se usan los gránulos de escoria como gránulos para techados, ya que reduce la probabilidad que los bordes afilados de las partículas dañen a los techadores durante la instalación de tejas revestidas con los gránulos.

15 La etapa de separación por forma se puede lograr mediante un separador en espiral, que puede comprender un separador en espiral seco convencional para separar partículas esféricas de partículas no esféricas. El separado en espiral es un aparato simple, comprendiendo una
20 torre alrededor que está enrollada y se incluye dentro un canal helicoidal que tiene aberturas en su borde interior y un canal de colección en su borde exterior. Las partículas esféricas aceleran a alta velocidad que las partículas no esféricas. Las partículas esféricas ruedan sobre el borde
25 exterior de la hélice y se atrapan en el canal de

recolección externa. Las partículas no esféricas ruedan hacia el borde interno y cae a través de las ranuras para recolectarse en la parte inferior del separador.

Además de la etapa de separación por forma, se
5 puede desear llevar a cabo separaciones adicionales con el fin de maximizar otras propiedades del producto granular. Por ejemplo, además de la separación por forma, puede ser deseable separar los gránulos de escoria sólidos en la base de tamaño. La separación por tamaño puede producir
10 fracciones de gránulos de escoria sólidos que tienen distribuciones de tamaño de partícula predeterminadas, que puede requerirse para algunas aplicaciones.

Además a la separación por forma, puede ser deseable separar los gránulos de escoria sólidos en la base
15 de densidad. Esto se puede lograr, por ejemplo, al usar un separador en espiral, que puede ser el mismo separador usado para la separación por forma. Alternativamente, se puede llevar a cabo una separación por densidad al separar diferentes fracciones de gránulos de escoria en la base de
20 la distancia recorrida por los gránulos durante el proceso de atomización. Como se menciona anteriormente, la corriente de gas del ventilador causará que la escoria fundida forme gotas que se solidificaran y caerán al piso de la cámara de atomización. La corriente de gas está en
25 ángulo con respecto a la corriente descendente de escoria

fundida, y por lo tanto los gránulos de escoria sufrirán desplazamiento horizontal antes de que lleguen al piso de la cámara. Las partículas más pesadas o densas tenderán a caer más cerca del ventilador, mientras que las partículas más ligeras, menos densas se desplazarán horizontalmente por una distancia mayor del ventilador. Esta etapa de separación por densidad puede ser útil en la producción de ciertos productos tales como apuntalantes. Por ejemplo, la separación por densidad se puede usar para excluir partículas de alta densidad que pueden ser demasiado densas para su uso como un apuntalante. También, los gránulos de alta densidad típicamente difieren en la composición de los gránulos de baja densidad y pueden tener un contenido de metal más alto que los gránulos de baja densidad. Por lo tanto, la etapa de separación por densidad se puede usar para separar gránulos que tienen una composición química inadecuada para usarse como un apuntalante, por ejemplo en términos de resistencia a la lixiviación, resistencia a la compresión, etc. Para gránulos para techados, es deseable excluir gránulos de mayor densidad que contiene libre de hierro, ya que cualquier contenido libre de hierro en los gránulos puede oxidarse y causar descoloración de los gránulos para techados y también debido a las propiedades magnéticas de hierro libre pueden causar que los gránulos que contienen hierro se peguen a equipo usado en la

producción de los gránulos para techados.

Como se menciona anteriormente, la atomización por gas de la escoria fundida produce al menos una fracción de gránulos de escoria sólidos los cuales son no esféricos.

5 Los gránulos no esféricos son particularmente adecuados para usarse como gránulos para techados. Incluso cuando el proceso de atomización por gas está optimizado para la producción de gránulos de escoria esféricos, una cierta proporción de los gránulos de escoria serán no esféricos y

10 adecuados para usarse como gránulos para techados. Por ejemplo, algunas de las gotas se solidificarán antes de volverse esféricas y tendrán una forma alargada. También, las gotas pueden adherirse para formar gránulos no esféricos o se pueden formar gránulos alargados en forma de

15 mancuerna por la deformación de gránulos incompletamente solidificados. Las condiciones de atomización por gas mencionada anteriormente se pueden ajustar para así maximizar la producción de partículas no esféricas.

Además, una placa de impacto se puede colocar en

20 la cámara de atomización, en el camino de las gotas creadas por la atomización por gas. Las gotas líquidas o parcialmente solidificadas golpearán la placa, causándolas que se deformen y/o se fracturen en formas no esféricas que son adecuadas para usarse como gránulos para techados. Los

25 gránulos no esféricos solidificados se recuperan de la

cámara de atomización y se pueden sujetar a cualquier forma, tamaño o etapas de separación por densidad mencionadas anteriormente con el fin de maximizar ciertas propiedades de los gránulos de escoria sólidos no
5 esféricos. Por ejemplo, se puede usar la separación de forma para maximizar la proporción de gránulos no esféricos presentes en el producto.

Cuando los gránulos de escoria no esféricos incluyen una proporción significativa de gránulos de
10 escoria alargados, tal como gránulos en forma de mancuerna, el proceso puede incluir una etapa ligera de trituración para fracturar estas partículas. Se puede desear la fractura de las partículas para producir los bordes escindidos donde los gránulos se usan como gránulos para
15 techados.

Como se apreciará, se transfiere una gran cantidad de calor de la escoria fundida al gas usado para la atomización de la escoria. De esta manera, la etapa de atomización por gas produce una corriente de gas de alta
20 temperatura. Este gas calentado se puede usar en cualquier lugar en el proceso de producción de metal, o la energía térmica se puede extraer del gas calentado. A este respecto, el proceso puede comprender además la etapa de pasar el gas calentado del aparato de atomización a través
25 de un intercambiador de calor para recuperar al menos una

porción del calor perdido por la escoria fundida durante la etapa de atomización.

Cuando se usa como gránulos para techados, los gránulos de escoria no esféricos se someterán a procesamiento adicional durante la fabricación de techos basados de asfalto o materiales de revestimiento. Estas etapas de procesamiento adicionales incluyen el recubrimiento con cerámico y/o pigmento de los gránulos de escoria sólidos en una secadora.

Después de haberse recuperado del aparato de atomización, y opcionalmente separados, los gránulos de escoria esféricos a usarse como apuntalantes se pueden proporcionar con un recubrimiento compuesto de un material de resina o un material cerámico. El recubrimiento de los gránulos de escoria esféricos se realiza en una planta de recubrimiento, y típicamente involucra mezclar los gránulos de escoria esféricos con el material de recubrimiento en un aparato de tambor o de mezclado, para así proporcionar los gránulos con una capa uniforme del material de recubrimiento. La Figura 3 muestra una imagen de microscopía electrónica de barrido en sección transversal de un gránulo de escoria recubierto con resina.

En el caso de un recubrimiento de resina, e combina una composición de resina con los gránulos de escoria en un aparato de recubrimiento, tal como una planta

de recubrimiento, con los gránulos siendo calentados para fundir la resina y permitiéndola a recubrir los gránulos. La composición de resina incluye una resina que puede comprender un polímero, pre-polímero, monómero y/u
5 oligómero. En algunas modalidades, los gránulos se enfrían a temperatura ambiente después de la etapa de atomización por gas, y después se re-calientan en el aparato de recubrimiento. Para reducir aún más el consumo de energía, algunas modalidades del proceso pueden usar el calor
10 residual de los gránulos de escoria solidificados recuperados del aparato de atomización. Cuando se desee aprovechar el calor residual de los gránulos de escoria solidificados, el aparato de recubrimiento se ubicará en estrecha proximidad al aparato de atomización, para que los
15 gránulos de escoria sólidos se puedan transportar del aparato de atomización al aparato de recubrimiento antes de que se disipe el calor residual a los alrededores.

Si se desea, el recubrimiento de resina se puede reticular después de que se aplique a los gránulos de
20 escoria sólidos, por ejemplo al combinar un activador o agente de reticulación con la composición de resina y los gránulos de escoria en el aparato de recubrimiento.

El recubrimiento de resina de los gránulos de escoria sirve diversos propósitos. Como se menciona
25 anteriormente, los apuntalantes se requieren que poseen una

cierta resistencia contra lixiviación, particularmente en ambientes ácidos. Se puede aplicar un recubrimiento de resina a los gránulos de escoria sólidos con el fin de aumentar su resistencia a solubilidad ácida. El
5 recubrimiento de resina también se puede usar para alterar y adaptar la densidad de los gránulos de escoria sólidos a aplicaciones específicas y típicamente disminuirá la densidad de los gránulos de escoria.

Los inventores también han encontrado que el
10 recubrimiento de resina de los gránulos de escoria puede aumentar su resistencia a la compresión, y reducir su tendencia a producir partículas finas cuando se comprime hasta el punto de romperse. La generación de partículas finas es una propiedad indeseable de partículas
15 apuntalantes, ya que las partículas finas tienden a llenar los espacios entre las partículas apuntalantes, destruyendo la porosidad de la fractura ocupada por el apuntalante y reduciendo la conductividad del paquete de apuntalante.

De acuerdo a la práctica recomendada y aceptada
20 por la industria para apuntalantes artificiales (API RP 19C y ISO 13503-2), los apuntalantes en un intervalo de tamaño dado deberán generar menos que un porcentaje dado de partículas finas a tensiones de compresión dadas. Las partículas finas se definen por API RP 19C y ISO 13503-2
25 como partículas con dimensiones más pequeñas que la malla

más pequeña de la designación del apuntalante. Por ejemplo, para el apuntalante de malla 20/40 (0.425-0.850mm), las partículas finas se definen como partículas que pasan la malla 40 (<0.425mm).

5 Cuando se comprimen los gránulos de escoria recubiertos con polímero producidos por el presente proceso al punto de romperse, los inventores han encontrado que el nivel de generación de partículas finas es menos que el nivel recomendado por la industria de partículas finas, y
10 que los gránulos recubiertos generan menos y mayores productos fracturados que los gránulos de escoria no recubiertos equivalentes. De esta manera, los gránulos de escoria recubiertos con resina producidos por el presente proceso son más resistentes a fracturación, y cuando se
15 comprimen hasta el punto de romperse, es más probable que conserven la porosidad de la fractura en el que se insertan.

EJEMPLOS

 Se probaron un número de propiedades de gránulos
20 de escoria esféricos recubiertos con resina producidos de acuerdo al presente proceso, para determinar la idoneidad de los gránulos para usarse como apuntalantes de acuerdo con la práctica recomendada por la industria, basado en ISO 13503-2 o API RP 19C.

25 Se calentaron gránulos de escoria esféricos

producidos de acuerdo al presente proceso y resina recubierta con una resina fenólica, con la relación de resina fenólica a gránulos de escoria siendo 3.3% por peso. El recubrimiento de resina se retículo usando
5 hexametilentetramina (HEXA), con la relación de HEXA a gránulos de escoria siendo 1.6% por peso.

La prueba de tamiz de los gránulos de escoria recubiertos de acuerdo con API RP 19C muestra que los gránulos recubiertos cumplen con los requerimientos de un
10 apuntalante "20/40", mientras que un mínimo de 90% de la muestra probada debe tener un tamaño de tamiz entre tamaño de malla 20 y tamaño de malla 40, que es entre 422 micras y 853 micras. Más del 98% de los gránulos recubiertos de acuerdo al presente procesos tuvieron un tamaño de tamiz
15 dentro este intervalo.

Los gránulos de escoria recubiertos se sometieron a un análisis de trituración de acuerdo con API RP 19C para acceder la generación de partículas finas bajo compresión. Las partículas finas permitidas máximas sugeridas para
20 apuntalante 20/40 es 10% a los niveles de esfuerzo de compresión de prueba de 527.25, 703, 878.75 y 1,054.5 kg/cm² (7,500, 10,000, 12,500 y 15,000 psi). Como se muestra en la Tabla 1 a continuación, los gránulos de escoria recubiertos de acuerdo al presente proceso
25 generaron menos que 10% de partículas finas a cada uno de

estos niveles de compresión.

Tabla 1

Estrés de Carga (kg/cm^2 (psi))	Porcentaje de partículas finas (%)
527.25 (7,500)	2.1
703 (10,000)	2.5
878.75 (12,500)	5.8
1,054.5 (15,000)	9.2

10

Los gránulos de escoria no recubiertos también se ensayaron por análisis de trituración a 703 kg/cm^2 (10,000 psi), de acuerdo con API RP 19C, y se encontró que generan 30.2% de finos, en comparación a 2.5% para los gránulos recubiertos de resina. Además de la reducción de generación de finos, los inventores encontraron que los fragmentos generados al triturar los gránulos de escoria recubiertos con resina son más grandes que aquellos generados al triturar gránulos de escoria no recubiertos. Esto se puede observar de las Figuras 2A a 2D, que muestran gránulos de escoria no recubiertos 20/40 (Figura 2A), gránulos de escoria recubiertos de resina 20/40 (Figura 2B), gránulos de escoria recubiertos de resina 20/40 triturados a 703 kg/cm^2 (10,000 psi) (Figura 2C) y gránulos de escoria no recubiertos triturados a 703 kg/cm^2 (10,000 psi) (Figura

2D).

La cantidad reducida y aumento de tamaño de fragmentos generados al triturar los gránulos de escoria recubiertos se esperan que tengan un efecto benéfico en
5 mantener la porosidad y conductividad de una fractura parcialmente abierta por gránulos de escoria recubiertos con resina producidos por el presente proceso.

La solubilidad ácida máxima recomendada para apuntalantes de cerámica y apuntalantes recubiertos de
10 resina es 7%. Se probó la solubilidad ácida de los gránulos de escoria recubiertos y no recubiertos de acuerdo al presente procesos de acuerdo con API RP 19C con 12:3 HCl:HF a 65.5 grados Celsius (150 grados Fahrenheit) durante 30 minutos. Los gránulos de escoria no recubiertos exhibieron
15 una solubilidad ácida de aproximadamente 14.3%, mientras que los gránulos de escoria recubiertos exhibieron una solubilidad ácida de aproximadamente 7.7 por ciento, que es aceptable para la industria.

Como ya se mencionó anteriormente, la esfericidad
20 y redondez recomendada para apuntalantes es de 0.6 o mayor, y es de 0.7 o mayor para apuntalantes de alta resistencia. Los gránulos de escoria recubiertos con resina de acuerdo al presente proceso tuvieron una esfericidad y una redondez de 0.9, como se determinó de acuerdo con API RP 19C.

25 Se probó la turbidez de los gránulos de escoria

antes y después del recubrimiento de resina, de acuerdo con API RP 19C. Los gránulos no recubiertos tuvieron una turbidez de 550 FTU, mientras que los gránulos recubiertos tuvieron una turbidez de 110 FTU. La turbidez del
5 apuntalante máxima sugerida es menos que o igual a 250 FTU.

Aunque la invención se describió con referencia a ciertas modalidades, no se limita a las mismas. En lugar, la invención incluye todas las modalidades que pueden caer dentro del alcance de las siguientes reivindicaciones.