

HORNO ROTATORIO CON MECANISMO DE RETENCIÓN DE GASES

Campo técnico relacionado

- 5 El aparato aquí divulgado se relaciona con hornos rotarios. Específicamente, el aparato aquí divulgado se relaciona con hornos rotatorios compactos utilizados en la producción de materiales de base cementicia, y en procesos de calcinación de sólidos.

Descripción del estado de la técnica

10

El estado de la técnica divulga hornos rotarios en los documentos CN107345762A y US 4,462,793.

15

El documento CN107345762A divulga un horno rotatorio configurado para evitar el flujo de especies gaseosas dentro del tambor que afecten la temperatura de reacción de reactivos en fase sólida en determinadas zonas del horno rotario. El horno rotario comprende un tambor y unos medios de accionamiento. El tambor cuenta con un extremo de alimentación y con un extremo de descarga, en donde el extremo de alimentación es más alto que el extremo de descarga. Por su parte, los medios de accionamiento sirven para generar una rotación del tambor.

20

25

Además, el tambor de este documento tiene al menos un conjunto de deflector móvil y/o al menos una placa de partición fija. El conjunto de placa de partición móvil comprende una placa de partición y un deflector móvil, en donde la placa de partición se fija en el tambor, formando una abertura cerca de la pared interior del tambor, y el deflector móvil está conectado de manera móvil con la placa de partición a través de un dispositivo de accionamiento del deflector móvil.

30

El dispositivo de accionamiento de dicho horno rotatorio permite el movimiento del deflector móvil con relación a la placa de partición y se utiliza para sellar la abertura de la placa de partición. En una modalidad de la invención, el deflector móvil se ubica cerca al extremo de descarga.

35

Además, la placa de partición fija y el deflector móvil del horno rotatorio permiten que los materiales en fase sólida se muevan dentro del tambor a través de la abertura y también, limitan el flujo de gases, y por ende la transferencia de calor por convección, entre las diferentes secciones de proceso de los materiales en fase gaseosa en el tambor, con lo que se mejora el gradiente de temperatura entre las diferentes secciones del proceso y se cumplen los requisitos de reacción de los diferentes procesos.

40

Sin embargo, el conjunto placa de partición fija y el deflector móvil se localiza en zonas de alta temperatura del horno, como lo son la salida de material procesado, en donde

usualmente se localiza un quemador que proporciona el calor necesario para la operación del horno, o se ubica en la zona media del horno, donde se logran las temperaturas más altas del horno. De acuerdo con lo anterior, el conjunto de placa de partición y el deflector móvil requiere ser fabricado en materiales que soporten estas altas temperaturas, los cuales son difíciles de manufacturas, reparar y reemplazar. Además, requieren el uso de recubrimientos cerámicos que tienen un alto costo comercial en comparación con el uso de aceros industriales.

Por otro lado, el documento US 4,462,793 divulga un horno rotatorio para calentar y calcinar cal, residuos, etc. y un método de reducción directa de óxido de metal utilizando dicho horno. El documento divulga una carcasa exterior cilíndrica montada para girar sobre su eje, y un tubo interno estacionario dispuesto dentro de la carcasa. Además, el documento menciona que un combustible y/o un flujo de aire de combustión fluyen dentro del tubo, y divulga boquillas de quemadores que están soportadas por el tubo. Los quemadores proporcionan calor a una materia prima que se procesa en el espacio localizado entre el tubo y la carcasa.

Por otro lado, este documento divulga que un extremo del tubo interior se conecta un tubo de escape de gas caliente. El tubo de escape tiene un extremo proximal conectado al tubo interior, y un extremo distal a través del cual salen gases de combustión. El extremo proximal tiene un tapón ciego, sin embargo, cerca de dicho extremo proximal se localizan unas perforaciones que comunican el interior del tubo de escape con el espacio interior definido dentro de la carcasa del horno. De esta manera, los gases de combustión presentes dentro de la carcasa entran por las perforaciones y salen por el extremo distal del tubo de escape, por ejemplo, hacia una máquina térmica o intercambiador de calor. Adicionalmente, el documento menciona que el extremo de la carcasa por donde sale el tubo de escape se encuentra sellado.

Sin embargo, el horno rotatorio del documento US 4,462,793 requiere estructuras independientes para la carcasa y el tubo interior. Asimismo, el horno requiere que el tubo interior esté recubierto por material refractario. Adicionalmente, el tubo de escape no permite controlar el flujo de gases que sale del horno.

De acuerdo con lo anterior, el estado de la técnica divulga hornos rotarios con sistemas de direccionamiento y obstrucción de gases que requieren múltiples partes móviles o estructuras complejas.

Breve descripción de la divulgación

La presente divulgación presenta un horno rotatorio que tiene un cilindro rotatorio con una primera entrada y una primera salida opuesta longitudinalmente a la primera entrada; un mecanismo de rotación acoplado al cilindro rotatorio y un quemador conectado a la primera

entrada. Particularmente, el horno rotatorio comprende un mecanismo de retención de gases dispuesto en la primera salida y configurado para controlar un flujo de gases de combustión generado por el quemador. El mecanismo de retención de gases se conforma de una placa conectada al cilindro rotatorio; una perforación localizada en la placa, y un mecanismo de obstrucción acoplado a la perforación y configurado para obstruir parcialmente la perforación.

En un aspecto del horno rotatorio, éste incluye pluralidad de perforaciones dispuestas en un patrón circular alrededor de una perforación central, donde el mecanismo de obstrucción se acopla a al menos una de las perforaciones. Adicionalmente, el horno rotatorio puede tener sus perforaciones distribuidas en uno o más grupos de perforaciones. Uno de los grupos de perforaciones puede obstruirse mediante el mecanismo de obstrucción. El mecanismo de obstrucción puede ser una placa móvil con una geometría configurada para bloquear y desbloquear uno o más grupos de perforaciones, donde la placa móvil rota respecto a la placa que tiene los grupos de perforaciones.

Las diferentes modalidades y configuraciones del mecanismo de retención de gases aquí descritas permiten controlar un flujo de gases de combustión que salen del horno rotatorio, con lo cual se puede aumentar el tiempo de residencia de dichos gases en el horno rotatorio, y en consecuencia, se aumenta el tiempo de contacto de estos gases de combustión con una materia prima que se procesa en el cilindro rotatorio. De acuerdo con lo anterior, una de las ventajas del horno rotatorio aquí divulgado es que al aumentar el tiempo de residencia de los gases se requieren menores relaciones longitud/diámetro que en hornos rotatorios que tienen sus extremos longitudinales sin ningún tipo de restricción de flujo de gases.

Ahora se describirán realizaciones de la invención, solo a modo de ejemplo, con referencia a las figuras que brevemente se describen a continuación.

Breve descripción de las figuras

La FIG. 1 ilustra una vista en isométrico de una modalidad del horno rotatorio, la cual muestra un quemador acoplado a un cilindro rotatorio, y una entrada y una salida para materia prima, las cuales se localizan en los extremos longitudinales del cilindro rotatorio.

La FIG. 2a ilustra una vista frontal de una realización del mecanismo de retención de gases de una modalidad del horno rotario. Esta vista muestra una placa con un primer grupo de perforaciones y un segundo grupo de perforaciones junto con un mecanismo de obstrucción que tiene una placa móvil.

La FIG. 2b muestra una vista frontal del mecanismo de retención de gases de la FIG. 2a, donde la placa móvil obstruye parcialmente el primer grupo de perforaciones.

La FIG. 2c muestra una vista frontal del mecanismo de retención de gases de la FIG. 2a, donde la placa móvil obstruye totalmente el primer grupo de perforaciones.

La FIG. 3 muestra una vista en corte longitudinal de una modalidad del horno rotatorio. En esta vista se identifica un cilindro rotatorio, y una entrada y una salida para materia prima, las cuales se localizan en los extremos longitudinales del cilindro rotatorio. Además, la figura muestra un flujo de materia prima y un flujo de gases de combustión que fluyen en contracorriente, e ilustra un detalle donde se identifica una realización del mecanismo de retención de gases.

La FIG. 4 muestra una vista de corte del cilindro rotatorio de la FIG. 1, en la cual se identifican unos elementos de anclaje que se extienden desde la pared interna del cilindro rotatorio hacia su centro, y están configurados para conectar una pared cilíndrica refractaria al cilindro rotatorio. En esta figura se muestra un detalle de un elemento de anclaje en forma de “Y” conformado por dos platinas.

la FIG. 5 muestra una gráfica comparativa de una curva de calentamiento de una realización del horno rotatorio, en donde la línea con cuadros corresponde a un escenario donde el cilindro rotatorio del horno tiene conectado el mecanismo de retención de gases y la línea con rombos corresponde al escenario donde el cilindro rotatorio del horno no tiene acoplado el mecanismo de retención de gases.

Descripción detallada

La FIG. 1 muestra una realización del horno rotario, la cual incluye un cilindro rotatorio (1) con una primera entrada (2) y una primera salida (3) opuesta longitudinalmente a la primera entrada (2); un mecanismo de rotación (4) acoplado al cilindro rotatorio (1) y un quemador (5) conectado a la primera entrada (2). El mecanismo de rotación (4) genera una rotación del cilindro rotatorio (1), por ejemplo, mediante una transmisión mecánica que conecta al cilindro rotatorio (1) a un motor. Además, el cilindro rotatorio (1) está soportando por una estructura (22) provista de cojinetes (23) sobre los cuales se dispone el cilindro rotatorio (1), donde los cojinetes (23) permiten que el cilindro rotatorio (1) gire.

Asimismo, la FIG. 1 y la FIG. 3 muestran una segunda salida (21) localizada cerca de la primera entrada (2). A través de la segunda salida (21) sale un producto procesado (25). El producto procesado (25) se obtiene a partir de una materia prima (24) que se suministra por una segunda entrada (20) del cilindro rotatorio (1). En la FIG. 1 se identifica que la segunda salida (21) y la segunda entrada (20) se localizan en extremos longitudinales opuestos del cilindro rotatorio (1). Adicionalmente, en la FIG. 1 se muestra que el cilindro rotatorio (1) está inclinado de manera que la segunda entrada (20) se localiza encima de la segunda salida (21), con lo cual, se genera que la materia prima (24) avance a través de

cilindro rotatorio (1) debido a la combinación de la rotación de dicho cilindro rotatorio (1) y su inclinación.

5 Por otro lado, el quemador (5) quema combustible y oxidante para proporcionar el calor requerido por el horno rotatorio. El quemador (5) se dispone en la primera entrada (2) del cilindro rotatorio (1) con el fin de generar una llama (26) que se extienda a lo largo del cilindro rotatorio (1). Por ejemplo, haciendo referencia a la FIG. 3, el quemador (5) puede tener una boquilla desde la cual se propaga la llama (26), donde la boquilla se dispone concéntricamente con el cilindro rotatorio (1). Por su parte, los gases de combustión (27)

10 producidos por el quemador (5) salen a través de la primera salida (3).

Ahora bien, el horno rotatorio aquí divulgado se destaca por tener un mecanismo de retención de gases (6) dispuesto en la primera salida (3) y configurado para controlar un flujo de gases de combustión generado por el quemador (5). El mecanismo de retención de

15 gases (6) se conforma de una placa (7) conectada al cilindro rotatorio (1); una perforación (8) localizada en la placa (7), y un mecanismo de obstrucción (9) acoplado a la perforación (8) y configurado para obstruir parcialmente la perforación (8).

Uno de los principales efectos técnicos de tener el mecanismo de retención de gases (6) es

20 poder limitar el flujo de gases de combustión (27) que sale del cilindro rotatorio (1) a través de la primera salida (3). De esta manera se aumenta el tiempo de residencia de dichos gases de combustión (27), lo cual tiene como consecuencia un mayor tiempo de contacto de los gases de combustión (27) con la materia prima (24).

25 Lo anterior permite concentrar más calor dentro del cilindro rotatorio (1), y esto conlleva a que al tener un mecanismo de retención de gases (6) se pueda utilizar un cilindro rotatorio (1) de menor longitud que el cilindro rotatorio (1) que necesitaría un horno rotatorio sin un mecanismo de retención de gases (6).

30 Particularmente, se debe tener en cuenta que los hornos rotatorios industriales del estado de la técnica usualmente tienen relaciones diámetro útil/ longitud ($D_{\text{útil}}/L$) superiores a 1:50. Por ejemplo, un horno convencional para la producción de Clinker puede tener un diámetro útil de 4m y un largo de 200m. Estas relaciones $D_{\text{útil}}/L$ son requeridas para lograr que dentro del horno se logren alcanzar las temperaturas de calcinación y clinkerización, las

35 cuales ascienden a más de 1000°C. Además, estos hornos usualmente tienen un cilindro rotatorio con sus extremos longitudinales abiertos a la atmósfera.

Ahora bien, cualquier realización del mecanismo de retención de gases (6) del horno rotatorio aquí divulgado permite tener un cilindro rotatorio (1) con una relación $D_{\text{útil}}/L$

40 inferior a 1:30. La relación $D_{\text{útil}}/L$ dependerá de las temperaturas máximas que se quieren obtener dentro del cilindro rotatorio (1), y del tiempo de residencia necesario para que la materia prima (24) reaccione y se transforme en el producto procesado (25).

Adicionalmente, la relación $D_{\text{útil}}/L$ depende del área transversal efectiva del cilindro rotatorio (1). Dicha área transversal efectiva del cilindro rotatorio (1) es la sumatoria de las áreas definidas por una o más perforaciones (8, 16, 17) presentes en el mecanismo de retención de gases (6), a través de las cuales salen los gases de combustión (27). Entre menor sea el área transversal efectiva del cilindro rotatorio (1), mayor será el tiempo de residencia de los gases de combustión (27), lo cual implica tener una menor longitud del cilindro rotatorio (1).

Por ejemplo, el cilindro rotatorio (1) puede tener una relación $D_{\text{útil}}/L$ entre 1:12 y 1:30. En este caso, el mecanismo de retención de gases (6) puede ser fabricado en materiales metálicos como aceros al carbono o inoxidable, ya que los gases de combustión (27) en el cilindro rotatorio (1) del horno aquí divulgado usualmente no superan temperaturas mayores a 700°C en la primera salida (3).

Por ejemplo, una realización del cilindro rotatorio (1) puede tener una relación $D_{\text{útil}}/L$ de 1:15, y ser utilizado para producir como producto procesado (25) agregados de base cementicia a partir de una materia prima (24) compuesta principalmente de arcillas. En este caso particular, el mecanismo de retención de gases (6) puede construirse en acero al carbono, ya que usualmente para este tipo de proceso de tienen temperaturas en la primera salida (3) entre 640°C y 660°C.

Similarmente, el cilindro rotatorio (1) puede tener una relación $D_{\text{útil}}/L$ entre 1:15 y 1:20. En un cilindro rotatorio (1) con una relación $D_{\text{útil}}/L$ dentro de este rango puede utilizarse para procesos de clinkerización o calcinación de materiales de base cementicia, el cual puede tener un mecanismo de retención de gases (6) fabricado en materiales metálicos como aceros al carbono o inoxidable.

Sin embargo, el cilindro rotatorio (1) puede tener una relación $D_{\text{útil}}/L$ inferior a 1:12, por ejemplo, entre 1:8 y 1:12. En este caso, los elementos que conforman el mecanismo de retención de gases (6), (por ejemplo, la placa (7) y la placa móvil (19) que se ilustran en la realización de la FIG. 1) pueden ser fabricados en materiales cerámicos o refractarios. Similarmente, los elementos que conforman el mecanismo de retención de gases (6) pueden tener un recubrimiento seleccionado entre materiales cerámicos depositados químicamente o físicamente por vapor, sinterizado de recubrimiento cerámico, recubrimientos equivalentes que sean conocidos por una persona medianamente versada en la materia o combinaciones de los anteriores.

Por otro lado, el área transversal efectiva del cilindro rotatorio (1) puede modificarse obstruyendo parcialmente o totalmente la perforación (8) mediante el mecanismo de obstrucción (9). Similarmente, el área transversal efectiva del cilindro rotatorio (1) puede modificarse mediante el mecanismo de obstrucción (9) en el caso de que la placa (7)

incluye una pluralidad de perforaciones (8), y el mecanismo de obstrucción (9) se acopla a al menos una de las perforaciones (8).

Por ejemplo, retomando la explicación de la realización de la FIG. 1, en dicha figura se
5 identifica una modalidad del mecanismo de retención de gases (6) que incluye una placa (7) con un primer grupo de perforaciones (17) dispuestas en un patrón circular alrededor de la perforación central (16), y un segundo grupo de perforaciones (18). Cada grupo de perforaciones (17, 18) está formado por una pluralidad de perforaciones (8).

10 Particularmente, en la FIG. 1 se muestra una realización del mecanismo de retención de gases (6) en la cual la placa (7) tiene un primer grupo de perforaciones (17) conformado por cuatro perforaciones (8) y un segundo grupo de perforaciones (18) también conformado por cuatro perforaciones (8). En este caso, las perforaciones (8) son circulares, y el primer grupo de perforaciones (17) tiene perforaciones (8) de menor diámetro que las
15 perforaciones (8) del segundo grupo de perforaciones (18).

Adicionalmente, las perforaciones (8) de los grupos de perforaciones (17, 18) se separan entre sí equiángulamente. Esto se hace con el fin de facilitar la manufactura de la placa (7).

20 Sin embargo, las perforaciones (8) de los grupos de perforaciones (17, 18) pueden disponerse en cualquier tipo de patrón o distribución. Asimismo, en otras realizaciones del mecanismo de retención de gases (6), el número de perforaciones (8) y su diámetro pueden variar.

25 Adicionalmente, la forma de las perforaciones (8) puede ser de cualquier tipo de geometría, por ejemplo, las perforaciones (8) pueden tener forma de cuadrados, triángulos, círculos, rectángulos, pentágonos, trapecios, elipses, rombos, hexágonos, heptágonos, octógonos, decágonos, otros polígonos regulares o irregulares, otras formas regulares o irregulares, y combinaciones de las mismas.

30 Asimismo, las áreas de las perforaciones (8) de los grupos de perforaciones (17, 18) pueden ser iguales o diferentes entre sí. En caso de que sean diferentes, el primer grupo de perforaciones (17) puede tener perforaciones (8) de un mayor ancho que las perforaciones (8) del segundo grupo de perforaciones (18). Asimismo, el primer grupo de
35 perforaciones (17) puede tener perforaciones (8) de un menor ancho que las perforaciones (8) del segundo grupo de perforaciones (18).

Una de las razones de estas diferencias de diámetros o anchos entre las perforaciones (8) del primer grupo de perforaciones (17) y las perforaciones (8) del segundo grupo de
40 perforaciones (18) es que se busca tener una porción del área transversal efectiva del cilindro rotatorio (1) que se mantenga abierta en todo momento, independientemente de la posición de mecanismo de obstrucción (9).

Haciendo referencia a la FIG. 1, la realización divulgada en esta figura incluye un mecanismo de obstrucción (9) que está configurado para obstruir el primer grupo de perforaciones (17) y mantener el segundo grupo de perforaciones (18) abierto.

5

Lo anterior se hace con el fin de evitar que el quemador (5) se ahogue debido a una concentración excesiva de gases de combustión (27), producida por tener un área transversal efectiva del cilindro rotatorio (1) que no permita extracción continua de dichos gases de combustión (27), y por el contrario, genere una acumulación de éstos.

10

Particularmente, la acumulación excesiva de gases de combustión (27) generaría una disminución de concentración de oxidante que impediría la combustión en el quemador (5).

De acuerdo con lo anterior, al mantener abierta el área definida por las perforaciones (8) del segundo grupo de perforaciones (18) se garantiza una porción del área transversal efectiva del cilindro rotatorio (1) lo suficientemente grande para evitar que el quemador (5) se ahogue debido a la acumulación excesiva de gases de combustión (27) dentro del cilindro rotatorio (1).

Adicionalmente, en el detalle de la FIG. 1 se identifica que la placa (7) se puede conectar a la primera salida (3) del cilindro rotatorio (1) de manera que queda fija. Sin embargo, en la FIG. 1 no se ilustra particularmente algún tipo específico de conexión entre la placa (7) y el cilindro rotatorio (1).

Por ejemplo, esta conexión puede hacer con uniones fijas o uniones removibles. En caso de uniones fijas, estas pueden seleccionarse entre uniones con adhesivos de alta resistencia térmica, como materiales de base cementicia, adhesivos refractarios, grouts refractarios, uniones de empotramiento donde la placa (7) se embebe en una pared cilíndrica refractaria (10) que se localiza dentro de la cara interna del cilindro rotatorio (1), uniones por soldadura entre la placa (7) y el cilindro rotatorio (1) en caso de que la placa (7) y el cilindro rotatorio (1) seas metálicos (v.g. SMAW, GMAW, GTAW, FCAW, y demás métodos aceptados por la American Welding Society), y combinaciones de los anteriores.

En caso de uniones removibles, estas pueden seleccionarse entre tornillos, pernos, pines, remaches, pin-cuñas, espárragos, pasadores, cuñas, abrazaderas, y combinaciones de los mismos.

Haciendo referencia a la FIG. 1 y las FIGS. 2a, 2b y 2c, también se identifica en esta realización del horno rotatorio que el mecanismo de obstrucción (9) se conforma de una placa móvil (19) con forma de estrella configurada para obstruir el primer grupo de perforaciones (17) cuando placa móvil (19) se dispone en una primera posición angular y

desobstruir el primer grupo de perforaciones (17) cuando la placa móvil (19) se dispone en una segunda posición angular.

5 Se entenderá en la presente invención por “*forma de estrella*” un arreglo geométrico de zonas, elementos, barras, o platinas de la placa móvil (19) que se extienden angularmente desde el centro de la placa móvil (19) hacia su periferia, donde entre dichas zonas se forman espacios vacíos. La forma de estrella se selecciona con base en la forma del arreglo como se disponen las perforaciones (8) en la placa (7), y teniendo en cuenta cuáles de las perforaciones (8) se quieren obstruir. Similarmente, el ancho de las zonas, elementos,
10 barras, o platinas que conforma la forma de estrella, se seleccionan con base en el ancho o diámetro de las perforaciones (8) que se quieren obstruir.

La placa móvil (19) puede conectarse a la placa (7) o a la primera salida (3) del cilindro rotatorio (1). Por ejemplo, en la FIG. 2a se identifica que el cilindro rotatorio (1) puede
15 tener unos elementos de agarre (30) que sobresalen radialmente desde la pared del cilindro rotatorio (1) hacia su centro. Los elementos de agarre (30) se localizan en la primera salida (3) y están configurados para sostener la placa móvil (19).

Adicionalmente, en la FIG. 2a se ilustra una vista frontal de una realización del mecanismo
20 de retención de gases (6) que tiene en su placa (7) un primer grupo de perforaciones (17) conformado por cuatro perforaciones (8), un segundo grupo de perforaciones (18) conformado por cuatro perforaciones (8), y una perforación central (16). Las perforaciones (8) son circulares, y las perforaciones (8) del primer grupo de perforaciones (17) tienen un diámetro menor que el diámetro de las perforaciones (8) del
25 segundo grupo de perforaciones (18).

Además, en la FIG. 2a se muestra que el mecanismo de retención de gases (6) tiene una placa móvil (19) conformada por una sección en forma de disco (31) que se conecta al cilindro rotatorio (1) con elementos de agarre (30) que se localizan en la primera salida (3),
30 y por elementos de obstrucción (32) que se extienden radialmente desde la sección en forma de disco (31) hacia la perforación central (16). En la realización ilustrada en la FIG. 2a, se muestra que la placa móvil (19) tiene cuatro elementos de obstrucción (32), sin embargo, puede tener más de cuatro, o menos de cuatro elementos de obstrucción (32). De acuerdo con lo anterior, en la FIG. 2a se identifica que los elementos de obstrucción (32)
35 configuran una forma de estrella.

Asimismo, en la realización ilustrada en la FIG. 2a, se muestra que la placa móvil (19) tiene el mismo número de elementos de obstrucción (32) que el número de perforaciones (8) que conforma el primer grupo de perforaciones (17), y que dichos elementos de
40 obstrucción (32) se separan entre sí el mismo ángulo que se separan entre sí dichas perforaciones (8).

Sin embargo, en otras realizaciones no ilustradas, la placa móvil (19) puede tener menos elementos de obstrucción (32) que el número de perforaciones (8) que conforma el primer grupo de perforaciones (17). Similarmente, en otras realizaciones no ilustradas, la placa móvil (19) puede tener más elementos de obstrucción (32) que el número de perforaciones (8) que conforma el primer grupo de perforaciones (17).

Ahora bien, retomando la explicación de la realización de la FIG. 2a, la placa móvil (19) puede estar conectada a una palanca (28) que permite controlar la posición angular de los elementos de obstrucción (32). Adicionalmente, en la realización ilustrada el mecanismo de retención de gases (6) tiene unos topes angulares (29) configurados para limitar el ángulo mínimo y máximo que puede girar la placa móvil (19). Los topes angulares (29) se disponen en la periferia de la primera salida (3) del cilindro rotatorio (1), o pueden conectarse a la placa (7).

Por otro lado, en las FIGS. 2b y 2c se ilustra el movimiento angular de la placa móvil (19). En la FIG. 2b se muestra que la palanca (28) está entre los topes angulares (29), con lo cual se posicionan los elementos de obstrucción (32) de manera que obstruyen parcialmente las perforaciones (8) del primer grupo de perforaciones (17).

Similarmente, en la FIG. 2c se identifica que la palanca (28) alcanza uno de los topes angulares (29). En esta posición angular los elementos de obstrucción (32) de la placa móvil (19) obstruyen totalmente las perforaciones (8) del primer grupo de perforaciones (17).

En otras realizaciones no ilustradas del mecanismo de retención de gases (6), la placa móvil (19) puede conectarse a la placa (7) mediante una unión machihembrada que permita el movimiento angular de la placa móvil (19) respecto a la placa (7). Por ejemplo, la placa (7) puede tener una ranura anular y la placa móvil (19) puede tener una protuberancia anular que se inserta en la ranura anular de manera que la placa móvil (19) puede rotar. Similarmente, la placa (7) puede tener la protuberancia anular mientras que la placa móvil (19) puede tener la ranura anular.

Adicionalmente, el mecanismo de retención de gases (6) puede tener un elemento de transmisión conectado a un mecanismo de transmisión operado por un motor o un mecanismo de trinquete o palanca, que permita controlar de manera precisa la posición angular de la placa móvil (19), y en consecuencia, regular con precisión el área efectiva abierta del cilindro rotatorio (1).

Por ejemplo, la placa móvil (19) puede incluir una ranura perimetral donde se conecte una correa que transmite potencia desde una polea. La polea a su vez puede estar conectada a un motor, o a mecanismo de palancas que se opere manualmente. Similarmente, la placa móvil (19) puede tener dientes que se acoplan con cadena a un piñón dentado que cumpla la

misma función de la polea, y que a su vez puede estar conectado a un motor, o a mecanismo de palancas que se opere manualmente. Ahora bien, también se puede utilizar como transmisión mecánica un conjunto piñón-corona, donde la placa móvil (19) tiene un engranaje que se acopla a un engranaje de potencia, el cual cumple la misma función de la polea y el piñón dentado.

Particularmente, la polea, el piñón dentado, o el engranaje pueden estar conectados a un motor paso a paso, el cual permite controlar con precisión el ángulo de giro de la placa móvil (19). Por ejemplo, dicho motor puede seleccionarse entre motores paso a paso clase NEMA 8, NEMA 11, NEMA 17, NEMA 23 o NEMA 34, motores eléctricos equivalente conocidos por una persona medianamente versada en la materia, o combinaciones de los mismos.

En otro aspecto del horno rotatorio aquí divulgado, el cilindro rotatorio (1) puede incluir una pared cilíndrica refractaria (10) en su interior. La pared cilíndrica refractaria (10) permite aislar térmicamente la pared del cilindro rotatorio (1), y garantiza que dicha pared no sufra daños térmicos a causa de la temperatura de operación del horno rotatorio.

Ahora bien, en la FIG. 4 se ilustra una vista en sección transversal de una realización del horno rotatorio, en donde la pared cilíndrica refractaria (10) se conecta a la pared interior del cilindro rotatorio (1) mediante una pluralidad de elementos de anclaje (11) que sobresalen de dicha pared interna del cilindro rotatorio (1) y quedan embebidos dentro de la pared cilíndrica refractaria (10).

Haciendo referencia a la FIG. 4, el horno rotatorio cada elemento de anclaje (11) se conforma de al menos una platina (12) unida a la pared interna del cilindro rotatorio (1) mediante soldadura. Cada platina (12) tiene una sección proximal que se une a la pared del cilindro rotatorio (1) y una sección distal que se curva hacia afuera de manera que las platinas (12) que forman el elemento de anclaje (11) conforman una geometría ramificada, la cual puede tener forma de “Y” o de “T”. Por ejemplo, en la FIG. 4 se identifica que las platinas (12) forman una “Y”.

La geometría ramificada de los elementos de anclaje (11) permite aumentar la superficie de contacto entre los elementos de anclaje (11) y la pared cilíndrica refractaria (10), en comparación con el caso de que los elementos de anclaje (11) tengan forma de barras. Ahora bien, los elementos de anclaje (11) pueden tener otro tipo de geometrías, por ejemplo, pueden ser barras corrugadas, tornillos, barras curvadas, platinas curvadas, y combinaciones de estas. Adicionalmente, los elementos de anclaje (11) pueden conformar una estructura con forma de armadura que forma una estructura de concreto refractario reforzado con el material refractario del cual está hecho la pared cilíndrica refractaria (10).

Asimismo, en la FIG. 4 se muestra una realización particular que tiene seis elementos de anclaje (11) separados equiangularmente entre sí. Cada elemento de anclaje (11) se tiene dos platinas (12) que forman una “Y”. Además, los elementos de anclaje (11) se unen mediante soldadura a la pared interior del cilindro rotatorio (1). Adicionalmente, en esta
5 figura se muestra un detalle ampliado en donde se identifica como uno de los elementos de anclaje (11) se encuentra embebido en la pared cilíndrica refractaria (10).

Adicionalmente, el número de elementos de anclaje (11) se selecciona con base en el diámetro del cilindro rotatorio (1) de manera que se obtengan separaciones entre los
10 elementos de anclaje (11) inferiores a 18cm. Encima de esta distancia de separación, el material de la pared cilíndrica refractaria (10) puede fisurarse debido al giro continuo del cilindro rotatorio (1). Las figuras pueden generarse como consecuencia de un esfuerzo de tensión excesivo en la superficie la pared cilíndrica refractaria (10) que se genera por el
15 propio peso de la pared cilíndrica refractaria (10) y el momento flector máximo que se produce en un punto medio localizado entre un primer elemento de anclaje (11) y un segundo elemento de anclaje (11) ubicado enseguida del primer elemento de anclaje (11). Dicho momento flector aumenta cuando la separación entre los elementos de anclaje (11) aumenta.

De acuerdo con lo anterior, entre menor sea la separación de los elementos de anclaje (11) será menos probable que la pared cilíndrica refractaria (10) se fisure. Por ejemplo, para un cilindro rotatorio (1) con un diámetro útil entre 15cm y 25cm se pueden disponer los
20 elementos de anclaje (11) con una separación entre sí seleccionada entre 5cm y 18cm. Sin embargo, con el fin de garantizar un funcionamiento duradero de la pared cilíndrica refractaria (10) sin grietas se puede usar una separación de 7,5cm o menos.
25

En otro aspecto del horno rotatorio aquí divulgado, el cilindro rotatorio (1) puede ser modular, y estar conformado por una pluralidad de secciones longitudinales que se conectan entre sí mediante bridas, u otros medios de fijación.
30

Por ejemplo, en la realización del horno rotatorio de la FIG. 1, el cilindro rotatorio (1) se divide en tres módulos (1A, 1B, 1C) unidos entre sí por medios de fijación. Los módulos (1A, 1B, 1C) ilustrados se conectan entre sí mediante bridas que se aseguran entre sí con
35 medios de fijación, por ejemplo, pernos, tornillos o remaches.

Una de las ventajas de esta realización del cilindro rotatorio (1) es que puede ser transportado por partes, y facilita el proceso de manufactura del mismo. Adicionalmente, el hecho de tener el cilindro rotatorio (1) conformado por módulos facilitar el mantenimiento del mismo, y permite reemplazar o reparar la pared cilíndrica refractaria (10) en caso de
40 que se fracture o deteriore.

En cualquiera de las realizaciones del horno de la presente invención, el cilindro rotatorio (1) puede tener una primera sección (13) con una primera longitud (L1) correspondiente a entre un 50% y un 70% de la longitud total del cilindro rotatorio (1) y configurada para secar una materia prima (24); una segunda sección (14) con una segunda longitud (L2) correspondiente a entre un 20% y un 40% de la longitud total del cilindro rotatorio (1) y configurada para precalentar la materia prima (24); y una tercera sección (15) con una tercera longitud (L2) correspondiente a entre un 5% y un 15% de la longitud total del cilindro rotatorio (1) y configurada para calcinar la materia prima (24) precalentada generando un producto procesado (25).

Por ejemplo, en la realización del horno rotatorio que se ilustra en la FIG. 3, se identifica que en el cilindro rotatorio (1) tiene en su primera entrada (2) una carcasa que rodea el cilindro rotatorio (1) y se mantiene fija, por ejemplo, mediante una extensión de la estructura (22) (no ilustrada). La carcasa tiene una salida inferior por donde sale el producto procesado (25), y tiene un puerto de conexión donde se acopla el quemador (5).

El quemador (5) produce la llama (26) que se extiende a lo largo de la tercera sección (15), y opcionalmente, puede alcanzar a llegar a la segunda sección (14). En la primera sección (13) se produce una reacción de calcinación donde se transforma la materia prima (24) en el producto procesado (25), y para lograr esto, el quemador (5) aporta suficiente calor para que el cilindro rotatorio (1) alcance en la primera sección (13) una temperatura superior a 1000°C.

Ahora bien, en la segunda sección (14) se produce un precalentamiento de la materia prima (24), la cual intercambia calor con los gases de combustión (27) generados por el quemador (5) que avanzan desde la primera entrada (2) hacia la primera salida (3). Dichos gases de combustión (27) tienen una temperatura entre 850°C y 950°C en esta zona del cilindro rotatorio (1), y permiten precalentar la materia prima (24) hasta una temperatura entre 750°C y 850°C.

Por su parte, en la tercera sección (15) se genera una evaporación de líquidos que pueden estar presentes en la materia prima (24). Asimismo, luego de que la materia prima (24) está seca, empieza a subir su temperatura, y puede llegar a tener una temperatura entre 180°C y 250°C antes de entrar a la segunda sección (14). Por su lado, los gases de combustión (27) proporcionan el calor suficiente para deshidratar la materia prima (24) y calentarla, y posteriormente alcanzan el mecanismo de retención de gases (6), el cual limita su flujo másico de salida.

Posteriormente, como se ilustra en el detalle de la FIG. 3, los gases de combustión (27) pasan por las perforaciones (8) del mecanismo de retención de gases (6) allí ilustrado, el cual cuenta con una placa (7) y un mecanismo de obstrucción (9) conformado por una placa

móvil (19) configurada para obstruir parcial o totalmente algunas de las perforaciones (8) de la placa (7).

En la realización de la FIG. 3, cuando los gases de combustión (27) atraviesan el mecanismo de retención de gases (6) se desechan a la atmósfera.

Sin embargo, en otras realizaciones del horno rotatorio los gases de combustión (27) pueden ser captados por un sistema de tuberías que los direccionen hacia otro aparato que use el calor residual que aún tienen gases de combustión (27), por ejemplo, un intercambiador de calor, una caldera, o una máquina térmica, o hacia un sistema de tratamiento de gases de combustión (27), como un lavador de gases, separador electrostático, sistema de filtros, ciclones, y combinaciones de los anteriores. Similarmente, en la primera salida (3) puede instalarse un plenum conectado a una chimenea que permiten desechan los gases de combustión (27) a la atmósfera.

Adicionalmente, en la FIG. 3 se identifica que el cilindro rotatorio (1) está soportando por una estructura (22) que tiene cojinetes (23) configurados para permitir que el cilindro rotatorio (1) rote. Además, se muestra que el cilindro rotatorio (1) está inclinado de manera que la primera salida (3) está en un punto más elevado que la primera entrada (2). Esta inclinación puede ser entre 1° y 10° medidos respecto a un plano horizontal.

Dicha inclinación del cilindro rotatorio (1) en combinación con su rotación genera el desplazamiento de la materia prima (24) desde la primera salida (3) hacia la primera entrada (2) del cilindro rotatorio (1). Particularmente, en la realización del horno rotatorio que se ilustra en la FIG. 3, se identifica una segunda entrada (20) a través de la cual se proporciona la materia prima (24) al cilindro rotatorio (1). Dicha segunda entrada (20) puede ser una tubería que se dispone concéntricamente con la perforación central (16) de la placa móvil (19) de la perforación central (16).

Adicionalmente, en realizaciones no ilustradas la tubería que define la segunda entrada (20) puede estar conectada en un extremo localizado fuera del cilindro rotatorio (1) a un sistema de suministro de materia prima (24), el cual puede ser un transportador de sólidos, una tolva, un silo, un transportador de líquidos, y combinaciones de los mismos.

Ejemplo 1: horno rotatorio para calcinación de arcillas

Se diseñó y construyó un horno rotatorio con las siguientes características:

Un cilindro rotatorio (1) de 10m de largo, un diámetro externo de 30cm, un diámetro útil ($D_{\text{útil}}/L$) de 20cm y con una relación $D_{\text{útil}}/L$ de 1:15. El cilindro rotatorio (1) tiene en su primera entrada (2) una carcasa con una salida inferior por donde sale el producto procesado (25). Además, en la carcasa se localiza un quemador (5), que en este caso es un

quemador de gas con una potencia térmica de 205,15MW (700.000 BTU/h) que permite obtener dentro del cilindro rotatorio (1) temperaturas entre 1000°C y 1100°C. Particularmente, el quemador (5) puede operar a una temperatura nominal de 1050°C.

- 5 Adicionalmente, el cilindro rotatorio (1) tiene una pared cilíndrica refractaria (10) de 5cm de espesor fabricada en concreto refractario de alto contenido de alúmina. La pared cilíndrica refractaria (10) se une a la pared interna del cilindro rotatorio (1) mediante seis líneas de elementos de anclaje (11). Cada línea se extiende a lo largo del cilindro rotatorio (1), y las líneas se separan entre sí una distancia máxima de 7,5cm. Además, cada uno de los elementos de anclaje (11) se conforma de dos platinas (12) dobladas en sus extremos distales a 45° formando una “Y”. Las platinas (12) son de acero al carbono y se unen a la pared interna del cilindro rotatorio (1) mediante soldadura.
- 10

- Por su parte, el mecanismo de retención de gases (6) se conforma de una placa (7) circular de 20cm de diámetro que se conecta al borde del cilindro rotatorio (1) de manera que la placa (7) queda fija y concéntrica con el cilindro rotatorio (1). La placa (7) tiene una perforación central (16) circular de 8,7cm de diámetro en la cual se dispone una segunda entrada (20) configurada por una tubería que proporciona la materia prima (24).
- 15

- 20 Alrededor de la perforación central (16) se tiene un primer grupo de perforaciones (17) formado por cuatro perforaciones (8) de 2,5cm de diámetro dispuestas en un patrón circular concéntrico con la perforación central (16) y separadas entre sí equiángulamente. Adicionalmente, la placa (7) tiene un segundo grupo de perforaciones (18) formado por cuatro perforaciones (8) de 4,5cm de diámetro dispuestas en un patrón circular concéntrico con la perforación central (16) y separadas entre sí equiángulamente.
- 25

- Además, el mecanismo de retención de gases (6) tiene una placa móvil (19) circular de 20cm de diámetro que se conecta al borde del cilindro rotatorio (1) localizado en la primera salida (3) mediante unos topes angulares (29). Los topes angulares (29) se sueldan al cilindro rotatorio (1) de manera que la placa (7) queda fija y concéntrica con el cilindro rotatorio (1).
- 30

- La placa móvil (19) tiene una perforación central (16) circular de 8,7cm de diámetro en la cual se dispone una segunda entrada (20) configurada por una tubería que proporciona la materia prima (24).
- 35

- La materia prima (24) avanza desde la primera salida (3) hacia la primera entrada (2) debido a que el cilindro rotatorio (1) tiene una inclinación de 5°, y gira a una velocidad de 5RPM. El giro del cilindro rotatorio (1) se genera mediante un mecanismo de rotación (4) conformados por una cadena que se conecta de manera fija a la superficie externa del cilindro rotatorio (1) y se acopla a un piñón de cadena. La reducción de velocidad
- 40

rotacional generada por transmisión de potencia entre la cadena y es de 13:5. Dicho piñón de cadena a su vez de acopla a un motorreductor eléctrico que opera a 13RPM.

El horno descrito en este ejemplo se evaluó en una primera condición donde el mecanismo de retención de gases (6) se retiró del cilindro rotatorio (1), y luego, en una segunda condición usando el mecanismo de retención de gases (6) descrito anteriormente. En la siguiente tabla de resumen los resultados de la evaluación, en donde se presenta en la primera columna los tiempos cuando se tomaron los registros de temperatura mostrados en las columnas de la derecha y el centro.

10

Temperatura máxima dentro del cilindro rotatorio (1)		
Tiempo min	Sin mecanismo de retención de gases (6)	Con mecanismo de retención de gases (6)
0	0	0
1	400	425
2	495	510
5	589	610
10	690	720
15	798	810
20	835	880
25	854	915
50	870	1000
75	880	1015
100	885	1015
125	886	1019
150	889	1021
175	900	1025
200	902	1029
225	902	1032
250	906	1036
275	908	1039
300	908	1041
325	908	1043
350	912	1046
375	916	1049
400	918	1052
425	920	1051
450	922	1053
475	921	1052
500	920	1052

Adicionalmente, en la FIG. 5 se muestra una gráfica comparativa en donde la línea con cuadros corresponde al escenario donde el cilindro rotatorio (1) tiene conectado el mecanismo de retención de gases (6) y la línea con rombos corresponde al escenario donde el cilindro rotatorio (1) no tiene acoplado el mecanismo de retención de gases (6).

Con base en los resultados de la tabla y la FIG. 5, se identifica que la temperatura máxima del cilindro rotatorio (1) pasa de 920°C en el caso que no se usa mecanismo de retención de gases (6), a una temperatura máxima de 1052°C en el caso que el cilindro rotatorio (1) tiene conectado el mecanismo de retención de gases (6). Por lo tanto, con el uso del mecanismo de retención de gases (6) se logra un incremento del 14,35% en la temperatura máxima de operación del cilindro rotatorio (1), sin necesidad de tener que elevar el consumo de combustible en el quemador (5) ni utilizar un cilindro rotatorio (1) de una mayor longitud.

Ejemplo 2: horno rotatorio modular

Un segundo ejemplo del horno rotatorio corresponde a una variación del ejemplo 1, en donde el cilindro rotatorio (1) es modular y se conforma de tres módulos (1A, 1B, 1C) unidos entre sí por bridas que se aseguran con medios de fijación.

Ejemplo 3: calcinación de arcillas para producción de áridos livianos

Se utilizó el horno rotatorio del ejemplo 1 para calcinar una materia prima (24) y generar un producto procesado (25). La materia prima (24) fueron gránulos con un diámetro en 5mm y 10mm de una mezcla de 80% de arcilla y 20% de lodos previamente triturados a un diámetro máximo de 180micrómetros. La arcilla fue “Arcilla de Villa del Rosario” tomada de una cantera en la región del Norte de Santander, en Colombia. A continuación, se muestran los resultados de un análisis químico por fluorescencia de rayos X de la arcilla utilizada:

FLUORESCENCIA DE RAYOS X (Porcentaje de óxidos)	
COMPUESTO	ARCILLA (% en peso)
SiO2	52,36
Al2O3	20,94
Fe2O3	9,47
SO3	2,99
K2O	1,34
TiO2	1,24
MgO	1,2
CaO	0,98

Na2O	0,49
Cl	0,22
Ba	0,11
P2O5	0,09
MnO	0,05
V	0,02
Sr	0,02
Zr	0,02
Ce	0,02
Cr	0,01
Zn	0,01
Rb	0,01
Pb	92 ppm
Cu	77 ppm
Y	56 ppm
Nb	25 ppm

El horno rotatorio se precalentó iniciando la quema de combustible por el quemador (5) hasta que logró una temperatura máxima de 1100°C. Luego, la materia prima (24) se suministró a través de una segunda entrada (20) conformada por una tubería provista de una tolva. Al momento de suministrar la materia prima (24) el mecanismo de rotación (4) estaba apagado. Posteriormente, el quemador (5) continuó operando mientras que los gránulos de materia prima (24) se calentaban desde una temperatura ambiente de 28°C a 500°C en 2min, y luego pasan a 700°C, temperatura que se sostuvo durante 2min más. La temperatura de la materia prima (24) se tomó con un pirómetro infrarrojo.

Posteriormente, se inició el funcionamiento del mecanismo de rotación (4) de manera que la materia prima (24) avanzó por el cilindro rotatorio (1) a una velocidad de 10cm/s, con lo cual, pasó de 700°C a 1100°C en 30s. En este caso, el diámetro de los gránulos de arcilla se expandió entre 1,1 y 1,6 veces, lo cual dio como resultado un producto procesado (25) que consiste en áridos expandidos de baja densidad, el cual puede usarse como agregado liviano en mezclas de base cementicia, como concretos estructurales.

Se debe entender que la presente invención no se halla limitada a las modalidades descritas e ilustradas, pues como será evidente para una persona versada en el arte, existen variaciones y modificaciones posibles que no se apartan del espíritu de la invención, el cual solo se encuentra definido por las siguientes reivindicaciones.