

UN REACTOR TERMOQUÍMICO VERTICAL DE INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA Y EL PROCESO DE PIRÓLISIS DE MATERIALES LIGNOCELULÓSICOS REALIZADA POR INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA

5 CAMPO TÉCNICO DE LA INVENCIÓN

La presente invención se refiere en general a los procesos y aparatos para la conversión termoquímica, especialmente adaptada para materias primas sólidas particulares. En particular se hace referencia a un reactor termoquímico vertical
10 de inducción electromagnética con un transportador sinfín sin eje central y al proceso de pirólisis de materiales lignocelulósicos realizada por inducción electromagnética.

15 ANTECEDENTES DE LA INVENCIÓN

La humanidad ha utilizado la combustión de biomasa para generar calor y luz durante los últimos 500 milenios. La biomasa fue la fuente de energía predominante en el mundo hasta que los combustibles fósiles se impusieron desde la revolución industrial. Como fuente de energía renovable, la biomasa
20 durante las últimas décadas ha vuelto a asumir un papel significativo como fuente de energía de manera sostenible. La biomasa puede incluir, por ejemplo, madera, residuos de madera, residuos agrícolas, cultivos energéticos, residuos sólidos urbanos, lodos de depuradora y residuos industriales de tipo lignocelulósico.

25 Las demandas mundiales actuales de fuentes de energía requieren que se desarrollen fuentes de energía adicionales para proporcionar energía de manera eficiente y rentable. Varios investigadores desde hace décadas a nivel global han desarrollan tecnologías de conversión de biomazas enfocados en la generación
30 de energías sostenibles como en el caso conversión de materias primas carbonáceas. Muchos de estos procesos se basan en la descomposición

termoquímica como en el caso del proceso de pirólisis de materias primas para ser convertidas en fuentes de energía fácilmente utilizables.

Por lo tanto, se han desarrollado diferentes soluciones para encontrar nuevas fuentes de energía que respondan a las continuas necesidades, no solamente de abastecimiento, sino también al mínimo impacto que pueda tener sobre el medio ambiente. El uso de biocombustibles a partir de biomasa surge como una alternativa viable para atenuar el impacto de los combustibles de origen fósil.

Es así como ha sido importante el diseño de diferentes reactores que logren altos rendimientos y mayor factibilidad en este tipo de procesos, teniendo en cuenta variables de diseño como lo es el tipo de reactor, el tipo de fuente de calor, la composición de la materia prima de biomasa, el tamaño de las partículas y el sistema de condensación ya que de estas variables depende la calidad del producto final.

Los reactores termoquímicos convencionales generalmente son calentados de manera externa por un sistema de convección forzada sea por la quema de un gas, el cual luego por convección forzada transfiere calor a la respectiva carcasa del reactor para que posteriormente esté caliente el material residente en la carcasa. Esto hace que la eficiencia de transferencia de calor sea baja debido a las pérdidas de calor presentadas ya que un porcentaje proveniente del calor de combustión es emitido al ambiente en vez de calentar en sí al reactor.

De acuerdo a lo anterior, se han implementado soluciones en este campo entre otros el mencionado en la patente US6902711 con un aparato para el tratamiento de residuos, comprendiendo dicho aparato: **a)** un reactor de lecho fluidizado para quemar parcialmente los desechos a una temperatura de 450 °C a 650 °C, formando así un material gaseoso y un material carbonoso, mientras se descompone el material carbonoso mediante un lecho fluidizado en dicho reactor de lecho fluidizado para formar así carbón fijo, teniendo dicho reactor de lecho fluidizado una salida para descargar el material gaseoso y el carbón fijo;

b) una cámara de combustión, separada de dicho reactor de lecho fluidizado y operable a una temperatura suficiente para fundir un contenido de cenizas del carbón fijo, recibiendo el material gaseoso y el carbón desde dicha salida de dicho reactor de lecho fluidizado para gasificar el material gaseoso y el carbón formando gas de síntesis, simultáneamente se funde el contenido de ceniza para formar así escoria fundida, teniendo dicho combustor una salida para descargar la escoria fundida; **c)** un enfriador para enfriar el gas de síntesis para formar gas de síntesis enfriado; **d)** un convertidor de CO para recibir el gas de síntesis enfriado y realizar una reacción de conversión de CO para producir H_2 y CO_2 ; y **e)** un separador para separar dicho H_2 del CO_2 . Este reactor tiene el inconveniente del alto costo de los aparatos para mantener el lecho fluidizado, la atmosfera inerte y una temperatura homogénea dentro del reactor.

Otro tipo de reactor es el de tipo tornillo, tecnología relativamente nueva, caracterizada por tener la ventaja de controlar el tiempo de residencia mediante la velocidad del giro del tornillo sinfín, lo cual otorga una mayor orientación a los rendimientos de los productos deseados. Por otro lado, el reactor de tornillo es una alternativa que al igual que otros reactores como el de cono giratorio o de lecho fluidizado, permite la operación en continuo, sin mostrar aparentes problemas en el escalamiento. En este tipo de reactor el portador de calor usualmente es un flujo de partículas de arena que alimentan el reactor a altas temperaturas, haciendo que la transferencia de calor a la biomasa se realice por conducción, haciendo que se tenga que diseñar una entrada y salida para el portador de calor haciendo costoso la implementación y funcionamiento de este tipo de reactor a escala industrial.

Para compensar lo anterior, se han desarrollado reactores de tornillo que puedan reducir costos, aumentar el rendimiento y requerir menos mantenimiento del equipo de proceso. Tal como el revelado en la patente US20130327627 que describe que la materia prima se calienta en un reactor que comprende al menos un tornillo sin fin, donde un material sólido funciona como portador de calor y catalizador, todo esto donde la materia prima se calienta en una atmósfera que

comprende un gas inerte y en ausencia de oxígeno. Este reactor necesita luego recuperar el catalizador para regresarlo al proceso, y equipos adicionales para mantener la atmosfera inerte. Además, la gravedad afecta de forma importante este reactor que al ser horizontal promueve la acumulación de partículas tanto del material portador de calor o de los productos de la pirólisis haciendo necesario realizar continuas paradas para limpiar el reactor.

De acuerdo con lo anterior, se concluye que las soluciones propuestas en el estado de la técnica no resuelven la necesidad de diseñar reactores que permitan ajustar el tiempo de residencia de la materia prima, mantener temperaturas homogéneas en todo el reactor, presentar un mayor rendimiento de materia prima al disminuir el tiempo de residencia requerido, funcionar sin requerir un portador de calor y evitar la acumulación de material a tratar en alguna parte del reactor.

El objeto de la presente invención es proporcionar un reactor termoquímico vertical calentado por inducción electromagnética con un transportador sinfín sin eje central que solucionen los anteriores inconvenientes del estado de la técnica por medio de una configuración que permite que los gradientes del calor generado provengan del interior del reactor presentando mínimas pérdidas de calor, ya que el calor es transferido directamente al material lignocelulósico a calentar debido a que el mismo material rodea el transportador sinfín. Por otro lado, el transportador además de calentar el material también lo mezcla de manera que exista una homogenización del material y que se presente una mayor difusión de calor y reacciones.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION

La presente invención esta relacionada con un reactor termoquímico vertical calentado por inducción electromagnética con un transportador sinfín sin eje central conformado por una carcasa, un transportador sinfín sin eje central, una bobina, una pluralidad de sellos mecánicos, un motor eléctrico, una pluralidad

de ejes, salida de gases y de producto, entre otros elementos que conforman el dispositivo.

- Otro objeto de la presente invención es un proceso para la reacción de materiales lignocelulosicos realizada por inducción electromagnética que comprende:
- 5 a) Proveer el material lignocelulósico con un tamaño de partícula de máximo 5 mm;
 - b) Proveer un reactor termoquímico vertical calentado por inducción electromagnética;
 - c) Alimentar el material lignocelulósico por la parte superior de la carcasa del reactor;
 - d) Encender el motor y activar el transportador sinfín
 - 10 del reactor;
 - e) Encender la bobina de inducción para que se genere un campo electromagnético;
 - f) Iniciar la volatilización de los compuestos del material lignocelulósico;
 - g) Controlar la temperatura dentro del reactor;
 - h) Evacuar los gases volátiles producidos por la salida de volátiles que es la misma entrada por donde se alimentó el material lignocelulósico al reactor al iniciar el proceso;
 - i)
 - 15 Realizar la pirólisis hasta volatizar todos los compuestos volátiles para obtener carbón sólido o biochar dentro del reactor;
 - j) Evacuar el reactor cambiando la dirección del transportador sinfín para que salga el carbón sólido por la salida inferior.
- 20 La presente invención logra una mejor eficiencia energética en el reactor y en el proceso de pirólisis, ya que permite una distribución de los gradientes de temperatura desde el interior del reactor, una difusión de calor y masa homogénea dentro del reactor.

25 **DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS**

Para poner en claro adicionalmente las ventajas anteriores y otras características de la presente invención, y una descripción particular de la invención será presentada con referencia a las modalidades específicas de la mismas que se

30 ilustran en las figuras adjuntas. Se aprecia que estas figuras representan únicamente modalidades típicas de la invención y, por lo tanto, no se consideran limitantes de su alcance.

La figura 1 ilustra una vista en perspectiva del reactor termoquímico vertical calentado por inducción electromagnética con un transportador sinfín sin eje central (100).

5

La figura 2 ilustra una vista superior del reactor termoquímico vertical calentado por inducción electromagnética con un transportador sinfín sin eje central (100).

10 **La figura 3** ilustra una vista frontal del reactor termoquímico vertical calentado por inducción electromagnética con un transportador sinfín sin eje central (100).

La figura 4 ilustra una vista frontal del reactor termoquímico vertical calentado por inducción electromagnética con un transportador sinfín sin eje central sin la bobina (103).

15

La figura 5 ilustra una el despiece del reactor termoquímico vertical calentado por inducción electromagnética con un transportador sinfín sin eje central (100).

20 **La figura 6** ilustra un esquema del mecanismo de transferencia de calor en una hoja (122) del del transportador sinfín sin eje central (101) hacía el material lignocelulósico (123).

La figura 7 ilustra la vista superior del gradiente de temperatura en la superficie de una hoja (122) del del transportador sinfín sin eje central (101).

25

La figura 8 ilustra la vista lateral del gradiente de temperatura en la superficie de una hoja (122) del transportador sinfín sin eje central (101).

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

Un objeto de la presente invención es proporcionar un reactor termoquímico vertical calentado por inducción electromagnética con un transportador sinfín sin eje central. Este reactor hace que los gradientes de calor por origen y direccionamiento sean diferentes a los sistemas de reactores termoquímicos convencionales, ya que el calentamiento es por inducción electromagnética producida por la bobina de inducción que genera un campo electromagnético.

Este campo induce un calentamiento a aquellos materiales que estén en la zona del campo, los materiales que pueden ser calentados son aceros al carbono, cobre, grafito, aluminio, oro, etc. El calentamiento se da por un tipo de corrientes llamadas corrientes de Eddy. Es de aclarar que la bobina inductora y el material inducido no necesitan estar en contacto para generar el fenómeno de calentamiento por inducción.

Otro objeto es proporcionar un proceso de pirólisis de materiales lignocelulósicos realizada por inducción electromagnética que presenta una mejor eficiencia energética, ya que permite una distribución de los gradientes de temperatura desde el interior del reactor, una difusión de calor y masa homogénea dentro del reactor.

Haciendo referencia a las figuras 1 y 2 donde se muestra el reactor termoquímico vertical calentado por inducción electromagnética con un transportador sinfín sin eje central (100) conformado por transportador sinfín sin eje central (101), una carcasa (102), una bobina de inducción (103), un eje hueco superior (109), un eje macizo superior (110), un motor (106), tapa inferior (111), una pluralidad de tornillos (114), un empaque (116), un tubo protector superior de los ejes (118) y la salida de volátiles (117).

La carcasa (102) es aquella parte que contiene al transportador sinfín sin eje central (101) y al material lignocelulósico (123). Está constituida por un material que no genera corrientes de Eddy y tampoco repele las líneas de campo

generadas por la bobina (103). Su función es contener y proteger el material lignocelulósico del ambiente exterior y contener el mismo. En una realización preferida el material de la carcasa es material refractario con un espesor de pared de 0,79 cm (5/16 de pulgada) y 40,64 cm (16 pulgadas) de largo, su diámetro interno es de 7,62 cm (3 pulgadas).

El material lignocelulósico (123) a tratar puede estar constituido por residuos de biomasa que incluyen residuos agrícolas (cáscara de arroz, paja de arroz, productos excedentes o similares), residuos forestales (aserrín, corteza, madera del aclareo o similares), desechos industriales (polvo de astillas de pulpa o similares) y desechos de madera de la construcción, y/o carbón de baja calidad, el cual incluye turba que tiene bajos grados de carbonización.

El transportador sinfín sin eje central (101) es de un material de baja corrosión que al ser inducido genera corrientes de Eddy, tal como acero inoxidable, aceros al carbono, cobre, grafito, aluminio, oro, etc. Este transportador se encuentra alojado dentro del reactor (100) y está en constante contacto con el material lignocelulósico (123) a ser calentado, ya que el transportador sinfín siempre estará rodeado del material lignocelulósico (123).

El transportador sinfín sin eje central (101) tiene principalmente tres propósitos: el primero es generar el calor por las corrientes de Eddy que fluyen debido al campo inductor al cual está siendo sometido. Una vez el transportador está caliente, el segundo propósito es transferir ese calor generado por medio de tres mecanismos de transferencia de calor de manera simultánea (conducción, convección y radiación) hacia el material lignocelulósico (123). El tercer propósito es mezclar el material lignocelulósico (123) de manera mecánica debido a la configuración geométrica e impulsora del transportador todo esto dentro del reactor.

En una realización preferida el transportador sinfín sin eje central (101) es de acero inoxidable con un espesor de 0,16 cm a 0,31 cm (1/16 – 1/8 de pulgada).

Su paso es de 3,81 cm (1.5 pulgadas) y un diámetro externo de 7,62 cm (3 pulgadas) y un diámetro interno de 3,18 cm (1.25 pulgadas).

5 La bobina de inducción (103) de cobre por la cual pasa una corriente eléctrica alterna a una frecuencia entre 10 kHz y 20 kHz. En una realización preferida de 8 mm de diámetro externo. El paso de bobina es 3,18 cm (1.25 pulgadas).

10 El sello mecánico superior (104) y el sello mecánico inferior (105) permite girar los ejes (107), (108), (109) y (110) sin que se presenten fugas de material hacia el ambiente.

15 Los ejes (107), (108), (109) y (110) son de acero inoxidable 304 su diámetro puede ser de (0,48 cm a 0,64 cm (3/16 – 1/4 de pulgada) y de 7,62 cm a 10,16 cm (3 a 4 pulgadas) de longitud. Los ejes (107) y (108) son comunicantes de potencia al transportador sinfín mientras que los ejes (109) y (110) dan estabilización al transportador sinfín en su parte superior.

20 El motor (106) es eléctrico funcionando a 110 V, con una potencia de 9 a 15 W con una rotación de 3 a 9 rpm.

25 La tapa inferior (111) que separa y hace de base del reactor y está unida al tubo protector de los ejes inferiores (119). Es construida en acero inoxidable 304. Su diámetro puede estar entre 11, 68 cm (4.6 pulgadas) con un espesor de pared de 0,32 cm (1/8 de pulgada).

Por su parte los tornillos (114) son de acero inoxidable de 0,64 cm (1/4 de pulgada) de diámetro y 1,91 cm (3/ 4 pulgada) de largo y el empaque (115) es un empaque siliconado de alta temperatura.

30 Las figuras 3 y 4 muestran la vista frontal del reactor termoquímico vertical calentado por inducción electromagnética con un transportador sinfín sin eje central (100) con y sin la bobina (103) respectivamente. La bobina rodea la

carcasa (102) hasta aproximadamente donde inicia la contrapuerta de salida del biocarbon o biochar en la parte inferior de reactor (100). En las mencionadas figuras además se muestra la configuración y ubicación del eje hueco superior (109), el eje macizo superior (110), el transportador sinfín sin eje central (101), la compuerta de salida (120) que se encuentra a un lado en la parte inferior del reactor (100), la tapa inferior (111), el empaque (115), los tornillos (114) que permiten el cierre hermético en la parte inferior del reactor (100) al acoplar la parte final del reactor con el empaque (115) y la tapa inferior (111). Adicionalmente se observa el eje hueco inferior (108), el eje macizo inferior (107) y el motor.

Específicamente en la figura 4, se muestra el transportador sinfín sin eje central (101) que en su parte central al no tener un eje y al ser de un diámetro menor que el de la carcasa permite que el material lignocelulósico (123) una vez en la parte superior pueda caer a la parte inferior del reactor para volver a subir y a ser calentando para continuar con la pirolisis total del material (123) para producir un material sólido llamado carbón, carbón vegetal o, más específicamente, biocarbón o biochar, que es evacuado por la salida (116) del reactor (100).

Haciendo referencia a la figura 5 que muestra el despiece del del reactor termoquímico vertical calentado por inducción electromagnética con un transportador sinfín sin eje central (100) de la presente invención, en la cual se tiene el eje macizo superior (110), el buje superior (112), el tubo protector de los ejes superiores (118), la carcasa (102), la salida del biocarbón o biochar (116), la bobina de inducción (103), el eje hueco (109), el transportador sinfín sin eje central (101), el eje hueco inferior (108), la compuerta de salida (120), el empaque (115), los tornillos (114), el buje inferior (113), el eje macizo (107), y el motor (106), donde se observa en detalle cada uno de los elementos.

El reactor termoquímico (100) de la presente invención obtiene su energía por medio de ondas de inducción electromagnética desde una bobina de inducción

(103) que rodea la carcasa (102), es de aclarar, que el flujo de inducción no afecta la carcasa (102) ni al material lignocelulósico (123) contenido dentro del reactor (100) sino solo al transportador sinfín sin eje central (101) que está dentro de ella dado que es de un material metálico.

5

Por su parte, en la figura 6 se observa el fenómeno de transferencia de calor que se inicia cuando se enciende la bobina de inducción (103). Las líneas de inducción (121) son las encargadas de llevar la potencia eléctrica suministrada a través de la bobina (103). Esta potencia eléctrica se convierte en un flujo de calor una vez estas contactan el material metálico (transportador sinfín sin eje central (101)), calor que será requerido para hacer el respectivo calentamiento del material (123) alojado dentro del reactor (100), que para este caso es el material lignocelulósico (123).

10

15

La inducción del campo sobre las hojas (122) del transportador sinfín sin eje central (101) hará que estas se calienten en función de la corriente y voltaje en la bobina de inducción (103). Para este caso, la superficie de las hojas del transportador sinfín sin eje central (101) alcanzaran unas temperaturas entre 50°C a 900°C, preferiblemente entre 250°C a 700°C, y más preferiblemente entre 350°C a 400°C. Así, el calor se transmitirá a cualquier cuerpo que rodee las hojas (122), en este caso las partículas de material lignocelulósico (123). De este modo el calor se transfiere por el mecanismo de transferencia de calor de conducción, convección entre los inter-espacios gaseosos partícula-hoja, y por radiación.

20

25

Simultáneamente mientras las hojas (122) del transportador sinfín sin eje central (101) transfieren calor hacia el material lignocelulósico (123), el mismo transportador sinfín sin eje central (101) rota debido a un motor acoplado. Es de recordar que el transportador sinfín sin eje central (101) del reactor es hueco en el centro, ya que la finalidad del mismo no es solamente transportar un material desde la parte inferior del reactor a la parte superior del mismo, sino

30

que también y la más importante es la distribución del material calentado por las hojas del transportador sinfín sin eje central (101).

Por lo tanto, se genera un mezclado difusivo de calor y masa, esto hace que los
5 gradientes de temperatura sean mayores entre las hojas (122) del transportador sinfín sin eje central (101), dado que hay una renovación de material de contacto continuamente permitiendo que este nuevo material también reciba calor por parte de las hojas (122) del transportador sinfín sin eje central (101).

10 Como es mostrado en la figura 6, la parte generadora de calor se encuentra alojada en sí en el interior del reactor (100) con la ventaja que está totalmente rodeado por el material que requiere ser calentado, en este caso el material lignocelulósico (123).

15 Así mismo el material (123) cumple un papel de conductor y capturador de la mayoría del área superficial del transportador sinfín sin eje central (101), la cual es el área de transferencia de calor. De esta manera, se aprovecha de manera muy eficiente todo el calor generado en ser transferido al material lignocelulósico (123) alojado en el reactor y no en pérdidas por radiación y convección, como
20 en el caso de calentamiento por combustión, ya que la gran mayoría de energía se irá hacia los alrededores del material calentado y no al material a calentar en sí. Por otro lado, el del transportador sinfín sin eje central (101) presenta una ventaja difusiva y de transporte debido al accionar de mezcla que en sí este realiza sobre el material lignocelulósico (123).

25 Otro objeto es proporcionar un proceso de pirólisis de materiales lignocelulósicos realizada por inducción electromagnética.

Este proceso inicia con el acondicionamiento del material lignocelulósico, el cual
30 debe ser molido y tamizado para tener lograr tener un tamaño de partícula de máximo 5 mm, lo que garantiza que el área de transferencia de calor en cada partícula sea pequeña y proceso de calentamiento y pirolisis sea más eficiente.

Luego, se debe proveer en un reactor termoquímico vertical calentado por inducción electromagnética con un transportador sinfín sin eje central (100), en el cual se agrega o alimenta el material lignocelulósico por la parte superior de la carcasa del reactor por el orificio de la salida de volátiles (117).

La relación del volumen alimentación al volumen del reactor es de 2.2 litros.

Se enciende el motor (106) y mediante los ejes (107) y (108) transmitir la potencia al transportador sinfín (101) para activar el movimiento del transportador sinfín (101) dentro del reactor (100).

En una realización se espera que todas las hojas el transportador sinfín sin eje central (100) tengan material para así encender la bobina (103) para que se genere un campo electromagnético que hace que se caliente, preferiblemente, se espera a que la mitad de las. las hojas del transportador sinfín sin eje central (100) tengan material para así encender la bobina (103), más preferiblemente, se enciende la bobina cuando se alimenta todo el material lignocelulósico y apenas se enciende el motor.

Esperar a que se inicie el calentamiento por inducción del transportador sinfín sin eje central (100) para que se transfiera el calor desde la superficie de las hojas (122) al material lignocelulósico (123).

Cuando la temperatura está cerca a los 200°C, en primera instancia se iniciará la vaporización de los compuestos de la descomposición de la celulosa y hemicelulosa, produciendo volátiles que salen parte superior del reactor por la salida de volátiles (117). La temperatura sigue aumentando hasta alcanzar las temperaturas entre los 800°C a 900°C con una velocidad de calentamiento de 30 segundos hasta los 2 minutos, lo que da inicio a la pirólisis que es una descomposición termoquímica del material lignocelulósico (123) a temperaturas elevadas.

No, obstante es importante tener en cuenta que desde el rango de 200°C a 550°C, ya inicia la pirólisis, que dependiendo de la velocidad de calentamiento generará mayor o menor medida la cadena de compuestos volátiles en etapas posteriores.

Durante el presente proceso es importante hacer seguimiento a la temperatura dentro de reactor (100), para lo cual se pueden tomar muestras por la salida (116) y de esta forma controlar el flujo de corriente que está pasando por la bobina y directamente contralar la tasa de calentamiento del transportador sinfín sin eje central (101) y así, la temperatura promedio del reactor (100) en general.

Tal como se ha indicado cuando se inicia el calentamiento se inicia la producción de compuestos volátiles los cuales deben salir del reactor para mantener las condiciones homogéneas dentro del mismo, para lo cual se deja abierta la salida de volátiles (117) que es la misma entrada por donde se alimentó el material lignocelulósico (123) al reactor (100) al iniciar el proceso.

Luego, se continua con la pirólisis hasta volatizar todos los compuestos volátiles para así obtener carbón sólido o biochar dentro del reactor.

Finalmente, se hace necesario evacuar el reactor, lo cual se realizar al cambiar la dirección del transportador sinfín sin eje central (101) para que salga el carbón sólido por la salida (116) inferior del reactor (100).

MEJOR FORMA DE REALIZAR LA INVENCION

Para explicar la mejor forma de realizar la invención se detallará el proceso de para la reacción de material lignocelulósico (123) realizada en el reactor termoquímico vertical calentado por inducción electromagnética con un transportador sinfín sin eje central (100).

Inicialmente se acondiciona el material lignocelulósico (123), el cual consiste en materiales de origen renovable como cascarilla de café, aserrín de pino, cascarilla de arroz, cubiertas de nuez de macadamia para que tengan un tamaño de partícula no mayor a 5 mm.

5

El material el material lignocelulósico (123) acondicionado ingresará al reactor de manera descendente desde la parte superior de la carcasa (102) por el orificio de salida de volátiles (117) del reactor. Una vez esté ingresando, se activará el transportador sinfín sin eje central conectado a un motor impulsor.

10

El transportador sinfín sin eje central (101) en sus extremos esta soportado por medio de un sello mecánico en la parte superior (104) y un sello mecánico en la parte inferior (105), que permiten la rotación de este y a la vez impiden el escape de material que se encuentra en el reactor.

15

El motor impulsor es un motor eléctrico de 9W de potencia funcionando en un rango de 3 a 9 rpm. Es de resaltar que la función mecánica del transportador sinfín sin eje central (101) durante el llenado del reactor con el material lignocelulósico (123) es simplemente mecánica y de distribución. Debido a que el transportador sinfín sin eje central (101) en este caso no posee eje en la mitad, lo que hace que una vez acumulado el material lignocelulósico (123) en la parte superior del transportador (101) este caerá por la mitad del tonillo hasta la base del reactor.

20

25

Sin embargo, el material lignocelulósico (123) alojado en la parte baja del reactor (100) volverá a ascender debido al direccionamiento del transportador (101), lo cual ocasiona que habrá un llenado del reactor (100) uniforme y simultáneamente habrá un recorrido del el material lignocelulósico (123) por las distintas posiciones del transportador (101).

30

En este contexto el llenado del reactor (100) el transportador sinfín sin eje central (101) cumplirá una función de distribución de llenado y mezclado. Para

esta sección del proceso, la carcasa (102) cumple una función de acumulación y separación del material lignocelulósico (123) del ambiente externo.

5 Una vez alojado el material (123) a ser convertido dentro del reactor (100) se hace un encendido de la bobina de inducción (103). La bobina de inducción (103) está construida de tubo de cobre de 8 mm de diámetro externo. Por la bobina pasará una corriente alterna de 50 a 60 amperios a una frecuencia de 10 a 20 kHz.

10 De esta manera se generará un campo electromagnético alrededor de la bobina (103) donde sus líneas de flujo se direccionarán a un material ferromagnético, que para este caso será el transportador sinfín (101). Para resaltar, el fenómeno entre la bobina (103) y el transportador sinfín (101) se conoce como calentamiento por inducción. Es de destacar, que las líneas de campo de flujo
15 electromagnético (121) no afectaran la carcasa (102) debido a que esta está construida en un material cerámico, es decir, la carcasa (102) no será calentada por las líneas de inducción generadas por la bobina (103).

Así, en esta parte del proceso, el transportador sinfín sin eje central (101)
20 cumple la función de generar calor por medio de transformación de una potencia eléctrica en un flujo de calor.

Durante pruebas, esto se da dependiendo de la masa total del transportador sinfín y para un material de acero inoxidable 304. En esta parte del proceso, se
25 detalla entonces que el transportador sinfín sin eje central (101) cumple en convertir las líneas de flujo disponibles en calor.

El flujo de calor es generado por cualquier parte del transportador sinfín sin eje central (101) que es excitada por el campo de inducción. Para este ejemplo, se
30 empleó una fuente de generación de 3000 W, de esta manera, las temperaturas que puede alcanzar el transportador sinfín sin eje central (101) están entre los

800°C a 900°C con una velocidad de calentamiento de 30 segundos hasta los 2 minutos.

5 Ahora, bien las figuras 7 y 8 muestran la simulación de campo de temperatura del transportador sinfín sin eje central (101) para una potencia de 1000 W, con el campo escalar de temperatura en la superficie (122) del transportador sinfín (101) en estado estable, evidenciando así la principal cualidad inventiva del actual reactor que es la forma de distribución de los gradientes de temperatura desde el interior del reactor y la forma de difusión de calor y masa dentro del
10 mismo reactor, lo cual lleva a que haya un mejor aprovechamiento del calor suministrado y además de una mejora en la homogeneización del material tratado dentro del reactor.

Debido a leyes de transferencia de calor, una vez la temperatura del
15 transportador sinfín sin eje central (101) en su superficie sea mayor que la temperatura del material (123) que hace contacto con el mismo se generará un gradiente de calor.

En primera instancia el mecanismo relevante de transferencia de calor será la
20 conducción, pero debido al movimiento del transportador sinfín sin eje central (101) fenómenos convectivos y difusivos entre la misma biomasa serán generados.

Para temperaturas mayores de 200°C, el fenómeno de radiación toma
25 relevancia. Así, todo el calor generado por el transportador sinfín sin eje central (101) tiene una variedad de caminos para ser transferido hacia el material lignocelulósico (123) y debido a la rotación del transportador sinfín sin eje central (101) la homogenización del campo escalar de temperatura en el cuerpo del material (123) será mayor.

30

En un contexto de ventaja resumido, todo el calor requerido para calentar el material (123) será originado casi el 100 % del cuerpo que lo origina y que está

en contacto con el mismo material (123) (contacto transportador sinfín sin eje central (101) – material lignocelulósico (123)).

5 Durante el proceso de calentamiento del material lignocelulósico (123), fenómenos termoquímicos se generan, en primera instancia habrá un fenómeno de vaporización, en donde parte de este ahora saldrá por la parte superior del reactor por la salida de volátiles (117) (misma sección donde ingresó inicialmente el material lignocelulósico (123)) al estar cerca a los 200°C fenómenos de volatilización de la celulosa y hemicelulosa serán dados.

10

Todos los volátiles condensables y no condensables saldrán por la parte superior del reactor por la salida de volátiles (117).

15

Este proceso puede tomar de 15-30 minutos hasta volatilizar toda la hemicelulosa y celulosa de la biomasa, de esta manera se obtiene carbón fijo sólido dentro del reactor.

20

Una vez tenido este carbón fijo, al cual se le puede varias funciones dependiendo del contexto de utilización (bioabono, combustible sólido, base para carbón activado) éste se encontrará a una temperatura aproximada de 500 °C).

25

Este material es retirado haciendo apertura de la compuerta (120) de salida (116) de biochar, el cual es el mismo carbón fijo obtenido de un proceso termoquímico pero obtenido de material de origen renovable, como las biomásas. La compuerta (120) se encuentra en la parte inferior de la carcasa (102). Para hacer un desalojo rápido, aquí el transportador sinfín sin eje central (101) cumple otra función junto al motor (106), es que se le que cambia el direccionamiento de rotación al motor (106) y el transportador sinfín sin eje central (101) llevará el material (123) de manera descendente y saldrá por la

30 compuerta de salida de biochar. Así se finaliza el proceso de conversión termoquímica en el reactor.