

Análisis del uso de biomasa en sistema alternativo de microgeneración

Analysis of biomass used as fuel in an alternative system for micro-generation

BEDOLLA-HERNANDEZ, Jorge†*, BEDOLLA-HERNANDEZ, Marcos, FLORES-LARA, Vicente y MORA-SANTOS, Carlos

Tecnológico Nacional de México/I.T. Apizaco

ID 1^{er} Autor: *Jorge, Bedolla-Hernandez* / ORC ID: 0000-0003-3856-6061, CVU CONACYT ID: 83901, SNI: 36612

ID 1^{er} Coautor: *Marcos, Bedolla-Hernandez* / ORC ID: 0000-0001-9668-2779, CVU CONACYT ID: 92081

ID 2^{do} Coautor: *Vicente, Flores-Lara* / ORC ID: 0000-0001-5029-9707, CVU CONACYT ID: 121181

ID 3^{er} Coautor: *Carlos, Mora-Santos* / ORC ID: 0000-0002-6050-6578, CVU CONACYT: 49134

Recibido: Septiembre 03, 2018; Aceptado Noviembre 28, 2018

Resumen

En el trabajo se presenta un sistema enfocado en la microgeneración de energía eléctrica, donde se incluye un subsistema de generación de vapor de 15 L de volumen y una microturbina de adhesión de 1 kW de diseño de potencia mecánica en su flecha. El subsistema de vapor se diseñó para operar con gas LP, el cual puede reemplazarse por biomasa sólida en forma de madera, con ligeros cambios en la zona de combustión. La característica de la microturbina de adhesión es que puede operar de forma intermitente sin que la calidad del vapor o el flujo másico constante representen un inconveniente. En función de esas características, el estudio se enfoca en analizar un esquema equivalente para microgeneración con combustión de biomasa. Para el desarrollo de las pruebas se considera la combustión con gas, con el objeto de obtener calor de forma razonablemente controlada, posteriormente se sustituye el combustible por biomasa sólida y se comparan los esquemas. La comparación del sistema se basa en la temperatura y presión del recipiente; así como en la velocidad de la flecha de la microturbina como función del tiempo. Los resultados muestran que es factible el uso de biomasa para la sustitución de combustible no renovable en el sistema de microgeneración.

Biomasa, Microgeneración, Microturbina

Abstract

In this study a system for micro-generation is presented. The system is constituted by a couple of secondary systems, including a boiler and a non-conventional micro-turbine. The boiler has a capacity of 15 L and the turbine was designed for 1 kW of shaft power. The boiler was designed to use as combustible either LP gas or solid biomass, it making just minor changes in the combustion zone. The type of micro-turbine was considered taking account that system could operate without constant fluid flow, with intermittent velocity and inclusive with biphasic flow. The, the study was focused in analysing an equivalent system for micro-generation with solid biomass. For combustion process was considered the schemes with LP gas and biomass, and then the results in each case were compared. In the comparison, the parameters of temperatures and pressure in the boiler were analyzed, as well as, the velocity in the turbine shaft as a time function is monitored. The results show the feasibility to use solid biomass in the alternative system analyzed for microgeneration.

Biomass, Microgeneration, Microturbine

Citación: BEDOLLA-HERNÁNDEZ, Jorge, BEDOLLA-HERNÁNDEZ, Marcos, FLORES-LARA, Vicente y MORA-SANTOS, Carlos. Análisis del uso de biomasa en sistema alternativo de microgeneración. Revista de Ingeniería Tecnológica. 2018, 2-8: 11-22

*Correspondencia al Autor (ljbedolla@cenidet.edu.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

Los métodos de generación de energía eléctrica tradicionales tienen que evolucionar, ya que por un lado estos requieren de instalaciones con infraestructura de gran tamaño y por otro lado requieren de una gran cantidad de recursos y combustibles para su operación. Si bien la capacidad de generación es considerable en sistemas de gran tamaño, es necesario considerar que todos los recursos para su operación están en la misma proporción. Por lo que los sistemas que contribuyan en la evolución y diversificación de procesos y sistemas de fuentes de generación de energía tienen que estar pensados para reducir implicaciones desfavorables de tamaño, costo y recursos. Esto claro sin perder de vista las implicaciones ambientales y del ecosistema que se puedan producir. Ya que desde un punto de vista ético, solo la biomasa que no forma parte de las cadenas alimenticias deberá usarse para la producción de combustibles, químicos, potencia o calor (Gavrilescu, 2008).

Sin embargo, la creciente necesidad en el desarrollo de sistemas de generación alternativos obedece al constante incremento en la demanda de este recurso, pero enfocados en la tendencia hacia sistemas de generación de energía amigables con el ambiente.

Otro componente en la diversificación en la generación de energía es la Generación Distribuida (GD), la cual se considera como un método alternativo de generación de energía eléctrica que se realiza mediante muchas fuentes pequeñas de energía en lugares próximos a las cargas, evitando de esa manera la traspotación y distribución (Grant et al., 2014). Además, la GD permite la opción de trabajar interconectado o aislado de la red de energía eléctrica (Ackermann et al., 2004). En ese sentido la GD presenta como beneficio reducir las dimensiones de los sistemas de generación, lo cual, va de la mano con la reducción de recursos para su operación. Adicionalmente, la GD tiene beneficios al fomentar el desarrollo rural mediante la producción de electricidad en lugares donde no es accesible la red eléctrica comercial (Buragohain, 2010); así como también de representar oportunidades de ingresos adicionales a través de la revaloración de fuentes locales (Ripa et al., 2017).

Por sus características la GD se define como cualquier tecnología de generación eléctrica a pequeña escala que proporciona electricidad en puntos cercanos al consumidor (Alanne & Saari, 2006; Theo et al., 2017). Al respecto, la capacidad de generación eléctrica clasifica a los sistemas de la siguiente forma (Grisales et al., 2017): micro (generadores de 1 W a 5 kW), pequeña (generadores de 5 kW a 5 MW), mediana (generadores de 5 MW a 50 MW) y grande (generadores de 50 MW a 300 MW).

Independientemente del volumen de generación, el impacto que se ocasiona al medio ambiente es un factor importante a considerar en la búsqueda de sistemas alternativos de generación, los cuales es deseable que sean accesibles, funcionales y de bajo costo; todo esto para ser consistentes con las características de la GD.

Las alternativas que se planteen en ese sentido tienen que corresponder a sistemas con reducidas emisiones de efecto invernadero y que preferentemente funcionen por medio de energía renovables.

Sin embargo, desafortunadamente las fuentes de energía renovable presentan algunos inconvenientes importantes a considerar (Erdinc & Uzunoglu, 2012): de las tres fuentes más ampliamente explotadas de energías renovables, que son la hidrodinámica, la eólica y la fotovoltaica, dos de ellas (la fotovoltaica y la eólica) presentan la limitante de ser altamente dependientes de las condiciones climáticas. Por lo que no puede asegurarse su disponibilidad sobre demanda y solo pueden obtenerse cuando la fuente natural así lo permite.

Para disminuir la dependencia climática de combustibles alternativos para GD, una opción en el rango de microgeneración lo constituye la biomasa, la cual es posible obtener en prácticamente cualquier lugar de forma abundante (Asadullah, 2014). Aunque por otro lado, parte de los problemas que limitan el uso de la biomasa como combustible tienen que ver con su traspotación, almacenamiento y tratamiento previo al proceso. Aun así, entre todas las fuentes renovables de energía, la biomasa es una de las opciones más interesantes (González et al., 2015).

Donde en el caso de la biomasa sólida recuperada de recurso forestal, ésta no requiere de cuidados especiales en transportación, su almacenamiento es simple y puede mantenerse en ese estado por periodos prolongados, y claro está su uso no se limita por condiciones climáticas.

La biomasa sólida es la única fuente de energía renovable como tal probada desde épocas ancestrales, por lo tanto su tecnología de aplicación es desconocida. En función del rango de temperaturas que alcanzan esta fuente puede aplicarse directamente en la generación de vapor y en consecuencia en generar electricidad y calor (Balta et al., 2009).

Entre las fuentes renovables de energía, la biomasa sólida de recurso forestal es una alternativa con gran potencial para la generación de electricidad, por ser una fuente local abundante en muchos países, y su aplicación se basa en tecnologías probadas (Singh, 2017).

La conversión termoquímica de biomasa sólida como recurso forestal en otra forma de energía para producir electricidad puede realizarse básicamente en dos formas: a través de la combustión directa o a través de la gasificación. La combustión directa convierte la energía química almacenada en la madera en energía térmica que se usa en máquinas o turbinas de vapor, o variaciones de éstas con el ciclo Rankine orgánico (Silva y Nakata 2012).

Para los sistemas de generación, la combustión con biomasa sólida toma lugar en un generador de vapor, y es conveniente para las turbinas de vapor, ya que para generar el fluido esos sistemas aceptan diversos tipos de combustible, y en consecuencia la biomasa puede usarse directamente a tales procesos (Wahlund et al., 2000).

Por su parte las micro-turbinas son una versión reducida de turbinas convencionales, pero con características que las hacen adecuadas para procesos de generación a pequeña escala. La simplicidad de las micro-turbinas hacen que sus requerimientos de mantenimiento sean mucho menores en comparación con los equipos convencionales (Monteiro et al., 2009).

En función de lo anterior en el presente estudio se analiza un sistema alternativo de generación eléctrica, consistente con las características deseables de un sistema de GD, en el cual se considera que la generación de vapor se realiza a partir del uso de biomasa sólida. Como ha mencionado, la biomasa sólida es la fuente de energía renovable que más interés ha encontrado en la producción y generación a escala reducida y no presenta limitantes climáticas para su aplicación. Este tipo de biomasa involucra recurso forestal de desecho, así como residuos de procesos de agricultura, basura de madera industrial y comercial, basura de árboles urbanos, y la principal fuente de madera puede encontrarse en los residuos forestales que se convierten en basura en caso de no encontrarles otra aplicación (Cimdina et al., 2014).

El sistema de generación de vapor considerado en este estudio recibe la flama directa de la combustión de la biomasa sólida, por lo cual las características del vapor están en el rango de temperaturas bajas. Esto motiva que la selección de la micro-turbina de vapor a usar en el sistema alternativo de generación se ajuste a un fluido de trabajo que puede ser variable, en función del propio proceso de combustión.

Los componentes principales considerados para el sistema alternativo de microgeneración corresponden a un recipiente cilíndrico que recibe la flama directa de la combustión y contiene al vapor generado, y a una microturbina que funciona bajo el principio de adhesión. La característica de adhesión de la turbina hace que ésta pueda operar con fluido tanto líquido como gaseoso, bifásico e incluso con partículas suspendidas. Por lo tanto, la calidad y cantidad de vapor no es limitante para su operación. Esa condición de la microturbina la hace la selección viable para operar con sistemas de generación de vapor a partir de biomasa sólida.

En las siguientes secciones se presenta el sistema de microgeneración propuesto para operar con biomasa sólida. Posteriormente se describen los subsistemas que lo componen y se muestran los correspondientes resultados, para aplicación tanto de una fuente continua de combustible de gas licuado de petróleo (GLP); así como, con la combustión de biomasa sólida.

Se presentan las conclusiones del trabajo en las que se subraya la viabilidad de la biomasa sólida para la generación a escala reducida.

Sistema de microgeneración

El sistema en estudio para análisis del uso de biomasa como alternativa de combustible para microgeneración, se basa en los componentes de un sistema de generación con turbina de vapor.

La Figura 1 muestra el esquema de generación, en la que se incluyen el sistema de generación de vapor (boiler) y la micro-turbina de adhesión. Las características del sistema corresponden a los esquemas de GD, de forma tal que la potencia considerada está en el orden de cientos de Watts. El subsistema de generación de vapor incluye al hogar de combustión donde se quema el combustible, tanto con biomasa sólida como con una fuente constante de alimentación de GLP.

La Figura 2 muestra el sistema experimental correspondiente al esquema de la Figura 1. La región a) es donde se realiza la combustión de la biomasa sólida con la flama en contacto directo con el recipiente cilíndrico b) que contiene al líquido y al vapor, en su caso. El elemento c) es la línea de vapor y el d) se refiere a la turbina no convencional.

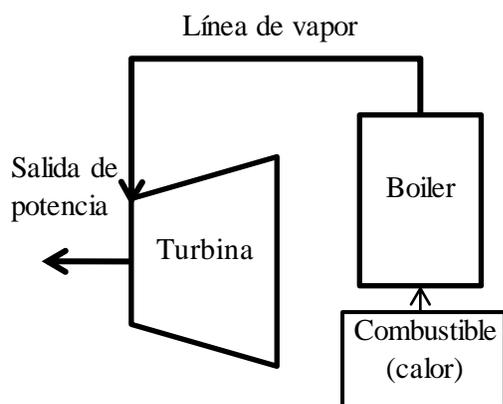


Figura 1 Esquema del sistema de microgeneración



Figura 2 Componentes del sistema de microgeneración, donde: a) hogar de combustión, b) recipiente cilíndrico a presión instrumentado, c) línea de vapor con medidor de flujo y d) micro turbina de adhesión.

Micro-turbina de adhesión

Este sistema no convencional se caracteriza porque su rotor está formado de discos planos co-rotantes en lugar de álabes convencionales de geometría compleja. El fluido de trabajo se inyecta tangencialmente a los discos en su diámetro externo a través de una tobera y pasa por los espacios entre los discos planos paralelos. Las partículas de fluido al interior de la turbina describen una línea espiral en la superficie plana del disco desde el diámetro externo hacia el interno (Bedolla et al., 2012).

La fuerza viscosa de arrastre que se produce por la adhesión del fluido a la superficie plana de los discos resulta en el movimiento del rotor. La energía cinética del fluido y la adhesión de éste con los discos transfiere la energía cinética al compacto del rotor, obteniendo en la flecha de salida de la turbina potencia mecánica y par de torsión, que son función del flujo del fluido (Sengupta, 2012).

El desempeño y eficiencia de esta turbina es dependiente de la combinación de diversos parámetros.

La siguiente es una lista de parámetros que han sido identificados e investigados para lograr un mejor diseño de esta turbina no convencional (Gupta and Kodali, 2013): número de discos, radio interno y externo, espesor de los discos, número y forma de las toberas, flujo compresible o no incompresible, número de Reynolds, ángulo de entrada del flujo, geometría de los separadores, velocidad del flujo, número de entradas, velocidad del rotor, ubicación del desfogue, tipo de aplicación, estator, rodamientos y sellos, relación de radios, viscosidad cinemática y dinámica, presión estática y estancamiento, velocidad angular y razón total del flujo.

La micro-turbina de adhesión es de geometría simple, por lo que su manufactura es relativamente fácil. Este sistema tiene ventajas por ejemplo en cuanto a su reducido, mantenimiento y su alta potencia para la relación de peso y costo. Puede operar a partir de diversos tipos de fluidos y mezclas, incluso flujos con partículas suspendidas. Posee capacidad de auto-limpieza natural por el campo de fuerza centrífuga con que opera, y el sentido de giro solo se limita por la acción/dirección el flujo de trabajo, pudiendo invertir sentido de giro sin modificaciones adicionales que el sentido de las toberas. El intervalo de velocidad del fluido de trabajo comprende un rango muy amplio, y el cambio de velocidad del flujo o el cambio de flujo másico (mientras permita el accionamiento) no interrumpe el funcionamiento del sistema (Bedolla et al., 2016).

La micro-turbina de adhesión en el presente estudio se muestra en la Figura 3. Para el diseño de la micro-turbina de adhesión, se toma como referencia el modelo presentado en la Figura 4 (Guha and Sengupta, 2013), donde se presenta un par de discos separados axialmente por una distancia b .



Figura 3 Micro-turbina de adhesión

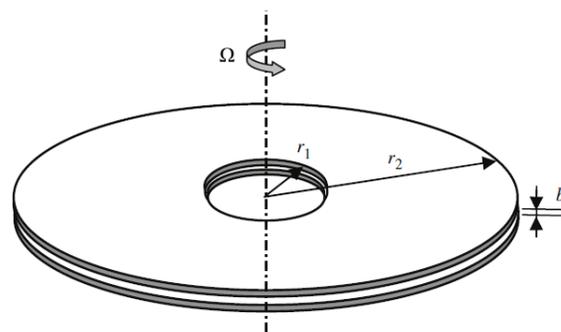


Figura 4 Esquema del modelo de la turbina

De acuerdo a la figura 4, la entrada del fluido al rotor de la turbina se realiza de forma tangencial al radio externo r_2 , y el desfogue del fluido se realiza por el centro de los discos en el radio r_1 . Por simplificación del cálculo el fluido entre los discos se asume estable, laminar y axisimétrico. Boyd and Rice (1968) mostraron que la razón de la componente axial de velocidad a la componente tangencial y radial es cercana al orden de b/r_2 . De donde se ha establecido que para una turbina de adhesión la razón antes indicada es muy pequeña. Por lo tanto la componente axial de velocidad es pequeña en comparación con los otros componentes de velocidad. Las ecuaciones de continuidad y de momento y las condiciones de frontera pueden representarse en términos de velocidades relativas, lo cual permite simplificar las ecuaciones de conservación. A partir de lo anterior, y para una distribución de velocidad tangencial conocida el torque total y la potencia de salida de la flecha de turbina pueden calcularse al considerar que el esfuerzo cortante sobre la pared de un lado de uno de los discos (τ_w) está dado por la ecuación (1).

$$\tau_w(r) = \left[\mu \frac{\partial v_\theta(r,z)}{\partial z} \right]_{en z=0} = \frac{6\mu\Omega r_2 \zeta_m}{b} \quad (1)$$

Donde r , θ y z son las coordenadas cilíndricas, μ es la viscosidad del fluido, V es la velocidad relativa del fluido, Ω es la velocidad de rotación del disco y ζ_m es la velocidad tangencial promedio adimensional.

Si se considera un elemento delgado circular de espesor dr a un radio r , el torque alrededor del eje del rotor correspondiente a un lado de un disco (T_{dl}), a causa de la fuerza cortante actuando sobre un elemento diferencial de área y al integrar a lo largo de todo el radio, se obtiene por la ecuación (2).

$$T_{d1} = \int_{r_1}^{r_2} \tau_w (2\pi r) r dr \quad (2)$$

Entonces el torque total (T) producido por el rotor completo consistente de n discos se calcula por la ecuación (3).

$$T = 2(n - 1)T_{d1} \quad (3)$$

La potencia teórica ideal (P_T) de salida de la flecha de la turbina se obtiene con la ec. (4).

$$P_T = T \Omega \quad (4)$$

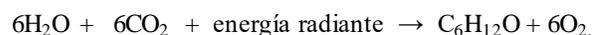
A partir de lo anterior y bajo la consideración de usar vapor de agua como fluido de trabajo, la potencia mecánica teórica de diseño en la flecha de la microturbina para este subsistema se estima en 1 kW. Donde, la temperatura considerada a la entrada de la turbina es la de saturación del agua a 133.5 °C y con una presión promedio de 300 kPa. Para lograr los requerimientos de diseño se requiere de 22 discos planos con diámetro exterior de 213 mm. La carcasa de la microturbina se diseña para 213.54 mm en su diámetro interior. Si bien el espesor de los discos debe tender a cero en condiciones ideales, para el sistema en estudio se considera un espesor de pared de 0.89 mm (corresponde a una lámina comercial calibre 20), con lo cual se obtiene la rigidez necesaria de los discos para la operación de la turbina hasta una velocidad angular de 12000 rpm. Por las características del fluido de trabajo, la separación de los discos debe establecerse en 0.33 mm (calibre 29 de una lámina comercial), que es al menos el doble de la capa límite del fluido para las condiciones antes descritas. Esta separación de discos se supone le permite circular al fluido sin estancamiento y transferir su energía cinética al rotor.

El vapor para el accionamiento de la turbina se obtiene del generador de vapor, cuya descripción se amplía en la siguiente sección. Como se ha planteado la calidad del fluido de trabajo no es limitante para el funcionamiento de la microturbina analizada, ya que ésta puede operar incluso con fluido líquido o con fluido bifásico, en el caso de contar con vapor húmedo en el generador.

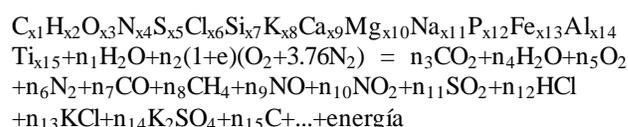
Subsistema de microgeneración de vapor

De forma común el proceso para generar vapor se realiza en una caldera, la cual en su forma básica se define como un recipiente metálico cerrado destinado a la producción de vapor o bien a calentar agua mediante la acción de calor a una temperatura y presión superior a la ambiente. Como resultado de la transferencia de calor producida por la quema de un combustible (para este estudio biomasa sólida), se entrega la energía térmica al agua a través de las paredes del contenedor. Para su aplicación en la generación de vapor, se entiende como biomasa al término usado para referirse a la materia de las plantas, la cual se genera por la fotosíntesis, donde la energía del sol se convierte en agua y CO₂ dentro de la materia orgánica (Demirbas, 2001). Como parte del proceso de fotosíntesis las plantas convierten la energía radiante del sol en energía química en forma de glucosa, lo cual se representa de la siguiente manera (Saidur et al., 2011):

agua + dióxido de carbono + luz solar → glucosa + oxígeno



La predicción de la combustión para propósitos de diseño y control requiere del conocimiento de las propiedades del combustible y de la forma en la cual esas propiedades influyen en el proceso de combustión. Una reacción global para la combustión de combustible de biomasa en aire podría tomar la siguiente forma (Jenkins et al., 1998):



Donde el primero compuesto es el combustible de biomasa, el segundo término expresa la humedad en el combustible, en presencia de mucha humedad el combustible no reaccionará espontáneamente. El tercer término representa el aire, considerado para el caso como una simple mezcla binaria de oxígeno y nitrógeno en una relación de volumen de 21-79%. Se aprecia que el producto de la reacción es complejo, por lo que se indican solo los principales productos que parecen durante la combustión (Demirbas, 2005).

La combustión de la biomasa es una serie de reacciones químicas en la cual principalmente se oxida el carbón para producir dióxido de carbono y el hidrógeno es oxidado para obtener agua. Sin embargo, se presentan muchos otros elementos en el proceso de combustión de biomasa (Saidur et al., 2011). En general las propiedades de combustión de la biomasa se pueden clasificar en macroscópicas y microscópicas. Las propiedades macroscópicas del combustible de biomasa están relacionadas con análisis macroscópicos, como el valor de calentamiento, contenido de humedad, el tamaño de partícula, densidad del compuesto y la temperatura de fusión de las cenizas. Un análisis microscópico incluye el calentamiento, la cinética química y los datos del mineral (Demirbas, 2004). Una característica de la biomasa es que la combustión puede realizarse en forma directa, quemándola sin la intervención previa de algún proceso químico. La combustión de la biomasa sólida permite obtener gases de combustión con temperaturas para producir vapor y generar electricidad a partir de éste. En ese mismo sentido la combustión de la biomasa puede aplicarse para producir calor en hogares e industrias.

Existen diversas tecnologías para la combustión de la biomasa, dentro de las cuales la combustión en cama fluidizada es la mejor tecnología para quemar combustible de baja calidad, alto contenido de ceniza y bajo valor calorífico. Este proceso puede realizarse con aire a presión atmosférica, el cual actúa como aire de fluidización y aire de combustión. Sin embargo, se considera que la combustión de la biomasa es un proceso complejo, y una descripción detallada de la misma está fuera del enfoque del presente trabajo. Pero de forma simplificada el proceso de combustión de biomasa puede considerarse como: inicia con el calentamiento de la madera, en ese momento sus componentes empiezan a hidrolizarse, oxidarse, deshidratarse e incrementar su temperatura formando volátiles del combustible, sustancias alquitranadas, y carbonácea altamente reactiva. En la temperatura de ignición de las sustancias volátiles y alquitranadas se produce el inicio de la combustión con reacciones exotérmicas. Durante el proceso de combustión, se produce suficiente calor para propagar el proceso de carbonización y la liberación de productos de descomposición de madera volátiles.

Con las simplificaciones indicadas del proceso de combustión con biomasa, se establece el flujo de combustible de biomasa (B) en función de la potencia térmica (P_t), del valor calorífico bajo del combustible (Q), y de su eficiencia (η) (Lazaroiu, 2008), como la ecuación (5).

$$B \left[\frac{kg}{s} \right] = \frac{P_t}{Q_i \eta} \quad (5)$$

A partir de la ec. (5) se calcula la carga total del volumen del hogar de combustión (q_v) del sistema en función del volumen del hogar de combustión (V_f) de acuerdo con la ecuación (6).

$$q_v \left[\frac{kW}{m^3} \right] = \frac{B Q_i}{V_f} \quad (6)$$

A partir de las ecuaciones y simplificaciones se considera que el subsistema de microgeneración de vapor para el caso de estudio, que se diseñó para operar tanto con un quemador de gas licuado de petróleo (GLP) y con biomasa sólida, responde a las consideraciones de flujo de combustible de la ec (5). Para el estudio en particular se quemó biomasa sólida en forma de madera. Ese sistema así obtenido se presenta en la Figura 1b), y a su vez se compone principalmente del recipiente cilíndrico que confina el líquido - evaporar (Figura 1b), el cual tiene una capacidad para 15 L. El sistema el combustible para generar los gases de combustión que producen el calor que se transfiere al recipiente cilíndrico, con lo que se incrementa la temperatura del fluido (Figura 1a). El subsistema para la generación de vapor se presenta en la Figura 5, y en la Figura 6 se presentan los elementos de monitoreo y seguridad con que se instrumenta el recipiente cilíndrico. En la Figura 7 se presenta el espacio y elementos para la quema del combustible, tanto con biomasa sólida como de GLP. Donde el recipiente cilíndrico es el mismo, solo se modifica el hogar de combustión dependiendo del combustible usado para generar el calor. El cual como se observa puede ser GLP (C1) o biomasa sólida en forma de madera (C2).

Para el caso de la biomasa la región de combustión se establece confinada como muestra Figura 7b, con su correspondiente fluidización para la admisiones de aire. Incluye la rejilla para colocar la biomasa en la cama fluidizada, y una charola para recolección de los residuos productos de la combustión de la biomasa.



Figura 5 Sistema para la microgeneración de vapor

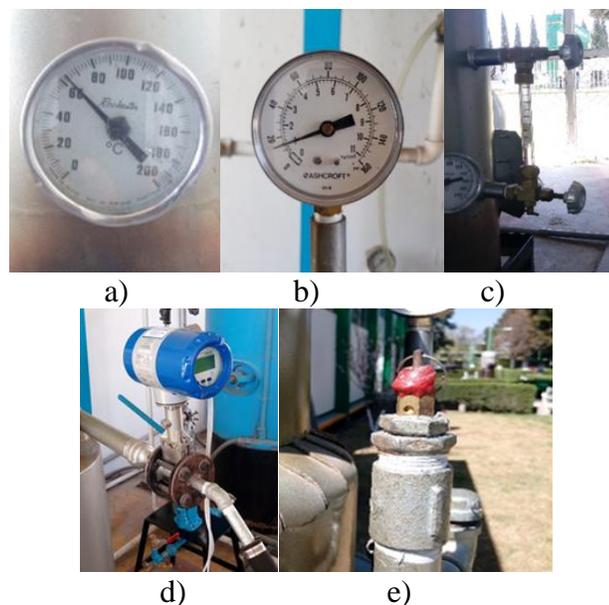


Figura 6 Componentes del cilindro a presión, donde: a) termómetro, b) manómetro, c) medidor de nivel del líquido, d) medidor de flujo y f) válvula de alivio



Figura 7 Componentes del hogar de combustión, donde: a) hogar de combustión para la biomasa, b) integración del hogar de combustión y cilindro a presión c) quemador de GLP, d) integración del quemador al cilindro

Resultados

De acuerdo al enfoque del presente estudio las pruebas se realizaron para dos tipos de combustible, por un lado usando GLP (C1) y por el otro con la biomasa sólida en forma de madera (C2). El GLP se consideró que produce parámetros de la combustión razonablemente constantes y su manejo permite un mejor control en la operación del sistema de pruebas. Por lo tanto, los resultados del GLP se usan como base de comparación en el proceso de obtención de vapor cuando se sustituye el combustible por biomasa sólida.

Para la comparación en la generación de vapor con ambos combustibles, en el recipiente cilíndrico a presión se usó un nivel de agua de 50% y 25% de su capacidad. Se consideró ese nivel máximo para reducir el tiempo en que se obtiene vapor, y el nivel mínimo se seleccionó como tal para prevenir que el fluido se evapore completamente. Con lo cual se busca optimizar el tiempo de la prueba y por otro lado evitar condiciones riesgosas que se pudieran presentar al evaporar completamente el fluido. Para el caso de calentamiento con el 50% del nivel de fluido el gráfico 1 muestra los resultados para la presurización del cilindro, a partir de los dos combustibles usados (C1 y C2).

La presión alcanzada en la pruebas es de 310 kPa, que corresponde una presión promedio para el funcionamiento de la microturbina y es consistente con las características que presión de saturación que se busca en el vapor. Del gráfico 1 se aprecia que al C2 le toma aproximadamente en promedio 15% más de tiempo para alcanzar la presión establecida del sistema. Pero por otro lado, esa figura muestra que el comportamiento en presurización en las pruebas realizadas puede considerarse que es muy similar para ambos tipos de combustibles, logrando con ambos combustibles la misma presión y para tiempos de combustión similares.

De acuerdo a las curvas representativas que se muestran en el gráfico 1, se parecía que el uso de biomasa sólida permite obtener los niveles requeridos del fluido de trabajo para el accionamiento de la turbina. De forma análoga lo se obtiene un comportamiento aproximado para el sistema en estudio con una alimentación de combustible continua (C1), que con la alimentación intermitente de combustible de biomasa sólida. En función de esos resultados se considera que es viable la aplicación de biomasa en el sistema alternativo propuesto de microgeneración.

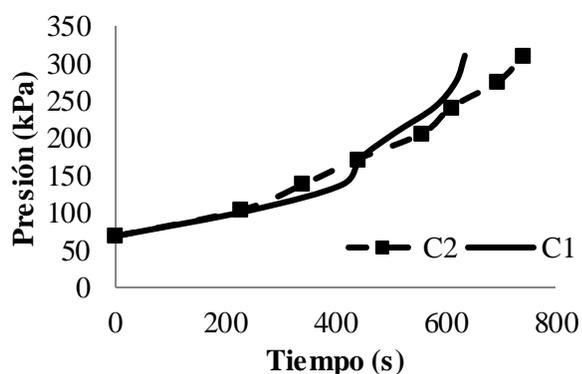


Gráfico 1 Comportamiento de presurización del recipiente cilíndrico para dos combustibles

Una vez que se logra la presión de trabajo buscada en el recipiente cilíndrico, se realiza la alimentación de vapor a la microturbina de adhesión. A partir de lo cual se obtiene el accionamiento de la micro-turbina y se monitorean y registran los datos representativos que se muestran en la Figura 9. Donde se observa que para la presión inicial de 310 kPa en el recipiente cilíndrico, se obtiene un gasto másico para la alimentación de fluido a la turbina de 23 kg/hr.

Por condiciones inerciales el instante en que se abre la válvula de alimentación de vapor la velocidad angular de la micro-turbina es 0, pero un instante después se aprecia que alcanza su velocidad máxima, la cual corresponde a 3100 rpm.

Para el sistema en estudio se obtuvo que por debajo de un gasto de 9.5 kg/hr la velocidad descende drásticamente, hasta que se detiene por completo la turbina. Aunque para ese nivel de gasto todavía exista flujo de vapor pasando por la microturbina, éste ya no es significativo para el accionamiento. Por tal razón los rangos de operación encontrados, son los que se presentan en el gráfico 2.

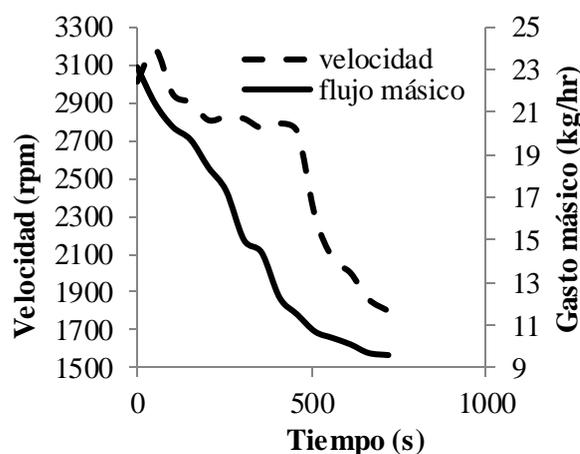


Gráfico 2 Condiciones del flujo para la microturbina de adhesión

Para las pruebas realizadas se obtuvo que el sistema de microgeneración puede operar tanto con combustible derivado del petróleo (GLP), como con biomasa sólida usada como combustible. En función de lo cual se establece que la aplicación de la biomasa recuperada de recurso forestal es una opción viable para la microgeneración, lo cual se muestra con las pruebas de operación de la turbina no convencional, que se selecciona en la integración del sistema. Si bien el generador de vapor no mantiene una alimentación constante de vapor a la turbina, por las condiciones propias de dimensiones y proceso de combustión de la biomasa si se obtiene que el sistema es capaz de accionar la turbina para el proceso de microgeneración. La cantidad de combustible de biomasa sólida se modifica conforme ésta se quema, por lo que la cantidad de calor también se modifica en el proceso de combustión.

En ese mismo proceso, una vez que se abre la válvula de alimentación a la turbina la cantidad de vapor en el recipiente cilíndrico también decrece, por lo que aunado a las dimensiones del generador de vapor está limitado el tiempo de operación continua de la turbina. Sin embargo, las características de diseño y operación de la microturbina hacen que ésta se integre de forma adecuada al proceso, ya que esta puede operar en todo el rango de velocidad que se tiene para la alimentación del flujo, puede tener paros frecuentes y la calidad del fluido no es impedimento para su operación.

Agradecimiento

Los autores agradecen al TECNM por el apoyo económico brindado para la realización de este trabajo, dentro del proyecto clave 6236.17-P.

Conclusiones

En el trabajo se presenta un sistema alternativo para microgeneración a partir de biomasa sólida como combustible. Mediante el cual se analizó la viabilidad de uso de ese combustible en procesos de microgeneración. El diseño del sistema propuesto integra una microturbina de adhesión que puede operar de acuerdo a las limitantes del microgeneración de vapor para uno volumen de 15 L de líquido como máximo. Las pruebas desarrolladas permiten ver que la biomasa usada como combustible en el generador de vapor tiene comportamiento similar al presentado con GLP como combustible. Por lo que se concluye que la biomasa sólida puede ser usada como combustible en la generación de vapor para accionamiento de una turbina de vapor.

La alimentación de vapor a la microturbina del sistema, presenta inconvenientes propios de la magnitud de generación de vapor en cantidad y calidad del fluido de trabajo; pero en función de las características de la turbina se aprecia de los resultados que ésta puede operar en un intervalo considerable de velocidades (arriba de 3000 rpm) y para una variación significativa de flujo másico (alrededor de 250% de variación entre el nivel inferior y el superior). De lo que se establece que este tipo de micro-turbina supera las limitaciones que se tiene el generador de vapor del estudio para escalas reducidas.

De forma general se concluye que el sistema propuesto puede operar con biomasa sólida para la generación de vapor. La biomasa se usa sin tratamiento previo y el vapor satisface las condiciones para la operación de a turbina no convencional seleccionada.

Referencias

Ackermann, T., G.Andersson and L.Soder, 2004, Distributed Generation: a definition, *Electric Power System Research*, 71, pp. 119 – 128.

Alanne K, Saari A., 2006, Distributed energy generation and sustainable development, *Renew Sustain Energy Rev*, 2006, 10, pp. 539-58.

Asadullah M., 2014, Barriers of commercial power generation using biomass gasification gas: A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 29, (2014), pp. 201–215.

Balat M, Balat M, Kırtay E, Balat H., 2009, Main routes for the thermo-conversion of biomass into fuels and chemicals. *Gasification systems. Energy Convers Manag* 2009; 50: 3158–68.

Bedolla J., Carro R., Szwedowicz D., Sánchez P., Bedolla M., 2012, “Turbina de Construcción Simplificada para Aplicaciones no Convencionales”, *Ciencias Básicas, Ingeniería y Tecnología*, año VII, num. 19, pp. 32-37.

Bedolla J., Lara V., Bedolla M., Szwedowicz D., Mora C.A., 2016, Análisis comparativo de alternativas del rotor de una turbina no convencional, *Memorias del XXII Congreso de la SOMIM y XIV Congreso Iberomat*, Septiembre 28-30, del 2016 Cd. Mérida, Yucatán. México, ISSN 2448-5551.

Boyd K.E., and Rice W., 1968, Laminar inward flow of an incompressible fluid between rotating disks, with full peripheral admission, *ASME Trans. J. Appl. Mechanics*, 35 (2) (1968), pp. 229–237.

Buragohain B., Mahanta P., Moholkar S., 2010, Biomass gasification for decentralized power generation: The Indian perspective, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14 (1), January 2010, pp. 73-92.

BEDOLLA-HERNÁNDEZ, Jorge, BEDOLLA-HERNÁNDEZ, Marcos, FLORES-LARA, Vicente y MORA-SANTOS, Carlos. Análisis del uso de biomasa en sistema alternativo de microgeneración. *Revista de Ingeniería Tecnológica*. 2018

- Cimdina G., Slisane D., Ziemele J., Vitolins V., Vigants G., Blumberga D., 2014b, Sustainable Development of Renewable Energy resources. Biomass Cogeneration Plant, The 9th International Conference "Environmental Engineering" 22–23 May 2014, Vilnius, Lithuania.
- Demirbas A., 2001, Biomass resource facilities and biomass conversion processing for fuels and chemical. *Energy conversion and Management*, 42 (2001), pp. 1357-1378.
- Demirbas A., 2004, Combustion characteristics of different biomass fuels. *Progress Energy Combust Sci*, 2004; 30, pp. 219–30.
- Demirbas A. 2005, Potential applications of renewable energy sources, biomass combustion problems in boiler power systems and combustion related environmental issues. *Prog Energy Combust Sci*, 2005;31, pp. 171–92.
- Erdinc O, Uzunoglu M. 2012, Optimum design of hybrid renewable energy systems: overview of different approaches. *Renew Sustain Energy Rev.*, 2012;16:1412–25.
- Gavrilescu M., 2008, Biomass Power for Energy and Sustainable Development, *Environmental Engineering and Management Journal*, 7 (5), pp. 617-640.
- González A., Riba J., Puig R., Navarro P., 2015, Review of micro- and small-scale technologies to produce electricity and heat from Mediterranean forests' wood chips, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 43 (2015), pp. 143–155.
- Grant A., Igor E., Michelle G., Kockar I., and Peter M., (2014), The economics of distributed energy generation: a literature review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 42. pp. 543-556. ISSN 1364-0321, <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2014.07.064>.
- Grisales, L. F., Restrepo Cuestas B. J., y Jaramillo, F. E., 2017 "Ubicación y dimensionamientos de generación distribuida: una revisión," *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, vol. 27, no. 2, pp. 157-176. DOI: <http://dx.doi.org/10.18359/rcin.2344>.
- Guha A. and Sengupta S., 2013, The fluid dynamics of the rotating flow in a Tesla disc turbine, *European Journal of Mechanics B/Fluids*, 37 (2013), pp. 112–123.
- Gupta H., and Kodali S.P., 2013, Design and Operation of Tesla Turbo machine - A state of the art review, *International Journal of Advanced Transport Phenomena*, Jan-Dec 2013, 02 (01), pp 7-14.
- Jenkins B.M., Baxter L.L., Miles Jr T.R. and Miles T.R., 1998, Combustion properties of biomass. *Fuel Processing Technology*, 54 (1998), pp. 17–46.
- Lazaroiu G., Mihaescu L., Prisecaru T., Oprea I., Pisa I., Negreanu G., Indries R., 2008, Combustion of Pitcoal-Wood Biomass Brichettes in a Boiler Test Facility. *Environmental Engineering and Management Journal*, 2008, 7(5), pp. 595-601.
- Monteiro E, Moreira NA, Ferreira S., 2009, Planning of micro-combined heat and power systems in the Portuguese scenario. *Appl Energy* 2009; 86, pp. 290–8.
- Ripa M., Fiorentino G., Giani H., Clausen A., Ulgiat S., 2017, Refuse recovered biomass fuel from municipal solid waste. A life cycle assessment, *Applied Energy*, 186, (2017), pp. 211-225.
- Saidura R., Abdelaziza E.A., Demirbasb A., Hossaina M.S., Mekhilefc S., 2011, A review on biomass as a fuel for boilers, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15 (2011), pp. 2262–2289.
- Sengupta A., A Theory of Tesla Disc Turbines, *Journal Of Power and Energy*, 2012, vol. 5 (226), pp. 650-663.
- Silva D, Nakata T., 2012, Design of decentralized energy systems for rural electrification in developing countries considering regional disparity. *Appl Energy*, 2012; 91, 130–45.
- Singh J., 2017, Management of the agricultural biomass on decentralized basis for producing sustainable power in India, *Journal of Cleaner Production*, 142 (2017), pp. 3985-4000.

Theo W., Lim J., Ho W., Hashim H., Lee C., 2017, Review of distributed generation (DG) system planning and optimisation techniques: Comparison of numerical and mathematical modelling methods, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 67 (2017), pp. 531-573.

Wahlund B, Yan J, Westermark M., 2000, Comparisons of CO₂-reducing alternatives for heat and power generation: CO₂-capture and fuel shift to biomass, Durie RA, McMullan P, Paulson CAJ, Smith AY, Williams DJ, editors. 5th International Conference on Greenhouse Gas Technology. Cairns, Australia: CSIRO Publishing; 2000. p. 229–34.