

MATERIAL COMPUESTO SÓLIDO BIOCOMBUSTIBLE OBTENIDO A PARTIR DE RESIDUOS AGROINDUSTRIALES

5 CAMPO DE LA INVENCIÓN

La presente invención se encuentra relacionada con el sector de la generación de energía eléctrica, específicamente, con fuentes alternativas de generación como los biocombustibles.

10 ANTECEDENTES DE LA INVENCIÓN

En países con abundancia de recursos energéticos, se han desatendido oportunidades económicas del URE (Uso Racional Y Eficiente de la Energía). El cambio del modelo socioeconómico determinó la necesidad de lograr una mayor productividad en los sectores de la economía para enfrentar el reto de ser rentables en un entorno crecientemente competitivo.

El diagnóstico del mercado de servicios energéticos en Colombia, se basó en el análisis de sectores económicos complementada con el concepto de cadena productiva. El modelo de mercado utilizado describe cinco fuerzas competitivas: a) la amenaza de entrada de nuevos competidores, b) la amenaza de incursión de bienes y servicios sustitutos, c) el poder de negociación de los compradores, d) el poder de negociación de los proveedores y e) la rivalidad entre los competidores existentes. El poder colectivo de las cinco fuerzas competitivas determina la capacidad de las empresas de un sector económico dado, de ganar, en promedio, tasas de retorno de la inversión mayores al costo de capital.

Un estudio llamado determinación de eficiencia energética en el subsector industrial colombiano de pulpa y papel, involucra una industria intensiva y de gran volumen cuya estructura de consumo energético muestra participaciones importantes de carbón (26%), biomasa (23%), petróleo y sus derivados (23%) y que empieza a dar participación al gas natural como sustituto inmediato de todos los demás por sus características de oportunidad y precio relativos.

Este grupo industrial corresponde a los códigos CIIU 3400, 3410, 3411, 3412, 3419 y 3420 que comprenden las empresas dedicadas a la fabricación de pulpa de madera, bagazo y otras fibras, a la fabricación de papel y cartón, envases y cajas: 31 empresas distribuidas así: 24 grandes de las cuales 4 son integradas, 20 productoras de papel y cartón y 7 medianas productoras de papel y cartón.

Igualmente, se recomiendan cambios en los procesos, fundamentalmente en el secado y en algunos aspectos tecnológicos menores. Las compañías integradas

pueden implantar procesos de cogeneración con ahorros significativos. De ahí que las preocupaciones sobre avances significativos en temas de energía alternativas, empiezan a ocupar espacios trascendentales en el desarrollo de la economía, buscando todo aquello que sea necesario para darle impulso a desarrollo tecnológico frente a las soluciones de nuevas fuentes de energía

En este contexto, los biosólidos son materiales orgánicos que provienen del tratamiento de las aguas residuales domésticas e industriales, cuya disposición final es uno de sus principales problemas (Ramírez Pisco, Velásquez Pomar, & Acosta Baena, 2007). El decreto 1287 de 2014 define a los biosólidos como el “producto resultante de la estabilización de la fracción orgánica de los lodos generados en el tratamiento de aguas residuales municipales, con características físicas, químicas y microbiológicas que permiten su uso” (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2008). Estos lodos una vez estabilizados son asimilables o considerados como residuos, que no pueden ser clasificados dentro de residuos tóxicos o peligrosos, aunque sí poseen contaminantes que obligan a su tratamiento (Cano, 2012).

La disposición de estos lodos estabilizados debe armonizar aspectos económicos, energéticos y ambientales, ya que estos factores no deben ser evaluados de manera independiente, por el contrario, deben analizarse de forma conjunta, buscando un aprovechamiento sostenible (Cano, 2012). La dinámica que se presenta alrededor de la producción, y eliminación o reutilización de lodos es considerable, día a día, diferentes investigaciones develan diferentes formas tendientes de hacer de esta una actividad económica que no se desliga de la responsabilidad y la sustentabilidad ambiental (Vélez, 2007). Por ello la relevancia de los estudios acerca de la caracterización de los biosólidos generados de los sistemas de tratamientos de aguas residuales (PTAR) de Colombia, que se relacionan con la innegable necesidad de utilizar diferentes alternativas de disposición que giren en torno a las políticas de desarrollo sostenible (Bedoya Urrego, Acevedo Ruíz, Peláez Jaramillo, & Agudelo López, 2013). Estas alternativas de aprovechamiento de los biosólidos exigen de manera directa que se profundice en el conocimiento de los aspectos específicos relacionados con su oferta, composición, y potencial energético (Ministerio de Minas y Energía, 2010).

Según Gamrasni en su estudio sobre el aprovechamiento agrícola de aguas negras urbanas, afirma que en Colombia, debido a la falta de reportes para la utilización y aprovechamiento de estos subproductos y a la carencia de disposiciones generales en función de sus descargas, transporte o depósito, millones de toneladas de biosólidos, son dispuestos frecuentemente en relleno sanitarios y demás lugares inadecuados, provocando así impactos negativos en el ambiente (Peñarte, 2012).

Contrario a la disposición de manera final, acompañados o no de otros residuos como los domésticos, existen diferentes alternativas para la utilización y usufructo de estos biosólidos. Principalmente son usados como fertilizantes agrícolas o forestales, fitoestabilizantes, en elaboración de materiales de construcción y generación o cogeneración de energía. (Rámila Garrido & Rojas Brockway, 2008).

Fytili y Zabaniotou en su investigación sobre la utilización de lodos residuales en Estados Unidos, aseguran que debido al contenido energético de los biosólidos tienen potencial para ser sometidos a procesos térmicos como: gasificación, pirólisis, combustión y oxidación húmeda (Cano, 2012), posibilitando el ser utilizados a manera de combustible ciertamente alternativo, que de manera directa direcciona un ahorro neto de las emisiones de dióxido de carbono (CO₂), ya que sus emisiones no son contabilizadas al tratarse de biomasa, pero que si se dispusieran en vertederos las emisiones contabilizarían por acción de la fermentación (Cano, 2012).

Dentro de los aprovechamientos energéticos, la incineración es una alternativa por la que muchas empresas han optado para reducir la cuantía de lodos que se acumulan, que de manera directa recupera energía a partir de la minimización de residuos (Rámila Garrido & Rojas Brockway, 2008). Además de reducir el consumo de combustibles fósiles y mejorar la seguridad energética (Amaral, Carvalho, Martins, & Martins, 2014).

Algunos argumentan que la combustión es un método seguro y que no afecta el ambiente pues el producto final lo constituye una ceniza estéril, exenta de patógenos e inodora, (Cano, 2012). Pero para Cerdá “Al igual que los sistemas de combustión convencionales, las calderas de combustión de biomasa pueden emitir ciertos contaminantes locales como óxidos de nitrógeno (NO_x), monóxido de carbono (CO), partículas (PM) y dióxido de azufre (SO₂)”. (Cerdá, 2012).

Durante la revolución industrial, el uso de material combustible fósil como el carbón y derivados de petróleo tuvo un crecimiento exponencial no controlado, lo cual ha sido motivo de preocupación dado que es un recurso cuyo proceso de combustión y oxidación genera residuos altamente contaminantes. Esto sumado a la aún creciente demanda de consumo, exige el uso de combustibles alternativos tales como el uso de biomasa subproducto de otras industrias como la azucarera y la papelera. Con el objetivo de suplir parcialmente las necesidades actuales se inicia la búsqueda de biocombustibles competentes como solución a la disposición de residuos con rentabilidad energética.

La industria papelera ha sido objeto de investigación fabricando con sus residuos sólidos de material biomásico la constitución de agregados con poderes caloríficos razonables.

Usualmente, este tipo de productos requieren de una combustión en calderas tanto pirotubulares como acuatubulares de acuerdo a la capacidad de generación de vapor requerido. Dentro de los valores referenciales estratégicos en el proceso, se encuentra el exceso de oxígeno presente en el aire en mezcla con el biocombustible, la temperatura de precalentamiento del aire comburente, el porcentaje de humedad del combustible, selectividad de la reacción de oxidación del carbono y en general de cada uno de los compuestos elementales dentro de la biomasa.

Según (Castaño, 2015), la cantidad de oxígeno es un factor que al aumentar su concentración disminuye la emisión de gases de contaminante, valores comúnmente usados industrialmente son del 10% y 35%, no obstante la variación se puede realizar entre un rango de 1% al 50%, ya que por encima de ese valor se aumentaría considerablemente el caudal de emisión y por debajo no se garantiza la eficiencia de la combustión (Rodríguez J., 2014). También es importante la temperatura de ingreso del aire de alimentación a la caldera, ya que al precalentar el combustible, permite que las reacciones aumenten su velocidad, en sus cátedras el ingeniero (Castaño, 2015) afirma que una temperatura aproximada puede ser de 45°C, unidad que es muy cercana a 30°C la cual es propuesta por (Paz, Octaviano, & Cárdenas, 2001).

Las temperaturas de combustión y salida de los gases de chimenea según (Castaño, 2015) podrían fluctuar entre 150°C y 200°C, la empresa simuladora de gases de contaminación atmosférica (CANARINA, 2015) coincide en que los valores oscilan entre 140°C y 150°C, de igual forma (Paz, Octaviano, & Cárdenas, 2001) afirma que dicha temperatura (T°) en algunas industrias es de 180°C.

Una vez se inicia la combustión, el material biocombustible inicia a oxidarse con diferentes selectividades, según (Rodríguez J, 2014) el carbono posee una selectividad para convertirse en Dióxido de carbono (CO_2) del 70% y para Monóxido de carbono (CO) del 30%. Sin embargo este valor es muy dependiente del exceso de oxígeno, ya que aumenta las probabilidades de que la reacción sea completa formando mayor cantidad de gas diluyente CO_2 .

En la quema de biomasa es usual que se produzca en sus gases de chimenea, además de CO_2 y CO proveniente de la fracción de carbono, Óxidos de Nitrógeno (NO_x) y Óxidos de Azufre (SO_x) según la presencia de fracciones de Nitrógeno (N) o Azufre (S) y de la temperatura de combustión, N_2 y O_2 alimentados en el aire comburente y vapor de H_2O (Agua) debido a la humedad del aire y a la fracción de ingreso en el combustible.

Adicional a los gases, también se obtienen materiales volátiles emitidos en forma de material particulado como consecuencia de la densidad de partícula sólida que puede ser elevado en la corriente de aire por los gases generados. En la Tabla N° 2 a la N° 4 se aprecian valores de referencia que se pueden obtener en la combustión de diferentes materiales industrialmente. (UDT, 2012).

En el campo de las patentes relacionadas con la obtención de biocombustibles a partir de residuos se encuentra la solicitud CN102858989B, la cual refiere a un producto obtenido a partir de hidrólisis de biomasa lignocelulósica, en el que se produce un jarabe de alto contenido en sólidos. El caldo de fermentación hidrolizado de biomasa lignocelulósica puede ser procesado para producir jarabe de alto contenido en sólidos que tiene una viscosidad relativamente baja que tiene un alto contenido energético y puede quemarse en un proceso de producción de fermentación. El jarabe de alto contenido en sólidos se logró mediante la separación líquido / sólido produciendo una almazara fina con sólidos en suspensión bajos, manteniendo una baja viscosidad. El líquido de fermentación hidrolizado es de biomasa de pulpa de madera.

La patente US20090239278A1 revela un método para producir etanol combinando un material de fibra vegetal que contiene carbonato de calcio con al menos un residuo agrícola lignocelulósico en una mezcla. El material de fibra vegetal puede ser un lodo de papel. A continuación, la mezcla se hidroliza y el hidrolizado resultante se fermenta en etanol.

OBJETO DE LA INVENCION

En un primer aspecto, la presente invención divulga un material compuesto sólido biocombustible obtenido a partir de residuos agroindustriales derivados del proceso de producción de azúcar y papel, esto es, bagacillo de caña, vinazas y lodos de papel.

En adición, la invención revela el proceso de obtención de un material compuesto sólido biocombustible.

Los objetos anteriormente descritos, al igual que los objetos adicionales a que hubiere lugar, serán expuestos al detalle y con la suficiencia necesaria en el capítulo descriptivo que se divulga a continuación, el cual constituirá el fundamento del capítulo reivindicatorio

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCIÓN

De manera previa a la exposición de la descripción detallada de la invención, se describen las definiciones de algunos términos, con el objeto de identificar de manera clara y concisa el alcance de los mismos.

- 5 El término "Lodos de Papel" debe entenderse como los lodos resultantes, en condición de residuo, del proceso productivo de la industria papelera y cartonera en general.

El término "bagacillo de caña" (*Saccharum officinarum*) debe entenderse como el componente más fino del bagazo (<http://www.fao.org/docrep/003/s8850e/S8850E12.htm>).

- 10 Es la fracción más fina que resulta de tamizar el bagazo o cuando se desmedula antes de enviarlo a los respectivos procesos industriales. El bagazo de caña de azúcar es un residuo fibroso que constituye, con el etanol gaseoso, un desecho importante de la industria azucarera. Una parte de la producción de este desecho es reciclada como fuente de materia prima para la fabricación del papel.

- 15 El término "Vinazas" debe entenderse como el residuo final líquido de la producción de alcohol a partir de caña de azúcar, el cual configura un grave problema debido a su elevado poder de contaminación, ocasionado principalmente por su gran contenido orgánico.

- 20 En el proceso de obtención del material sólido biocombustible objeto de la presente invención, se produce la transformación de la materia prima (bagacillo y lodos de papel), se sobrellevan pérdidas de masa debido a la interacción del flujo con las diferentes máquinas y el medio. Dicha pérdida se representa de manera directa en el porcentaje de humedad presente en el material:

$$\%Reduccion\ total = \frac{m(materia\ prima) + m(liquido)}{m_{total}}$$

25

Donde el porcentaje de humedad está dado por:

$$\%humedad = \frac{m(liquido)}{m_{total}}$$

- 30 Donde las cantidades de humedad y masa para el bagacillo y los lodos de papel, están expresados por la siguiente expresión matemática:

$$\% \text{ Reduccion bagacillo} = \frac{m(\text{bagacillo}) + m(\text{liquido})}{m_{\text{total}}}$$

$$\% \text{ Reduccion lodo de papel} = \frac{m(\text{lodo seco}) + m(\text{liquido})}{m_{\text{total}}}$$

A continuación, se presenta en la Tabla 1 la descripción de las propiedades físicas del bagacillo de caña. A su vez, la Tabla 2 presenta la descripción de las propiedades físico químicas de los lodos de papel empleados como materias primas en la presente invención.

Parámetro	Unidad	Valor
Humedad	%	30-40
Densidad aparente	<i>Kg/m³</i>	388
Densidad real	<i>Kg/m³</i>	870

10

Tabla 1. Propiedades bagacillo.

Parámetro	Unidad	Valor
Fe	%	0.53
Ca	%	1.30
MgO	%	0.17
Na	%	0.09
K2O	%	0.10
S	%	0.05
Cr		0.50
Mn	%	0.01
P2O5	%	0.08
Ph	Unidades	7.51
Humedad	%	72
Densidad aparente	<i>Kg/m³</i>	593
Densidad Real	<i>Kg/m³</i>	950

Tabla 2 Propiedades lodos de papel.

15

En su modalidad preferida, el proceso de obtención del material sólido biocombustible objeto de la presente invención inicia con la recepción de éstas materias primas en los patios de almacenamiento con una capacidad de 4736 m³ para los lodos, 2352 m³ para el bagacillo y 2000 litros para las vinazas. El requerimiento de producción es equivalente a 10 ton/h; con una máxima capacidad proyectada de 20 ton/h. Una vez ingresa el material al patio, se esparce y se da un tiempo hasta cumplir con el requerimiento para el proceso. El siguiente diagrama muestra la pérdida de humedad que sufren los materiales debido al esparcimiento.

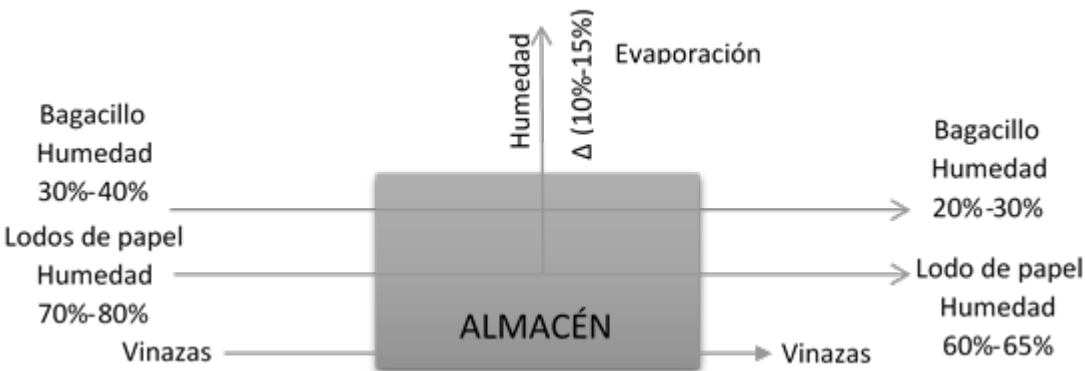


Diagrama de flujo 1. Pérdidas de humedad de las materias primas en el proceso de alimentación

Las vinazas como producto aglomerante se almacenan en una condición diferente por la fluidez del material, considerando que su estado es 75% líquido. Para distribuir y dosificar el fluido, se requiere una bomba y en el tanque se necesita un mezclador para tener una homogeneidad en la mezcla de la composición líquida con sólidos en suspensión.

El ingreso de las materias primas se presenta en tiempos diferentes. Tanto el bagacillo como los lodos de papel ingresan en las tolvas de alimentación al inicio del proceso, mientras que las vinazas ingresan al proceso antes de la aglomeración; donde se requieren como aglutinantes de proceso.

El proceso conserva como inventarios mínimos 20.000 toneladas de materias primas por mes para el sostenimiento del proceso en ciclos mensuales. La distribución de la materia prima en términos de cada uno de los flujos es la establecida en la Tabla 3. Para la pérdida de humedad establecida; se tiene que la salida de materia del almacén por hora es el siguiente.

Mezcla	Salida Bagacillo (Ton/h)	Perdida (Ton/h)	Salida Lodo (Ton/h)	Perdida (Ton/h)
1	5,52	0,61	9,12	1,61
2	5,85	0,65	6,91	1,22
3	6,69	0,74	5,53	0,98
4	8,36	0,93	0,00	0,00
5	0,00	0,00	13,81	2,44
6	8,36	0,93	11,05	1,95

Tabla 3. Tasa salida materia prima almacén.

Almacenadas las materias primas y cumplido el tiempo de reposo para la
5 reducción de humedad, se transporta el material a la entrada del proceso. Dicho
transporte se plantea ejecutar con un cargador de ruedas con una capacidad de
cucharón de 24 toneladas (4,2 m³). Con los cargadores se requiere mantener un
flujo de bagacillo de entrada de 3,10 ton/h en la tolva 1 y 2 y para los lodos de
24,068 ton/h en la tolva 3 y 4. La carga y descarga de las materias primas se
10 relaciona de manera directa con la capacidad de las tolvas de inicio de proceso en
la alimentación.

Las tolvas diseñadas tienen una capacidad de 17 m³- 4250 kg- 4,2 toneladas para
el flujo del bagacillo a la densidad dada. Para el caso de la alimentación de los
lodos las tolvas tienen 17m³ que corresponden a una capacidad de 3200 kg (3.2
15 toneladas).

Los flujos de materias primas (bagacillo y lodos de papel) están por debajo de las
toneladas máximas permisibles en el sistema de transporte (ST), la densidad de
dichas hace que el volumen ocupado sea superior al volumen máximo en (ST), por
lo cual se requiere que se realicen varios ciclo de transporte para cumplir con la
20 capacidad volumétrica establecida que permitan mantener un flujo continuo de la
materia en el proceso.

Tolvas de alimentación.

Las tolvas de alimentación tienen una capacidad nominal de 17 m³; dispuestas
para recibir el bagacillo y los lodos de papel. Para las mezclas, la capacidad
25 requerida es (5,85-6,69) ton/h para el bagacillo y (6,91-5,53) ton/h para los lodos
respectivamente.

Tornillos sinfín de paso variable.

Los tornillos sinfín de paso variable instalados en cada una de las cuatro tolvas tienen la función de triturar, reducir el tamaño de partícula y dosificar la materia prima al sistema de alimentación del molino 1 y 2 (para el bagacillo y la pulpa de papel). Cuando la materia pasa por los tornillos se produce una extracción de humedad representada en el Diagrama de Flujo 2. Debido a la pérdida de masa, se tiene una perdida en el flujo requerido proporcional a la pérdida de humedad.

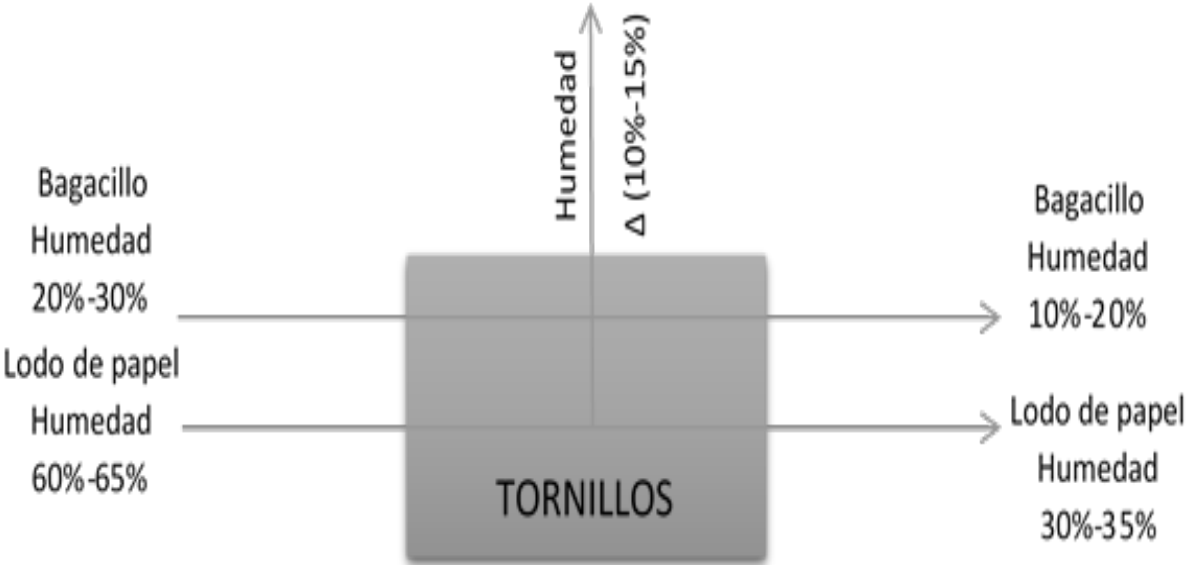


Diagrama de flujo 2. Pérdida de humedad tornillos de paso variable.

El diagrama de flujo 3 muestra el proceso de transporte en los tornillos con las entradas y salidas de humedad desarrolladas para el porcentaje establecido. Para poder cumplir la capacidad de carga; se recomienda implementar un sistema de 4 tolvas con una capacidad de 4.3 ton/h/tolva; de las cuales dos están destinadas para el transporte de bagacillo (tolva 1 y 2) y las otras dos para los lodos (tolva 3 y 4).

Cabe resaltar que los flujos máxicos de salida dependen de la eficiencia de la máquina. Para este caso, como los flujos de entrada son menores a la capacidad total, se puede asegurar la salida del flujo.

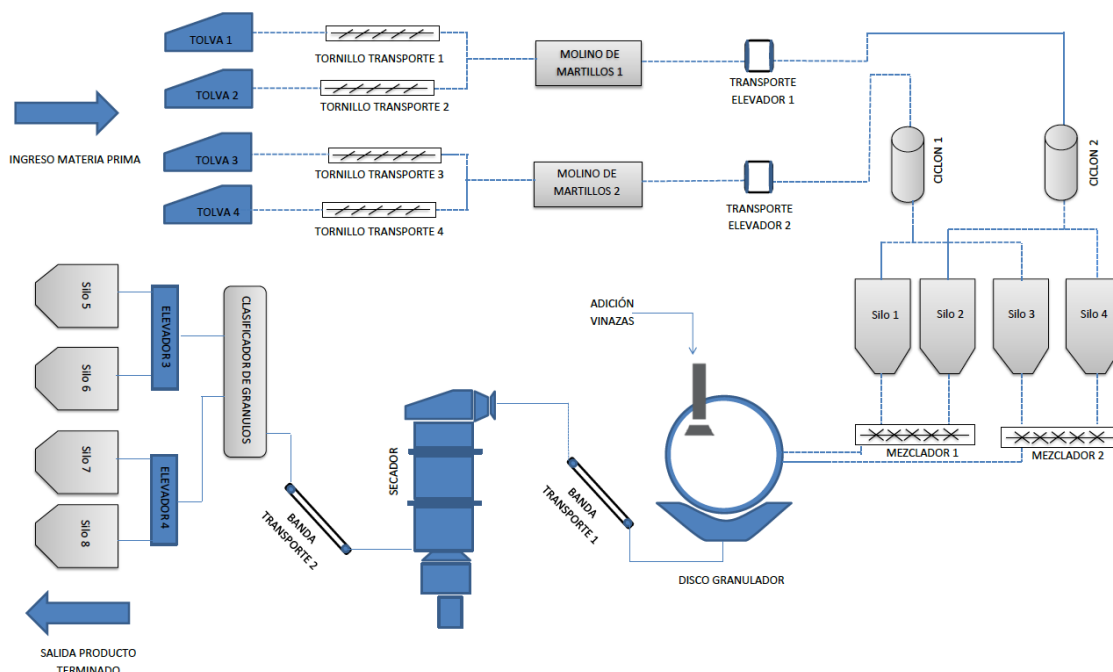


Diagrama de Flujo 3. Proceso de transporte tolvas-tornillo.

5 Molinos de martillos.

En esta etapa del proceso, el bagacillo y el lodo de papel proveniente de las tolvas de dosificación (1 ,2) y (3, 4) respectivamente, llegan con una humedad especificada en el Diagrama de Flujo 2. El bagacillo ingresa al molino 1 y el lodo de papel al molino 2. La función principal de esta etapa del proceso es reducir el tamaño de partícula y adicionalmente disminuir el porcentaje de la humedad de la materia prima antes de ser transportada a la siguiente etapa del proceso.

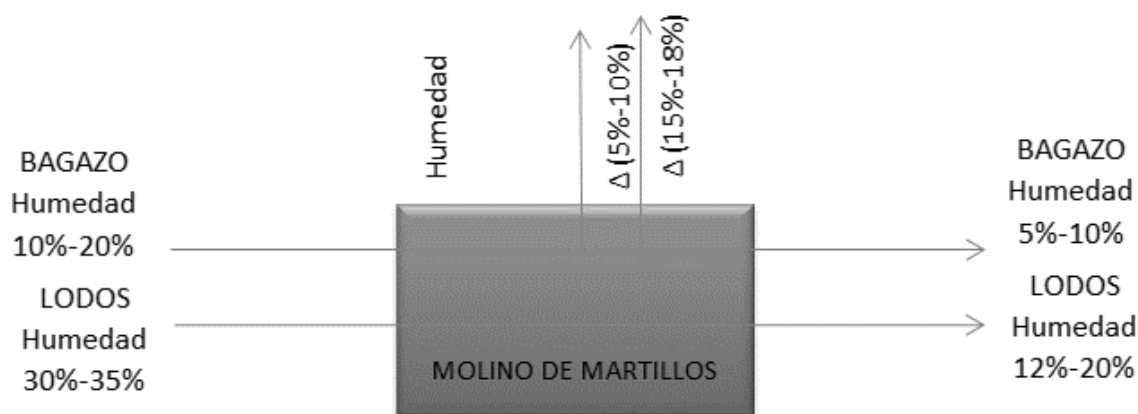


Diagrama de Flujo 4. Pérdida de humedad molinos de martillos.

El funcionamiento de este sistema consiste en una cámara que posee un eje rotatorio que tiene montado martillos y una rejilla o tamiz removible a través del cual debe pasar el material.

El material es entregado por la parte superior de la cámara mediante una tolva. A medida que la materia prima entregada por la banda de alimentación ingresa en el molino es golpeada y fragmentada por un conjunto de martillos que giran a alta velocidad. Los martillos lanzan el material contra el tamiz, donde sufre martillazos adicionales hasta que se reduce lo suficiente como para atravesar las aberturas y salir. Dicho tamiz es intercambiable y permite obtener diferentes tamaños de partícula.

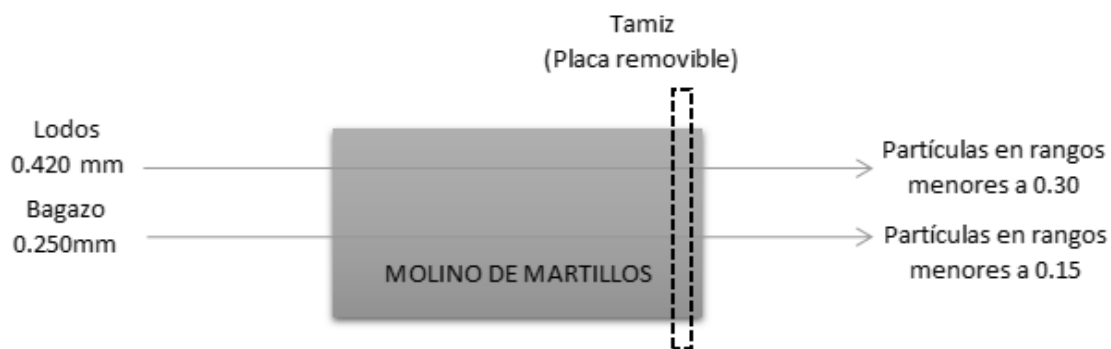


Diagrama de Flujo 5. Reducción tamaño partículas.

Transporte neumático (ciclón).

El principio de funcionamiento de los ciclones es separar las partículas diferentes a los materiales tratados y que afectan las propiedades del producto final debido a que no reaccionan en el proceso de combustión o se necesita mucha energía para que se de dicho fenómeno. La separación se da mediante el principio de centrifugado, por medio de aire inducido por un ventilador. Esencialmente este equipo es utilizado para separar partículas sólidas suspendidas en el aire, sin el uso de un filtro, utilizando un vórtice para la separación. Los efectos de rotación y la gravedad son usados para separar mezclas de sólidos y fluidos. El método también puede separar pequeñas gotas de un líquido de un flujo gaseoso.

Dentro del proceso de transporte no se dan alteraciones físicas notables dentro del material; esto se debe a que parámetros como la humedad son muy bajos; y la inducción de aire sobre las partículas no alcanza a retirar un porcentaje considerable de humedad o bien masa.

Silos de alimentación.

El material molido luego de pasar por los ciclones es enviado a los silos de almacenamiento y mezcla, dos silos para bagacillo y dos silos para lodos de papel, los silos se encuentran provistos con un mecanismo de agitación de material para evitar apelmazamiento por la condición de humedad que aun en esta etapa, está presente en algunas de las materias primas.

Para el cálculo y selección de estos equipos se tuvo en cuenta las tasas de material entregados por los ciclones 4.12 ton/h y 4.51 ton/h respectivamente para el bagacillo y para el lodo de papel.

Además, se consideró en el cálculo de la capacidad de los silos de almacenamiento que deben poder proveer materia prima para un tiempo estimado de 8 horas continuas al proceso de granulado, si se llegase a presentar alguna falla en algunos de los sistemas del procesos instalados anteriormente, esto con el fin de mantener una alta confiabilidad del proceso ante cualquier eventualidad.

El sistema de silos debe contar en la parte inferior con un sistema de mezclado, que se encarga de dosificar la cantidad necesaria de materias primas para el proceso de granulación de acuerdo a la especificación de producción.

Mezclador de pines.

La aglomeración es un proceso que permite que los materiales se acumulen en una masa, tal como una pastilla o gránulo. Se puede aumentar o disminuir la porosidad o densidad de un material.

Una variedad de elementos se consideran al determinar el tipo de equipo de aglomeración y el proceso que debe ser utilizado; Los factores que contribuyen incluyen: capacidades del equipo, propiedades aglutinantes, estándares de la industria, los resultados del producto deseados, y las características de las materias primas. Para este caso la función del mezclador de pines es realizar una mezcla aproximadamente homogénea entre el bagacillo y los lodos de papel. Esto con el fin de estabilizar la meza y facilitar el manejo.

La máquina se compone de una carcasa cilíndrica estacionaria que encierra un rotor axial que se extiende transversalmente, y contiene numerosas barras o pines ajustables. Por medio de un motor que opera a velocidad constante, se produce el giro el rotor. El movimiento y la alta velocidad rotacional generan un avance del material que elimina el aire y realiza el proceso de mezcla de las materias. Se ajusta bien a procesos automatizados, asegurando flujos muy homogéneos y con poca variación de la mezcla obtenida.

Granulación.

El proceso de granulación inicia cuando la mezcla de bagacillo-lodo de papel molido proveniente del mezclador de pines ingresa el disco granulador. La dosificadora de vinazas y líquidos aglomerantes, ubicada en la parte superior del disco granulador, dosifican en el granulador a la mezcla de bagacillo y lodo de papel el aglomerante de acuerdo a la mezcla establecida para cada tipología grano previamente parametrizada. El disco granulador varía las revoluciones y el ángulo de inclinación de acuerdo al tamaño de mezcla a obtener.

En este proceso la humedad de las materias a la salida aumenta; ya que al realizarse el proceso de aglomeración, se incluyen las vinazas producto viscoso, que aumenta la humedad los gránulos producto del proceso.

5 Disco granulador.

La materia prima se añade continuamente al disco y es humedecida por un líquido aglutinante en spray. La rotación del disco hace que las mezclas humedecidas formen pequeños partículas tipo semillas (nucleación). Las partículas tipo semilla “bolas de nieve” por coalescencia incrementan su tamaño hasta la descarga del disco; convirtiéndose en partículas grandes de la condición geométrica deseada. El tamaño final de partícula obtenido son esferas de 8 a 12 mm con la siguientes características de acuerdo a lo expuesto en la Tabla 4, la cual muestra la ficha técnica del producto final de la mezcla bagacillo y lodos de papel.

FICHA TECNICA DEL PRODUCTO FINAL	
Densidad aparente	600 kg/m3
Humedad	< 8%
Durabilidad	< 5%
Finos	< 5%
Cenizas	< 2%
Poder calorífico	8.420 btu/lb
Contenido de azufre	< 0.05%
Contenido de nitrógeno	< 0.25%
Contenido de cloro	< 0.015%
Arsénico	< 0.07%
Plomo	< 0.8%
Cadmio	< 0.02%
Cromo	< 0.7%
Cobre	< 0.0003% mg/kg
Mercurio	< 0.003%
Zinc	< 0.0028
CO2	NEUTRO

Tabla 4. Ficha técnica de la mezcla bagacillo y lodos de papel.

Alimentación vinazas.

Las vinazas son almacenadas debido a su condición líquida con sólidos en suspensión directamente en un tanque el cual debe tener una capacidad instalada de 150000 litros y un sistema de recirculación entre ductos unido a una bomba y el mismo tanque para logra disolver sus partículas más densas y llevarlo a una temperatura ideal para el punto de inclusión en el proceso.

Las vinazas son incluidas directamente en el proceso de granulación mediante un proceso de aspersión, por lo que se debe contar con sistema de transporte y dosificación de la vinaza, el cual debe poder suministrar un flujo variable entre 2600 y 4400 litros por hora dependiendo de los parámetros de mezcla de materias primas utilizado.

Bandas transportadoras.

Los gránulos resultantes del proceso de granulación son transportados por medio de bandas hacia el secador rotativo. Los gránulos de biomasa son transportados con un alto porcentaje de humedad (30%-40%). El ancho de las bandas transportadoras los fabricantes de bandas los han establecido anchos típicos o comerciales que van desde las 12" hasta las 72". La velocidad de transporte depende del ancho de la banda y la tasa de alimentación que en esta etapa del proceso debe ser de 10 Ton/h.

Secado.

Los gránulos resultantes del proceso de granulación son transportados por medio de bandas hacia el secador rotativo, que permite secar los gránulos de biomasa que ingresan con un alto porcentaje de humedad (30%-40%) y obtener un producto sólido con un rango de humedad inferior al 8%, dependiendo de las condiciones de operación.

El secador rotativo es un secador de tipo directo, ya que el aire de secado entra en contacto con el producto. Este aire normalmente es calentado en un intercambiador de calor de tipo directo, en el que el aire de secado y los gases de combustión se mezclan. El aire caliente puede alcanzar una temperatura de más de 400°C e inicialmente se pone en contacto con el producto granulado más húmedo para evitar el quemado del mismo, ya que el porcentaje de humedad que contiene el producto absorbe rápidamente la energía del aire, enfriándolo de forma casi instantánea. El secador rotativo puede ser en 1 o más pasos, dependiendo de la circulación del aire caliente dentro del mismo.

El cuerpo principal del secador es un cilindro hueco rotativo horizontal, dentro del cual circula el producto granulado, entrando por un extremo y saliendo por el opuesto finalmente en condiciones deseadas. El cilindro tiene un largo 8 m y un diámetro 1,2 m, con una capacidad variable entre 8-12 ton/h según los requerimientos operativos y caudales procesados.

En su interior, el secador rotativo presenta una serie de paletas removedoras de producto que, además de ayudar a aumentar el coeficiente de transferencia térmica del equipo, facilitan el flujo del producto en el interior del equipo, al girar el cuerpo del secador las paletas levantan al producto y lo hacen caer en forma de lluvia, favoreciendo el contacto air-partícula.

Es importante el secado de la biomasa (bagazo de caña, cascara de madera, chips/Astillas, aserrín, virutas y otros tipos) porque al reducir la humedad de la biomasa entre un 10 -15%, su valor poder calórico es aumentado.

- 5 El proceso de secado crea condiciones ideales para la quema directa, debido a que garantiza la reducción de emisiones durante la combustión de biomasa, además de contribuye a optimizar la cantidad de biomasa que gasta durante la combustión.

Clasificador de gránulos.

- 10 El material granulado a la salida del secador es enviado al sistema de clasificación, a través de la banda transportadora.

En este sistema se seleccionará las partículas que tengan un tamaño que oscilen entre 8 mm y 12 mm para ser enviadas a la siguiente etapa del proceso que
15 corresponde a los silos de almacenamiento de producto final, mientras que los gránulos que no cumplan con esto requerimiento de tamaño serán enviados a un elevador de cangilones (finos) que permite que el material retorne al silo de alimentación junto con el material que se alimenta sin proceso, para ser homogenizado nuevamente.

- 20 Es importante aclarar que este resultado se da por condiciones de temperatura en el proceso de secado, por el mismo paso a través de las bandas de transporte y la fricción presentada entre partículas al paso por los equipos en el proceso. Este efecto no cambia las propiedades físicas ni químicas el producto final. La tasa de entrada de material proveniente del secador se estima en 10 ton/h mientras que el
25 de salida del producto optimo del clasificador se estima oscile entre 9-9.5 ton /h.

El proceso de clasificación se lleva a cabo en una criba vibratoria de amplitud variable en función del clasificado a realizar. El funcionamiento de este equipo consiste en una serie de mallas colocadas de manera escalonada por pisos, las cuales progresivamente reducen el tamaño de los agujeros desde la malla
30 superior a la inferior mientras que las pendientes de cada malla aumentan lo que hace que el material fluya rápido y verticalmente a través de las mallas.

- Los ejemplos que se describen a continuación son presentados con el objetivo de describir los aspectos preferidos de la invención pero no constituyen una limitación
35 al alcance de la misma.

EJEMPLO 1.

En la modalidad preferida de la invención, las humedades relativas a la entrada de proceso de aglomeración que corresponde a la salida de los silos son para el bagacillo (10%-15%) y (12%-20%) para los lodos de papel. En este sentido, se estima una pérdida de humedad global en el proceso de preparación equivalente a (30%-25%) para el Bagacillo y de (50%-60%) para los lodos de papel, además se debe tener en cuenta la extracción de humedad en el secador que corresponde al 30%; con ello se debe establecer que para mantener un flujo de 10 ton/h netos, debe ingresar al granulador 13 ton de materia (bagacillos, lodo de papel y vinaza).

Las pérdidas másicas de humedad en el proceso de preparación se calculan así:

$$(50\% - 60\%) = \frac{m(liquido)}{m_{total}(lodos\ papel)} \text{ (lodos de papel)}$$
$$(30\% - 25\%) = \frac{m(liquido)}{m_{total}(bagazo)} \text{ (bagacillo)}$$

Las pérdidas de humedad varían dependiendo de la mezcla a realizar de los componentes, como se muestra en la Tabla 5.

Mezcla 1	Bagacillo	33%
	Lodos de papel	33%
	Vinaza	33%
Mezcla 2	Bagacillo	35%
	Lodos de papel	25%
	Vinaza	40%
Mezcla 3	Bagacillo	40%
	Lodos de papel	20%
	Vinaza	40%
Mezcla 4	Bagacillo	50%
	Lodos de papel	0%
	Vinaza	50%
Mezcla 5	Bagacillo	0%
	Lodos de papel	50%
	Vinaza	50%
Mezcla 6	Bagacillo	50%
	Lodos de papel	40%
	Vinaza	10%

Tabla 5. Porcentajes de mezcla.

Partiendo de lo anterior se tiene que el flujo másico requerido para cada proceso, con una base másica de 13000 Kg (13 toneladas) por hora, es el mostrado en la Tabla 7:

Mezcla	Bagacillo (%)	Peso(Ton)	Lodo (%)	Peso (Ton)	Vinaza (%)	Peso (Ton)
1	33%	4,29	33%	4,29	33%	4,29
2	35%	4,55	25%	3,25	40%	5,20
3	40%	5,2	20%	2,6	40%	5,20
4	50%	6,5	0%	0	50%	6,50
5	0%	0	50%	6,5	50%	6,50
6	50%	6,5	40%	5,2	10%	1,3

Tabla 7. Flujos másicos teóricos requeridos.

Los flujos másicos que deben ingresar en las tolvas debido a las pérdidas de humedad en el pre-proceso deben corresponder a los siguientes valores mostrados en la Tabla 8:

Mezcla	Bagacillo			Lodos de papel		
	% Mezcla	Ton/h	Diferencia (%)	% Mezcla	Ton/h	Diferencia (%)
1	33	6,13	34.12	33	10,725	62.35
2	35	6,50	37.88	25	8,125	50.31
3	40	7,43	45.65	20	6,5	37.88
4	50	9,29	56.52	0	0	-
5	0	0,00	-	50	16,25	75.15
6	50	9,29	56.52	40	13	68.94

Tabla 8. Flujos másicos reales requeridos de materia prima.

EJEMPLO 2.

COMPOSICION DE LA UNIDAD DE MASA.

La tabla 9 contiene la composición por cada tonelada de material fabricado en las diferentes mezclas del proceso, la cuantificación del aportante de los materiales porcentualmente a la unidad obtenida, (LODOS DE PAPEL, VINAZAS Y BAGACILLOS).

	MATERIAL	%	KG
M-1	BAGACILLOS	33%	333
	LODOS DE PAPEL	33%	333
	LODOS DE VINAZA	33%	333
M-2	BAGACILLOS	35%	350
	LODOS DE PAPEL	25%	250
	LODOS DE VINAZA	40%	400
M-3	BAGACILLOS	40%	400
	LODOS DE PAPEL	20%	200
	LODOS DE VINAZA	40%	400
M-4	BAGACILLOS	50%	500
	LODOS DE PAPEL	0%	0
	LODOS DE VINAZA	50%	500
M-5	BAGACILLOS	0%	0
	LODOS DE PAPEL	50%	500
	LODOS DE VINAZA	50%	500
M-6	BAGACILLOS	50%	500
	LODOS DE PAPEL	40%	400
	LODOS DE VINAZA	10%	100

Tabla 9. Composición por cada tonelada de material fabricado en las diferentes mezclas.

5

Los usos industriales del material sólido biocombustible obtenido corresponde al de los diferentes tipos de biomasa , esto es, la obtención de energóia térmica y eléctrica mediante la combustión de biomasa sólida.

La obtención de energía eléctrica a través de la quema del matrial sólido biocombustible objeto de la presente invención se realiza, generalmente, a gran escala (plantas mayores de 2MW).

La aplicación eléctrica de la biomasa sólida contribuye a la estabilidad de la red de distribución, dada su capacidad para proporcionar al sistema eléctrico garantía de suministro a cualquier hora del día, independientemente de las condiciones meteorológicas.

El funcionamiento de una planta de biomasa para la generación de energía eléctrica consiste, en este caso, en la recepción del material sólido biocombustible, generalmente en forma de alpacas (paja ó astillas), posteriormente se colocan automáticamente en una cinta transportadora, que las conduce hasta la caldera. Allí, previamente desmenuzado, caen a una parrilla vibratoria que favorece la combustión y la evacuación de inquemados. Dicha combustión calienta el agua que circula por las tuberías de las paredes de la caldera y por haces de tubos en el interior del mismno convirtiéndola en vapor sobrecalentado.

El vapor sobrecalentado mueve una turbina conectada a un generador que produce electricidad a una tensión determinada, transformando el material, posteriormente, a otra tensión mayor para su incorporación a la red general.

5 Por último, los inquemados depositados en el fondo de la caldera, se trasladan a un vertedero autorizado, y las cenizas volantes, retenidas por un filtro, se aprovechan para fertilizantes agrícolas.

A su vez, la obtención de energía térmica a través de la quema de biomasa sólida se realiza con diferentes propósitos. Las aplicaciones térmicas con producción de calor y agua caliente sanitaria son las más comunes dentro del
10 sector de la biomasa, aunque también es posible la producción de frío, esta última opción es más excepcional.

Las aplicaciones térmicas más comunes de la biomasa se presenta en Instalaciones industriales que producen biomasa y donde se requiere energía térmica en sus procesos. En estos casos es donde se consume actualmente la
15 mayor parte de la biomasa en nuestro país.

Otro tipo de instalaciones industriales con necesidades de demandas de calor prolongadas para sus procesos.

Instalaciones del sector doméstico y de servicios con elevada centralización, puesto que el coste de la instalación por unidad de energía producida disminuye
20 significativamente con el tamaño de la misma. Entre otros casos en que las instalaciones de biomasa son rentables para el promotor y para el usuario, se pueden destacar:

- Edificios públicos de cierta dimensión, como colegios, hospitales, centros administrativos, etc. con una ubicación que permita un fácil suministro del
25 combustible.
- Edificios de viviendas con servicios de calefacción y agua caliente centralizados.
- Sistemas de redes urbanas, centralizadas o de distrito (District Heating).

La producción térmica puede enmarcarse en una escala de usos que sería la
30 siguiente:

· Caldera de uso industrial en la industria papelera, industria alimenticia, industria del sector azucarero.

· Calderas o estufas individuales utilizadas tradicionalmente en los hogares.

- Calderas para bloques o edificios de viviendas, equiparables en su funcionamiento a las calderas habituales de gasóleo C o gas natural, que proveen a las viviendas de calefacción y agua caliente.

- Redes de calefacción centralizada (district heating).

- 5 Las redes de calor y agua caliente llegan no solo a viviendas y urbanizaciones, sino también a edificios públicos, centros deportivos, complejos comerciales e incluso industrias.

Las industrias agroforestales normalmente aprovechan sus residuos para la producción de calor y, en ocasiones, se acompaña de producción eléctrica (cogeneración con biomasa).

10

En la actualidad, existen procesos para obtener simultáneamente energía térmica y eléctrica (a partir de cualquier combustible, incluida la biomasa), con ello se optimiza el proceso obteniendo mayores rendimientos. Estos procesos se conocen con los nombres de:

- 15 Cogeneración: La cogeneración es el procedimiento mediante el cual se obtiene simultáneamente energía eléctrica y energía térmica útil (vapor, agua caliente sanitaria, hielo, agua fría, aire frío...). Una planta de cogeneración genera a la vez calor y electricidad (por cada unidad de electricidad genera aproximadamente dos unidades de calor).

- 20 La cogeneración con biomasa permite acercar la generación eléctrica y térmica a los centros de producción, reduciendo pérdidas de transporte y evitando la construcción de nuevas plantas de energía convencional que suministren esa demanda eléctrica y térmica.

El óptimo técnico de aprovechamiento de biomasa es en este tipo de procesos, donde se obtienen producciones eléctricas entre el 15 y el 20 % y aprovechamientos térmicos del calor generado que alcanzan una eficiencia total del 80%.

25

Trigeneración: Proceso de obtención simultánea de energía eléctrica y energía térmica útil (calor y frío)

- 30 La principal ventaja del material sólido biocombustible obtenido mediante el proceso anteriormente descrito frente a similares, la constituye las bajas emisiones de CO₂, al igual que la obtención de eficiencia energética (hasta de 80%), razón por la cual, sus usos y aplicaciones ya no sólo son de orden industrial, sino doméstico, puesto que sus costos de producción y venta son más bajos que los
- 35 costos de los combustibles fósiles.

Aunque la presente invención ha quedado descrita con las realizaciones preferentes mostradas, queda entendido que las modificaciones y variaciones que conserven el espíritu y el alcance de esta invención se entienden dentro del alcance de las reivindicaciones adjuntas.

5

10

15

20

25

5

10