

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 385 880**

51 Int. Cl.:  
**C10J 3/54**

(2006.01)

12

### TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **01992302 .8**

96 Fecha de presentación: **20.12.2001**

97 Número de publicación de la solicitud: **1352042**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **15.10.2003**

54 Título: **Método de gasificación de biomasa para reducir la aglomeración de ceniza**

30 Prioridad:  
**21.12.2000 US 257427 P**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**02.08.2012**

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**02.08.2012**

73 Titular/es:  
**RENTECH, INC.  
10877 WILSHIRE BLVD., SUITE 710  
LOS ANGELES, CA 90024, US**

72 Inventor/es:  
**PAISLEY, Mark, A.**

74 Agente/Representante:  
**Rizzo, Sergio**

**ES 2 385 880 T3**

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

**Método de gasificación de biomasa para reducir la aglomeración de ceniza****Descripción**

[0001] La presente invención hace referencia a sistemas de gasificación para la producción de electricidad a partir de biomasa, como corteza triturada, virutas de madera, serrín, residuos u otras cargas de alimentación o combustibles carbonosos. Más específicamente, la presente invención hace referencia a un método mejorado para operar una unidad de pirolisis de lecho arrastrado paralelo con una circulación mejorada y una erosión reducida de los componentes del sistema.

[0002] Se han desarrollado sistemas de gasificación de biomasa que resultan útiles para la producción de energía eléctrica en áreas remotas o en áreas en las que se produce una gran cantidad de biomasa de desechos agrícolas. Los sistemas actuales de gasificación de biomasa se basan generalmente en la combustión de una parte de la carga de alimentación de biomasa para proporcionar el calor necesario para la gasificación del resto de carga de alimentación de biomasa. Sin embargo, la combustión de una parte del flujo de biomasa de materia prima para la producción de calor puede reducir de forma significativa la eficacia global del sistema gasificador. También se ha demostrado que resulta ventajoso utilizar los residuos de carbonización carbonosos, o *char*, producidos en la gasificación como una fuente de combustible para generar calor en la cámara de combustión. Puesto que los residuos de carbonización son básicamente un residuo del gasificador, su consumo en la cámara de combustión tiene un efecto adverso menor en la eficiencia del sistema que el que se aprecia en los sistemas en los que se usa una parte de carga de alimentación de biomasa como fuente de combustible de la cámara de combustión.

[0003] La patente estadounidense nº 4.828.581 de Feldmann et al., describe un sistema gasificador ejemplar para la producción de gas con calidad de combustible a partir de combustibles carbonosos utilizando caudales de biomasa muy altos en un gasificador de lecho fluidizado operando a velocidades de gas de entrada bajas. El proceso descrito en *Feldmann et al.* utiliza una cámara de combustión para calentar un lecho de arena fluidizada, que se dirige a un gasificador en el que la arena calentada sirve como fuente de calor para la pirolisis del material de biomasa. A diferencia de los sistemas precedentes, el sistema de *Feldmann et al.* se basa en el arrastre de residuos de carbonización en un flujo de arena desde la salida del gasificador para permitir la operación a una velocidad de entrada ventajosamente baja, tan baja como 0,1524 m/seg (0,5 pies/seg) pero con un caudal de biomasa de 21 a 186 kg/m<sup>2</sup>-h (de 500 a 4.400 libras/pies<sup>2</sup>-h). El sistema de *Feldmann et al.* es adecuado para la producción de gas de BTU (unidades térmicas británicas) media que pueden usarse

como fuente de combustible para la producción de electricidad en un sistema de turbina/caldera de gas convencional.

**[0004]** Uno de los problemas comúnmente asociados con el uso de tales sistemas gasificadores de lecho fluidizado es la erosión de los conductos que componen el sistema por la arena en circulación utilizada para transferir calor por el sistema gasificador. Este problema ha resultado especialmente grave en las curvas en los conductos del sistema, en las que la arena en circulación puede erosionar gravemente los conductos. En los casos graves, esta erosión puede acortar la vida útil del sistema gasificador y puede llevar a un fallo catastrófico de los conductos.

**[0005]** En los sistemas de lecho fluidizado en los que se utiliza arena como medio de transferencia de calor de una cámara de combustión a un gasificador, es necesario minimizar o eliminar la fuga de gases que contienen oxígeno de la cámara de combustión al gasificador. La contaminación del gasificador con oxígeno da como resultado la formación no deseable de dióxido de carbono y agua a partir de los productos finales de CO y H<sub>2</sub> de la reacción de gasificación, disminuyendo la eficacia de la gasificación. Sin embargo, se ha demostrado que en los sistemas precedentes resulta difícil desarrollar un método por medio del cual la arena pueda ser transportada desde la cámara de combustión hasta el gasificador y de vuelta, mientras se mantiene un sellado hermético para evitar la entrada de oxígeno en el gasificador.

**[0006]** En algunos casos, según la naturaleza de la carga de alimentación utilizada, estos sistemas precedentes han sufrido problemas como resultado de la aglomeración de mezcla de residuos de carbonización, ceniza y arena, con la consiguiente obstrucción del flujo a través del sistema. A las altas temperaturas de funcionamiento de los sistemas gasificadores, al menos una parte de la aglomeración de ceniza es el resultado de la fundición parcial de los componentes de la ceniza. Claramente, sería recomendable desarrollar un método para reducir o eliminar la aglomeración de mezcla de residuos de carbonización, ceniza y arena.

**[0007]** Por tanto, es un objeto de la presente invención proporcionar un método mejorado para dirigir el flujo de arena a través de un sistema de pirolisis de lecho arrastrado paralelo por medio del cual se minimice la erosión de los componentes del sistema.

**[0008]** Constituye otro objeto de la presente invención proporcionar un método mejorado para permitir el flujo de arena y residuos de carbonización en un sistema de pirolisis de lecho fluidizado, al tiempo que se mantiene un sellado hermético entre los componentes del gasificador y de la cámara de combustión del sistema.

**[0009]** Constituye otro objeto más de la presente invención proporcionar un método mejorado para reducir o evitar la aglomeración de ceniza, arena y residuos de carbonización en un sistema de pirolisis de lecho fluidizado.

5 **[0010]** El sistema del proceso según esta invención hace referencia a mejoras en un sistema gasificador de lecho fluidizado de arrastre paralelo. Un primer aspecto de la presente invención hace referencia a un método para reducir la aglomeración de ceniza en un sistema de cámara de combustión/gasificador de lecho fluidizado de arrastre paralelo según la reivindicación 1.

10 **[0011]** En la gasificación y combustión, el MgO altera el eutéctico de la ceniza resultante para aumentar el punto de fusión y reducir sustancialmente la aglomeración de ceniza y arena como resultado de la fundición parcial de ceniza a altas temperaturas.

La FIG. 1 es un diagrama de bloques que muestra un sistema gasificador útil en el proceso según un modo de realización preferido de la presente invención.

15 La FIG. 2 muestra un distribuidor de gas según un modo de realización preferido de la presente invención.

La FIG. 3 muestra un recipiente de equilibrio para permitir la transferencia de arena y residuos de combustión entre los componentes del gasificador y la cámara de combustión del sistema gasificador de la FIG. 1, al tiempo que se mantiene un sellado sustancialmente hermético entre el gasificador y la cámara de combustión.

La FIG. 4 ilustra una cavidad de retención de arena para reducir la erosión de los conductos según un modo de realización preferido de la presente invención.

25 La FIG. 5 es un gráfico de los datos del analizador térmico diferencial (DTA) para ceniza de madera solamente.

La FIG. 6 es un gráfico de los datos del analizador térmico diferencial (DTA) para una mezcla 50/50 de ceniza de madera y arena.

La FIG. 7 es un gráfico de los datos del analizador térmico diferencial (DTA) para ceniza de pino solamente.

30 La FIG. 8 es un gráfico de los datos del analizador térmico diferencial (DTA) para una mezcla de arena y ceniza de madera complementada con caolín.

La FIG. 9 es un gráfico de los datos del analizador térmico diferencial (DTA) para una mezcla de arena y ceniza de madera complementada con MgO.

La FIG. 10 es un diagrama de fases para  $K_2O$ -MgO-SiO<sub>2</sub>.

35 La FIG. 11 es un gráfico del contenido de  $K_2O$  y MgO de los componentes de ceniza del lecho en un sistema alimentado con álamo.

La FIG. 12 es un gráfico del contenido de  $K_2O$  y  $MgO$  de los componentes de ceniza del lecho en un sistema alimentado con pasto varilla (*switchgrass*).

### DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

5 [0012] El método operativo básico de una unidad de pirolisis de lecho arrastrado paralelo es similar al descrito en la patente estadounidense nº 4.828.581 de Feldmann et al. Como se ilustra en la FIG. 1, el sistema gasificador A de la presente invención incluye generalmente un gasificador 20 y una cámara de combustión 22 que operan de forma cooperativa para convertir la biomasa en calor y un gas de producto de BTU  
10 media. La cámara de combustión 22 trabaja para convertir los residuos de carbonización que quedan tras la gasificación de la biomasa en el gasificador 20 en calor. El calor producido en la sala de combustión 22 se transfiere entonces al gasificador 20 para provocar la reacción de gasificación. Esto permite un aumento en la eficacia del sistema mediante la eliminación de la necesidad de consumo de una  
15 fuente de combustible separada para proporcionar calor para provocar la reacción de gasificación.

[0013] En el sistema gasificador A, el material de carga de alimentación AA se pasa primero a través de un secador 30 en el que el agua arrastrada se evapora para producir una carga de alimentación seca BB, que es conducida a un recipiente de  
20 almacenamiento 32 para su almacenamiento antes de la introducción en el gasificador 10.

[0014] El gasificador 20 puede ser un gasificador de lecho fluidizado estándar que recibe la carga de alimentación seca BB y la somete al calor en un ambiente libre de oxígeno, volatilizandoparcialmente la carga de alimentación para liberar una mezcla  
25 de  $H_2$ ,  $CH_4$  y  $CO_2$ . El gasificador 20 es calentado por un flujo de arena DD u otro material fluidizado inerte que es recibido de la cámara de combustión 22. El flujo de arena DD es fluidizado mediante el soplado de un flujo de vapor CC a través de la arena desde la parte inferior del gasificador 20 a través del distribuidor de gas 24. El flujo de carga de alimentación BB y el flujo de arena DD se introducen ambos en el  
30 gasificador 20 próximo al distribuidor de gas 24.

[0015] El distribuidor de gas 24 puede ser de cualquier tipo convencional, como los distribuidores de gas de placa perforada utilizados más comúnmente en los sistemas de lecho fluidizado. Sin embargo, como se muestra en la FIG. 2, en el modo de realización preferido, un distribuidor de gas mejorado 24 incluye una pluralidad de  
35 conductos dispuestos en la parte inferior del gasificador 20, teniendo cada uno orificios de inyección dispuestos hacia abajo 26 para inyectar aire en el lecho de arena para fluidizarla. La orientación hacia debajo de los orificios de inyección 26 asegura que

cualquier material residual será soplado de nuevo a la sección fluidizada del lecho. De ese modo, la totalidad del lecho es fluidizado, evitando la acumulación de material residual en la base del recipiente y asegurando que la arena está en circulación de forma continua, evitando la formación de puntos fríos en el recipiente del gasificador.

5 Esto resulta ventajoso en comparación con los distribuidores de gas de placa perforada más tradicionales, los cuales pueden permitir puntos muertos y una circulación incompleta en el gasificador 20.

**[0016]** El gasificador 20 funciona como un gasificador de lecho circulante en cuanto a que los residuos de carbonización formados durante la gasificación de la carga de alimentación BB retienen el tamaño y forma general de la carga de alimentación y son sacados del puerto de salida del gasificador 20 e introducidos en un separador ciclónico 36. El separador ciclónico 36 separa la arena arrastrada y los residuos de carbonización que son circulados desde el gasificador 20 para formar un flujo de arena y residuos de carbonización EE y un flujo de gas de producto FF. El flujo de gas de producto FF comprende al menos CO y H<sub>2</sub>, pero puede incluir una variedad de otros gases dependiendo de las características del flujo de alimentación de entrada BB. El flujo de gas de producto FF puede dirigirse a través de la unidad de recuperación de calor 38 y un depurador 40 para eliminar cualquier partícula residual o residuos de carbonización. El gasificador 20 esencialmente es un híbrido que tiene una zona de arrastre para transferir sobre un gasificador de lecho fluidizado.

**[0017]** La fuga de oxígeno en el gasificador 20 disminuiría la eficacia de la reacción de gasificación y aumentaría la combustión no deseable del gas de producto de CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O. Para evitar esta fuga de oxígeno al gasificador es recomendable mantener un sellamiento sustancialmente hermético entre la cámara de combustión 22 y el gasificador 20. Esto puede lograrse en parte a través del uso de un recipiente de equilibrio 56 que permite el movimiento de la arena y los residuos de carbonización acumulados del ciclón del gasificador 36 a la cámara de combustión 22. Como se muestra en la FIG. 3, el recipiente de equilibrio 56 dirige la arena y los residuos de carbonización hacia abajo desde el ciclón del gasificador 36 a través de una boquilla 60 en la cámara de equilibrio 62. A medida que se acumula la arena, ésta llena la cámara de equilibrio 62 hasta un nivel por encima de la salida de la boquilla 60, con lo cual una parte de la arena fluye mediante la fuerza de la gravedad a través de una salida 64 y hacia la cámara de combustión 22. Se sitúa un segundo recipiente de equilibrio similar 58 bajo un separador ciclónico de la cámara de combustión 52 para permitir el flujo de arena caliente de nuevo al gasificador 20. El uso de estos recipientes de equilibrio permite la transferencia de arena y residuos de carbonización

entre el gasificador 20 y la sala de combustión 22 con un mínimo de intercambio de gas entre ellos.

**[0018]** El flujo de arena y residuos de carbonización BE es dirigido desde el ciclón del gasificador 36 a la cámara de combustión 22 en la que la arena es fluidizada de nuevo y los residuos de carbonización son incinerados hasta obtener ceniza para proporcionar calor para recalentar la arena antes de reciclar la arena al gasificador 20. En general, al arena en la cámara de combustión 22 es fluidizada por la inyección de aire GG desde abajo, circulando de nuevo la mezcla de arena y ceniza de forma que salga por un puerto de salida 50 en la región superior de la cámara de combustión 22 al separador ciclónico de la cámara de combustión 52 que separa la arena para hacerla circular de nuevo al gasificador 20. Una mezcla de gas de combustión y ceniza HH sale de la parte superior del separador de la cámara de combustión 52 y es dirigida al ciclón de recuperación de ceniza 54. El ciclón de recuperación de ceniza 54 separa el flujo de ceniza JJ del flujo de gas de combustión KK. En el modo de realización preferido, la ceniza se recoge entonces como residuos y el flujo de gas de combustión KK es dirigido al secador 30 como una fuente de calor para secar la carga de alimentación en bruto AA.

**[0019]** El sistema gasificador A opera con una fase de recirculación de materia particulada y a una velocidad de gas de entrada en el intervalo necesario para fluidizar la arena u otra fase de recirculación de materia particulada. Por ejemplo, una velocidad de 0,24 a 0,61 m/seg (de 0,8 a 2 pies/seg) con arena de malla 20 x 50 ha permitido una operación estable y sin problemas. Pueden utilizarse velocidades de 0,15 a 2,1 m/seg (de 0,5 a 7 pies/seg). El sistema gasificador A puede operar a velocidades de alimentación de madera que superen los 1361 kg/h (3000 libras/h) de biomasa seca por pie cuadrado de la sección transversal del reactor. Se pueden lograr caudales de 186 kg/m<sup>2</sup>-h (4400 libras-pies<sup>2</sup>/h) y posiblemente incluso superiores.

**[0020]** En un modo de realización preferido con una baja velocidad de gas de entrada y alto caudal, el sistema gasificador de biomasa A puede operar con caudales de biomasa de desde 4-2 (100) y preferiblemente de 21 a 186 kg/m<sup>2</sup>-h (500-4400 libras/pies<sup>2</sup>-h), pero con velocidades de gases de entrada de 0,15 a 2,1 m/seg (0,5-7 pies/seg). Estas velocidades de gases de entrada bajas también sirven para reducir la erosión causada por la circulación del material mezclado del lecho, que puede resultar un problema en sistemas con alta velocidad de gases de entrada.

**[0021]** Como se muestra en la FIG. 4, la erosión del conducto del sistema gasificador A que se utiliza para transferir la arena puede minimizarse a través del uso de conductos fundamentalmente rectos interconectados mediante curvas cerradas que tienen cavidades de retención de arena 70. Por ejemplo, en el modo de realización

preferido actualmente, las cavidades de retención de arena 70 se utilizan en los conductos con curvas cerradas de ángulos de 90° 72 situadas de forma adyacente a la parte superior de tanto el gasificador 20 como la cámara de combustión 22. En funcionamiento, la arena se acumula en la cavidad de retención de arena y sirve como amortiguador ablativo 74 para desviar los flujos de arena abrasivos en movimiento fuera de la superficie de los conductos. Puesto que la arena está siendo desviada por un amortiguador de arena fija en lugar de la superficie de los conductos, se minimiza la erosión de la superficie de los conductos. En general, las cavidades de retención de arena 70 deberían tener una profundidad de aproximadamente la mitad del diámetro de los conductos. Si la cavidad de retención de arena 70 es demasiado superficial, la arena no se acumulará en la cavidad de retención de arena 70 y no se reducirá la erosión de forma adecuada.

**[0022]** El método de operación de un gasificador según la presente invención comprende introducir gas de entrada a una velocidad de gas generalmente inferior a 2,1 m/seg (7 pies/seg) para fluidizar un lecho de alta densidad media en el gasificador 20. El lecho de alta densidad media se forma en un lecho fluidizado denso en una primera región de espacio mediante el gas de entrada CC. El lecho fluidizado denso contiene un componente de partícula del lecho sólido inerte y relativamente fino y calentado en circulación. El material carbonoso es introducido en la primera región de espacio con un lecho fluidizado denso a una velocidad de 4,2 a 186 kg/m<sup>2</sup>-h (100-4400 libras/pies<sup>2</sup>-h) y más preferiblemente de 21 a 186 kg/m<sup>2</sup>-h (500-4400 libras/pies<sup>2</sup>-h) y se lleva a cabo la pirolisis endotérmica del material carbonoso mediante el material inerte calentado que circula para formar un gas de producto. Contiguo al lecho fluidizado denso, y sobre el mismo, se forma una región de espacio arrastrado de una densidad media más baja que contiene la mezcla arrastrada de las partículas sólidas inertes, residuos de carbonización y material carbonoso y el gas de producto. De forma sorprendente, los residuos de carbonización mantienen relativamente el mismo tamaño y forma que el material de la carga de alimentación de entrada. Esto da como resultado una proporción aproximada 1:1 de residuos de carbonización y arena debida a las distintas densidades de los residuos de carbonización y la densidad de la arena.

**[0023]** A continuación, se elimina la mezcla arrastrada de la región de espacio arrastrado del gasificador 20 a un separador 36 como un ciclón en el que la mezcla arrastrada de partículas sólidas inertes, residuos de carbonización y material carbonoso se separa del gas de producto. El tiempo de permanencia del material carbonoso en el gasificador 20 no supera normalmente los 3 minutos de media. Finalmente, al menos las partículas sólidas inertes se devuelven a la primera región de

espacio tras pasar por una zona de reacción exotérmica como una sala de combustión 22 para calentar primero las partículas inertes. Para facilitar la reacción exotérmica, puede resultar ventajoso conducir la totalidad de la mezcla arrastrada sin el gas de producto a través de la cámara de combustión 22 de forma que los residuos de carbonización puedan quemarse como fuente de calor.

**[0024]** En el sistema del modo de realización preferido de la presente invención, el lecho fluidizado de arena calentada u otro material relativamente inerte en el extremo inferior del gasificador 20 forma una región de una densidad relativamente alta. La madera u otro material carbonoso introducido, al ser más ligeros que la arena, flotan en la arena fluidizada. A medida que la madera es gasificada por la arena caliente, se forma una región arrastrada de arena, residuos de carbonización y partículas carbonosas en el extremo superior del gasificador 20.

**[0025]** La concentración más alta de madera arrastrada se encuentra en la parte superior de la zona densamente fluidizada en el gasificador 20. La arena caliente arrastrada circula por la madera y residuos de carbonización arrastrados. A medida que las partículas carbonosas pirolizan, generan un gas que forma un región de alta velocidad sobre el lecho fluidizado. A pesar de la baja velocidad de entrada de gas bajo el lecho, la velocidad del gas sobre el lecho fluidizado se hace lo suficientemente alta para incluso eliminar las partículas del lecho. Al trabajar con una velocidad de gas de entrada baja, se puede lograr un alto tiempo de permanencia (hasta 3 minutos de media) en el recipiente de reacción, al tiempo que se permiten también altos caudales de material carbonoso que generan gas para formar la región de arrastre sobre la región fluidizada.

**[0026]** En este sistema, se eliminan los sólidos de la parte superior del recipiente, y se eliminan del sistema mediante el arrastre, a pesar de las bajas velocidades del gas de entrada bajo el lecho. Esto resulta posible gracias al diseño de utilizar una región fluidizada sobre la cual se encuentra una región de arrastre de la que se eliminan todas las partículas del lecho incluyendo inertes y residuos de carbonización. El arrastre sucede en parte debido a que el gas generado *in situ* contribuye de forma significativa al volumen de gas que se mueve por el recipiente de reacción, al tiempo que evita una fluidización en tapón o fraccionamiento de lecho destructivo.

**[0027]** El material carbonoso que se introducido en el gasificador 20 puede tener más de un 60% de carbono disponible convertido por una sola pasada a través del sistema gasificador A. El resto del carbono se quema en la sala de combustión 22 para generar calor para la reacción de pirolisis. Si se utiliza otro combustible en la cámara de combustión 22, entonces puede convertirse más carbono en el gasificador 20. Con

combustibles húmedos, como residuos municipales, las conversiones de carbono pueden variar al alza o a la baja según la temperatura operativa del gasificador 20.

**[0028]** El gas de entrada alimentado al gasificador 20 puede ser normalmente vapor, gas de producto reciclado, gas de subproducto de combustión, gases inertes como nitrógeno, y mezclas de los mismos. Los gases preferidos para la invención son el vapor y gas de producto reciclado. La adición de otros gases como gases inertes o gases de subproductos de combustión reducirá la eficacia y las ventajas de la invención. Del mismo modo, la adición de aire u oxígeno reduce la eficacia y ventajas de la invención y, por lo tanto, no es preferida.

**[0029]** El vapor es un gas conveniente porque es relativamente barato y puede condensarse a partir del gas de producto antes de la distribución. Por otro lado, el nitrógeno, aunque permite la misma conversión de carbono y la misma distribución de gas de producto, permanece en el gas de producto como diluyente, reduciendo así su valor de utilización. No suele usarse aire u oxígeno porque el calor necesario para gasificar la carga se introduce mediante los sólidos inertes calientes que circulan, mientras que en algunos sistemas de la técnica precedente el oxígeno quema una parte de los residuos de carbonización y gases de producto para proporcionar calor. El uso de aire u oxígeno tendería a reducir el valor de utilización del gas de producto.

**[0030]** En esta invención, el material arrastrado sale del recipiente cerca de la parte superior del gasificador 20 a un ciclón u otro dispositivo de asentamiento inercial 36 para separar el gas de producto de los residuos de carbonización, material carbonosos y material inerte. Todos los sólidos del sistema son arrastrados excepto materiales residuales no deseados como chatarra introducida de forma inadvertida con la carga de alimentación de combustible, para los que puede ser necesaria una aplicación de limpieza separada.

**[0031]** El sistema de la presente invención es versátil y puede combinarse con cualquier tipo de cámara de combustión, fluidizada, arrastrada, o no fluidizada, para calentar el material inerte. El material inerte se calienta mediante su paso por una zona de reacción exotérmica de una cámara de combustión para añadir calor. Se entiende que material inerte significa relativamente inerte en comparación con el material carbonoso y puede incluir arena, caliza, y otras calcitas u óxidos como óxido de hierro. Algunos de estos “materiales relativamente inertes” pueden incluso participar como reactivos o agentes catalíticos; por tanto, se usa “relativamente inerte” como comparación con los materiales carbonosos y no se usa aquí en un sentido químico cualitativo puro o estricto como se usa generalmente con los gases nobles. Por ejemplo, en la gasificación del carbón, la caliza es útil como medio para capturar

azufre para reducir las emisiones de sulfato. La caliza puede ser útil también en el craqueo catalítico del alquitrán en el gasificador 20.

**[0032]** Se pueden añadir otros materiales útiles a la carga de alimentación del gasificador para mejorar el funcionamiento del sistema. Por ejemplo, se ha descubierto que la aglomeración de ceniza, arena y residuos de carbonización en el sistema gasificador A puede reducirse añadiendo óxido de magnesio (MgO) al material de la carga de alimentación. Generalmente, esta aglomeración es el resultado de la fundición parcial de la ceniza a las altas temperaturas presentes en la cámara de combustión 20, y la aglomeración resultante de la ceniza, arena y cualquier residuo de carbonización residual en una masa no fluidizable que puede interrumpir de forma potencial el flujo en el sistema fluidizado. En los sistemas anteriores, se ha añadido óxido de calcio (CaO) y alúmina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) en un intento de reducir la aglomeración de ceniza diluyendo la misma. Sin embargo, se ha descubierto que la adición de MgO es aún más efectiva para reducir la aglomeración. La presencia de MgO altera químicamente el eutéctico de baja temperatura de la mezcla de ceniza, aumentando el punto de fusión para reducir de forma efectiva la aglomeración de ceniza mediante la fundición. Una persona con habilidades ordinarias en la técnica debería reconocer que otros materiales que alteren el eutéctico de baja temperatura de la mezcla de ceniza para aumentar su punto de fusión pueden ser útiles también en la presente invención. Se añade MgO a la carga de alimentación de la presente invención a un porcentaje de peso entre el 1% y el 25% del peso de la carga de alimentación. Más preferiblemente se añade al menos el 2% y aún más preferiblemente entre el 2% y el 10% de MgO a la carga de alimentación para reducir la agregación según la presente invención.

**EJEMPLO1:**

**[0033]** Se probó álamo híbrido y pasto varilla (*switch grass*) como carga de alimentación de especies de alto crecimiento para su uso en el sistema de gasificación de la presente invención. Estas cargas de alimentación de especies de alto crecimiento dieron como resultado componentes de ceniza que pueden causar dificultades en la operación del sistema de gasificación. Se plantea la hipótesis de que las especies de alto crecimiento generalmente concentran determinados elementos en su ceniza. Estos son representados por los elementos alcalinos más solubles y los elementos alcalinotérreos que se encuentran como óxidos alcalinos y óxidos alcalinotérreos en el análisis de la ceniza. Cuando se analizaron las cenizas del álamo híbrido y el pasto varilla, se encontraron altos niveles de potasio y fósforo y tanto niveles más altos como más bajos de sílice en comparación con la carga de alimentación de madera previa que se probó, como se muestra en la Tabla 1.

[0034] Durante las dos pruebas iniciales con el material de alimentación de álamo híbrido, se percibió cierta estabilidad en la circulación de la arena en el sistema gasificador. Se determinó que esta estabilidad era resultado de la aglomeración en el lecho de arena de la cámara de combustión para formar aglomeraciones de ceniza causada por los componentes de la ceniza de bajo punto de fusión o por la reacción de los óxidos de la ceniza en la superficie de las partículas de arena. Las aglomeraciones de ceniza eran aglomerados flojos que se desintegraban fácilmente a temperatura ambiente al tocarlos. Un examen del análisis de ceniza de álamo híbrido mostró que la ceniza era un 95,0% de óxidos básicos. Por tanto, un mecanismo probable de la aglomeración sería la adición de fundente del material del lecho ácido ( $\text{SiO}_2$ ) por la ceniza básica. Sin embargo, la aglomeración de mezclas de ceniza-CaO en las pruebas de DTA (analizadas a continuación) ha descartado la adición de fundente de ceniza del lecho de arena como la causa probable de la aglomeración.

15

TABLA 1

COMPONENTE MINERAL	% EN PESO DE CENIZA DE PINO	% EN PESO DE CENIZA DE PASTO VARILLA	% EN PESO DE CENIZA DE ÁLAMO HÍBRIDO
$\text{SiO}_2$	32,46	69,92	2,59
$\text{Al}_2\text{O}_3$	4,50	0,45	0,94
$\text{TiO}_2$	0,40	0,12	0,26
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	3,53	0,45	0,50
CaO	49,20	4,80	47,20
MgO	0,44	2,60	4,40
$\text{K}_2\text{O}$	2,55	15,00	20,00
$\text{Na}_2\text{O}$	0,44	0,10	0,18
$\text{SO}_3$	2,47	1,90	2,74
$\text{P}_2\text{O}_5$	0,31	2,60	5,00
SrO	-	0,04	0,13
BaO	-	0,22	0,70
$\text{Mn}_2\text{O}_4$	-	0,15	0,14
Óxidos totales	96,30	98,35	84,78
Dióxido de carbono			14,00

[0035] Inicialmente, se creyó que la presencia de especies de bajo punto de fusión era incompatible con la temperatura de fusión de la ceniza indicada, todo por encima de

1482°C (2700 F). Sin embargo, se descubrió que algunas especies, como aquellas que contienen potasio, pueden ser volatilizadas durante el proceso de incineración analítico de forma que los valores de fusión de la ceniza indicados pueden representar la ceniza libre de potasio.

5 **[0036]** Las aglomeraciones de ceniza formadas durante las pruebas del sistema gasificador fueron sometidas a examen de microscopía electrónica de barrido. El examen de microscopía reveló que las partículas de arena se habían pegado unas a otras con un material de bajo punto de fusión. A continuación, se analizaron estas muestras mediante microsonda electrónica en un intento de identificar el material  
10 problemático. Este análisis mostró que el “pegamento” entre las partículas de arena estaba compuesto por un 67,74 por ciento de SiO<sub>2</sub>, 16,1 por ciento de K<sub>2</sub>O, 0,6 por ciento de CaO, 5,47 por ciento de TiO<sub>2</sub>, y 10,1 por ciento de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Del mismo modo, el análisis del recubrimiento de la superficie en las partículas mostró las mismas especies en la misma proporción general. Los resultados de estos análisis mostraron  
15 que el material fundido no contenía azufre ni cloro. La mayoría del trabajo anterior sobre la aglomeración de ceniza a partir de especies de biomasa se ha centrado en la presencia de azufre y en la formación resultante de sulfatos de bajo punto de fusión como la causa principal de aglomeración de un lecho de arena. La aglomeración encontrada en la cámara de combustión del sistema de la presente invención,  
20 basándonos en los análisis de microsonda, no fue causada por la formación de sulfatos, sino que parece ser el resultado de la formación de compuestos como álcali-silicatos.

**[0037]** Para evaluar el comportamiento de la ceniza, se llevaron a cabo más pruebas en un analizador térmico diferencial (DTA). El DTA se utilizó para identificar los picos  
25 endotérmicos provocados por la fusión de los compuestos formados por la reacción de los componentes de la ceniza con el material del lecho y/o con la ceniza misma. Se muestran las curvas típicas de DTA entre las Figuras 5 y 9. Estas muestran que aparecen dos picos endotérmicos principales en cada una de la muestras, lo que sugiere que la fusión se produce a aproximadamente 500°C y 770°C para ceniza de  
30 madera solamente o una mezcla 50/50 de arena y ceniza de madera (Figuras 5 y 6 respectivamente).

**[0038]** El fuerte pico endotérmico a aproximadamente 770 °C sugiere que el material puede ser un solo compuesto bien definido o podría ser un eutéctico formado en un sistema binario y/o ternario de compuestos. Los compuestos con puntos de fusión  
35 cercanos a los 770 °C coherentes con el análisis de ceniza serían compuestos con contenido de potasio, fósforo, calcio, y sílice y quizá, azufre. Los resultados de la sonda electrónica descartan el azufre, pero sugieren que podría aparecer titanio y

hierro. La temperatura de fusión del KCl es de 776 °C y sublima. Sin embargo, el último análisis (Tabla 1) reporta niveles bajos de cloro (0,01 por ciento) en la madera. Si hubiera KCl presente en la ceniza, habría tenido un impacto en la temperatura de fusión de la ceniza (que permaneció por encima de los 1482 °C (2700 F)). El  
5 metafosfato de potasio ( $KPO_3$ ) tiene un punto de fusión de 807 °C y el tetrasilicato de potasio (anhidro) tiene un punto de fusión de 770 °C. Ambos podrían contribuir a la aglomeración.

**[0039]** Para complicar este enfoque simplista está la mayor probabilidad de que existan eutécticos entre los sistemas de óxido binarios y ternarios como  $K_2O$ ,  $SiO_2$  y  
10 uno de los otros óxidos. Una revisión del diagrama de fases para el sistema de  $SiO_2$ - $K_2O$ 5 $SiO_2$  (Figura 10) sugiere que además del punto de fusión bien definido de 770 °C para el compuesto de tetrasilicato de potasio anhidro ( $K_2O$  4 $SiO_2$  o  $K_2SiO_9$ , 78%  $SiO_2$  – 22%  $K_2O$ ) existe un eutéctico de aproximadamente un 68% de  $SiO_2$ , 32% de  $K_2O$  que tiene un punto de fusión de aproximadamente 750 °C. Puede existir un eutéctico  
15 en el sistema  $KPO_3$  $K_4P_2O_5$  con un punto de fusión a 613 °C.

**[0040]** Con el gran depósito de potasio como óxido en el lecho de arena fluidizada en la combustión, especialmente con la ceniza de álamo híbrido, puede suceder una reacción localizada entre  $K_2O$  y  $SiO_2$  para formar compuestos que den lugar a mezclas eutécticas en la superficie de las partículas de arena ( $SiO_2$ ). Son posibles las  
20 concentraciones de gradiente de  $K_2O$  en  $SiO_2$  en la capa que rodea la partícula de arena.

**[0041]** Si el problema es el tetrasilicato de potasio o eutécticos relacionados, entonces debe evitarse la formación de silicato de potasio o el silicato debe modificarse tras su formación para evitar la aglomeración en el lecho. Como comparación directa con  
25 otros tipos de ceniza de madera, se llevó a cabo una prueba de DATA con ceniza de pino. Como se muestra en la Figura 7, esta curva muestra muchos menos picos endotérmicos severos que la ceniza de álamo probablemente debido a los niveles bajos de  $K_2O$  en la ceniza de pino. Además, este material no estaba aglomerado cuando se eliminó del recipiente de muestra.

**[0042]** Los estudios previos han indicado que la tendencia de la ceniza a aglomerar el lecho de arena podría reducirse mediante la adición de aditivos como la arcilla de caolín, y  $CaO$ . Por lo tanto, estas sustancias se sometieron a ensayo en el DTA bien con ceniza de madera solamente o bien con una mezcla 1:1 de ceniza de madera y arena del lecho. Estas pruebas y sus resultados aparecen enumerados en la Tabla 2.

35

TABLA 2

Descripción de la muestra*	Atmósfera	Temp. máx./Vel. barrido	Observaciones
Ceniza de álamo híbrido	Aire	1000C / 50°C/min	Picos a 493 y 772°C, muestra aglomerada al quitarla
Ceniza de álamo + arena silícea	Aire	1000C / 50°C/min	Picos a 492 y 785°C, muestra aglomerada al quitarla
Ceniza de álamo + arena silícea + CaO	Aire	1000C / 50°C/min	Picos a 436 y 785°C, muestra ligeramente aglomerada al quitarla
Ceniza de álamo + arena silícea + kaolin	Aire	1000C / 50°C/min	Picos a 495 y 778°C, muestra aglomerada al quitarla
Ceniza de álamo + arena silícea + MgO	Aire	1000C / 50°C/min	Pico a 367, ligeros picos a 506 y 749°C, muestra solo ligeramente aglomerada al quitarla
Ceniza de álamo + CaO	Aire	1000C / 50°C/min	Picos a 420, 493, y 782°C, muestra aglomerada al quitarla
Ceniza de álamo de ramillas	Aire	1000C / 50°C/min	Picos a 792 y 889°C, muestra aglomerada al quitarla
Ceniza de álamo del tallo	Aire	1000C / 50°C/min	Pequeño pico a ~ 500°C, picos a 789 y 898°C, muestra aglomerada al quitarla
Ceniza de pino	Aire	1000C / 50°C/min	Ligero pico a 740°C, no presentó aglomeración
* Las proporciones en las mezclas son 1:1 ó 1:1:1.			

La arcilla de caolín no fue eficaz para evitar la aglomeración como se demuestra por la presencia continuada de picos a 780 °C en la Figura 8 y la formación de aglomeraciones. Por lo tanto, se concluyó que las tasas de reacción para la formación de silicato de potasio son los suficientemente altas para evitar de forma eficaz que el potasio se combine con otro óxido ácido (como la alúmina) como un medio de evitar la aglomeración. La sustitución de un óxido básico por la arena como el material del lecho proporcionaría el medio para limitar la formación de silicatos de bajo punto de fusión a aquellos que pueden formarse por los componentes de la propia ceniza. En el caso de la ceniza de álamo híbrido, la baja concentración de sílice en la ceniza limitará la cantidad de silicato que puede formar en la ceniza. Sin embargo, debido a la arena del lecho, el nivel de silicatos que puede formarse puede resultar todavía problemático.

[0043] En las pruebas de DTA resumidas en la Tabla 2, el CaO tenía poco efecto en los picos endotérmicos, pero el examen físico de la muestra tras la prueba mostró que la aglomeración era menos severa que con la ceniza sola o con la mezcla de ceniza y arena. De forma sorprendente, se descubrió que la adición de magnesita (MgO) proporcionó una aglomeración sustancialmente reducida y picos endotérmicos reducidos, mostrados en la Figura 9, en comparación con la ceniza y arena con o sin

CaO. Todas las pruebas restantes durante esta fase del programa utilizaron una subcarga de MgO para controlar la aglomeración en el lecho de la cámara de combustión.

5 **[0044]** El MgO se añadió a una velocidad aproximadamente igual a la de la composición de ceniza en el material de carga o aproximadamente el 2% de la velocidad de la carga de madera. A pesar de que no se llevó a cabo una evaluación paramétrica de la velocidad mínima de adición de MgO, cualitativamente el nivel de adición del 2% era adecuado para controlar la aglomeración. Con la adición de MgO al lecho de la cámara de combustión, no se restringió la temperatura de combustión  
10 durante las pruebas.

**[0045]** Se llevó a cabo una prueba de larga duración para examinar la eficacia del MgO para minimizar los problemas de aglomeración a medida que se producen durante el funcionamiento. Al principio de la prueba de larga duración, la carga de MgO se mantuvo a 11 kg/h (25 libras/h) un nivel ligeramente más bajo que durante las  
15 pruebas previas. Sin embargo, tras 4 horas de carga a este nivel de MgO más bajo, se percibió una reducción en el rendimiento, lo que indicaba que se había producido cierta aglomeración. Al aumentar la carga de MgO hasta el nivel anterior de 16 kg/h (35 libras/h) la aglomeración cesó y se restableció el funcionamiento correcto. Hacia el final de la prueba, el motor del alimentador de MgO se paró durante un periodo corto,  
20 lo que llevó de nuevo a cierta aglomeración en el lecho. Cuando se restableció la carga de MgO, se eliminaron los síntomas de aglomeración y continuó el correcto funcionamiento.

**[0046]** Existe información de apoyo en la literatura sobre el efecto que tiene el MgO en los puntos de fusión del sistema  $K_2O-SiO_2$ . El examen del diagrama ternario para el  
25 sistema  $K_2O-MgO-SiO_2$  (Figura 10) a un nivel de porcentaje de 5 moles sugiere el aumento en los 770°C y un punto de fusión más bajo del sistema  $K_2O-SiO_2$  apunta de los 900 a los 1000°C.

**[0047]** El contenido de potasio en el lecho de arena en circulación se midió al final de cada una de las pruebas con álamo híbrido y pasto varilla. Los resultados de estos  
30 análisis individuales se presentan gráficamente en las Figuras 11 y 12. Las curvas muestran cantidades acumulativas de carga de alimentación en el eje X frente a los componentes del lecho. Como se muestra, el contenido de potasio se estabiliza en el lecho de la cámara de combustión a aproximadamente el 0,6 por ciento con el álamo híbrido y el 0,5 % con pasto varilla. La estabilización es provocada por una  
35 combinación de elutriación de MgO y aportación de arena en el lecho de la cámara de combustión. En ambos casos, la concentración máxima de MgO al final de las pruebas era de aproximadamente 3,5 por ciento. Dicho nivel de MgO en el lecho proporcionaría

una concentración objetivo razonable para el control de la aglomeración en una instalación de gasificación comercial. Las pruebas anteriores con otras variedades de material de alimentación de madera indican que sólo los materiales de alto crecimiento exigen esta adición de MgO debido a su contenido de potasio mucho menor en la ceniza. El “descenso” mostrado en la Figura 15 refleja la alta aportación de arena durante el procedimiento de la prueba.

**[0048]** Por ello, se apreciará que los objetos de esta invención se han logrado de forma completa y eficaz. Sin embargo, se observará que el modo de realización específico preferido anterior se ha mostrado y descrito para los fines de esta invención, y está sujeto a cambios sin salir de tales principios. Por lo tanto, esta invención incluye todas las modificaciones comprendidas dentro del ámbito de las siguientes reivindicaciones.

**Reivindicaciones**

1. Un método para reducir la aglomeración de ceniza en un sistema de gasificador/cámara de combustión de lecho fluidizado de arrastre paralelo que tiene un intervalo de temperatura operativo, comprendiendo dicho método las etapas de:
  - proporcionar una carga de alimentación carbonosa;
  - complementar dicha carga de alimentación carbonosa con entre 1% y 25% en peso de MgO para alterar la temperatura eutéctica baja de la ceniza producida por la combustión de la carga de alimentación para evitar la agregación de dicho lecho fluidizado debido a que la ceniza se funde en el intervalo de temperatura operativo del gasificador/sala de combustión;
  - introducir dicha carga de alimentación carbonosa en un sistema de gasificador/sala de combustión de lecho fluidizado de arrastre paralelo en el que dicha carga de alimentación carbonosa se convierte en una mezcla de gas deseada y ceniza.
2. El método de la reivindicación 1, en el que se añade al menos el 2% en peso de MgO a dicha carga de alimentación carbonosa.
3. El método de la reivindicación 1, en el que se añade entre el 2% y el 10% en peso de MgO a dicha carga de alimentación carbonosa.
4. El método de cualquiera de las reivindicaciones precedentes, que además comprende la etapa de reducir la erosión en una curva de un conducto del sistema de gasificador/sala de combustión con una cavidad de retención de arena situada en la curva del conducto para recibir y retener una parte de un material particulado fluidizado, sirviendo dicho material particulado retenido como amortiguador ablativo para proteger la superficie de dicha curva del conducto de la erosión por dicho flujo de dicho material particulado que impacta en dicha pared.
5. El método de cualquiera de las reivindicaciones precedentes, que además comprende la etapa de facilitar el flujo de arena y fragmentos de residuos de carbonización en el sistema de gasificador/cámara de combustión desde un primer compartimento a un segundo compartimento al tiempo que se minimiza el flujo de gases entre dicho primer compartimento y dicho segundo compartimento, proporcionando:
  - una cámara de equilibrio para recibir dicho flujo de arena y fragmentos de residuos de carbonización desde dicho primer compartimento, incluyendo dicha cámara una boquilla de entrada dispuesta para

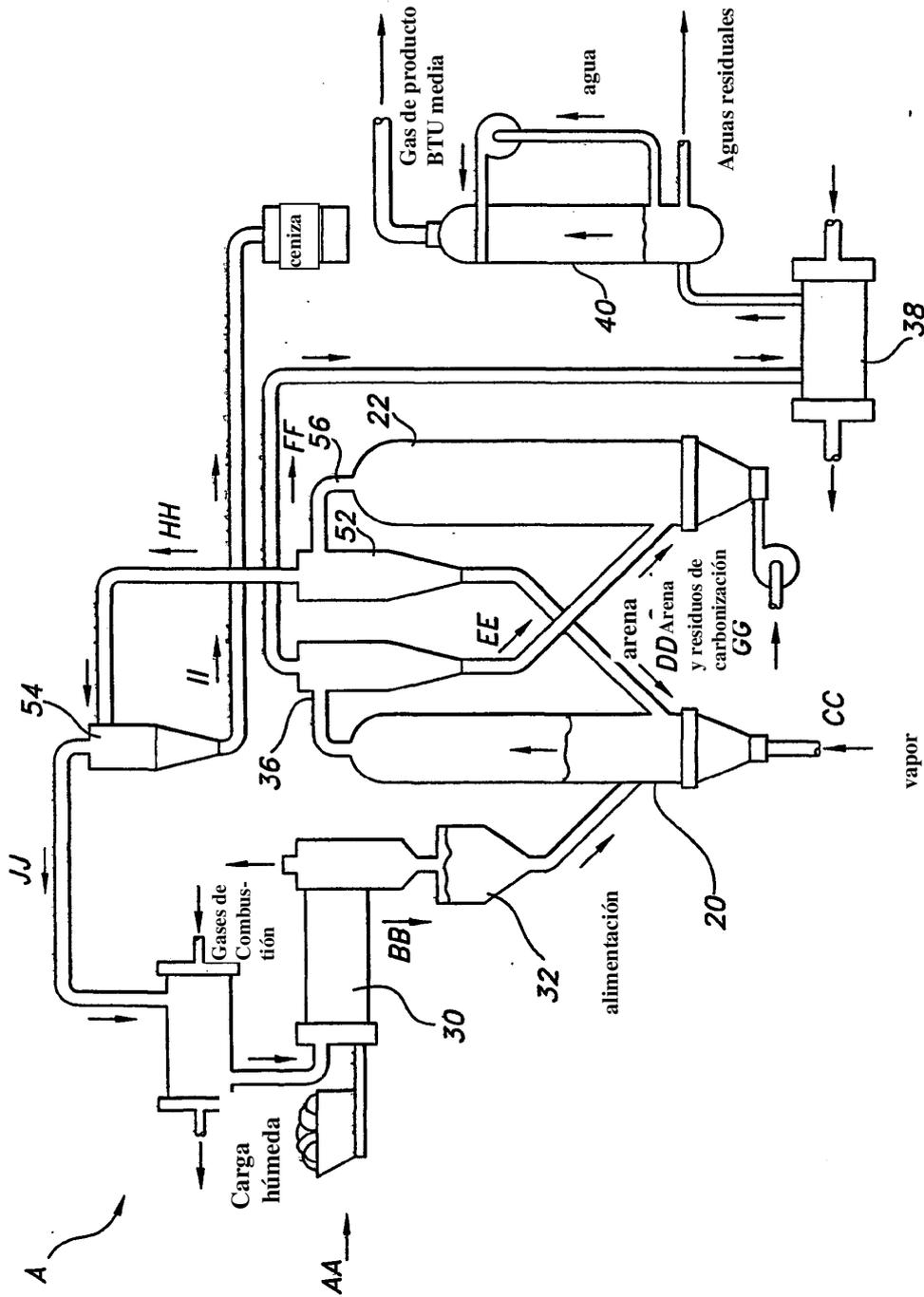
depositar dicha mezcla de arena y residuos de carbonización en la parte inferior de dicha cámara; y

una salida dispuesta sobre el punto en el que dicha boquilla deposita dicha mezcla de arena y residuos de carbonización en dicha cámara;

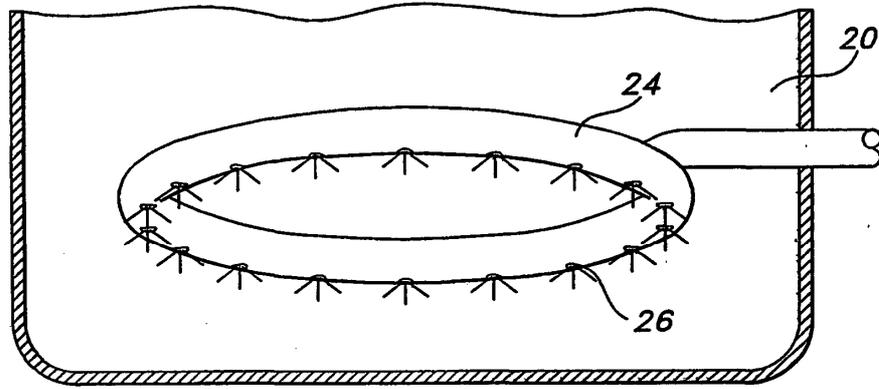
5 en el que dicha salida se dispone para permitir que el flujo de arena y residuos de carbonización se dirija de forma gravitacional a dicho segundo compartimento;

en el que, en funcionamiento, dicha cámara mantiene una cantidad de arena y residuos de carbonización no fluidizados dispuestos entre dicha

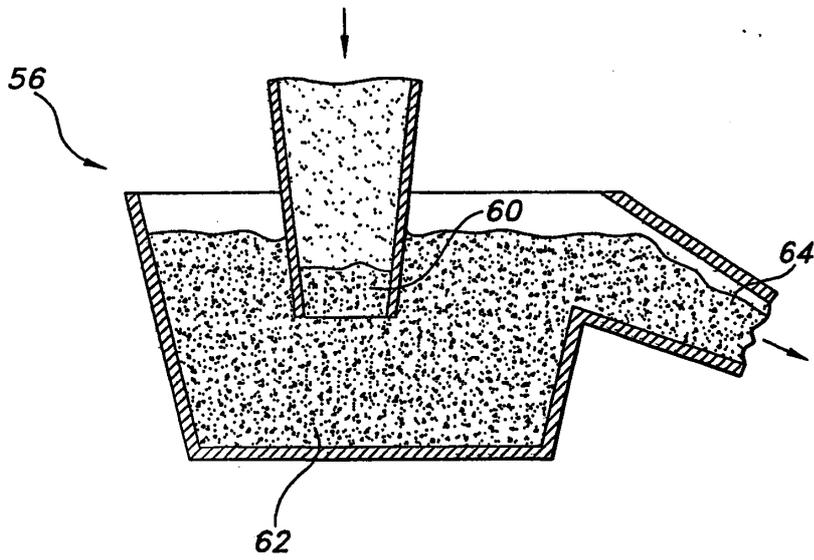
10 boquilla de entrada y dicha salida, actuando dicha arena y residuos de carbonización para mantener un cerramiento sustancialmente resistente al gas entre dicho primer y segundo compartimento.



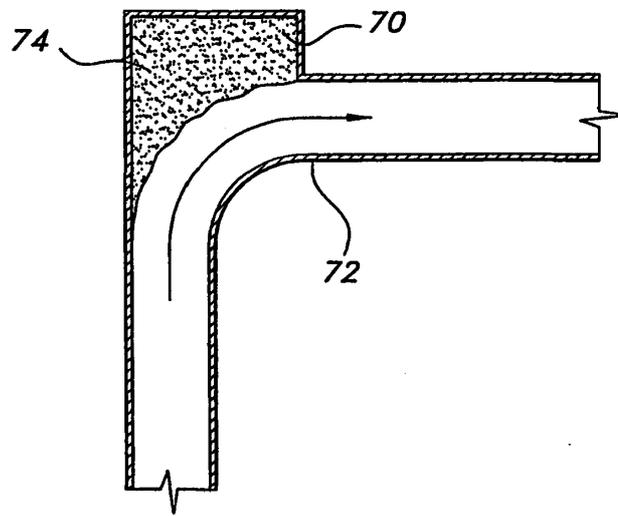
**FIG 1**



**FIG 2**



**FIG 3**



**FIG 4**

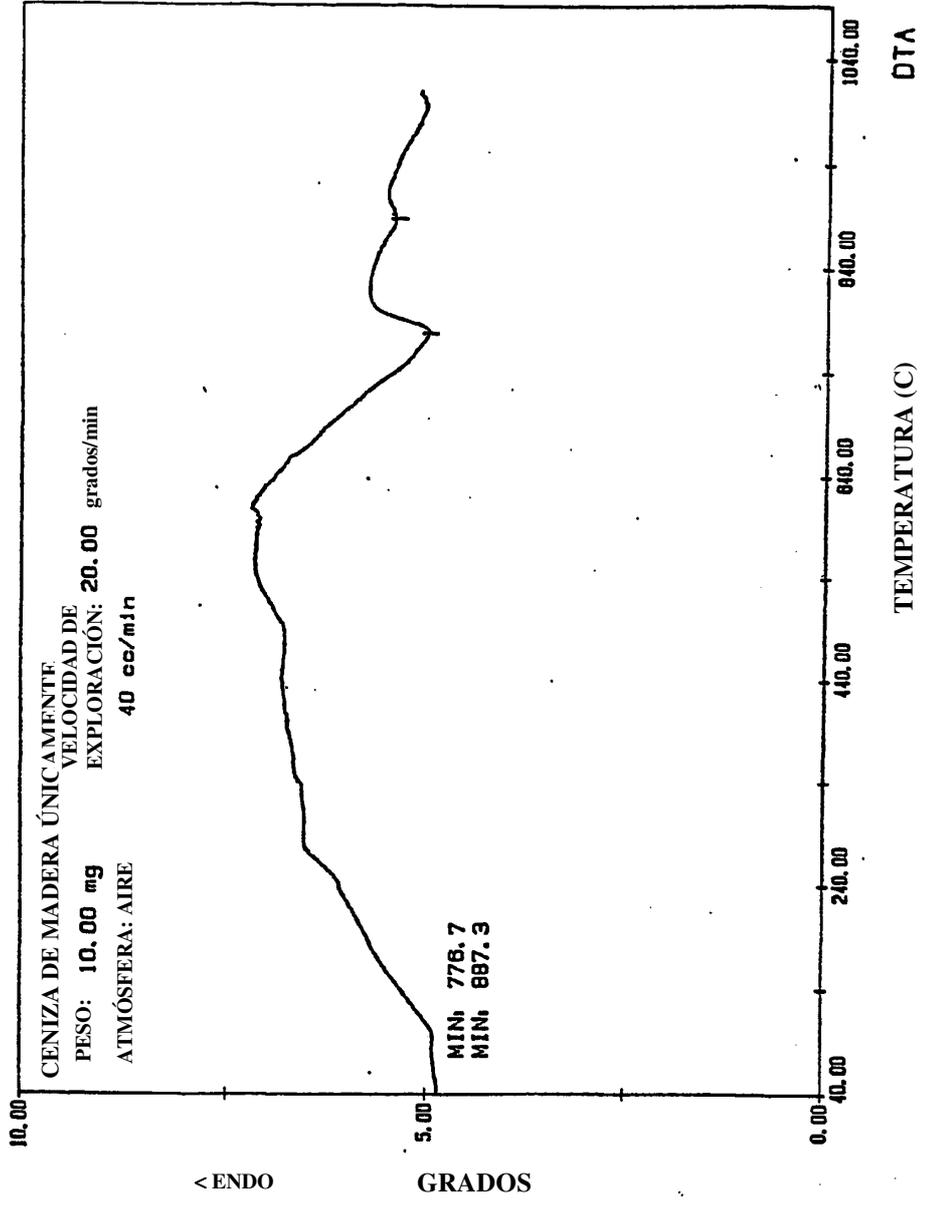


FIG. 5

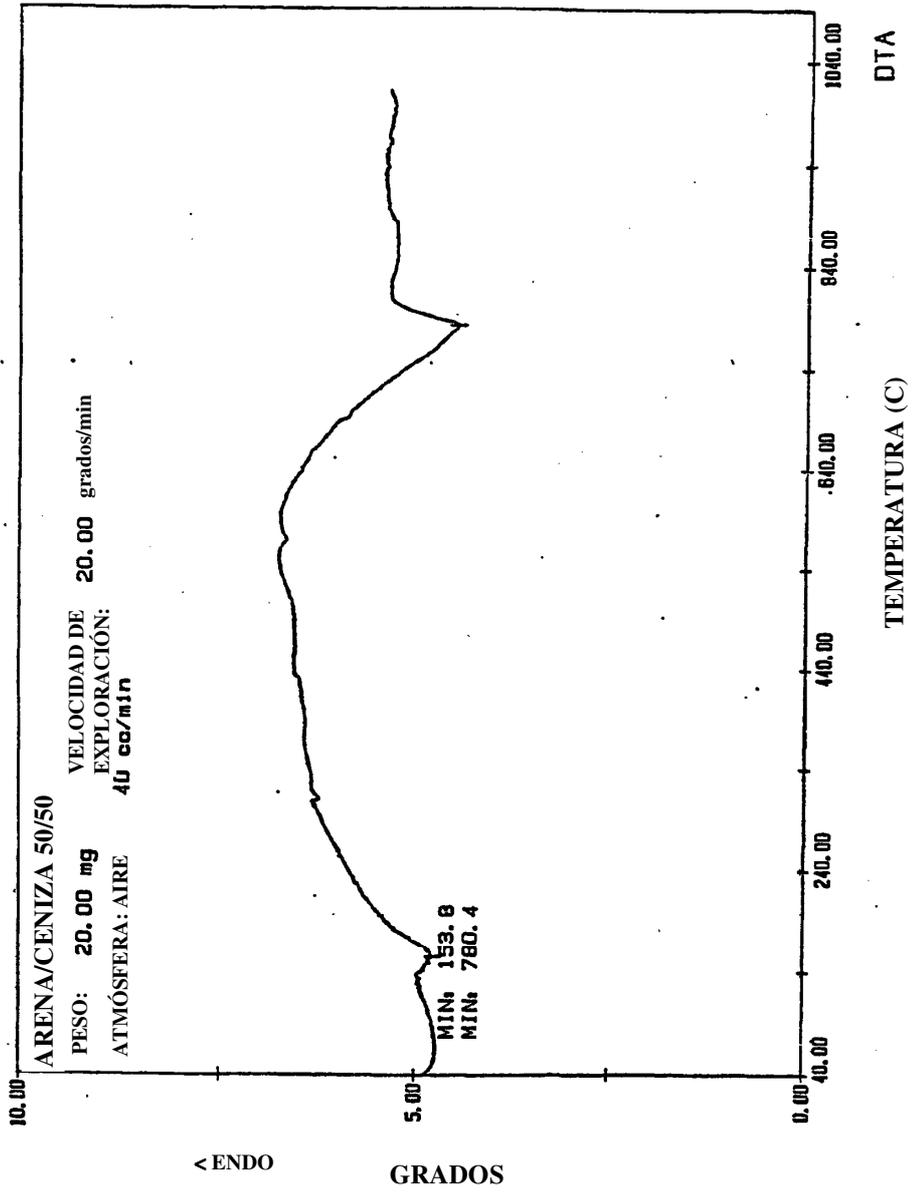


FIG. 6

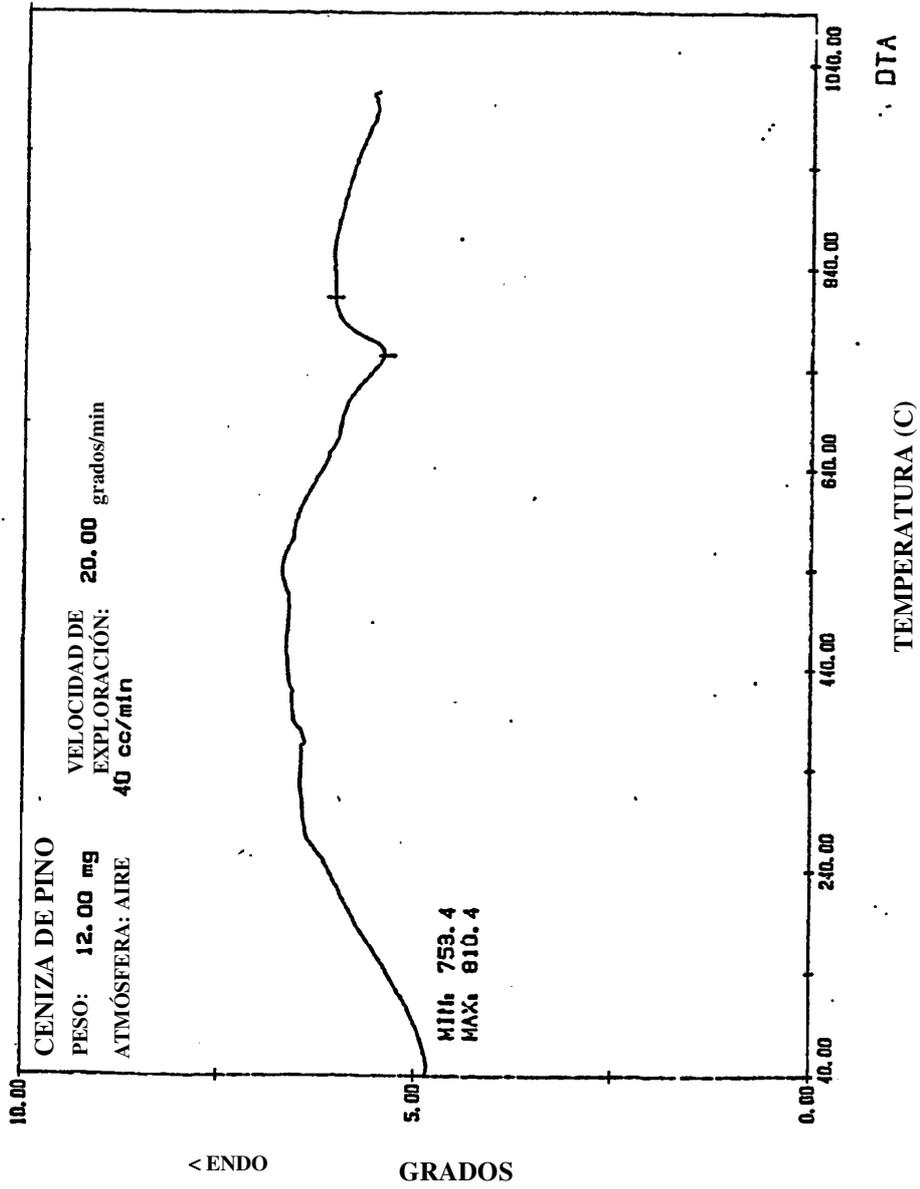


FIG. 7

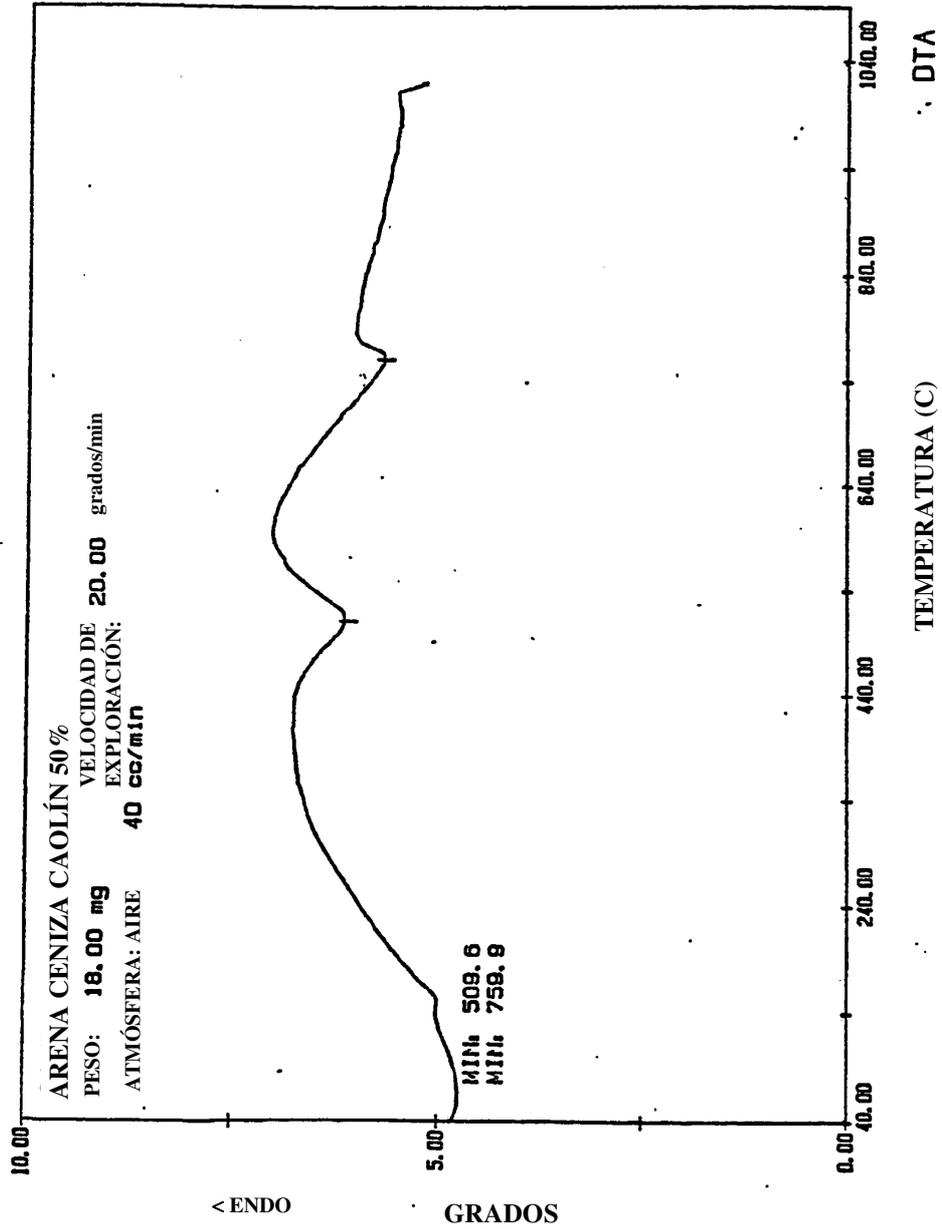


FIG. 8

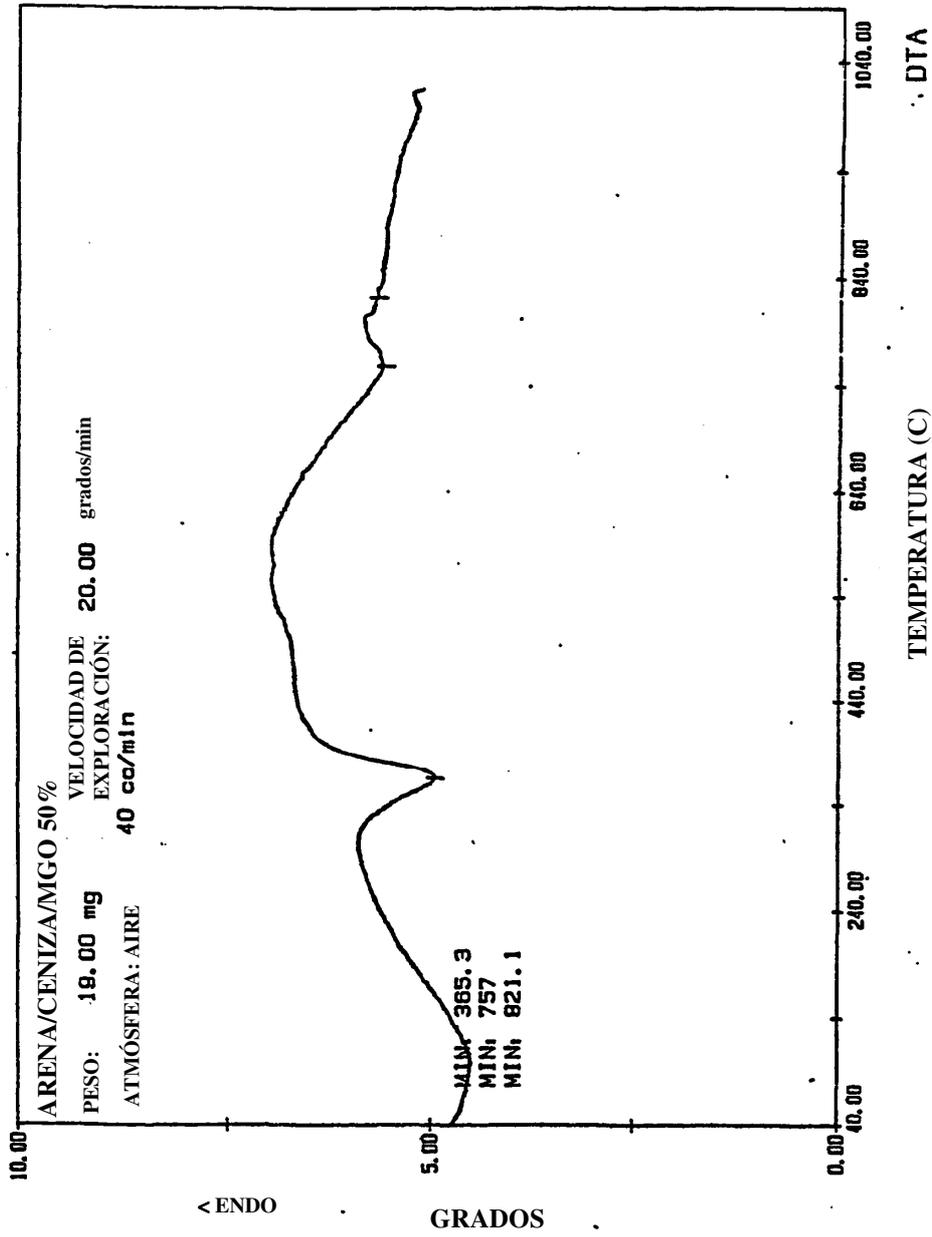


FIG. 9



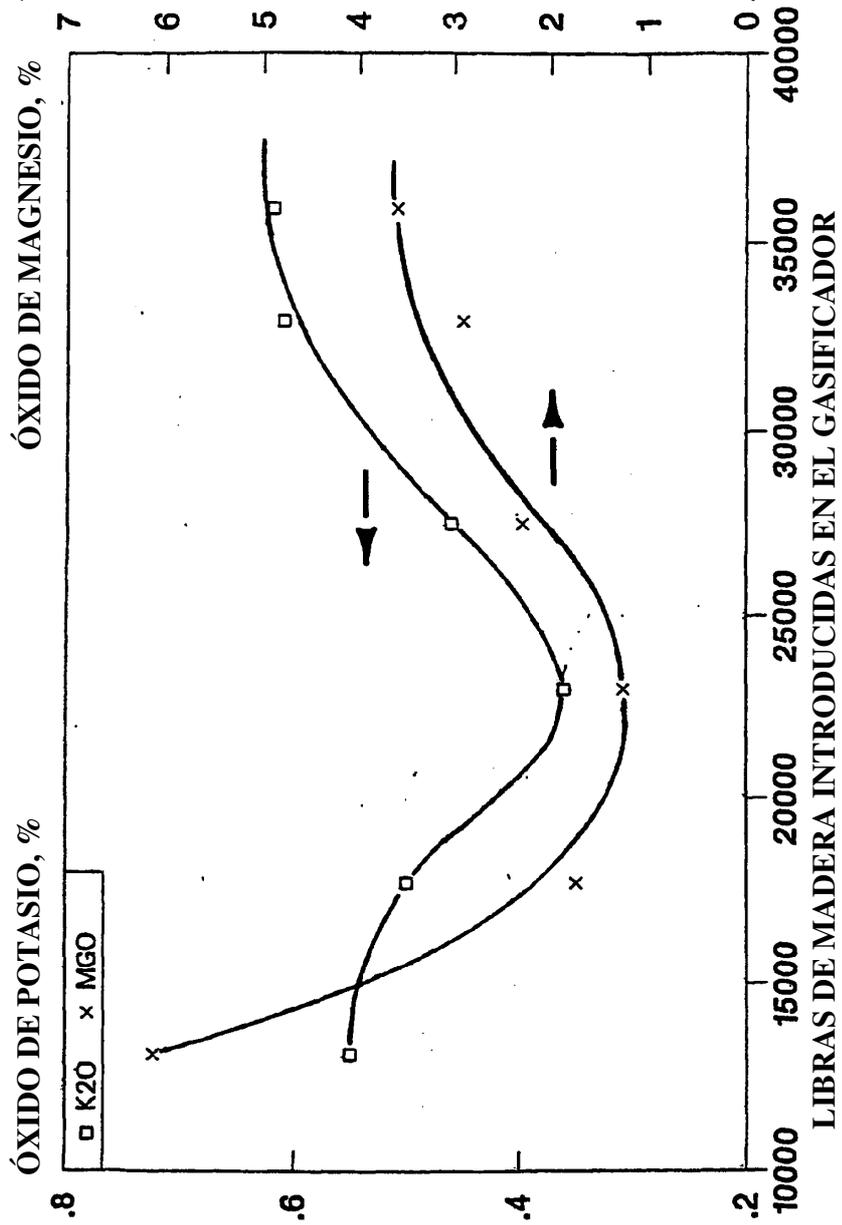


FIG. 11

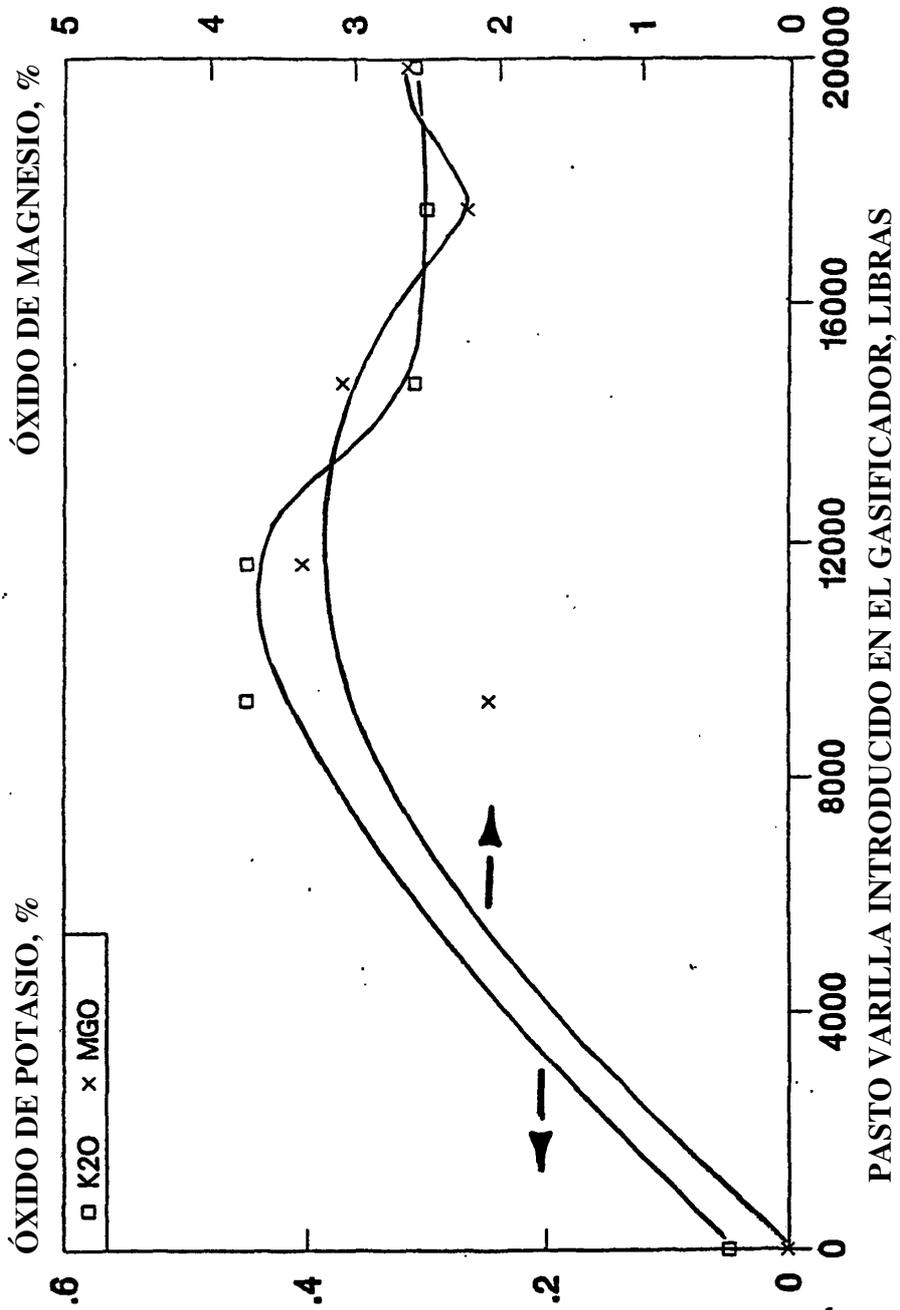


FIG. 12