

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MICRO EXTRUSORA EXPERIMENTAL PARA LA OBTENCIÓN DE MULTI COMBUSTIBLES A PARTIR DE BIOMASA, CON CAPACIDAD DE COMPACTACIÓN DE 0.2 KG.

Pablo Salazar¹, Andrés Villacrés², Ing. Carlos Naranjo³, Ing. Edwin Ocaña⁴
Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica, Campus Politécnico Av. Gral. Rumiñahui s/n Sangolquí - Ecuador
Teléfonos: +593(02) 3989400, Fax: +593(2) 2334 952, **P.O.BOX 171-5-231B**
^{1,2,3,4} **Email:** pablo_rms@hotmail.com, amvc_1622@hotmail.com, cmnaranjo@espe.edu.ec, emocania@espe.edu.ec

RESUMEN

El trabajo que se presenta a continuación resume el proceso de diseño y construcción de una micro extrusora experimental para la obtención de multi combustibles a partir de biomasa, con capacidad de compactación de 0.2 kg. Se realizó una selección de un mecanismo adecuado para compactar biomasa y obtener múltiples combustibles, además se seleccionó la biomasa adecuada para el proceso de conversión del estado sólido en tres tipos de combustibles.

La máquina que obtiene los diferentes biocombustibles realiza pirolisis y aprovecha el principio de intensificador de presión, la energía mecánica para la extrusión de biomasa será producida por un pistón, y para mejorar velocidad de salida del líquido se suministrara energía térmica por medio de resistencias eléctricas, generalmente en un proceso de compresión de biomasa es necesaria la alta presión (desde 30 bar) y alta temperatura (desde los 280°C). Cuando se alcanza parámetros óptimos de operación se obtiene combustible sólido, gas dentro de un recipiente y líquido recolectado del proceso. El tiempo adecuado para alcanzar una presión de 21 bar es alrededor de 1 hora y 10 minutos, tiempos menores de extrusión a 35 minutos por ejemplo producen falta de condiciones para que se produzca pirolisis de biomasa, tiempos mayores de extrusión con elevación de temperatura a 70 minutos producen carbonización de la materia prima. De los resultados obtenidos con la máquina micro extrusora experimental, se puede concluir que el material preparado en esta investigación, puede utilizarse para la obtención de multi combustibles a través de un proceso mecánico de compactación para producir pirolisis.

ABSTRACT

This papers summarizes the process of design and construction of an experimental micro extruder to obtain multi fuels from biomass , with a capacity of 0.2 kg compaction. A selection of an appropriate biomass to compact and obtain multiple fuels

performed mechanism also suitable biomass for the conversion process of the solid state in three types of fuel is selected.

The machine gets different biofuels takes pyrolysis and uses the principle of pressure intensifier , the mechanics for the extrusion of biomass energy will be produced by a piston, and improve output speed of the fluid thermal energy will supply via resistors , usually in a compression process of biomass high pressure (from 30 bar) and high temperature is required (from the 280°C). When optimum operating parameters is achieved solid fuel gas is obtained within a container and process liquid collected . The appropriate time to achieve a pressure of 21 bar is about 1 hour and 10 minutes, shorter extrusion for example 35 minutes produced lack of conditions for pyrolysis of biomass , longer occur extrusion temperature rising to 70 minutes cause carbonization of the raw material . From the results obtained with the experimental micro extruder machine , it can be concluded that the material prepared in this study , can be used for multi fuel production through mechanical compaction process to produce pyrolysis.

I. INTRODUCCION

La pirólisis es un proceso en el cual materia orgánica es degradada térmicamente en una atmosfera libre de sustancias oxidantes. De una pirólisis lenta de materia orgánica se forman dos tipos de productos: solido (carbón) y gases, parte de estos se condensa formando alquitrán y líquidos piroleñosos.

La pirólisis con presión consiste en la carbonización efectuada en un reactor que se encuentra sometido a presión superior a la atmosférica. La pirólisis con presión puede permitir rendimientos entre el 62% en la producción de carbón.

La micro extrusora experimental de biomasa aprovecha el principio de intensificador de presión con el cual se puede incrementar a presiones superiores o a cien veces la presión inicial de entrada, la energía mecánica para la extrusión de

biomasa será producida por un embolo, así como también para mejorar velocidad de salida del líquido se suministrara energía térmica por medio de resistencias eléctricas en forma singular. Esta máquina en forma experimental permitirá obtener varios combustibles tales como: briquetas, aceite y trazas de gas de síntesis, que puede aprovechar materias primas de diversas características especialmente oleaginosas.

En el proceso de obtención de los multi combustibles por ejemplo la forma a la que el material debe ser extruido implica que debe existir termo-fluencia plástica de la biomasa. El contenido de lignina (un polímero presente en las paredes celulares de organismos vegetales) que se produce naturalmente en la biomasa es liberado en la máquina extrusora por su alta presión y alta temperatura, la lignina por ejemplo actúa como pegamento natural en el proceso de fabricación de briquetas de biomasa, por tanto vinculantes, comprimiendo la biomasa y formando briquetas de alta densidad entre unos 1100 a 1300 kg/m³.

En la actualidad, la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, no cuenta con un sistema para producir biocombustibles en tres estados (sólido, líquido y gas), el estudio de este trabajo está orientado a la producción de multi combustibles a partir de biomasa, al diseño y construcción de una micro extrusora experimental, así mismo la demostración y las pruebas de los tres combustibles, poderes caloríficos del combustible en estado sólido, líquido y gaseoso, la caracterización del gas resultado de la extrusión debido a la alta temperatura y elevada presión, que se obtienen una vez terminado el proceso. Por consiguiente, el presente estudio está orientado a la caracterización de los multi combustibles y las pruebas de un prototipo elevador de presión y temperatura el cual causa pirolisis de biomasa. Con los resultados que se obtengan del prototipo, se procederá en un futuro cercano a construir un sistema de mayores dimensiones y de mayor producción para beneficios tanto universitarios como de las personas que lean este trabajo.

ALCANCE

Disponer un modelo experimental para la obtención de multi combustibles utilizando biomasa, mediante su compactación a elevadas presiones y temperaturas, donde se pueden medir determinadas características que viabilicen este

procedimiento para aplicaciones de mayor escala con proyección a la industria y la comunidad.

La cuantificación de los valores de rangos de presiones y temperatura estarán aproximadamente entre:

| | |
|-----------------------|------------------|
| Rango de temperatura: | T = 200 – 280 °C |
| Rango de Presión: | P = 20 – 30 bar |

Para determinar las características de los biocombustibles se realizaran las pruebas necesarias para obtener los siguientes Parámetros: Poder calórico Inferior (PCI), Poder calórico superior (PCS), humedad, cantidad de ceniza.

II. BIOMASA¹

La biomasa es toda sustancia orgánica renovable de origen tanto animal como vegetal. La energía de la biomasa proviene de la energía que almacenan los seres vivos. En primer lugar, los vegetales al realizar la fotosíntesis, utilizan la energía del sol para formar sustancias orgánicas. Después los animales incorporan y transforman esa energía al alimentarse de las plantas. Los productos de dicha transformación, que se consideran residuos, pueden ser utilizados como recurso energético.

Desde principios de la historia de la humanidad, la biomasa ha sido una fuente energética esencial para el hombre. Con la llegada de los combustibles fósiles, este recurso energético perdió importancia en el mundo industrial. En la actualidad los principales usos que tiene son domésticos.

En Europa, Francia es el país que mayor cantidad de biomasa consume (más de 9 millones de toneladas equivalentes de petróleo (TEP))² seguido de Suecia. España ocupa el cuarto lugar dentro de esta lista con 3,6 millones de TEP.

La naturaleza convierte incesantemente la energía solar en biomasa con una eficiencia media del 0,1%. Cada año el proceso de la fotosíntesis fija unas 2x10¹¹ tm de materia orgánica (equivalentes a unas 8x10¹⁰ tm de carbono) con un contenido energético de 3x10²¹ J. Otros datos de productividad primaria dan cifras de 1-1,25x10¹¹ tm de materia orgánica/año para la fotosíntesis terrestre, y de 0,44-0,45x10¹¹ tm de materia orgánica/año en los océanos. La energía de la biomasa almacenada en la superficie de la Tierra

equivale a las reservas probadas de combustibles fósiles, y la energía total almacenada con carbón fósil (85×10^{11} tce) representa sólo unos cien años de fotosíntesis neta (84×10^{10} tce).

BIOCOMBUSTIBLES EN EL ECUADOR

El uso de biomasa vegetal para la extracción de azúcares fermentables capaces de producir etanol en Ecuador, es un proyecto que ejecuta la Universidad Técnica Particular de Loja (UTPL), desde el 2006. El proyecto consiste en encontrar mecanismos biotecnológicos adecuados para descomponer la biomasa vegetal en carbohidratos fermentables (conversión de celulosa en glucosa), usando el banano como base de estudio.

La Dirección Nacional de Biocombustibles, área perteneciente al Ministerio de Electricidad y Energías Renovables del Ecuador, desde su creación ha trabajado en cuatro frentes que son: bio-álcohol, biodiesel (aceite vegetal), biomasa y biogás.

Los estudios desarrollados hasta la presente fecha (Mayo 2010) son: Análisis elemental y de calidad de muestras de biodiesel de palma, oleína de palma y aceite de piñón; Aprovechamiento de la cascarilla de arroz para generación eléctrica, aprovechamiento de residuos agrícolas, agroindustriales y pecuarios para la producción de energía mediante biodigestores; aprovechamiento de basura y plásticos residuales para generación de energía eléctrica y/o térmica, diesel y otros subproductos. Se espera sus resultados para poder escalar a otras localidades a nivel nacional.

III. PIRÓLISIS³

Es un proceso en el cual materia orgánica es degradada térmicamente en una atmósfera libre de sustancias oxidantes. De una pirólisis lenta de materia orgánica se forman dos tipos de productos: sólido (carbón) y gases.

CALIDADES Y RENDIMIENTOS DE LA CARBONIZACIÓN

El carbón vegetal puede alcanzar un poder calórico de 7887 Kcal/Kg, superior a la leña húmeda que tiene un poder calórico de 3300 Kcal/Kg, material volátil inferior al 30% y contenido de cenizas de 1 a 3%.

En procesos convencionales de carbonización los rendimientos son menores en el orden del 38% durante una producción de 8 días. Para el caso de la celulosa se tiene un rendimiento del 44,4%. Se estima que se puede obtener un rendimiento gravimétrico del 50 a 80% en óptimas condiciones.

PIRÓLISIS CON PRESIÓN

La pirólisis con presión consiste en la carbonización efectuada en un reactor que se encuentra sometido a presión superior a la atmosférica. La pirólisis con presión puede permitir rendimientos entre el 62% en la producción de carbón.

Funcionamiento:

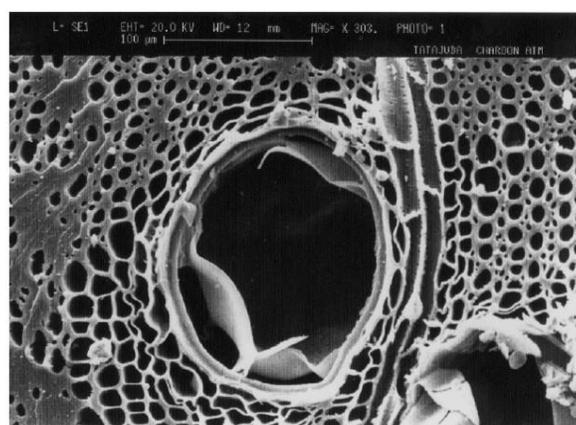


FIGURA 1: Pirólisis (0 Bar)

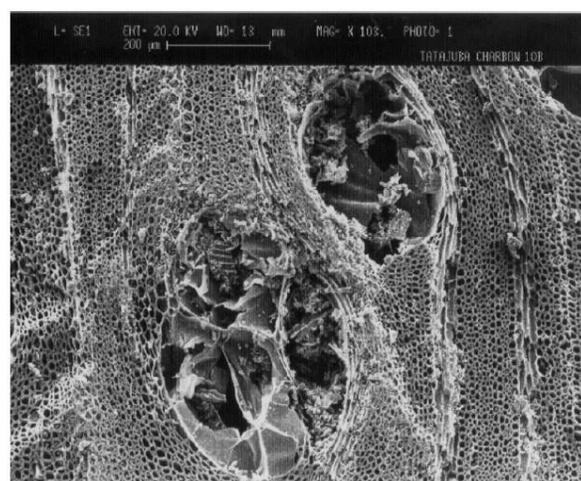


FIGURA 2: Pirólisis (10 Bar)

La pirólisis se define como la degradación térmica de una sustancia en ausencia de oxígeno o con una cantidad limitada del mismo.

IV. SELECCIÓN DEL TIPO DE MÁQUINA

La máquina para realizar la pirolisis por compactación aprovecha el principio de intensificador de presión con el cual se puede incrementar a presiones superiores o a cien veces la presión inicial de entrada, la energía mecánica para la extrusión de biomasa será producida por un embolo, así como también para mejorar velocidad de salida del líquido se suministrara energía térmica por medio de resistencias eléctricas en forma singular. Esta máquina en forma experimental permitirá obtener varios combustibles tales como: briquetas, aceite y trazas de gas de síntesis, que puede aprovechar materias primas de diversas características especialmente oleaginosas.

Generalmente en un proceso de compresión de biomasa es necesaria la alta presión y alta temperatura. En el proceso de obtención de los multicomcombustibles por ejemplo la forma a la que el material debe ser extruido implica que debe existir termo-fluencia plástica de la biomasa. El contenido de lignina (un polímero presente en las paredes celulares de organismos vegetales) que se produce naturalmente en la biomasa es liberado en la máquina extrusora por su alta presión y alta temperatura, la lignina por ejemplo actúa como pegamento natural en el proceso de fabricación de riquetas de biomasa, por tanto vinculantes,

comprimiendo la biomasa y formando briquetas de alta densidad entre unos 1100 a 1300 kg/m³.

Después de analizar los aspectos técnicos, económicos y complementarios la mejor opción es una extrusora de pistón horizontal, con un accionamiento de forma hidráulica, se llega a la conclusión que la máquina que será construida deberá tener un porto⁴ unido a un pistón dentro de un cilindro puesto que el presente proyecto es una aplicación experimental debido a que el proceso puede ser interrumpido y que no se necesitan grandes velocidades, además se considera que la extrusión es en caliente.

COMPONENTES PRINCIPALES

1. Cilindro principal
2. Embolo o pistón
3. Mecanismo de extrusión compuesto por: Porto hidráulico, sistema de avance y retroceso del pistón
4. Tolva o cilindro de Carga
5. Dado Extrusor o separador
6. Tapa del Cilindro principal
7. Resistencias eléctricas de calentamiento del cilindro principal
8. Tanque de recolección de gases
9. Bastidor y mesa soporte

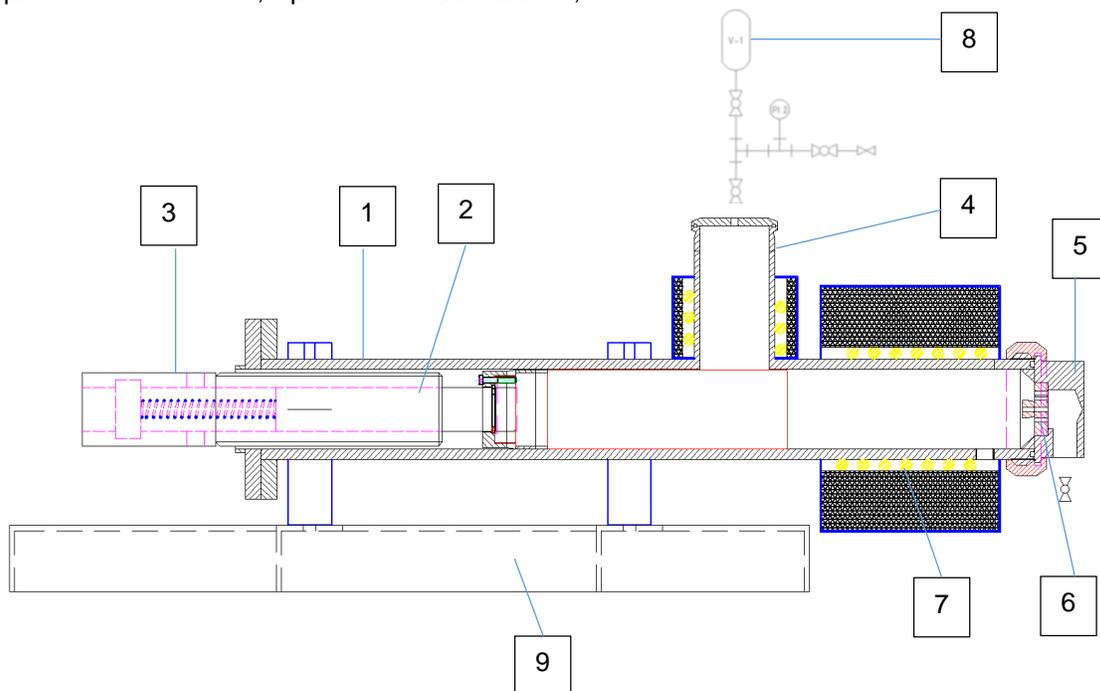


FIGURA 3: Esquema general de la Micro Extrusora

V. SELECCIÓN DE LA MATERIA PRIMA

La biomasa presenta la particularidad de ser combustible de baja densidad energética. Esto se evidencia por una parte, en su densidad aparente, varias veces inferior a la del carbón, y en su poder calorífico, unas dos veces inferior a la de un carbón de buena calidad y más de tres veces a las del gasóleo. Todo ello unido a la producción dispersa y por lo general estacional de la biomasa, determina costos relativamente altos de transporte y almacenaje de la energía.

A continuación se presenta una tabla con características de diversas biomásas:

TABLA 1: Características de la Biomasa

| BIOMASA | %m _m | %m _p | %m _f | %m _c | %m _a |
|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Manzana | 84.4 | 0.2 | 0.6 | 14.5 | 0.3 |
| Maní | 3 | 30 | 50 | 15 | 2 |
| Kikuyo | 95.5 | 0.9 | 0.1 | 2.9 | 0.6 |
| Palma africana | 9.5 | 8 | 44 | 36.6 | 1.9 |

m_m: % de agua; m_p: % de proteína; m_f: % de grasa; m_c: % de carbohidratos; m_a: % de cenizas

Fuente: Singh, Transmisión del calor en el procesamiento de alimentos, Introducción a la ingeniería de alimentos, 1997

Después de analizar los aspectos técnicos, económicos y complementarios de las variedades de biomasa (materia prima) que se puede utilizar se llegó a la conclusión que la primera opción a ser utilizada es los residuos vegetales de uso industria (palma africana).

A continuación se describe la materia prima que será utilizada en la micro extrusora para la obtención de biocombustibles:

Palma Africana

La palma aceitera, conocida también como palma africana, es una palmera tropical que crece en climas cálidos en la franja ecuatorial de la Tierra. Puede crecer entre los 8.3 y 20 metros de altura

Tipos de suelo: El cultivo de la palma africana requiere suelos francos o franco-arcillosos, sueltos y profundos. Deben ser suelos de topografía plana o ligeramente ondulada con

buena permeabilidad y drenaje. El nivel de fertilidad debe ser de medio a alto

Requerimientos de agua: La palma africana necesita grandes cantidades de agua, los rangos óptimos de precipitación anual se encuentran entre los 2000 - 2500 mm, bien distribuidos durante todo el año y ningún mes menor a los 100 mm

Clima: El hábitat de la palma africana es desde sabanas hasta bosques lluviosos. Las temperaturas máximas promedio en las que crece son de 29 a 33 grados centígrados y las mínimas de 22 a 24 grados centígrados.

Arquitectura del cultivo: La población óptima se estima en 143 plantas por hectárea, con distanciamientos de 9 por 7.8 m. En algunas regiones de África se realizan plantaciones de 138 plantas/ha, pero con parcelación triangular.

Cosecha: La propagación se realiza por semilla. El ciclo de producción empieza al tercer año, alcanza el máximo de producción entre los 7 y los 10 años. La recolección es manual y se realiza, generalmente, una vez por semana. Los racimos se deben recolectar cuando poseen el grado de madurez correcto

TABLA 2: Poder calórico de productos de palma africana

| PRODUCTO | PODER CALÓRICO (MJ/Kg) |
|-------------------------|------------------------|
| Aceite | 37 |
| Racimos vacíos de fruta | 6 |
| Fibras | 10 |
| Cáscaras de semillas | 18.8 |

Fuente: Cultivos para la producción sostenible de biocombustibles. Obtenido de: www.snvworld.org

FORMA DE OBTENCIÓN

- Cultivos energéticos
- Cultivos alimentarios
- Bosques primarios
- Reforestación
- Residuos vegetales agroindustriales
- Residuos vegetales domésticos

VI. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN

Una vez concebida la idea del diseño de un proyecto y luego de realizar exhaustivos cálculos el diseñador debe enfocar también los problemas que esto le llevará al momento de construir el mismo, es muy importante pensar en el material, si es o no el más adecuado, el método o proceso de construcción donde puede existir potenciales limitaciones y englobando a los anteriores la economía, dichos términos son importantes para fabricar un sistema.

Es muy importante entender y expresar en esquemas o dibujos la forma física específica que tendrá cada parte de la máquina a construir. Se trata de expresar la forma de construcción, manipulación del material en bruto a un material tratado o maquinado este proceso nos llevara a la construcción de la micro-extrusora experimental de biomasa.

FABRICACIÓN Y MONTAJE

Para una mejor y más fácil comprensión del procedimiento seguido para la construcción de la máquina micro-extrusora se ha tomado en cuenta los siguientes sistemas:

1. Cilindro de Carga,
2. Intensificador
3. Mecanismo de Aplastamiento
4. Generador Térmico
5. Bastidor
6. Colector de fluidos

Se debe señalar también que en el proceso de construcción de la máquina existen procesos especiales, como por ejemplo: la soldadura de acero inoxidable sobre el cilindro principal, así mismo la unión de un acople en la parte frontal del mismo. También debemos mencionar las tolerancias de medida que se deben tomar en cuenta en la fabricación del embolo, y la tolerancia del diámetro interior del cilindro principal.

ENSAMBLE

En el sistema de extrusión tenemos un mecanismo que está compuesto por un cilindro principal, un pistón, una unidad de calentamiento, un dado de extrusión, una tolva de carga para el ingreso de la biomasa, una unidad de recolección de combustible y un bastidor. Las partes que

están sometidas a calor sobre el cilindro principal serán cubiertas con capas térmicas para evitar quemaduras al momento de utilizar la micro extrusora.

La máquina está constituida por 4 sistemas fundamentales que son:

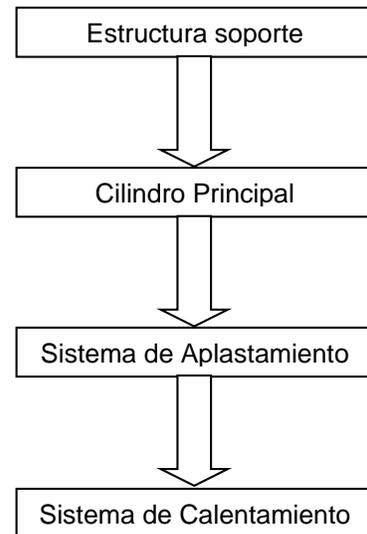


Diagrama 1: Ensamble de la máquina

Además de los sistemas y elementos mencionados anteriormente es importante recalcar que para poder medir parámetros de la micro extrusora es necesario colocar una instrumentación apropiada para este tipo de máquina y proceso, la pirólisis se produce cuando hay dos condiciones específicas. La primera es la temperatura que para nuestro caso serán 280°C, y la segunda es la presión que aproximadamente deberá llegar a 30 bar.

Para controlar estos parámetros en el caso de la temperatura tenemos una termocupla tipo J la cual censa al estar contacto con la biomasa dentro de la cámara, este dispositivo está conectado a una caja de control de temperatura que controla las resistencias.

Es decir que las resistencias se encienden o se apagan hasta que la temperatura alcance los 280°C. La unidad de regulación de la temperatura es de simple manejo y dispone de un indicador análogo para indicar el valor nominal de temperatura.

Para el caso de la presión tenemos 2 manómetros, uno para el porto y el otro está

conectado al recipiente a presión interna que recolecta el gas del proceso.

A continuación se encuentran dos imágenes de la máquina micro extrusora experimental de biomasa construida.

MICRO EXTRUSORA EXPERIMENTAL DE BIOMASA



IMAGEN 1: Micro Extrusora Experimental de Biomasa



IMAGEN 2: Micro Extrusora Experimental de Biomasa

VII. RESULTADOS DE LA MICRO EXTRUSORA EXPERIMENTAL

PARÁMETROS DE VERIFICACIÓN

Se presentan a continuación algunos de los análisis y de las pruebas de pirólisis de palma africana que se realizó en la máquina micro extrusora experimental de biomasa, con las diferentes mediciones de combustibles sólido, líquido y gaseoso generados en el proceso. Inicialmente se presenta el procedimiento de uso del equipo así como los resultados de los

diferentes parámetros que podemos leer en la micro extrusora.

VARIABLES MEDIDAS EN LA MICRO EXTRUSORA

De acuerdo a lo mencionado anteriormente para la obtención de los multi combustibles se tiene que llevar a cabo la pirolisis y para lo cual se tiene que dar un aumento de presión y de temperatura.

Las variables a ser controladas en la micro extrusora son:

- Temperatura en el cilindro principal.
- Presión en el Porto.
- Presión en el tanque de recolección.
- Tiempo de trabajo de la máquina.

RESULTADOS DE LAS PRUEBAS:

TABLA 3: PRUEBA #5 - Ejemplo de los Datos Operativos tomados en la Micro Extrusora

| Tiempo | Presión en el Porto | Presión en el Tanque | Temperatura en la pared del cilindro |
|--------|---------------------|----------------------|--------------------------------------|
| min. | bar | bar | °C |
| 1 | 0 | 0 | 19 |
| 5 | 2000 | 1 | 100 |
| 10 | 3000 | 2 | 150 |
| 15 | 4500 | 6 | 210 |
| 20 | 5100 | 10 | 240 |
| 25 | 5300 | 10,5 | 250 |
| 30 | 5400 | 11 | 260 |
| 35 | 5500 | 12 | 275 |
| 40 | 5600 | 13 | 280 |
| 45 | 6400 | 15 | 280 |
| 50 | 6600 | 16 | 280 |
| 55 | 6800 | 18 | 280 |
| 60 | 6800 | 19 | 280 |
| 65 | 7000 | 20 | 280 |
| 70 | 7000 | 21 | 280 |

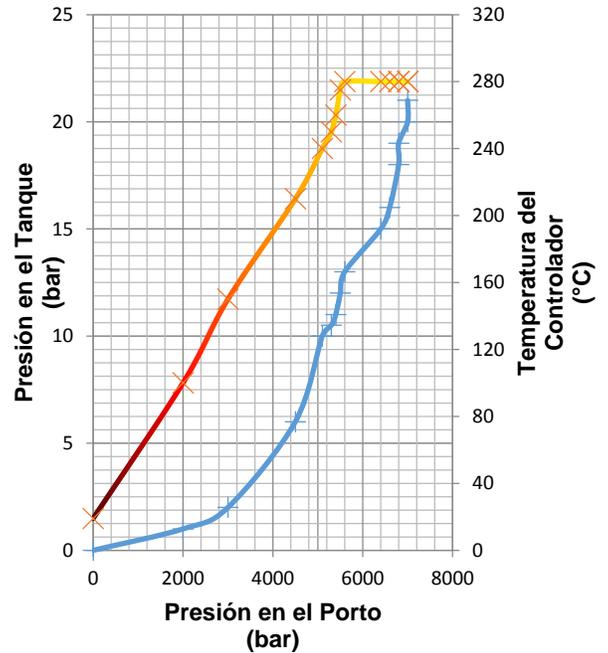


Diagrama 1: Análisis de resultados

Análisis de resultados

- La línea de color rojo en el **Diagrama 1** nos indica que el tiempo adecuado para alcanzar una presión de 21 bar. es alrededor de 1 hora y 10 minutos (70 min) para el cuál se ha obtenido el mayor puntaje.
- Tiempos menores de extrusión a 35 minutos por ejemplo producen una falta de condiciones para que se produzca la pirolisis de biomasa, además las resistencias no alcanzan aun la temperatura necesaria, y tampoco se puede observar el aumento de presión.
- Tiempos mayores de extrusión con elevación de temperatura a 70 minutos producen carbonización de la materia prima dentro del cilindro principal.
- La máquina puede trabajar con temperaturas en un rango de 270 a 290°C y no tiene problema alguno, mientras no se rompan los empaques del cilindro principal y el empaque del tubo de carga.

PRUEBAS EN CROMATOGRAFO DE GASES

Tabla 4: Resultados de la caracterización del Gas Obtenido

| Gas | Porcentaje |
|---|------------|
| Metano (CH ₄) | 27,45 |
| Dióxido de Carbono (CO ₂) | 62,03 |
| Hidrogeno (H ₂) | 1,50 |
| Sulfuro de Hidrogeno (H ₂ S) | 2,97 |
| Vapor de Agua | 6,05 |

VIII. CONCLUSIONES

- Una vez diseñada y construida la micro extrusora experimental, a través de los resultados de las pruebas realizadas a los multicomcombustibles de este modelo se obtienen tres tipos de combustibles a partir de una biomasa vegetal residual, las características se las detalla a continuación:
 - Combustible liquido en una cantidad de 0,352 Kg con un Poder Calórico Superior de 28298,15 J/gr.
 - Combustible solido en una cantidad de 0,175 Kg con un Poder Calórico Superior de 21939,01 J/gr.
 - Combustible gaseoso en una cantidad de 0,073 Kg con un Poder Calórico Superior de 21495 Btu/lb.
- La masa de gas obtenido es 0,073 Kg, sin embargo en la tabla 43 del presente documento podemos observar que el único gas combustible operativo en el mercado es el CH₄ en un porcentaje de 27,45%.
- La biomasa utilizada es el fruto de la palma africana, la cual fue seleccionada en base al análisis de varios factores entre los cuales están su composición nutricional, pero cabe señalar que por su diseño, puede funcionar con cualquier tipo de biomasa vegetal, con su respectiva reducción de tamaño, para poder introducir en la máquina y logrando así la obtención de multicomcombustibles (solido, liquido y sólido).
- A través del análisis dimensional y de las condiciones que se necesitaban para que la

biomasa se convierta en multicomcombustible mediante el proceso de pirolisis, se establecieron las resistencias mecánicas que debían soportar los materiales, por lo cual se garantiza el correcto funcionamiento de la máquina.

- En la maquina se de la pirolisis ya que alcanza una presión de 6000PSI y una temperatura de 280 °C, a través del porto y de una resistencia eléctrica de 600 KW. Para resistir estas condiciones criticas el material seleccionado para el cilindro principal es el SA 106A, que es capaz de resistir los 450 °C a los cuales llega la pared cilíndrica que está en contacto directo con la resistencia de calentamiento.
- La Micro-extrusora por el aumento de temperatura retira la humedad presente en la biomasa transformándola en vapor de agua el cual actúa como agente elevador de presión, que en conjunto con el sistema cilindro pistón conforman el sistema de compactación.
- Las pruebas realizadas a los productos obtenidos nos indican que son combustibles que se pueden utilizar en otros procesos de forma que de un residuo vegetal se obtienen otras formas de energía.
- Realizar el diseño de esta micro-extrusora resulto un gran reto, puesto que, los conocimientos sobre la biomasa, como fuente energética, en nuestro país es muy deficiente y en la Carrera de Ingeniería Mecánica solo se recibe un semestre de la Materia de Energías no convencionales.
- Al realizar el balance es fácil darse cuenta que no es un proyecto económicamente rentable, pero hay que señalar que para hacerlo se basó en precios de combustibles en el mercado internacional y también se considera que la máquina no está diseñada para producción en serie y en tal virtud las cantidades que produce no soy grandes por lo tanto no es rentable.

IX. RECOMENDACIONES

- Para mejorar las características de los multi combustibles obtenidos de la micro-extrusora, se deberían buscara posibles cambios al diseño los cuales garanticen que al sistema no ingrese oxigeno lo cual mejoraría las condiciones a las cuales se da la pirolisis.

- Se debe realizar pruebas con otras biomásas, para analizar cuál sería otra opción como materia prima, en la cual se debe considerar su composición nutricional y sus posibles características al ser sometida a altas temperaturas, de modo que no se presente corrosión en los elementos de la máquina.
- Al momento de realizar las pruebas en la máquina, se deben considerar el factor de seguridad de forma que se garantice la integridad del operador del equipo.
- En el Ecuador se debería implementar centros de investigación sobre las características energéticas de la biomasa y su forma de implementación, para de esta forma solventar los inconvenientes energéticos del país y a la vez contribuyendo a la reducción de la contaminación ambiental con la no producción de gases de efecto invernadero.

BIBLIOGRAFIA

- By Sailesh Babu, D. R. (s.f.). Material and Surface Engineering For Precision Forging Dies. The Ohio State University.
- ESPOCH, I. (2008). Producción y aprovechamiento energético de biomasa - Compendio de información.
- Hearn, J., & Edición. (1985). *Resistencia de Materiales* (1er ed.). México, MEXICO: Interamericana.
- I. C. (s.f.). *GENERACIÓN DE POTENCIA, Combustión y Cámaras de Combustión*.
- LIMPI, D. d. (s.f.).
- Martin, F. M. (2008). *2 edición capítulo 8 pag. 193*.
- Michelena, M. C. (s.f.). *Los Biocombustibles Energías Renovables*.
- Ministerio de Agricultura, G. A. (2010). *Ministerio de Electricidad y Energía Renovable*. (s.f.). Obtenido de

¹ Los biocombustibles "energías renovables", Manuel Camps Michelena, Francisco Marcos Martin 2002. 2da edición 2008, Capítulo 8, Pag. 193.

² TEP: Tonelada equivalente de petróleo, es una unidad de energía que rinde una unidad de petróleo.

<http://www.energia.gob.ec/direccion-energia-renovable/>

Mundi-Prensa. (2002). Madrid, Barcelona, México.

Quirino, D. W. (2010). *Maestría en Energías Renovables, Modulo xvi, Instalaciones Energéticas de Biomasa*,. Quito, Ecuador.

Sailesh Babu, D. R. (s.f.). Material and Surface Engineering For Precision Forging Dies; . The Ohio State University.

Salvi, G. . (1975). *"La Combustión, Teoría y aplicaciones"*.

Stewart, J. (s.f.). *eel Mundo de la Aalta Presión*. www.loomisproducts.com. (s.f.).

www.lowenergyhouse.com. (s.f.). Obtenido de <http://www.lowenergyhouse.com/biomass-burners.html>

www.miliarium.com. (s.f.).

FIRMAS DE RESPONSABILIDAD:



PABLO SALAZAR
0603365644



DIRECTOR
ING. CARLOS NARANJO



CODIRECTOR
ING. EDWIN OCAÑA

³ Maestría en Energías Renovables, Modulo xvi, Instalaciones Energéticas de Biomasa, Dr. Wladimir Ferreira Quirino, 2010, ESPE.

⁴ Porto: Sistema mecánico utilizado para aplicar presión (gato hidráulico)