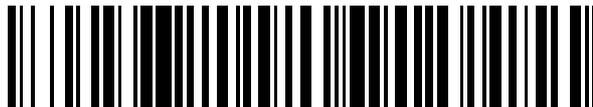


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 524 591**

51 Int. Cl.:

B02C 15/00 (2006.01)

B02C 15/14 (2006.01)

B02C 18/14 (2006.01)

B02C 18/18 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **12.03.2007 E 07758354 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **27.08.2014 EP 2007520**

54 Título: **Sistema disruptor para materiales celulósicos secos**

30 Prioridad:

10.03.2006 US 781429 P

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:

10.12.2014

73 Titular/es:

**BIOMASS CONVERSIONS LLC (100.0%)
C/O RUSSELL ROTEN 633 WEST FIFTH STREET,
SUITE 4600
LOS ANGELES CA 90071, US**

72 Inventor/es:

HATA, SEIJI

74 Agente/Representante:

UNGRÍA LÓPEZ, Javier

ES 2 524 591 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).

DESCRIPCIÓN

Sistema disruptor para materiales celulósicos secos

5 **Antecedentes****Área de la técnica**

10 La solicitud se refiere a un método de reducción de materiales vegetales celulósicos a partículas micrométricas y submicrométricas que son ideales para la hidrólisis enzimática o química dando lugar a azúcares o para combustión directa.

Descripción de la técnica relacionada

15 Durante las últimas décadas se han repetido las advertencias relacionadas con la escasez. El patrón general ha sido el aumento brusco de los precios de la energía dando como resultado una recesión económica que temporalmente libera presión sobre los suministros energéticos. Al mismo tiempo, se han establecido medidas de conservación de energía sin mucho ímpetu. Esto ha dado como resultado una disminución de los precios de la energía de manera que se ha reanudado el consumo acelerado y el planeamiento energético a largo plazo y las medidas de conservación de energía han caído en el olvido. No obstante, los suministros energéticos son finitos. Las mejores estimaciones son que los suministros de petróleo se agotarán por completo en cuarenta años más o menos. Incluso con el descubrimiento de nuevos campos petrolíferos y una mejor recuperación de los campos actuales, resulta poco probable que esta estimación aumente incluso hasta el doble, ochenta años. De este modo, ante la escasez de mejoras drásticas en cuanto a eficiencia o esfuerzos ingentes de conservación, algunos individuos que actualmente viven verán casi con seguridad el final de un mundo alimentado por petróleo, igual que nuestros ancestros, no muchas generaciones atrás, vieron el final de la tecnología accionada por el caballo. Algunos han depositado sus esperanzas en la energía nuclear. Desafortunadamente, el suministro de combustible nuclear también es limitado, en particular si se consideran los reactores actuales nucleares ineficientes. Además, el problema de los residuos nucleares es tan crítico que nuestra civilización no podría depender de forma segura de la energía nuclear, incluso si el suministro de combustible fuera ilimitado.

35 El panorama de otros combustibles fósiles populares no es mucho más brillante que el del petróleo. Se estima que los suministros actuales de gas natural se agotarán en aproximadamente sesenta años. Incluso si el tiempo estimado fuera el doble, parecería que la amplia dependencia del gas natural concluiría en no más de cien a ciento veinte años. Quizás, el carbón es el combustible fósil más abundante; se piensa que existe suministro para al menos 200 años. Eso significa que, a menos que se desarrollen tecnologías energéticas alternativas con prontitud, nuestra civilización dependerá por completo del carbón en los próximos cincuenta a cien años. El carbón fue el combustible fósil que se desarrolló de forma más temprana y fue sustituido en gran medida por el petróleo y el gas natural debido a que la combustión de carbón es contaminante y genera grandes volúmenes de ceniza. Sin hacer mención alguna a los terribles costes ambientales de las explotaciones mineras de carbón.

45 No obstante, no resulta probable una escasez de carbón que requiera el abandono del uso del mismo. Más bien serán las consecuencias ambientales de la liberación continuada de dióxido de carbono de origen fósil a la atmósfera. Este problema, con frecuencia denominado calentamiento global, es el resultado de la combustión de cualquier combustible fósil. Es probable que el petróleo se haya agotado antes de que se aprecie el recrudescimiento global del problema. Cambio climático no es probablemente una buena expresión ya que, aunque las temperaturas globales están aumentando debido al exceso de dióxido de carbono en la atmósfera, el problema real no es el calentamiento como tal sino el cambio climático drástico. El clima de la Tierra está siempre cambiando, unas veces de forma más rápida que otras. Por ejemplo, durante el cambio climático drástico relativamente reciente que tuvo lugar al final de la edad de hielo, el cambio climático fue suficientemente lento para que los organismos vivos pudieran ajustarse al nuevo clima o se re-ubicaran en un clima más aceptable. De este modo, tuvo lugar el retroceso de los glaciares, las temperaturas aumentaron y las especies "árticas" adaptadas al frío se movieron al norte o a lugares más elevados. Existen evidencias de que los cambios climáticos resultantes de la combustión de combustibles fósiles serán demasiado rápidos para permitir la re-ubicación de los organismos vivos. El resultado será la pérdida extrema de especies y diversidad biológica global con una tasa de extinción de especies mucho más elevada que la ya elevada tasa de extinción provocada por la dispersión de nuestra civilización.

60 Hasta el perfeccionamiento completo de algunas nuevas fuentes de energía, parece que la mejor respuesta al enigma energético sería una mayor conservación acoplada con el uso exclusivo de fuentes de energía renovables. La mayoría de la energía de nuestro planeta procede finalmente del sol. Por tanto, la energía solar en forma de electricidad fotovoltaica y calentamiento solar, es ideal. No obstante, la energía solar no puede satisfacer todas nuestras necesidades. La energía hidroeléctrica y la generada por el viento son otras dos formas de energía de energía renovable de base solar. Ninguna de estas fuentes energéticas tiene como resultado cambios en el dióxido de carbono atmosférico. La energía de la biomasa (es decir, madera y otros materiales vegetales) puede ser el complemento ideal a la energía solar. Esto puede parecer sorprendente debido a que normalmente la energía de biomasa se obtiene a través de la combustión de biomasa, y dicha combustión libera dióxido de carbono a la

atmósfera. No obstante, la biomasa es renovable. Si proliferan las plantaciones verdes para producir biomasa, el dióxido de carbono liberado será neutralizado de forma rápida por el nuevo material vegetal. De este modo, se usa el dióxido de carbono más y más, y el nivel total de dióxido de carbono atmosférico deja de aumentar, como en el caso de la combustión de combustibles fósiles. El problema real consiste en el modo de integrar la energía de biomasa en nuestra economía. Actualmente existe una marcada escasez de trenes de combustión de madera y automóviles de combustión de madera. Tampoco la combustión directa de biomasa en las plantas de generación de energía es particularmente viable debido a que nuestros sistemas de generación de energía eléctrica están adaptados para usar petróleo líquido o incluso gas natural o incluso carbón pulverizado.

Existe un esfuerzo considerable para producir combustible líquido (principalmente etanol) a partir de biomasa. Esto implica la fermentación de azúcares procedentes directamente de productos vegetales o indirectamente de la digestión de biomasa celulósica. La tecnología de fermentación directa de azúcares derivados se encuentra bien establecida. Desafortunadamente, la mayor fuente potencial de energía es la biomasa celulósica. La conversión de celulosa en azúcar fermentable es difícil y actualmente no es eficiente. Normalmente, se usan enzimas o ácidos para hidrolizar la biomasa celulósica para dar lugar a azúcares fermentables. El pretratamiento mecánico adecuado de la biomasa resulta esencial. En algunos procesos la biomasa se pretrata químicamente y posteriormente se "hace explotar" por medio de cambios rápidos de temperatura y presión. Dichos procesos pueden crear grandes cantidades de residuo químico peligroso. Otros procesos calientan briquetas de madera en ácido en dispositivos bastante similares a los usados para producir pulpa de madera para la fabricación de papel. Hasta la fecha, no se ha demostrado que alguno de estos enfoques haya resultado altamente satisfactorio.

El inventor piensa que la mayoría de los problemas de la tecnología presente se pueden solucionar reduciendo la biomasa a partículas suficientemente pequeñas. El inventor ha descubierto que dichas partículas (denominadas micropolvo celulósico) se pueden hidrolizar de forma sencilla para dar lugar a azúcares y otros monómeros orgánicos, ya sea por medio de enzimas o por medio de hidrólisis química. Probablemente debido al tamaño de partícula muy pequeño, las enzimas hidrolíticas son mucho más eficaces que cuando actúan sobre biomasa celulósica preparada de otras maneras. Además, el micropolvo preparado de acuerdo con la presente invención se puede someter a combustión rápida con un inyector de tipo pulverización, de manera no muy diferente a un fluido líquido. La clave consiste en preparar partículas de micropolvo extremadamente finas y uniformes.

Existe una variedad de dispositivos pequeños (generalmente denominados "molinos") que se usan para romper las muestras pequeñas de una variedad de materiales orgánicos e inorgánicos. Por ejemplo, un molino de corte que usa bordes cortantes rotatorios puede reducir muchos materiales hasta un tamaño de partícula de 200 μm . Una machacadora de martillo cruzada añade acción de machacado al corte para reducir más los materiales procesados hasta un intervalo de tamaño de 100 μm . El martillo rotor, la centrífuga rotatoria y los molinos de discos vibratorios pueden reducir más muchos materiales hasta un intervalo de 50 μm . En comparación con la biomasa, los metales tienen una estructura cristalina, de manera que incluso las partículas pequeñas son muy resistentes. No obstante, el molino de bolas, una máquina industrial popular, es capaz de romper la estructura cristalina de las partículas metálicas para dar lugar a sub-partículas más pequeñas con un intervalo de tamaño de 5 μm (o incluso ligeramente más pequeño). No obstante, el molino de bolas normal no funciona generalmente bien con materiales de fibra de biomasa, quizás debido a que la biomasa es resiliente y generalmente no se comporta de manera cristalina. A pesar de esto, un molino de bolas con bolas muy pequeñas es capaz de lograr cierta ruptura limitada de las fibras de biomasa. No obstante, ninguno de los dispositivos de la técnica anterior resultan prácticos a escala industrial. Las cantidades de material procesado son normalmente de unos pocos gramos hasta unos cientos de gramos. Además, muchos dispositivos que dependen del "corte" emplean bordes cortantes que rápidamente se vuelven romos por medio de los intentos de procesar grandes volúmenes de material.

El inventor desarrolló de forma preliminar un sistema para reducir la biomasa a micropolvo usando una combinación de fuerza mecánica y adición de agua. (Véase el documento WO/2002/057317). El micro-polvo producido por medio de este método resulta fácilmente hidrolizable para dar lugar a azúcares fermentables a través de la acción de las enzimas. No obstante, ese proceso requiere la adición repetida y la retirada de agua y la agitación mecánica prolongada, lo cual aumenta el gasto energético necesario para producir el micropolvo. Aunque la demanda de energía global de ese proceso es positiva, el inventor ha continuado trabajando con el problema hasta que ha perfeccionado un método mejorado de producción de micropolvo divulgado en la presente memoria.

Descripción de las figuras

La Figura 1 muestra un disruptor usado para reducir biomasa a partículas de dimensión milimétrica.

La Figura 2 muestra un diagrama de un molino de disco rotatorio como se observa desde arriba.

La Figura 3 muestra una vista lateral esquemática del dispositivo de la Figura 2.

La Figura 4 muestra una vista lateral del exterior del dispositivo de la Figura 2.

La Figura 5 muestra una representación esquemática de una segunda realización del molino de discos observado desde arriba.

La Figura 6 es una vista diagramática de la realización de la Figura 5 observada desde arriba.

La Figura 7 es una vista diagramática de un corte transversal de la realización de la Figura 5 tomada a lo largo de la línea 7-7 de la Figura 6.

La Figura 8 es un diagrama del disco usado en la realización de la Figura 5 que muestra extensiones de los bordes.

La Figura 9 es un corte transversal del disco que se muestra en la Figura 8.

La Figura 10 es una imagen SEM de pulpa de madera procedente de un árbol dicotiledóneo para ilustrar el elemento de la pulpa de madera; las barras micrométricas muestran que el aumento de las imágenes aumenta desde la Figura 10A hasta la Figura 10D.

La Figura 11 es una imagen SEM de pulpa de papel procedente de kenaf (*Hibiscus cannabinus*) producido por medio de un sistema disruptor de explosión; las barras micrométricas muestran que el aumento de las imágenes aumenta desde la Figura 11A hasta la Figura 11D.

La Figura 12 es una imagen SEM de micro-polvo de madera procedente de un árbol conífero (*Larix kaempferi*) producido de acuerdo con el método de la invención; las barras micrométricas muestran que el aumento de las imágenes aumenta desde la Figura 12A hasta la Figura 12D.

La Figura 13 es una imagen SEM de pulpa de micro-polvo de madera procedente de kenaf (*Hibiscus cannabinus*) producido de acuerdo con el método de la invención; las barras micrométricas muestran que el aumento de las imágenes aumenta desde la Figura 12A hasta la Figura 12D.

La Figura 14 muestra un diagrama de un sistema de combustión basado en el micropolvo.

Descripción detallada de la invención

Se proporciona la siguiente descripción para permitir que cualquier persona experta en la materia prepare y use la invención y explique los mejores modos contemplados por el inventor para llevar a cabo la presente invención. No obstante, varias modificaciones resultarán evidentes para los expertos en la técnica, ya que se han definido los principios generales de la presente invención en la presente memoria de manera específica con el fin de proporcionar un proceso mejorado esencialmente mecánico para pretratar una variedad de tipos de biomasa celulósica con el fin de producir un micro-polvo, que se pueda hidrolizar de forma sencilla y sea susceptible de combustión de forma sencilla.

De manera inesperada, el presente inventor ha descubierto un nuevo método mecánico seco para romper biomasa celulósica hasta partículas extremadamente pequeñas que realmente experimenten hidrólisis enzimática u otras hidrólisis químicas así como oxidación (combustión). La biomasa vegetal consiste principalmente en paredes celulares celulósicas. En general, la biomasa celulósica no se puede disolver de forma fácil con ningún disolvente. La estructura paracristalina de la celulosa y la estructura compuesta formada por medio de "cementación" de lignina alrededor de la celulosa son los motivos principales para esta insolubilidad. No obstante, la biomasa se puede romper a través de una bio-degradación lenta que implica por un lado fermentación y por otro, oxidación. La mayoría de estas reacciones de bio-degradación operan en una fase sólida-líquida sobre la superficie de la biomasa.

Se ha usado durante años la biomasa vegetal tal como madera para la fabricación de papel, mientras que se han usado otras formas de biomasa para producir fibras (materiales textiles). La producción de papel implica la extracción por medio de procesos industriales que usan sustancias químicas y grandes cantidades de agua. El cemento natural (lamela media) entre las paredes celulares de las células de la madera se disuelve químicamente, y las paredes celulares mezcladas (fibras) se suspenden en agua para formar una suspensión de pulpa de madera. En el caso de materiales textiles, las paredes celulares individuales (fibras) se separan en su mayoría y se desligan unas de otras, de modo que no se requiere un procesado complejo. (Aunque la producción de lino, por ejemplo, requiere un proceso de digestión normalmente denominado "enriamiento"). Debido a que la celulosa es esencialmente soluble en agua, las fibras son estables en agua. No obstante, dichas fibras vegetales absorben agua y se hinchan en cierto modo. Tras el hinchamiento, generalmente la biomasa se seca hasta volver a su forma original. Generalmente, se piensa que los procesos mecánicos no son capaces de reducir la biomasa celulósica muy por debajo del nivel de las paredes celulares individuales aunque la ruptura mecánica puede fragmentar las fibras individuales (es decir, las paredes celulares) en cierto modo.

Se necesita un proceso a escala industrial donde además un proceso simple reduzca la biomasa celulósica a micropolvo. El proceso original del inventor implica la adición repetida y la retirada de agua. La biomasa celulósica,

especialmente las plantas vivas, se hidrata. Todas las células vivas tienen un elevado contenido de agua, y en las plantas vivas, se usan las paredes de muchas células no vivas como conductos para el agua, garantizando además que la biomasa sigue hidratada. En el proceso anterior fue necesario primero retirar el exceso de agua y posteriormente ciclar la adición y la retirada de agua.

5 El proceso mejorado comienza con una ruptura mecánica inicial de la biomasa celulósica. Se usa maquinaria de trituración y molienda similar o idéntica a la usada en el proceso anterior, para el procesado inicial. Se ha descubierto que resulta ventajoso reducir la biomasa a partículas que tengan un diámetro medio máximo de aproximadamente 1 mm. Como se explica, esto se hace de manera conveniente por etapas. No obstante, no existe requisito de usar las etapas exactas o el aparato comentado. Cualquier procedimiento que reduzca la biomasa a partículas de aproximadamente 1 mm de diámetro funciona. Aunque el procesado inicial puede tener lugar sobre biomasa "nativa" (es decir, húmeda), se ha descubierto que la maquinaria que se usa actualmente opera de manera más rápida y eficaz sobre biomasa que contenga un nivel reducido de agua. Debido a que las últimas etapas del proceso requieren biomasa con un nivel reducido de humedad, resulta conveniente secar la biomasa como primera etapa o al menos después de que la biomasa se haya reducido a partículas de aproximadamente 5-10 mm de diámetro. La primera etapa del nuevo proceso de ruptura consiste en reducir el tamaño de los trozos de biomasa a aproximadamente 5-10 mm de diámetro, por medio del uso de un triturador o cortador de madera común u otro dispositivo mecánico apropiado. Estas partículas de partida tienen contenidos de agua de entre aproximadamente un 20 y aproximadamente un 80 % en peso. Antes de que pueda transcurrir eficazmente la ruptura adicional se deben secar las partículas hasta que su contenido de agua sea menor de aproximadamente un 15 % en peso. El secado se logra por medio de métodos convencionales. En los ejemplos presentados en la presente memoria, se calentó el material vegetal (piezas de 5-10 mm) hasta al menos aproximadamente 80 °C para garantizar el secado rápido. Se apreciará por parte de los expertos en la técnica que se pueden emplear también otros métodos de secado de menor consumo de energía. Se puede usar energía solar o calor industrial residual para secar la biomasa.

En el proceso de ruptura preliminar del inventor se usó la adición de agua para debilitar los enlaces de hidrógeno que mantienen juntos los polímeros de polisacáridos que forman la biomasa. En este nuevo método seco, se utiliza el enfoque contrario; la retirada de agua aumenta la tenacidad de la biomasa de manera que la ruptura mecánica es más eficaz. La etapa central del proceso se basa en una pieza especial de equipo denominada micro-disruptor que se ha optimizado para la producción de polvo submicrométrico. El proceso total desde madera (por ejemplo) hasta micropolvo incluye las siguientes etapas: (1) recogida de la materia prima; (2) transporte de la materia prima; (3) reducción hasta una escala de 5-10 mm (trituración y planificación/corte); (4) secado (puede tener lugar antes de la trituración y corte); (5) ruptura hasta partículas de tamaño milimétrico; (6) reducción por medio de molinos de discos hasta 100 micrómetros y bajo tamaño de partícula con clasificación de tamaño de partículas, y 7) tratamiento con micro-disruptor/mezclador para producir un micropolvo micrométrico y submicrométrico.

Se usa un triturador-plano o cortador comercial ampliamente para cortar madera y maleza y generalmente incluye uno o más bordes cortantes sobre un eje rotatorio. Normalmente, los dispositivos tienen cierto tipo de tamizado para que se puedan procesar posteriormente los trozos grandes de biomasa al tiempo que los trozos pequeños pasan a través del mismo. Generalmente, una tamiz que produce trozos con una dimensión máxima de aproximadamente 3-5 mm resulta óptimo. Como ya se ha mencionado, el material objeto de trituración primero se tiene que secar o se puede secar tras la trituración/planificación. De manera ventajosa, el secado se lleva a cabo a una temperatura de manera general de aproximadamente 80 °C o más, aunque el secado a una temperatura inferior durante un tiempo más prolongado resulta perfectamente viable. Se ha descubierto que el proceso de planificación-trituración es más eficaz sobre material seco; se pueden triturar 25 kg de biomasa secada de forma apropiada en 10 minutos o menos, mientras que la misma cantidad de biomasa húmeda puede requerir una hora o más para la trituración apropiada.

50 Resulta ventajoso reducir la biomasa cortada a partículas que tengan una escala de aproximadamente 1 mm. Una amplia variedad de dispositivos de molienda se encuentran disponibles para lograr esta finalidad. El inventor ha descubierto que resulta eficaz utilizar el disruptor que ha desarrollado para su proceso preliminar. En el dispositivo disruptor 30 de la Figura 1, una pluralidad de ejes contra rotatorios 36 (en este caso dos) soportan paletas rígidas 38 que están separadas para que entren en contacto relativamente estrecho (aproximadamente 1 cm de separación) durante la rotación. Los ejes 36 están orientados en sentido horizontal y están dispuestos cerca de la parte inferior del recipiente 32 de tipo tolva. Los ejes 36 se hacen rotar en sentido contrario por medio de los motores 34 (únicamente se muestra uno) a una velocidad de unos pocos cientos de RMP o menos. Se alimenta la biomasa en el interior del dispositivo y se produce la ruptura por medio de las paletas. Usando dicho dispositivo se pueden reducir 25 kg de biomasa desde un tamaño de partícula de 3-5 mm hasta un tamaño de partícula de menos de 1 mm en 60 minutos o menos.

60 Posteriormente, el proceso de la invención usa un molino de discos y un micro-disruptor/mezclador para reducir la biomasa a partículas de escala micrométrica o sub-micrométrica. El molino de discos resulta eficaz para reducir rápidamente la biomasa desde una escala de justo menos de 1 mm hasta una escala de aproximadamente 100 μm . El micro-disruptor/mezclador puede reducir de manera eficaz las partículas de 100 μm hasta una escala final micrométrica o sub-micrométrica. Se apreciará que si se opera el molino de discos durante un tiempo muy largo, se puede reducir la biomasa hasta partículas menores que 100 μm ; no obstante, moviendo el material de un tipo de

aparato a otro es posible producir un micropolvo de manera más rápida con un consumo bajo de energía.

El contenido preciso de agua de las partículas es importante en el proceso global. Como se explica a continuación, una versión del molino de discos es particularmente sensible al exceso de agua. El dispositivo de molino de discos
 5 contiene discos rotatorios que dispersan las partículas de biomasa seca a medida que se añaden. El borde del disco que interacciona con las partículas no tiene filo ya que no tiene lugar el corte real de las partículas. En lugar de ello, las partículas se comprimen o aprietan de forma repetida (experimentan cizalladura) a medida que contactan con los discos disruptores rotatorios del molino de discos. La compresión o el apretamiento rompen gradualmente las
 10 partículas en estructuras más y más pequeñas, que se mantienen separadas unas de otras por medio de agitación constante de los discos rotatorios. Inicialmente, se separan las fibras individuales (paredes celulares). Posteriormente, se rompen las paredes celulares en partículas más y más pequeñas. La pared celular está formada principalmente por microfibrillas de celulosa unidas a hemicelulosa y lignina. Del modo más probable, la flexión y el apretamiento repetidos de las partículas por medio de los discos tiene como resultado la separación a lo largo de las
 15 zonas de debilidad en la unión de los subcomponentes de celulosa, hemicelulosa y lignina de la biomasa. A medida que las partículas de biomasa se hacen más y más pequeñas, se mejora la evaporación a partir del área superficial aumentada en gran medida, de forma que se requiere escaso o nulo calor para llevar a cabo el secado óptimo.

Una vez que se ha tratado la biomasa con el molino de discos, experimenta un tratamiento final con el micro-disruptor/mezclador. Esta unidad es como una versión en miniatura del disruptor que se muestra en la Figura 1. El
 20 dispositivo mostrado tiene aproximadamente 53 cm por 90 cm y 100 cm a lo largo del eje con motores de 2 kW. El diámetro medido de acuerdo con los álabes o paletas es de aproximadamente 35 cm. El micro-disruptor/mezclador tiene únicamente 50 cm a lo largo del eje y, por consiguiente, está proporcionado, pero debido a que la velocidad es elevada usa motores de 3,7 kW. En el disruptor/mezclador, dos ejes separados que portan paletas inter-espaciadas rotan a velocidades elevadas en direcciones opuestas dentro de una cavidad. Los ejes son capaces de rotar a
 25 12.000 RPM, aunque la fricción provocada por las partículas de biomasa generalmente reduce la tasa práctica de rotación a 4.000 RPM o menos (pero al menos varios miles de RPM). Las partículas se suspenden en el aire por medio de rotación y las tensiones de rotación compensatorias y se produce el desgarro y la disgregación de las partículas que se han aglomerado en el molino de discos. En esta etapa final, se reducen las partículas a un tamaño micrométrico o submicrométrico. Un micro-disruptor/mezclador puede producir 25 kg de partículas de 100 μm a partir
 30 del molino de discos para dar lugar a partículas de micropolvo que tienen una escala micrométrica o submicrométrica en 60-120 minutos.

El producto final del procesado es micropolvo. Por micropolvo se entiende biomasa en forma de polvo donde las partículas tienen un tamaño medio de partícula de no más de aproximadamente 2-3 μm pero con una proporción
 35 significativa de partículas submicrométricas. Se entiende que los tiempos de procesado medios mencionados a continuación producen un micropolvo con estas características. La clasificación (es decir, clasificación por tamaño) del micropolvo permite que las partículas más grandes reciban un procesado adicional, dando lugar de este modo a una proporción más elevada de partículas submicrométricas. Los usos del micropolvo incluyen la digestión enzimática para dar lugar a azúcares (generalmente seguida de fermentación hasta alcohol) o la combustión directa.
 40 El micropolvo con un tamaño medio de partícula de 2-3 μm resulta apropiado para dichas aplicaciones, pero en algunos procesos puede resultar ventajoso usar micropolvo que tenga una proporción mayor de partículas submicrométricas. Aumentando el tiempo de procesado, en particular en el micro-disruptor/mezclador, se logra aumentar la proporción de partículas submicrométricas. Se aprecia que el procesado adicional para producir una proporción mayor de partículas submicrométricas requiere más tiempo y energía. Un análisis de coste-beneficio
 45 puede determinar el intervalo de tamaño óptimo del micro-polvo para cada uso particular.

El inventor ha producido dos versiones diferentes de discos. El primer dispositivo no iba destinado a ser un dispositivo fácilmente escalable mientras que se pretendía que el segundo dispositivo fuera un dispositivo escalable
 50 y un prototipo para la producción de micropolvo a escala industrial. Posteriormente, se descubrió que la mayoría de los resultados de expedición se logran por medio del pre-procesado usando el segundo dispositivo seguido de un tratamiento final de molino de discos con un dispositivo del primer tipo. Es decir, se puede lograr la ruptura óptima por medio de un dispositivo del primer tipo, pero el rendimiento total es relativamente bajo. El rendimiento de un dispositivo del segundo tipo es mejor, pero consume tiempos de procesado excesivos para lograr una proporción mayor de partículas submicrométricas en el micropolvo. No obstante, por medio del procesado de la fracción de
 55 salida del dispositivo del segundo tipo con el dispositivo del primer tipo, se puede obtener de manera sencilla y eficaz un micropolvo que tenga una proporción significativa de partículas submicrométricas. También se ha demostrado que la sustitución del tratamiento de molinos de discos primero por el tratamiento disruptor resulta rápida. Actualmente, la configuración preferida es el uso del disruptor seguido de un molino de discos del primer tipo.

Por medio del examen de las estructuras de estos dispositivos diferentes, resultarán evidentes los principios de
 60 operación y los parámetros de la invención. La Figura 2 muestra un diagrama de un micro-disruptor rotatorio basado en discos como se ha observado anteriormente. En este dispositivo, se acopla un sistema 22 de brazo doble con forma de "X" (es decir, cuatro segmentos de brazo separados) a un eje o eje central 24 de forma que el sistema de brazos 22 pueda rotar alrededor del centro. El sistema 22 con brazos en X es una estructura apropiada, pero
 65 resultará evidente para el experto en la técnica que se puede sustituir cualquier miembro (un brazo o disco, por ejemplo) dispuesto para rotar alrededor del centro por el sistema 32 de brazos con forma de X. Cada uno de los

brazos 26 soporta dos discos rotatorios. Como se observa en la Figura 3, cada disco 28 está conectado a un eje horizontal 32, cada uno de los cuales está sobre un soporte de un par de abrazaderas 42 que dependen de uno de los brazos 26. Cada disco 28 está alineado para que rote alrededor de la parte inferior de cuatro ranuras 37 concéntricas con forma de V que ocupan el suelo de una cavidad 39 que contiene el brazo 22 con forma de X. Las cuatro pistas concéntricas sucesivas tienen un diámetro de aproximadamente 330 mm, 490 mm, 650 mm y 810 mm. Las ranuras 36 con forma de V tienen una parte inferior de aproximadamente 8 mm de anchura. Las partes que trabajan están todas construidas de acero inoxidable. Cuando opera el dispositivo, un motor 34 que está conectado por medio de una cinta transportadora 44 al término inferior 46 del eje central 24 provoca que el sistema 22 de brazos con forma de X gire dentro de la cavidad 39 a una velocidad de aproximadamente 120 RPM. El disco 28 se mueve a lo largo de la parte inferior de las ranuras 37 con forma de V. La estructura del eje horizontal 32 es tal que los discos están montados con cierta flexibilidad que les permite responder a las irregularidades y desplazarse en la ranura 37 con forma de V circular. Se puede usar cualquier otra configuración mecánica apropiada además del eje y la cinta transportadora para hacer que el sistema 32 de brazos con forma de X rote alrededor de su centro.

La unidad está estructurada para que el disco 28 no toque en realidad la parte inferior o los lados de la ranura 36 con forma de V. El borde de cada disco 28 está bastante ahusado para encajar con la ranura 37 con forma de V de manera que normalmente exista un espacio entre las superficies del disco 28 y las superficies de unión de las ranuras 37 con forma de V. Se introducen las piezas de biomasa cortadas en el interior de la unidad a través de un puerto de entrada 48 sobre el lado vertical inferior de la unidad y caen al interior de la ranura 37 con forma de V. La biomasa llena el espacio existente entre el disco 28 y las paredes de la ranura 37 con forma de V. El disco móvil 28 rompe la biomasa y la fricción resultante provoca que el disco gire y desplace/distribuya la biomasa. La acción de trituración y cizalladura repetida desgarrará las piezas de biomasa dando como resultado partículas más y más pequeñas. En este momento es cuando la humedad de la biomasa es particularmente importante. Si la biomasa está demasiado húmeda, se pega en grandes bloques que impiden el movimiento suave de los discos 28 y puede incluso provocar que el disco 28 se salga parcialmente de su ranura 37 con forma de V. Durante este proceso de ruptura, las piezas de gran tamaño caen de nuevo a las ranuras 37 con forma de V para su procesamiento posterior mientras que las partículas más pequeñas son levantadas al aire por medio del movimiento de los discos 28 y se pueden extraer a partir de un puerto de salida 52 sobre la cubierta superior de la unidad. Cuando se opera en modo discontinuo, la unidad puede procesar aproximadamente 10-15 kg de biomasa en 20-30 minutos. Cuando se opera en modo de flujo continuo, se añade aproximadamente 0,5 kg de material (y se extrae) por minuto. El inconveniente más significativo de esta configuración es que la biomasa húmeda puede obturar las ranuras 37 con forma de V provocando que los discos 28 se desplacen de forma inapropiada. Si el material está demasiado húmedo, las partículas forman bloques y evitan por completo el procesamiento posterior. Esto requiere el apagado de la unidad para limpieza de las ranuras 37.

La segunda realización del disruptor de molino de discos se diseñó para solucionar los inconvenientes de la primera realización comentada anteriormente. La Figura 5 muestra un diagrama simplificado de la presente realización visto desde arriba. Una cavidad cerrada 39 contiene una pluralidad de ejes horizontales 54, en este caso cuatro. Cada eje 54 está directamente acoplado a un motor 34. Los discos rotatorios 28 se unen a cada eje 54 por separado, pasando el eje a través del centro de cada disco 28. En la figura, cada eje 54 porta ocho discos 26 y los discos 26 sobre los ejes adyacentes 54 se encuentran compensados a lo largo de la longitud de los ejes 54, de manera que los discos 26 sobre ejes adyacentes 42 se pueden inter-digitar o solapar. En el dispositivo actual, los discos 26 tienen un diámetro de aproximadamente 800 mm. La Figura 6 muestra el aparato desde el lado, ilustrando de manera adicional el solapamiento de los discos 26 sobre los ejes 54 adyacentes horizontales. Como se muestra en la Figura 7, el perímetro externo de cada disco 26 rota dentro de la ranura 37' con forma de V. Es decir, la estructura de la primera realización requiere que las ranuras 37 con forma de V sean circulares. En este caso, las ranuras 37' con forma de V son lineales y se extienden por la longitud del aparato. Las Figuras 8 y 9 muestran, de forma diagramática, que los bordes externos de los discos 26 están provistos de extensiones 56 que están dimensionadas para penetrar casi hasta las partes inferiores de las ranuras 36' con forma de V. La Figura 8 muestra un disco 26, del cual una parte alargada 26' porta extensiones 56, siendo cada extensión 56 curvada para permitir la circunferencia del disco 26. Las extensiones 56 están unidas al borde del disco por medio de pernos 58 (aunque se podría usar también cualquier otro tipo de elemento de fijación mecánico apropiado). La Figura 9 muestra un corte transversal del disco 26 tomado a lo largo del disco circular para ilustrar el método de unión de las extensiones 56. Debido a que las extensiones 56 penetran en el interior de las ranuras 37' con forma de V, tiene lugar la mayoría del contacto entre las partículas de biomasa y el disco 26 sobre las extensiones 56 que se pueden sustituir de forma sencilla cuando ha tenido lugar un desgaste significativo. De nuevo, todas las partes del dispositivo que entran en contacto con la biomasa están fabricadas de acero inoxidable u otro material resistente. Nótese que los pernos 58 se usan junto con lavadores achaflanados 68 que mantienen las extensiones 56 en su sitio de forma más segura y también proporcionan una turbulencia de aire para mover y mezclar el micropolvo.

Durante la operación, los discos 26 normalmente giran a una velocidad de aproximadamente 150 RPM. La biomasa (material triturado con una dimensión máxima de aproximadamente 10 mm) se introduce a través de un puerto de entrada 62 (Figura 6) y es arrastrada al interior de las ranuras 37' con forma de V. El disco rotatorio 26 pulveriza la biomasa y la arrastra a lo largo de un puerto de salida 64 donde se hace pasar el micropolvo a través de un dispositivo de clasificación 66, donde se separa el micro-polvo de acuerdo con su tamaño. Se puede conseguir la clasificación por medios gravimétricos mediante soplado del micropolvo al interior de una torre de separación (con o

sin obleas) donde se extraen las partículas más pequeñas (producto terminado) desde la parte superior de la torre. Las partículas más grandes se extraen desde la base de la torre, ya que las partículas más finas permanecen suspendidas en la corriente de aire durante un período de tiempo largo (las partículas más finas pueden formar una suspensión coloidal en el aire). Posteriormente, las partículas más grandes se reciclan a través del dispositivo para una ruptura adicional. Este mismo método de clasificación resulta útil con el disruptor rotatorio ya descrito. También se pueden usar otros métodos de clasificación que usan tamices y o separadores ciclónicos de polvo o combinaciones de dichos métodos. El dispositivo dibujado (cuatro ejes horizontales con ocho discos de 800 mm de diámetro por cada eje) rompe aproximadamente dos toneladas de biomasa en 10-12 horas. La capacidad del dispositivo se puede aumentar de forma sencilla añadiendo simplemente ejes adicionales (es decir, haciendo mayor la longitud del dispositivo) y/o añadiendo discos a cada eje (es decir, aumentando la anchura del dispositivo).

No obstante, el producto típico producido por medio de la máquina lineal tiene partículas bastante más grandes (menos partículas submicrométricas) que el dispositivo rotatorio. Se piensa que esto se debe al efecto de los bordes de disco que pasan al interior de la ranura y posteriormente se elevan fuera de la misma, al tiempo que el disco del dispositivo rotatorio mantiene más contacto con la ranura por medio de "rodadura dentro" y fuera de la ranura. El efecto neto es que el disco rotatorio proporciona más fuerzas de trituración y cizalladura que son más eficaces en la ruptura de las partículas de biomasa para dar lugar a partículas más pequeñas. Por otra parte, el dispositivo lineal es relativamente insensible a variaciones en los niveles de humedad, ya que el movimiento "dentro y fuera" de un punto particular del disco rotatorio a medida que interactúa con las ranuras, mantiene las ranuras limpias de cualesquiera agregados de partículas. Aunque el dispositivo lineal puede producir un micropolvo muy fino ampliando considerablemente su ciclo de operación, los resultados más eficaces se logran por medio del pre-procesado de la biomasa triturada con la unidad lineal hasta lograr partículas, en su mayoría, en el intervalo de tamaño de sub 100 μm , y posteriormente completando el procesado con el dispositivo rotatorio para lograr micropolvos con un tamaño de partícula máximo por debajo de aproximadamente 10 μm con un porcentaje sustancial de partículas que tienen dimensiones máximas en el intervalo sub-micrométrico.

Este enfoque da lugar a micropolvo de excelente calidad, la etapa de pre-procesado con el dispositivo lineal evita por completo la obturación de las ranuras con agregados que, en ocasiones, afecta al dispositivo rotatorio. La biomasa pre-procesada con la unidad lineal es de un tamaño y consistencia tales, que no tiene lugar la obturación de las ranuras. El enfoque alternativo, que actualmente se prefiere, consiste en usar el disruptor (en lugar del molino de discos lineal) para reducir la biomasa a un intervalo de tamaño de 100 μm y posteriormente usar el molino de discos rotatorios para el procesado posterior.

El molino de discos lineal descrito anteriormente procesa de manera eficaz aproximadamente 2 toneladas métricas en 10 horas. Es decir, puede dar lugar a aproximadamente 200 kg de biomasa por hora. La unidad experimental usa motores eléctricos y requiere una potencia de aproximadamente 3 kW a la hora. El molino de discos rotatorio descrito anteriormente (que opera con un diámetro de aproximadamente 90 cm) puede procesar por completo únicamente alrededor de 20 kg de material a la hora. Por tanto, se pueden conectar diez unidades a cada molino de discos lineal, o se requieren molinos de discos rotatorios de capacidad incluso mayor. Usando motores eléctricos, un molino de discos rotatorio actualmente emplea entre aproximadamente 2,5 y 5 kW de potencia por tonelada métrica de biomasa. De este modo, con el equipo experimental actual, una tonelada métrica de biomasa requiere aproximadamente 20 kW de energía eléctrica para la ruptura. Es probable que se prevean de forma sencilla dispositivos más eficientes usando fuentes de medios de propulsión más rentables que los motores eléctricos.

La presente realización alternativa preferida del proceso comienza con un triturador/cortador que puede reducir (a escala de laboratorio) 25 kg de biomasa seca a piezas de 3 mm en 10 minutos. Posteriormente, éstas se alimentan en el interior de un disruptor (Figura 1) que reduce el material a un tamaño sub-milimétrico en menos de 60 minutos. A continuación, se alimenta esto en un molino de discos rotatorio (Figura 2) que reduce el material a un nivel de 100 micrómetros en 30 minutos. Finalmente, este material se procesa en el micro-disruptor/mezclador de alta velocidad que produce un polvo de micrométrico a submicrométrico en 1-2 horas.

El efecto del proceso de la invención puede apreciarse de la mejor manera comparando el tamaño del polvo celulósico desarrollado por medio de los procesos tradicionales con el proceso de la invención. La Figura 10 muestra una imagen SEM (microscopio electrónico de barrido) de una pulpa de madera tradicional procedente de un árbol dicotiledóneo. El método de formación de pulpa típico somete las briquetas de madera a maceración química, después de lo cual se separan mecánicamente los componentes celulósicos. Las barras micrométricas de las figuras demuestran que las figuras muestran un aumento en la ampliación de la Figura 10A a la Figura 10D, siendo el aumento de esta última aproximadamente diez veces mayor que el de la primera. Las figuras también revelan que las características celulares de la mayoría de las paredes celulares de los elementos de los vasos permanecen en gran medida intactas.

La Figura 11 muestra una configuración similar de imágenes SEM de una madera de kenaf dicotiledónea rota por medio del método de explosión de presión de la técnica anterior. Kenaf es un arbusto de madera que se cultiva como fuente de pulpa de papel. Se ha desarrollado el método de explosión como método simplificado para la ruptura de biomasa celulósica con el fin de facilitar la digestión enzimática, la hidrólisis química y los procesos relacionados con la biomasa. Una inspección de la Figura 11A a 11D revela que los elementos grandes de vasos celulares

quedan en gran medida inalterados. En caso de ser algo, la ruptura por explosión no es significativamente más eficaz que los métodos químicos tradicionales de formación de pulpa en cuanto a la reducción de elementos celulósicos para dar lugar a partículas pequeñas aptas para la digestión sencilla por parte de enzimas.

- 5 Las Figuras 10 y 11 deberían contrastarse con las Figuras 12 y 13. La Figura 12 muestra el proceso de ruptura de la invención aplicado a madera de alerce japonés. La Figura 12D muestra que la ruptura produce un número significativo de partículas celulósicas por debajo de aproximadamente $1\ \mu\text{m}$ de diámetro, mientras que muchas partículas están en el intervalo de 2-3 μm (nótese que la mayoría de las partículas grandes aparecen en forma de agregados de partículas más pequeñas). La Figura 13 muestra imágenes SEM de madera de kenaf rota. Aunque
 10 quedan algunas partículas dentro del intervalo de 10 μm , la Figura 13D muestra un número de partículas en el intervalo de tamaño micrométrico a sub-micrométrico. El material producido por el tratamiento de explosión muestra pocas, si es que existen algunas, partículas en este intervalo de tamaño. Todas las fibras grandes y los elementos de vasos mostrados en la Figura 11 se han roto por medio del tratamiento de la invención. Debido a que el método de ruptura de la invención puede estar equipado con un dispositivo de clasificación (ejemplo siguiente), las partículas
 15 más grandes (es decir, mayores de $1\ \mu\text{m}$) se pueden reciclar de forma automática para una ruptura adicional, se puede "ajustar" el proceso de forma sencilla para producir principalmente partículas sub-micrométricas.

El presente inventor ha llevado a cabo el descubrimiento inesperado de que con métodos de combustión óptimos, el micropolvo preparado de acuerdo con la presente invención es un combustible industrial excelente para sustituir el
 20 petróleo de combustible o el gas natural con el fin de generar calor. La combustión del micropolvo es principalmente una oxidación en fase gas, tal como la del gas natural o el petróleo de combustible (que se someten a combustión en forma de pequeñas gotas de aerosol). En ocasiones, el carbón también se somete a combustión en forma de polvo formado por medio de molino de rodillos. Dicha combustión no es como la combustión de un trozo de carbón sino que, debido a las partículas pequeñas (y por consiguiente a las áreas superficiales grandes) implicadas, la
 25 reacción comienza a aproximarse a una reacción de oxidación entre gases, por ejemplo, oxígeno y metano. Similarmente, la combustión del micropolvo no es como la combustión de un trozo o pedazo de madera. El tamaño de partícula extremadamente pequeño hace que la combustión de micropolvos sea incluso más como una reacción gas-gas.

- 30 Las igniciones de ensayo de las muestras de micropolvo vegetal muestran temperaturas de ignición relativamente bajas y la capacidad del polvo de mantener la combustión continua, dando como resultado la liberación de cantidades importantes de energía. No obstante, la combustión de micropolvo no se mantiene de forma tan sencilla como la combustión verdadera en fase gas. Un suministro de combustible constante y continuo resulta crítico. Para lograr esta presión, se introducen mezcla y vibración en el movimiento del micropolvo y en la suspensión del mismo
 35 en un estado de combustible. Tiende a resultar difícil mantener un flujo constante controlable de micropolvo por medio únicamente de presión. En lugar de ello, es necesario agitar lentamente el micropolvo bruto al tiempo que se aplica cierta presión para hacer que el material fluya. La agitación a velocidad elevada no funciona como cabría esperar, ya que al dispositivo de agitación simplemente mueve el micropolvo sin contribuir a la fluidización global de la masa. Una vez que el micropolvo ha fluido al punto de la combustión, se puede aplicar presión de aire para dispersar por completo el micropolvo. A medida que el micropolvo se aproxima al punto de dispersión, se hace vibrar la trayectoria de alimentación completa con el fin de garantizar la alimentación y dispersión óptimas de la alimentación de combustible. La vibración se puede proporcionar por medio de un eje rotatorio no equilibrado en contacto con el dispositivo; dispositivos piezoeléctricos, sistemas de "bobina de voz" y otros transductores bien conocidos que también se pueden usar para proporcionar la vibración. De manera ventajosa, la frecuencia de
 45 vibración es ajustable, y generalmente a frecuencia de vibración óptima está entre 50 y 500 Hz.

Una vez que el micropolvo alcanza el "quemador", se mezcla y se dispersa por medio de una corriente de aire presurizado. La mezcla de polvo/aire se expande en el interior de un espacio de combustión donde se puede producir la ignición por medio de una chispa, bujía de encendido de combustión lenta, llama, bobina caliente o por
 50 medio de un dispositivo de ignición similar. Es importante mantener una proporción adecuada de aire-combustible de aproximadamente 5:1. Este valor es pequeño en comparación con las proporciones óptimas para carbón, gasolina, petróleo combustible o gas natural. Por ejemplo, la proporción óptima de aire-combustible para gasolina es de alrededor de 15:1. La cantidad total de calor generado por unidad de tiempo se controla por medio de la variación del peso de micropolvo suministrado por unidad de tiempo. El valor medio para la combustión de madera seca se sabe que es de aproximadamente 4300 kcal/kg. De este modo, es bastante sencillo disponer de un quemador de micropolvos para operar a un valor establecido conocido tal como 50.000 kcal/h que podría requerir aproximadamente 200 g de micropolvo por minuto. Similarmente, un quemador de 200.000 kcal/h requeriría aproximadamente 800 g de micropolvo por minuto. A diferencia de la combustión de una pieza de madera, la combustión de micropolvo es esencialmente completa. La ceniza resultante es muy ligera y normalmente representa
 60 aproximadamente de un 50 % a un 70 % del volumen del micropolvo original. Generalmente, el peso de ceniza está entre un 1 % y un 10 % del peso de micropolvo original dependiendo de la fuente de biomasa original con madera que tiene un valor de ceniza generalmente bajo, en comparación con el bagazo o biomasa similar.

- La Figura 14 muestra un diagrama de un sistema para la combustión de micropolvo. En este diagrama, se ubica un
 65 silo de almacenamiento 70 para el micropolvo cerca del quemador 84. No obstante, se aprecia que se pueden usar conductos que contienen dispositivos de agitación (por ejemplo, tornillos lineales o cintas transportadoras) para

conducir el micropolvo como si se tratara de un fluido, de forma que el silo de almacenamiento principal pueda estar ubicado a una distancia del quemador. En la figura, se combina un dispositivo de vibración 74 con una fuente 72 de aire a presión, para fluidizar el micropolvo en un mezclador 82. El micropolvo penetra en el conjunto de quemador 84 donde una fuente de aire presurizado adicional suspende el micropolvo. Se ajustan el caudal de la fuente de aire adicional y de micropolvo inducido por vibración con el fin de mantener una mezcla óptima de aire-combustible en el quemador. Un dispositivo de ignición 80 (por ejemplo, una bujía de encendido de combustión lenta o chispa) produce la ignición de la mezcla de aire y combustible y la nube de ignición resultante se dirige al interior de una parte de intercambio de calor de, por ejemplo, una caldera 78. La nube de ignición es un chorro de llama forzada no diferente de la llama formada por medio de un quemador convencional de petróleo de combustible. La ceniza resultante es extremadamente fina y ligera y se recupera a partir de la corriente de aire de escape que abandona el intercambiador de calor de la caldera usando una tecnología bien conocida en la técnica de los sistemas de producción de energía de combustión de carbón. A diferencia de la ceniza de carbón, la ceniza de micropolvo está libre de compuestos tóxicos y metales pesados. Debido a que consiste en minerales retirados del suelo por medio de plantas cuya biomasa se convirtió en micropolvo, se puede añadir de nuevo de forma segura al suelo con fines de eliminación.

De este modo, se entiende que las siguientes reivindicaciones incluyen lo que se ilustra y se ha descrito e ilustrado de forma específica anteriormente, lo que es conceptualmente equivalente, lo que se puede sustituir de forma obvia y también lo que incorpora esencialmente la idea crucial de la invención. Los expertos en la técnica apreciarán que se pueden configurar diversas adaptaciones y modificaciones de la realización preferida que se acaba de describir, sin apartarse del alcance de la invención. La realización ilustrada se ha explicado únicamente con fines de ejemplo y no debería tomarse como limitante de la invención. Por tanto, debe entenderse que, dentro del alcance de las reivindicaciones adjuntas, la invención se puede poner en práctica de otra manera diferente a la descrita específicamente en la presente memoria.

25

REIVINDICACIONES

1. Un proceso para producir micropolvo a partir de biomasa celulósica para la digestión enzimática o la combustión directa que comprende las etapas de:
- 5 triturar o cortar la biomasa para producir partículas que tienen una dimensión máxima de aproximadamente 3-5 mm;
- procesar la biomasa triturada para reducir el diámetro máximo de las partículas hasta aproximadamente 1 mm o menos;
- 10 tratar la biomasa procesada con un molino de discos rotatorios para reducir el tamaño máximo de partícula a menos de 100 micrómetros de diámetro, donde los ejes rotatorios portan discos, cuyos bordes se desplazan en ranuras circulares con forma de V y rompen las partículas comprimiéndolas entre los bordes y las ranuras con forma de V.
- 15 2. El proceso de acuerdo con la reivindicación 1, que además comprende la etapa de romper las partículas de biomasa a partir del molino de discos rotatorios con un micro-disruptor, donde los ejes contra-rotatorios rotan portando paletas, suspenden y rompen las partículas y donde los ejes giran a velocidades de al menos varios miles de revoluciones por minuto.
- 20 3. El proceso de acuerdo con la reivindicación 1, donde la etapa de procesado usa un disruptor donde los ejes contra-rotatorios que portan paletas suspenden y rompen las partículas y donde los ejes giran a velocidades por debajo de aproximadamente 500 revoluciones por minuto.
- 25 4. El proceso de acuerdo con la reivindicación 1, donde la etapa de procesado usa un molino de discos lineal donde los ejes rotatorios portan discos cuyos bordes rompen las partículas comprimiéndolas entre los bordes y las ranuras lineales con forma de V.

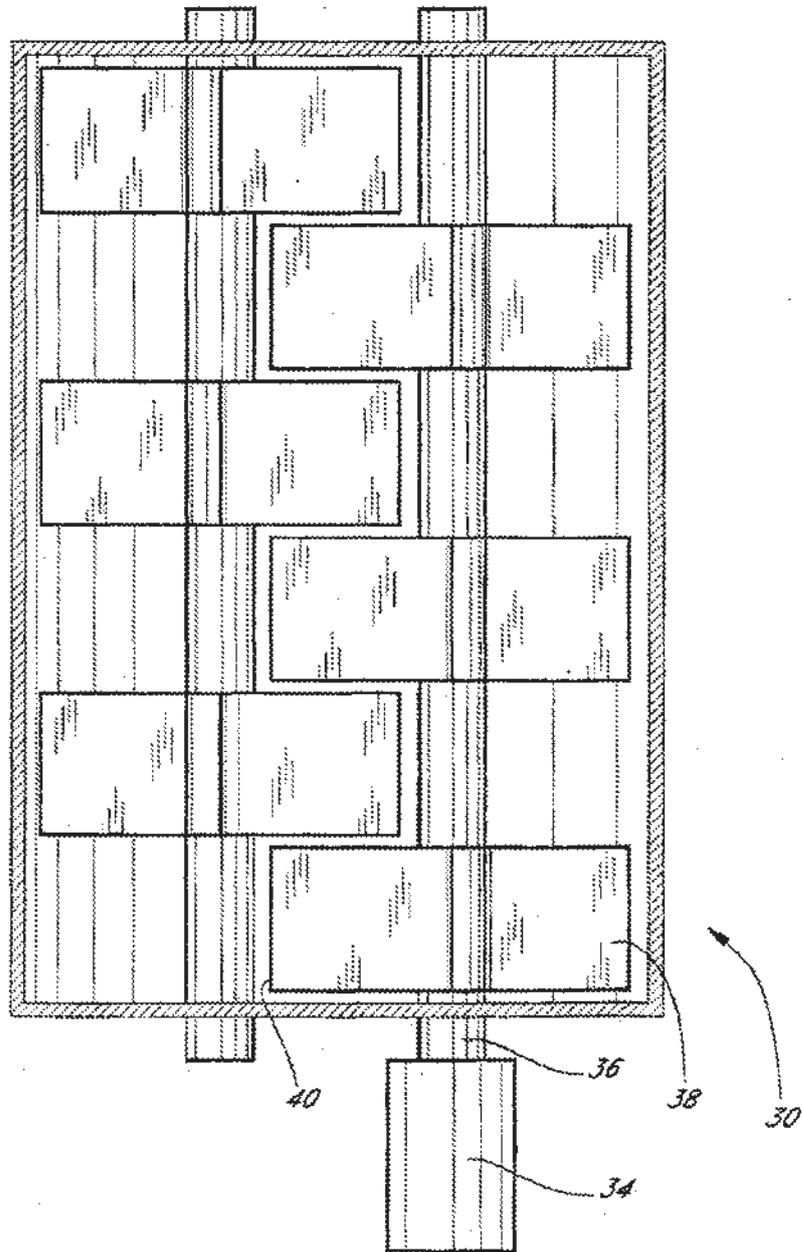


Fig. 1

Fig. 2

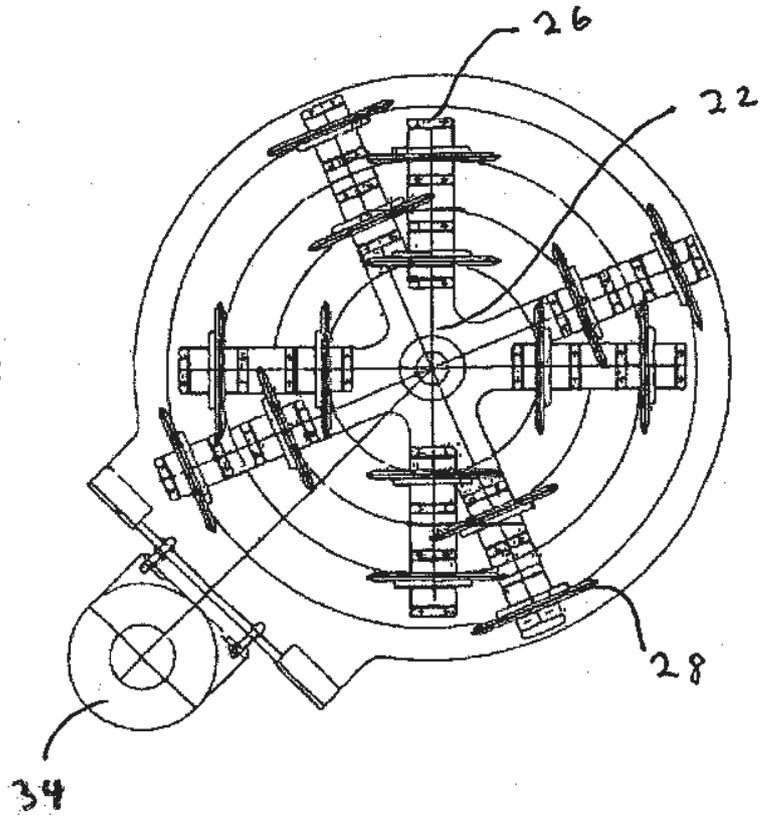
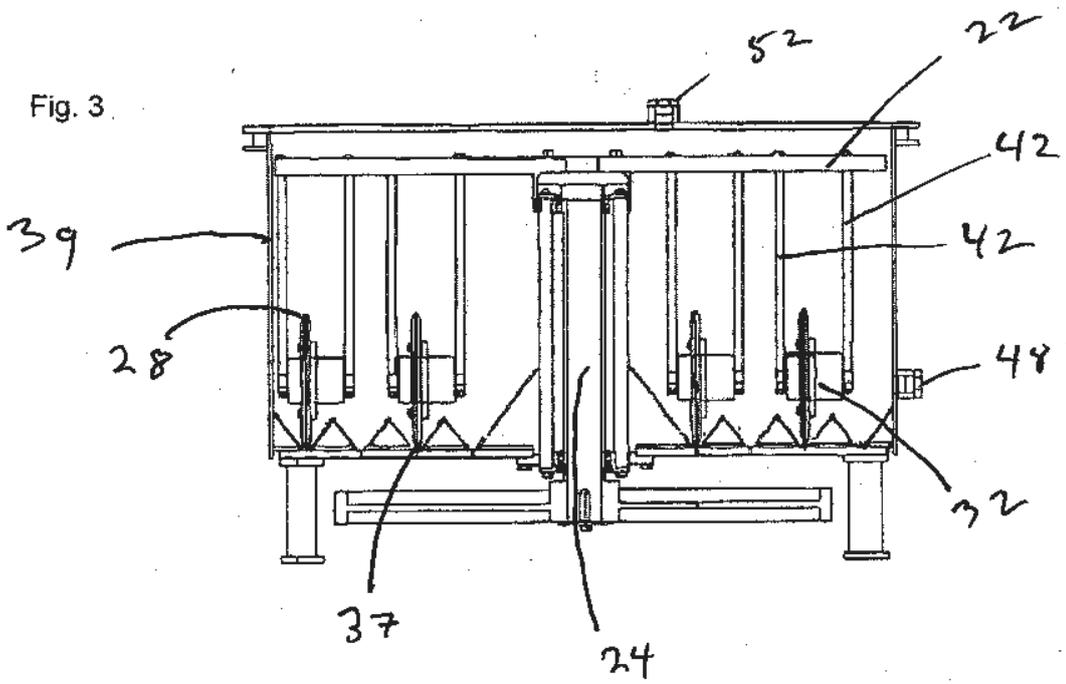


Fig. 3



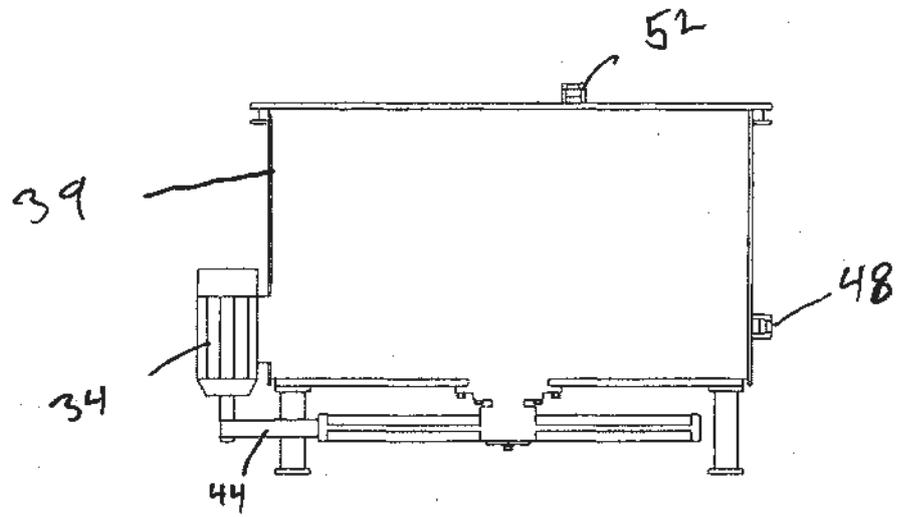


Fig. 4

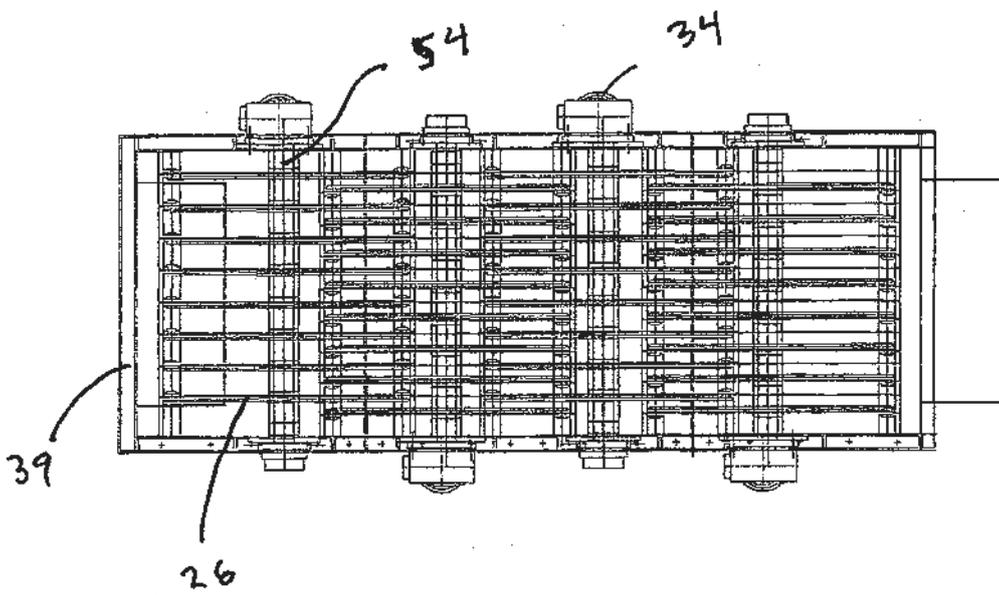


Fig. 5

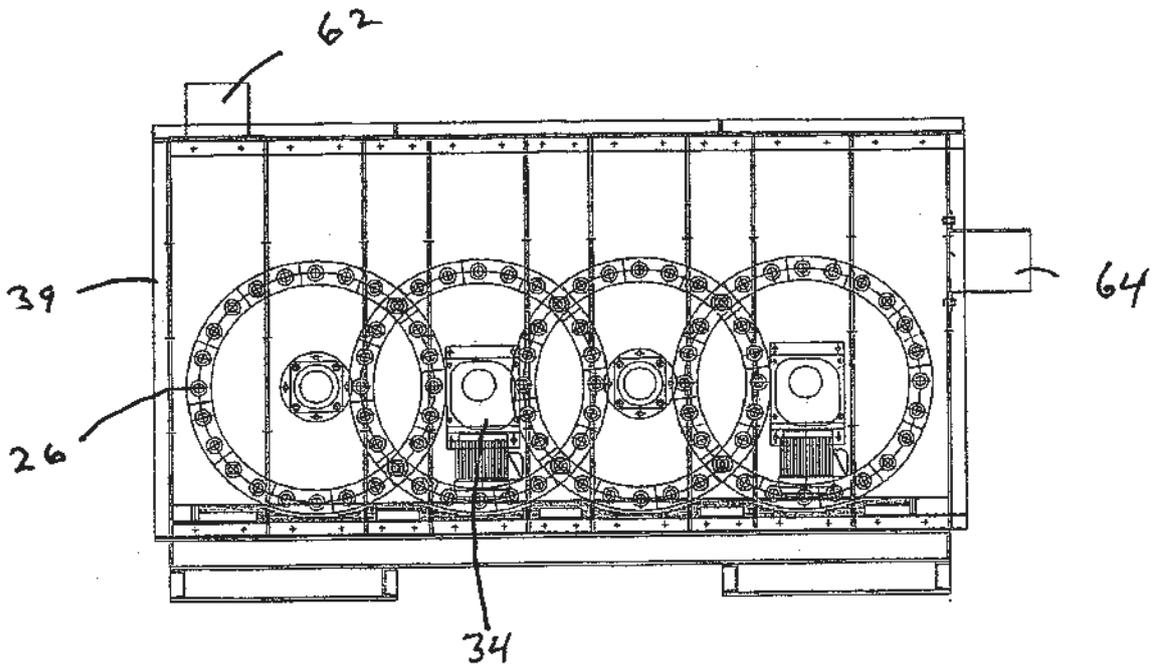


Fig. 6

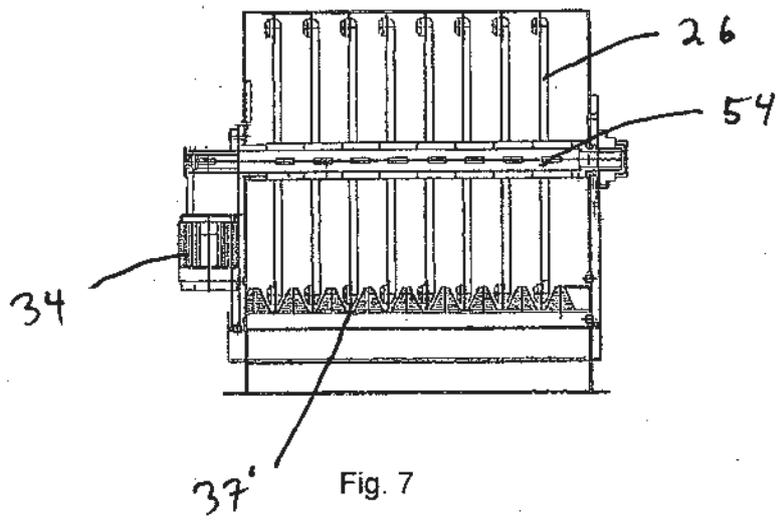


Fig. 7

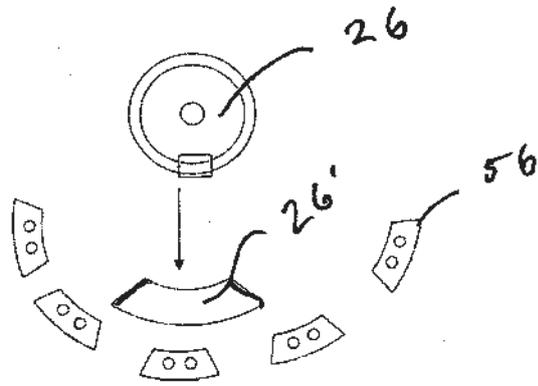


Fig. 8

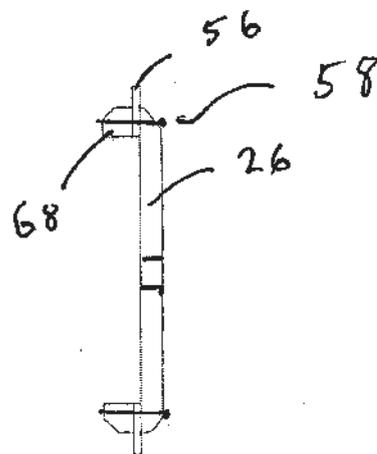


Fig. 9

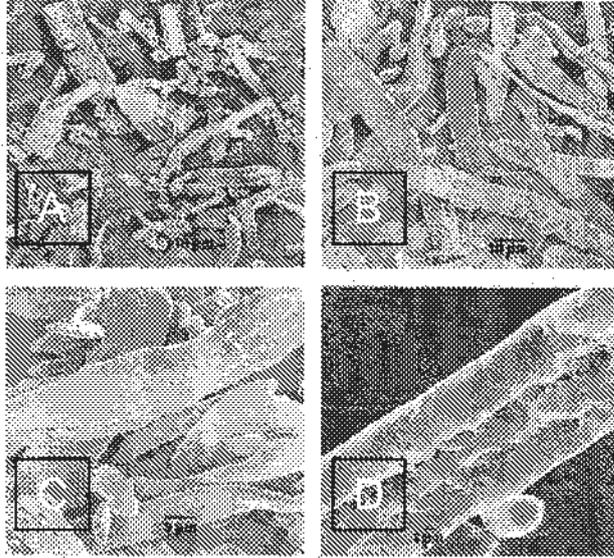


Fig. 10

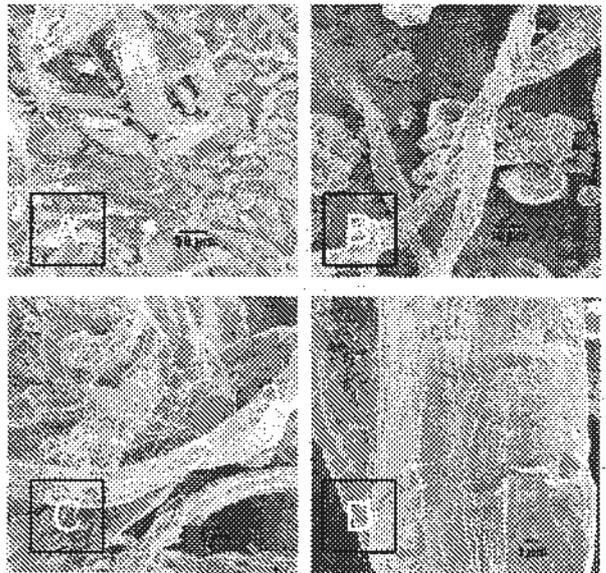


Fig. 11

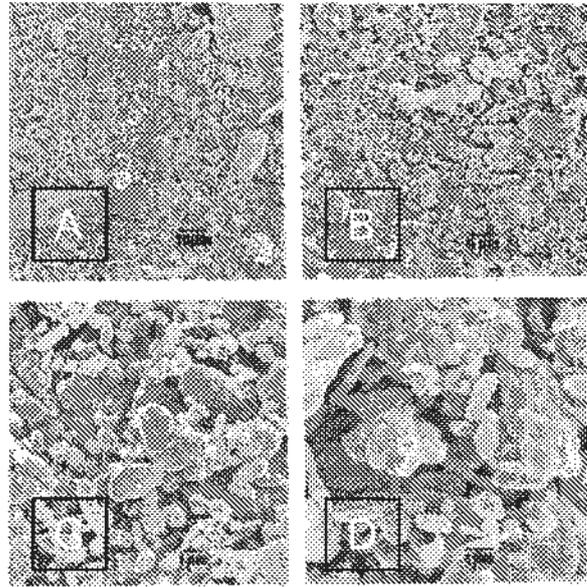


Fig. 12

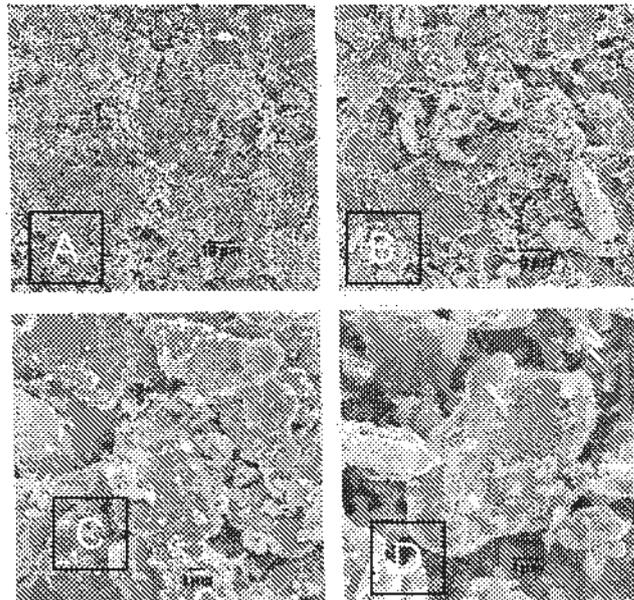


Fig. 13

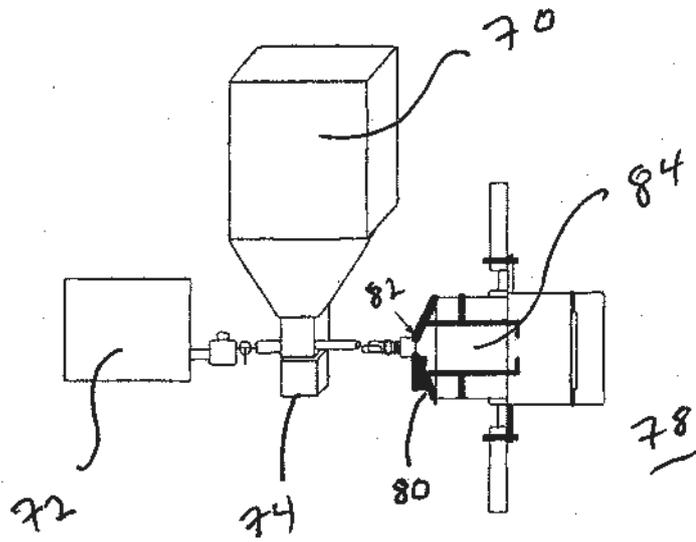


Fig.. 14