

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO – FACULTAD DE INGENIERÍAS	Código	FDE 089
		Versión	02
		Fecha	2014-10-14

Evaluación de la eficiencia térmica de un quemador de lecho poroso usando biogás

Carlos Andres Pérez

Adriana Atehortúa Pérez

Ingeniería Electromecánica

Bernardo Herrera Múnera

INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO

Mayo 2 de 2016

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO – FACULTAD DE INGENIERÍAS	Código	FDE 089
		Versión	02
		Fecha	2014-10-14

RESUMEN

El presente proyecto de grado, tuvo como propósito analizar y obtener la eficiencia térmica de un quemador de lecho poroso en la aplicación de biogás, considerado como combustible renovable, para procesos de cocción en industrias de alimentos, con el objetivo de que se logre la disminución de emisiones contaminantes con respecto a quemadores convencionales, y aumente la eficiencia en el proceso. Para dar cumplimiento a los resultados esperados, mediante un lecho poroso, ya instalado y en funcionamiento, se hicieron pruebas de la eficiencia del quemador con metano, gas licuado de petróleo (GLP) y biogás, buscando su estabilidad y midiendo los límites del flujo del gas y del flujo de aire, con el fin de comprobar si la combustión se mantiene estable sin presentar anomalías como desprendimiento de llama o retrollama. Se midió la eficiencia térmica por el método de ebullición de agua, las emisiones de gases de combustión se midieron por medio de un analizador de gases SICK GMS810 que tiene como rango de medida de 0% a 100% para el O₂, de 0 a 50.000 partes por millón (ppm) para el CO, de 0 a 25 ppm para CO₂ y de 0 a 5000 ppm para el NO. Los datos recopilados del CO₂, CO y NO fueron corregidos al 3% de O₂. Como producto de la investigación se hallaron resultados como que la eficiencia del quemador con lecho poroso funcionando con biogás es de 22%, la eficiencia con metano es de 28% y la eficiencia del GLP es de 37% demostrando que la eficiencia con el biogás es menor con respecto a la del GLP y del metano.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO – FACULTAD DE INGENIERÍAS	Código	FDE 089
		Versión	02
		Fecha	2014-10-14

RECONOCIMIENTOS

Nuestro más sincero agradecimiento al asesor y profesor Bernardo Herrera Múnera, por brindarnos una asesoría continua, acompañamiento en todo el proceso de creación y desarrollo de este trabajo de grado y por su gran disposición a todas nuestras consultas e inquietudes en relación al tema; un maestro que transmite el valor de la constancia y entrega, mediante calidad de enseñanza y guía para obtener los mejores resultados.

También agradecemos al Instituto Tecnológico Metropolitano ITM, por darnos la oportunidad de recibir un acompañamiento con altos estándares de calidad en Pro al desarrollo personal y educativo con el fin de proporcionarnos bases sólidas y direccionamiento a los objetivos futuros, a su vez por proveernos de buenas instalaciones con programas y herramientas necesarias para el desarrollo de nuestro trabajo de grado.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO – FACULTAD DE INGENIERÍAS	Código	FDE 089
		Versión	02
		Fecha	2014-10-14

ACRÓNIMOS

GLP	Gas Licuado de Petróleo
QLP	Combustión en lecho poroso
QC (GLP)	Quemador convencional de GLP
CO	Monóxido de carbono
CO ₂	Dióxido de carbono
NO	Monóxido de nitrógeno

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO – FACULTAD DE INGENIERÍAS	Código	FDE 089
		Versión	02
		Fecha	2014-10-14

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	6
2. MARCO TEÓRICO	8
3. METODOLOGÍA	11
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	16
5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO	21
6. REFERENCIAS	22

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO – FACULTAD DE INGENIERÍAS	Código	FDE 089
		Versión	02
		Fecha	2014-10-14

1. INTRODUCCIÓN

El biogás es la mezcla de gas resultante de la descomposición de la materia orgánica, realizada por acción bacteriana en condiciones anaerobias. La producción de biogás por descomposición es un modo útil para tratar residuos biodegradables, ya que produce un combustible que se puede utilizar para producir energía eléctrica mediante plantas generadoras a gas, en calderas y quemadores a gas, debidamente adaptados para su efecto.

El uso de quemadores porosos favorece la intercambiabilidad en aplicaciones de combustión de gases convencionales como Gas Natural (GN) y Gas Licuado de Petróleo (GLP), por combustibles renovables con bajo poder calorífico como el biogás.

Para poder determinar si se puede implementar el quemador de lecho poroso con biogás en operaciones de cocción industrial, es necesario determinar la eficiencia de calentamiento y combustión operando con este combustible, observando al mismo tiempo los índices de emisiones contaminantes como CO y NOx.

Para llevarlo a cabo se tendrá como objetivo principal, evaluar la eficiencia térmica de un quemador de lecho poroso usando biogás para procesos de cocción, y como objetivos específicos, se identificarán las condiciones de operación más estables del quemador de lecho, evaluando la eficiencia de combustión y las emisiones de gases de combustión; además se determinará la eficiencia de calentamiento del quemador de lecho poroso usando biogás para un proceso de cocción.

Organización de la tesis.

Inicialmente se trata el uso del biogás como combustible alternativo, seguido de los beneficios que trae el uso de material poroso en materia de combustión debido a que este favorece la intercambiabilidad de gases convencionales a gases de bajo poder calorífico.

El uso del lecho poroso es una alternativa que trae algunos beneficios, por la facilidad que se tiene de controlar la temperatura se pueden reducir las emisiones de CO, contribuyendo así con el ambiente; además este material es muy novedoso y eficiente, porque aumenta la difusión del combustible en la cual se recupera la energía y no hay propagación de llama.

Luego se describirá la metodología que se empleó para la caracterización de un quemador de lecho poroso y el método que se utilizó para las pruebas de eficiencia.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO – FACULTAD DE INGENIERÍAS	Código	FDE 089
		Versión	02
		Fecha	2014-10-14

Posteriormente, se mostrarán los resultados obtenidos mediante gráficos y análisis, durante el proceso y desarrollo de las pruebas de eficiencia con los resultados de las emisiones y puntos de temperatura mas alta, durante las pruebas realizadas con biogas, metano y GLP comparados con un quemador de GLP convencional.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO – FACULTAD DE INGENIERÍAS	Código	FDE 089
		Versión	02
		Fecha	2014-10-14

2. MARCO TEÓRICO

Las regulaciones ambientales cada vez más estrictas y con una crisis energética emergente, exigen el desarrollo continuo de los sistemas de combustión con emisiones contaminantes bajas y altas eficiencias.

La combustión en medio poroso, abreviado como (QLP) ha demostrado ser una de las opciones posibles para hacer frente a los problemas mencionados anteriormente desde el punto de vista técnico y económico. La combustión en medios porosos difiere significativamente de las llamas homogéneas, principalmente por los siguientes factores:

1. La alta superficie interior del medio sólido poroso resulta en la transferencia eficiente de calor entre el combustible y el sólido inerte.
2. La dispersión del flujo reactivo a través del medio poroso aumenta la difusión efectiva y la transferencia de calor entre las fases. De este modo se activa un método interno de recuperación de energía. Este proceso facilita un proceso de combustión que garantiza estabilidad en una amplia gama de velocidades de reactivos, relaciones oxidante-combustible, y potencia. Como la combustión se vuelve más eficiente la posibilidad de formación de NO_x y CO se reduce.

La combustión de un quemador de medio poroso (QLP), pertenece a la interacción heterogénea entre dos diferentes medios, usualmente un sólido y un gas. Los sistemas estacionarios y transitorios son los dos métodos más utilizados en el QMP. El primer método, el estacionario, es ampliamente utilizado en quemadores radiantes, debido a la alta emisividad del sólido. En este punto la zona de combustión es estabilizada dentro de una matriz porosa por medio de la imposición de condiciones límite y no hay propagación de la llama.

El segundo método, el transitorio, lleva a la llamada teoría de la llama con “exceso de entalpía”, donde una zona de reacción inestable posee la libertad de propagarse libremente como una onda de combustión hacia arriba o hacia abajo, de acuerdo a las variaciones positivas o negativas de la energía. Este tipo de combustión dentro de un medio poroso inerte, también es conocido como combustión de filtración.

Muchas de las propiedades que posee la combustión en medios porosos inertes se pueden explicar a través del principio de exceso de entalpía, en que la llama producida en la zona de combustión transfiere calor convectivamente hacia la inmensa superficie del medio poroso circundante que mediante conducción y radiación transfiere calor aguas arriba precalentando la mezcla de combustible. La recirculación de energía desde la zona de post-combustión hacia la zona de combustión da como resultado temperaturas por encima de la temperatura de llama adiabática que

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO – FACULTAD DE INGENIERÍAS	Código	FDE 089
		Versión	02
		Fecha	2014-10-14

sustentan altas tasas de reacción. Este proceso se esquematiza en la *Figura 1*. (Grupo de investigación de combustión en medios porosos, s.f.)

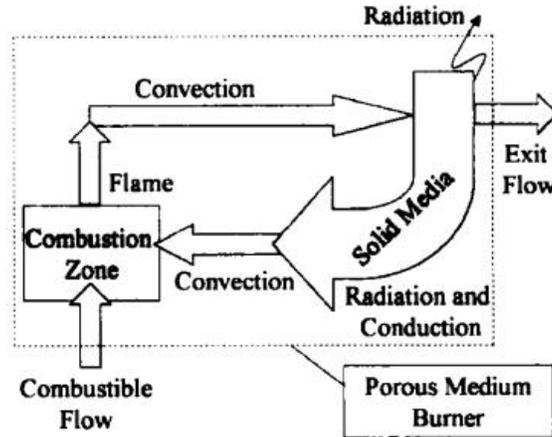


Figura 1. Esquema de la circulación de energía al interior de un quemador de lecho poroso. Fuente: Departamento de Ingeniería mecánica, Universidad Técnica Federico Santa María de Chile, 2011.

Gracias a este fenómeno la combustión en medios porosos presenta varias ventajas y particularidades con respecto a la llama libre, las más importantes son:

- Un eficiente control de las temperaturas de combustión permite disminuir las emisiones de NOx y CO.
- La alta capacidad térmica del medio poroso asegurada por el exceso de entalpía permite una gran estabilidad del proceso de combustión lográndose quemar mezclas extremadamente ricas o pobres. Esta misma estabilidad permite que en un mismo equipo se logren quemar las diferentes mezclas, logrando una alta modulación de potencia y relación de equivalencia.
- De la combustión de mezclas muy ricas se logra generar hidrógeno y gas de síntesis como resultado de la oxidación parcial de los combustibles.
- De la combustión de mezclas muy pobres se logra valorizar gases de desecho con bajo poder calorífico, tales como el biogás.
- La estabilidad lograda por los quemadores de medios porosos, permite tener amplios rangos de modulación, es decir, en un mismo equipo se puede trabajar con mezclas.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO – FACULTAD DE INGENIERÍAS	Código	FDE 089
		Versión	02
		Fecha	2014-10-14

Los sistemas de combustión de medio poroso, pueden trabajar con un flujo premezclado (combustible y aire, forzados a través de un extremo), o, más escasamente con un flujo de combustible no premezclado que se mezcla con aire a contraflujo en la salida. Los quemadores de medio poroso premezclados, están conformados de dos zonas secuenciales: La primera zona donde la premezcla de aire/combustible entra a una matriz sólida caliente de baja porosidad; donde ésta, es calentada hasta que entra a la matriz secundaria, más caliente y más mas porosa, donde la llama en los intersticios se estabiliza por si misma en un rango amplio de la relación aire/combustible. Dependiendo de la aplicación, una tercera sección puede ser agregada al quemador, con un intercambiador de calor compacto, como se muestra en la *Figura 2*. (Abdul Mujeebu, Abdullah, Abu Bakar, Mohamad, & Abdullah, 2009).

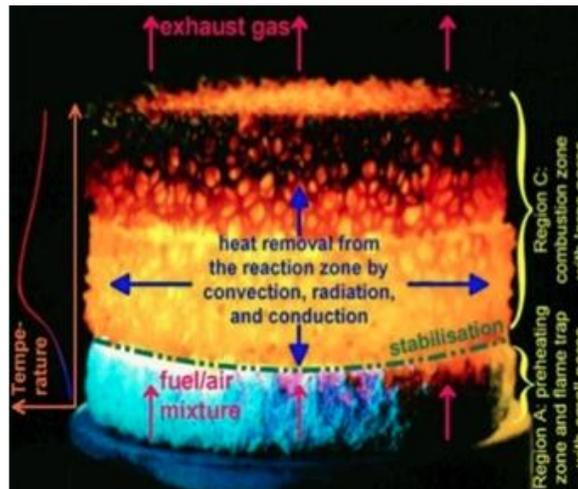


Figura 2. Esquema de una cámara de combustión premezclada de dos capas en un medio poroso. (Abdul Mujeebu, Abdullah, Abu Bakar, Mohamad, & Abdullah, 2009)

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO – FACULTAD DE INGENIERÍAS	Código	FDE 089
		Versión	02
		Fecha	2014-10-14

3. METODOLOGÍA

Fase 1: Caracterización de un quemador poroso.

En esta fase se realizaron pruebas de puesta a punto del quemador de lecho poroso usando biogás. Para ello se realizaron las siguientes actividades:

- 1.1 Ajuste de la potencia más adecuada de operación por medio de control de flujo de biogás, este control se hizo por medio de un medidor/controlador de flujo másico.
- 1.2 Ajuste del factor de aireación por medio del control de flujo de aire comprimido. Este control se llevó a cabo por medio de un rotámetro y una válvula manual.
- 1.3 Para cada potencia y cada factor de aireación se mide la eficiencia de combustión por medio de la concentración de CO₂, O₂, NO y CO en los gases de combustión. La medición de esta concentración se realizó con un analizador de gases infrarrojo para CO₂, CO, NO y paramagnético para O₂.
- 1.4 En cada condición de potencia y factor de aireación se evaluó la temperatura superficial del lecho poroso por medio de un pirómetro infrarrojo.
- 1.5 En la FIGURA 3 se ilustra el montaje necesario para y los elementos de control y de adquisición de datos necesarios para las pruebas realizadas en el quemador de lecho poroso con cada uno de los combustibles.

- Esquema de Montaje Experimental:

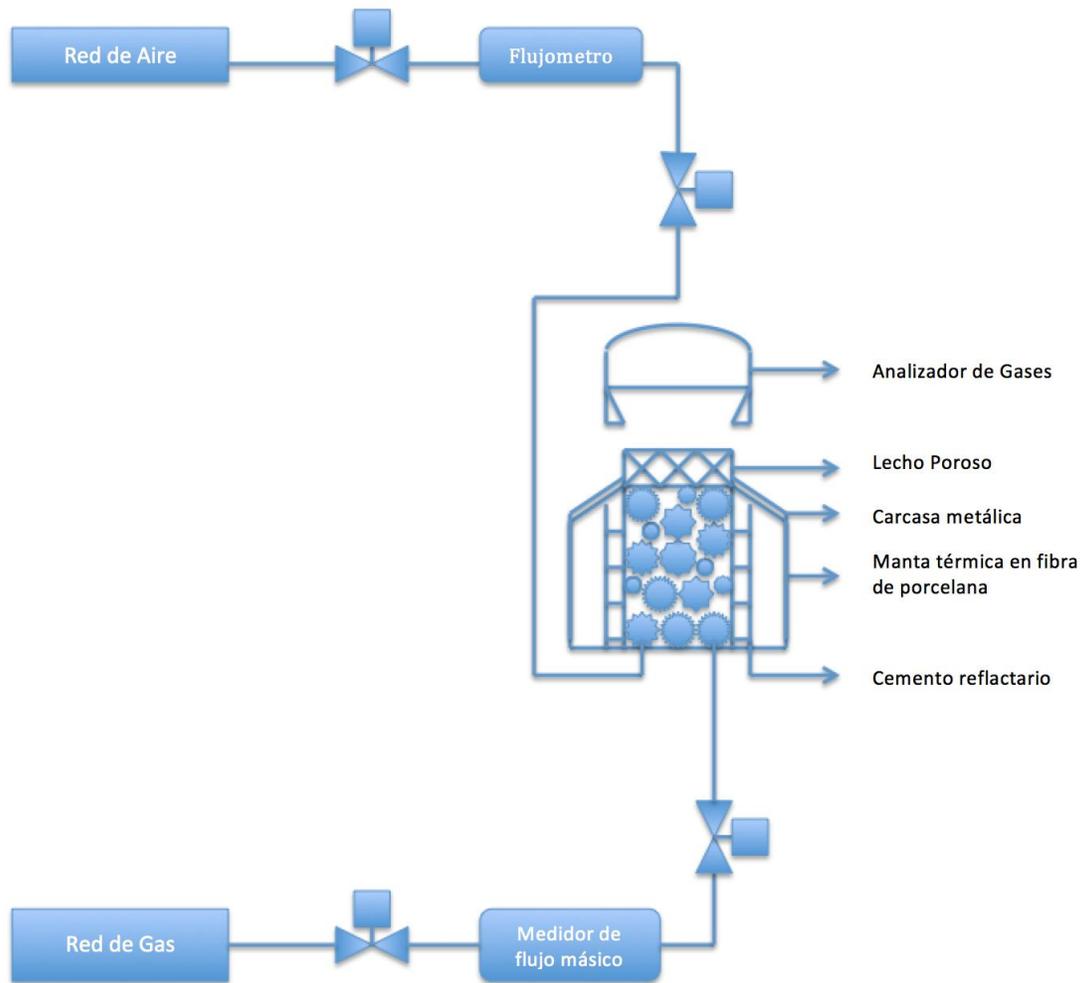


FIGURA 3 Esquema de montaje experimental utilizado para pruebas de eficiencia y estabilidad

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO – FACULTAD DE INGENIERÍAS	Código	FDE 089
		Versión	02
		Fecha	2014-10-14

Fase 2: Determinación de la Eficiencia Térmica

Para cada potencia y factor de aireación de operación estable obtenidos en la Fase 1 se determinó la eficiencia de calentamiento por medio de la prueba de ebullición de agua la cual consiste en determinar el tiempo que tarda una masa conocida de agua para alcanzar su punto de ebullición partiendo desde temperatura ambiente. La eficiencia térmica se calcula entonces como:

$$n = \frac{M_{H_2O} * C_{p_{H_2O}} * (T_{eb} - T_{\infty})}{m_{Comb} * PCS_{Comb} * t_{eb}}$$

Dónde:

M_{H_2O} = Masa de agua (kg)

$C_{p_{H_2O}}$ = Calor específico del agua (kJ / kg * °C)

T_{eb} = Temperatura de ebullición del agua (°C)

T_{∞} = Temperatura ambiente (°C)

t_{eb} = Tiempo para alcanzar la ebullición del agua desde temperatura ambiente (segundos)

m_{Comb} = Flujo másico del combustible (kg/s)

PCS_{Comb} = Poder calorífico del combustible (kWh/kg).

Para el cálculo del flujo másico fue necesario hacer la conversión de flujo volumétrico a flujo másico, debido a que el medidor empleado para obtener el flujo del combustible arrojó los valores en flujo volumétrico, para lo cual se empleó el siguiente calculo.

$$m_{comb} = Q * \rho_{comb} * P_{T(comb)} * Q_{(corregido)}$$

Donde:

m_{Comb} = flujo másico del combustible (Kg/s)

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO – FACULTAD DE INGENIERÍAS	Código	FDE 089
		Versión	02
		Fecha	2014-10-14

Q = caudal del combustible medido (Lt/min)

ρ_{comb} = densidad del combustible (Kg/m³)

$P_{T(\text{comb})}$ = potencia del combustible

$Q_{\text{(corregido)}}$ = caudal corregido.

Para cada combustible, el flujo másico se halló como se ilustra en el siguiente modelo de cálculo (utilizando como ejemplo el GLP):

$$m_{\text{comb}} = \left(2.472 \left(\frac{\text{lt GLP}}{\text{min}} \right) * 2.21 \left(\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right) * \left(\frac{1\text{m}^3}{1000\text{lt}} \right) * \frac{1\text{min}}{60\text{s}} \right) * (4.51\text{Kw} * 6.7 \left(\frac{\text{lt}}{\text{min}} \right)) = 0.27$$

Para cada combustible, la eficiencia térmica del proceso de cocción se determinó como se ilustra en los siguientes modelos de cálculo:

- Eficiencia Térmica para GLP:

$$\eta = \frac{\frac{1 * 4,18 * (92,4 - 24,3)}{204}}{0,27 * 13,74} = 0,367$$

- Eficiencia Térmica para Metano:

$$\eta = \frac{\frac{1 * 4,18 * (92,4 - 24,3)}{259}}{0,24 * 15,45} = 0,289$$

- Eficiencia Térmica para Biogás:

$$\eta = \frac{\frac{1 * 4,18 * (92,4 - 24,3)}{226}}{0,43 * 12,12} = 0,239$$

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO – FACULTAD DE INGENIERÍAS	Código	FDE 089
		Versión	02
		Fecha	2014-10-14

En la FIGURA 4 **Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, se ilustra el esquema del montaje experimental necesario para la recolección de datos en las pruebas de eficiencia del quemador:

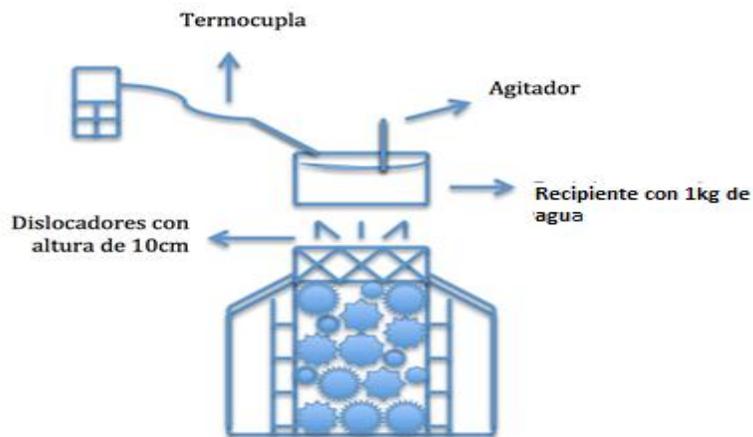


FIGURA 4. Esquema de montaje experimental para pruebas de eficiencia.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO – FACULTAD DE INGENIERÍAS	Código	FDE 089
		Versión	02
		Fecha	2014-10-14

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como resultados finales obtenidos en la investigación y desarrollo de este trabajo de grado, se encontraron las siguientes gráficas, de las cuales se pueden observar los resultados obtenidos durante las pruebas de cocción en un quemador de lecho poroso realizadas en el laboratorio, usando metano, propano y biogás como combustibles, midiendo sus emisiones y eficiencias de cada uno.

A su vez, también se realizaron dichas pruebas con un quemador convencional, con el fin de hacer un comparativo en cuanto a las variables de eficiencias, temperaturas y emisiones.

Eficiencias de cocción con diferentes combustibles:

En la FIGURA 5 se tiene como indicadores los tres tipos de combustibles con su respectiva eficiencia producida en el quemador de lecho poroso, en conjunto con la eficiencia del quemador convencional usando el combustible GLP (QC (GLP)). Se puede observar que la mayor eficiencia presentada según los resultados es para el GLP comparado con el biogás, por lo que podría decirse que si bien la presencia de mayor cantidad de CO₂ puede beneficiar la transferencia de calor por radiación, en este caso está primando la convección. Esto es, la mayor cantidad de CO₂ en los productos de combustión es producido por el biogás, de lo que se esperaría que presentaran una mayor eficiencia con respecto al GLP, combustible que posee menor cantidad de CO₂ en sus productos de combustión. Sin embargo, dicho comportamiento se puede explicar entendiendo que las concentraciones del CO₂ están optando el papel de sumidero de calor, afectando de esta manera la eficiencia de la combustión. El GLP no se ve tan afectado por dicho fenómeno debido a que su poder calorífico es mayor, comparado con los otros dos combustibles utilizados (biogás, metano).

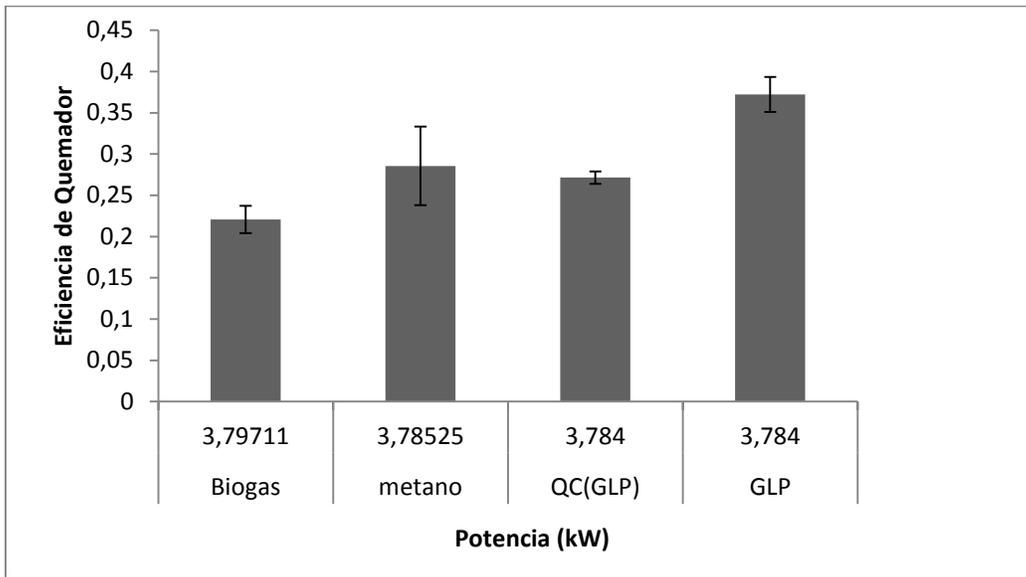


FIGURA 5. Eficiencia de cocción del quemador en cada combustible.

Emisiones de CO en pruebas de eficiencia

En la FIGURA 6, se muestran las emisiones de CO en las pruebas realizadas de eficiencia a cada uno de los combustibles: La presencia del CO es mayor en el biogás con 500 ppm que en los demás combustibles. En las mediciones realizadas se encontró que a mayor presencia de CO₂ en el combustible, hay mayor concentración de CO en los gases de escape de la combustión. La mezcla que se realizó para obtener el biogás fue de 80% de metano y un 20% de CO₂ lo que demuestra la hipótesis planteada.

Cuando se tiene presencia de inertes en el combustible, parte del calor generado en la reacción de combustión es consumido en el calentamiento de estas especies y probablemente se crean “zonas frías” en las que se puede generar una combustión incompleta y se genere más CO.

También cabe mencionar que el diámetro del poro empleado para la combustión fue de 2mm, dimensión menor al diámetro crítico de enfriamiento del GLP, metano y biogás.

Los niveles de CO incrementaron con el aumento de la carga térmica. Esto se debe a que tiene relación con el menor tiempo en que la especie permanece en el quemador poroso, dando lugar a un mayor porcentaje en las emisiones; a su vez, se puede indicar que el aumento del carbono de la

mezcla, también es parcialmente responsable de la diferencia entre el biogás y metano en los niveles del CO.

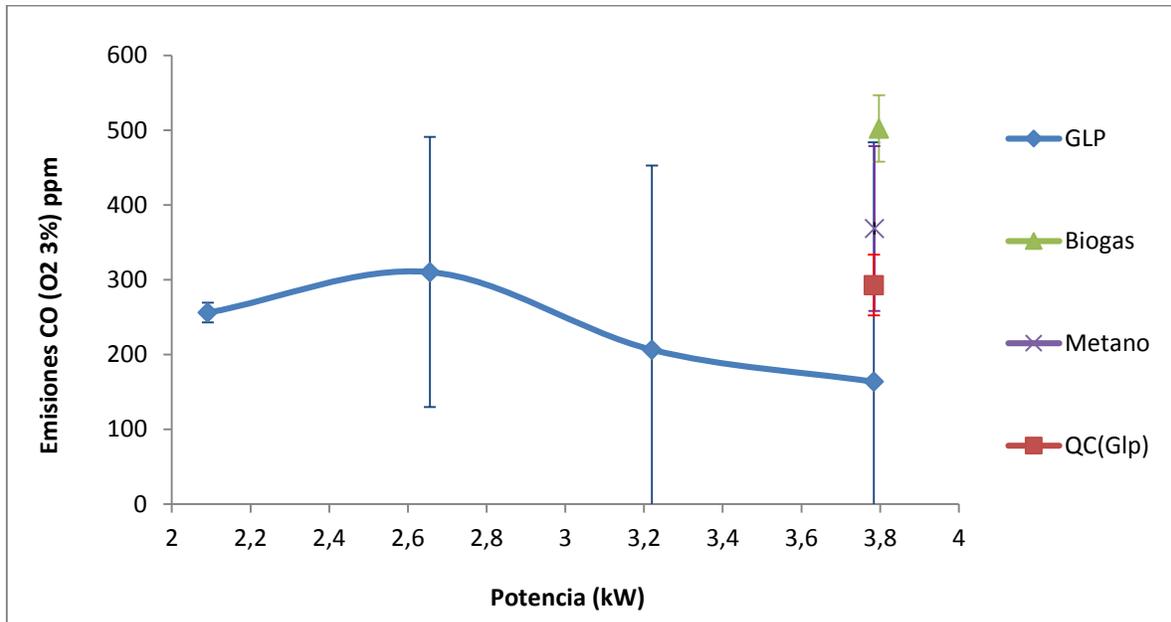


FIGURA 6. Emisiones de CO para los combustibles.

Emisiones de NO

En la

FIGURA 7, se obtienen los resultados de emisiones de NO durante las pruebas de eficiencia, de las cuales se puede observar que el GLP en un quemador convencional representa el valor más alto en la emisiones de NO que en los demás combustibles; mientras que usando el mismo combustible en un quemador de lecho poroso se logró observar que las emisiones se reducen notablemente gracias a la posibilidad de controlar la temperatura y la mezcla aire combustible del quemador.

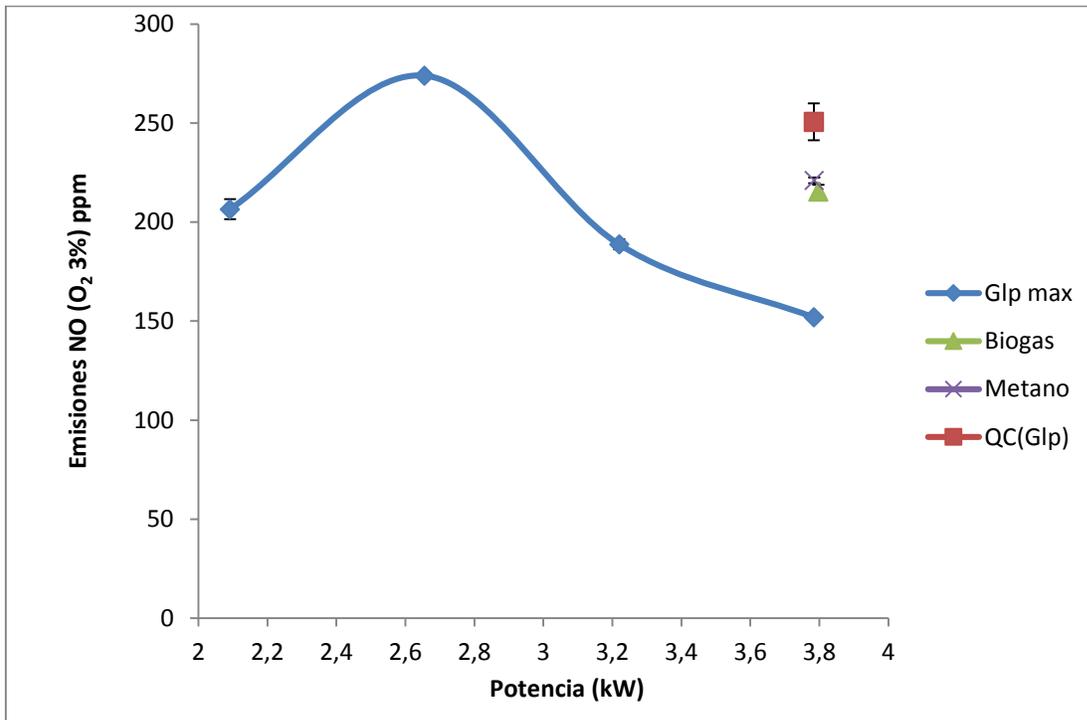


FIGURA 7. Emisiones de NO.

Temperatura alcanzada en el lecho poroso de cada combustible

En la FIGURA 8, se evidencia la temperatura del lecho poroso de cada combustible alcanzada en la prueba de cocción, de lo cual podemos decir que el GLP es el combustible con mayor temperatura con 980°C en relación al biogás con 950°C, este comportamiento se puede atribuir al impacto del CO₂ que cumple un papel de diluyente, lo cual lleva a disminuir el tiempo de permanencia y las temperaturas adiabáticas de la llama en la matriz porosa, lo que implicaría unas temperaturas más bajas. (Christos & Fountini, 2013).

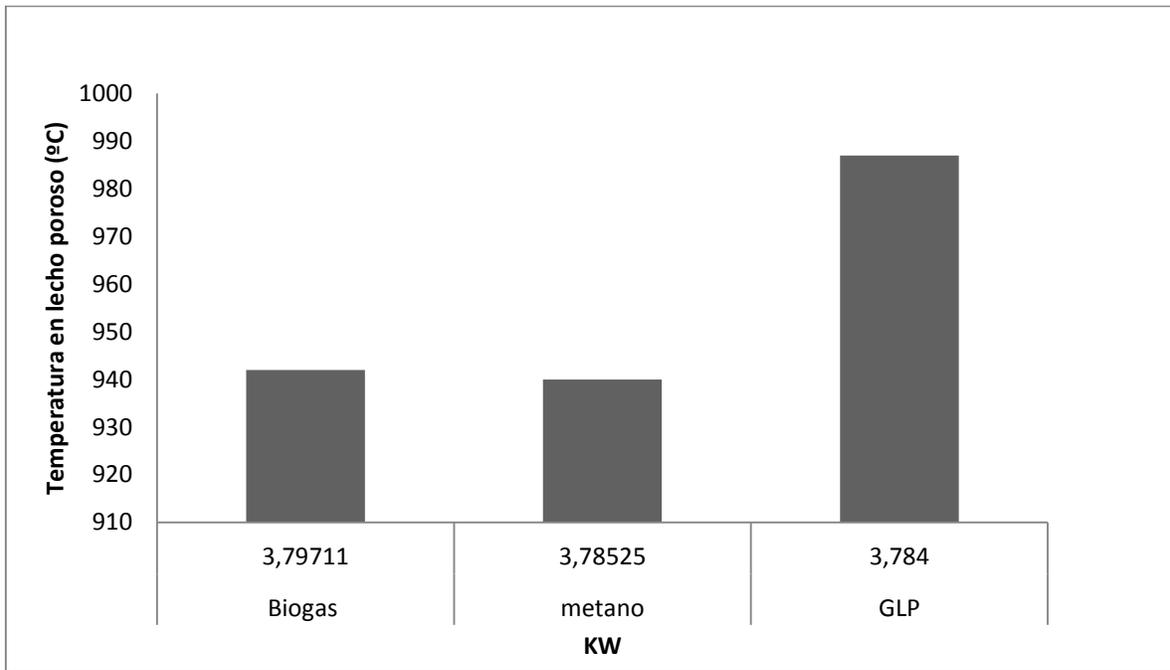


FIGURA 8. Temperatura alcanzada en cada combustible.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO – FACULTAD DE INGENIERÍAS	Código	FDE 089
		Versión	02
		Fecha	2014-10-14

5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

La eficiencia térmica más alta para la cocción de un kilogramo de agua, se obtiene usando como combustible el GLP en el quemador de lecho poroso. Lo anterior es debido a su poder calorífico, el cual es mayor que en los otros combustibles empleados en las pruebas: Además, el GLP no se afecta por las emisiones de gases inertes en sus productos de combustión, que actúan como sumideros de calor. Las altas emisiones de estos gases se deben a una combustión incompleta que se presenta en el diámetro del poro del lecho, el cual es menor al diámetro crítico de enfriamiento de los combustibles empleados.

La temperatura alcanzada más alta fue de 980°C por el combustible GLP debido a la poca presencia de CO₂, que actúa como diluyente en los otros combustibles, afectando sus temperaturas disminuyendo el tiempo de permanencia de las temperaturas adiabáticas en el medio de combustión para el caso del lecho poroso.

Se recomienda indagar más a fondo los cambios que se pueden generar en la potencia y las emisiones cambiando la densidad del poro del lecho.

Para trabajos futuros se recomienda indagar la capacidad térmica que posee el lecho poroso para retener el calor en un lapso de tiempo determinado cuando la combustión es interrumpida.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO – FACULTAD DE INGENIERÍAS	Código	FDE 089
		Versión	02
		Fecha	2014-10-14

6. REFERENCIAS

Artículo de revista científica

M. Abdul Mujeebu, M.Z. Abdullah, M.Z. Abu Bakar, A.A. Mohamad M.K. Abdullah. (2008). Applications of porous media combustion technology. Applied Energy.

Artículo de revista científica

Jarruwat Charoensuk, Arwut Lapidattanakun. (2011). On flame stability, temperature distribution and burnout of air-staged porous media combustor firing LPG with different porosity and excess air.

Artículo de revista científica

Christos Keramiotis, Maria A. Founti. (2013). An experimental investigation of stability and operation of a biogas fueled porous burner.

Autor: Grupo de investigación de combustión en medios porosos.

Título: Hidrógeno y gas de síntesis.

Disponible en: <http://www.combustion.mediosporosos.usm.cl>

Consultado: Septiembre 2 de 2014

Autor: Universidad David Jeison - Católica de Valparaíso

Título: Biogas como combustible renovable no convencional

Disponible: <http://www.upo.es/portal/impe/web/contenido/9940206d-7138-11e2-a36e-3fe5a96f4a88>

Consultado : Septiembre 5 de 2014

Autor: ArgenBio – Consejo Argentino.

Título: Los Biocombustibles.

Disponible en:

<http://www.porquebiotecnologia.com.ar/index.php?action=cuaderno&opt=5&tipo=1¬e=58>

Consultado: Septiembre 9 de 2014

Autor: Pablo Miguel Gomez Carrillo, Permacultura Mexico, diseño holístico - agricultura regenerativa.

Título: Biogas, energía renovable.

Disponible en:

<http://www.porquebiotecnologia.com.ar/index.php?action=cuaderno&opt=5&tipo=1¬e=58>

Consultado: Septiembre 18 de 2014.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO – FACULTAD DE INGENIERÍAS	Código	FDE 089
		Versión	02
		Fecha	2014-10-14

FIRMA ESTUDIANTES Adriana Atehortúa
Carlos Andres Perez

FIRMA ASESOR [Signature]

FECHA ENTREGA: Jul. 6/16

FIRMA COMITÉ TRABAJO DE GRADO DE LA FACULTAD _____

RECHAZADO ___ ACEPTADO ___ ACEPTADO CON MODIFICACIONES _____

ACTA NO. _____

FECHA ENTREGA: _____

FIRMA CONSEJO DE FACULTAD _____

ACTA NO. _____

FECHA ENTREGA: _____