



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL AREA
MECANICA
DE LAS
INGENIERIAS

FoDAMI

USO DE BIOGAS EN MOTORES DUALES (DIESEL – BIOGAS)

Barbieri Andres^{*1}, Samat David², Bazan Roberto³

Instituto de Mecánica Aplicada, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de San Juan,

Av. Libertador Gral. San Martín 1109 oeste San Juan, Argentina,

email: {^{*1} abarbieri, ² dsamat, ³ rbazan}@unsj.edu.ar

RESUMEN

El presente trabajo se basa en el estudio y análisis del funcionamiento estático de un motor diesel trabajando en modo dual (diesel -biogás) para la obtención de energía (para extracción de agua o energía eléctrica) en zonas rurales preferentemente marginales.

Por lo anterior, este trabajo centró el estudio en la obtención de biogás a partir de los desechos agrícolas ganaderos existentes en la provincia. Del mismo modo se estudió la gran variedad de biodigestores utilizados comúnmente para generación del Biogás. Se realizó la elección y diseño de los biodigestores, como así también el cálculo de la demanda de biogás (en el motor diesel) y la producción de biogás según nuestro sistema. Así mismo, se ejecutó el proceso de compresión y almacenamiento del biogás trabajando con los distintos elementos (compresor, tubos de almacenamiento, reguladores de presión, etc.). Se realizaron ensayos en el motor diesel trabajando en modo dual y así, se determinó la bondad del biogás generado. Los resultados obtenidos en cada uno de los ensayos determinaron que el biogás (60%CH₄ y 40%CO₂) como combustible gaseoso puede reemplazar el combustible diesel en proporciones de 35% para funcionamiento en régimen estacionario. Este porcentaje es bajo frente a un 85% 90% de reemplazo de diesel logrado con GNC (dual diesel-gnc) lo que significa que se debe mejorar la calidad de biogás mediante procesos de purificación. Con la intención de mejorar la combustión del motor dual basándonos en las bondades del hidrogeno como combustible gaseoso, se realizaron algunos ensayos con una mezcla gaseosa biogás hidrogeno observado mejoras prometedoras, por lo que se pretende estudiar y analizar la cantidad de hidrogeno a incorporar al biogás para mejorar el rendimiento de la mezcla gaseosa.

Palabras Claves: Motor dual, biogás, diesel, GNC, hidrogeno.



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL AREA
MECANICA
DE LAS
INGENIERIAS

FoDAMI

1. INTRODUCCIÓN

El funcionamiento estático de un motor diesel trabajando en modo dual (diesel -biogás), se utiliza al combustible líquido (diesel) como piloto para encender la mezcla gaseosa, principal combustible (biogás o gnc -aire), se pretende usar a dicho motor para la obtención de energía (para extracción de agua o energía eléctrica) en zonas rurales. A los efectos de cumplimentar los objetivos propuestos se implemento un biodigestor tipo bach utilizando como biomasa el estiércol de vaca, dicho biogás se utilizo para realizar los ensayos en un motor diesel John Deere y MWM existentes en el laboratorio de Maquinas Térmicas de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de San Juan.

2. Descomposición Anaeróbica de la biomasa.

Esta descomposición ocurre en ausencia de oxígeno (sin el aire) en el interior de un biodigestor, aparato que facilita el crecimiento y la proliferación de un grupo de bacterias anaeróbicas metanogénicas, que descomponen y tratan los residuos dejando como resultado final un gas combustible conocido como *biogás*, además produce un efluente líquido alcalino rico en nutrientes y materia orgánica estabilizada. En la descomposición anaeróbica el agente receptor de los electrones desprendidos en la degradación es otro compuesto distinto al oxígeno. Para esta descomposición, la energía desprendida del proceso de descomposición es receptada por los enlaces de metano. La energía restante se emplea, al igual que en la descomposición aerobia, en los procesos metabólicos y en la liberación del calor.

$$\Delta \text{Energía} = \text{Biomasa} + \text{Calor} + \text{CH}_4 \quad (1)$$

El CH_4 producido en este proceso es el último eslabón de la cadena de microorganismos que degradan la materia orgánica y devuelven los productos de la descomposición al medio ambiente.

Bajo este concepto, el proceso por el cual se obtiene el biogás es una fuente de energía renovable, que se obtiene a partir de sustratos de escaso valor económicos y que, además, son una fuente de contaminación y enfermedades.

3. Cálculo de biogás necesario para el funcionamiento del motor dual (diesel -gas).

En primer lugar se procede a saber con exactitud las características del motor diesel a ensayar en el banco de prueba.

Motor a ensayar: Diesel inyección directa.

Marca: JHON DEERE 3 CILINDROS.



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL AREA
MECANICA
DE LAS
INGENIERIAS

FoDAMI

Cilindrada: 2695cc, Relación de compresión: 17:1, Potencia Máxima 43HP @ 2250rpm.

Consumo específico: $200 \frac{gr}{CV.h}$ (2)

Con el consumo específico Ecuación (2) se puede determinar la cantidad de combustible diesel que consume el motor en gramos, para obtener una determinada potencia en CV, durante una hora. Por lo tanto, se puede utilizar este dato para hacer la conversión de biogás que requiere un motor de este tipo para entregar una determinada potencia en una hora. Teniendo en cuenta la densidad del gasoil que es de 0.74gr/cm³, podremos obtener el consumo específico en litros/CV.h.

Por lo tanto

$$\frac{200 \frac{gr}{CV.h}}{740 \frac{gr}{litros}} = 0.27 \frac{litros}{CV.h} \quad (3)$$

La Ecuación (3) nos dice que el motor precisa 0.27 litros de gasoil para entregar 1CV durante una hora. Los ensayos comparativos se realizaron en un régimen de revoluciones constante de 1500 rpm correspondiente a 16CV y con un torque de 8kg. Esto quiere decir que si utilizamos combustible diesel solo sin gas, necesitaremos alrededor de 4.32 litros de gas-oil.

Para poder realizar el cálculo de la cantidad de biogás, se estima que 1m³ de biogás equivale a 0.55litros de combustible diesel [3], por lo tanto en nuestro caso:

0.55 litros (gas-oil) → 1m³ de biogás 4.32 litros (gas-oil) → 7.85m³ de biogás

Con este análisis concluimos que en el proyecto serán necesarios al menos 7.85m³ de biogás para poder ensayar el motor entregando una potencia de 16CV durante una hora de ensayo.

4. Cálculo de la producción de biogás según nuestro biodigestor.

Se recuerda que los digestores tipo batch requieren una condición especial y es la de tener entre un 5 y 10% de sólidos totales en su interior para tener una buena inoculación de la materia prima. Toda materia orgánica está compuesta por agua y una fracción de sólidos, llamada sólidos totales. Esta fracción es la que reacciona para la fermentación metanogénica del biogás. Ahora procedemos a determinar el porcentaje de agua a agregar a la materia prima seleccionada.

El porcentaje de sólidos se puede determinar de la Tabla 1, [4] pero dicha tabla tiene valores estimados, es por eso que se decidió determinar el porcentaje de sólidos de la materia orgánica utilizando un instrumento analizador de humedad.



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL AREA
MECANICA
DE LAS
INGENIERIAS

FoDAMI

Se introdujo en el instrumento una porción de estiércol de vaca, se procesó para deshidratarlo obteniendo los siguientes valores, humedad extraída 72.21%, y sólidos totales 27.79%.

5. Determinación de los sólidos totales para nuestro sistema de digestores.

Para disminuir los costos de construcción de nuestro digestor adoptamos la utilización de un tanque recuperado de capacidad de 200 litros. De acuerdo a la experiencia de otros proyectos se trabajo a una temperatura de 30C°. Se debe completar en un 80% de su volumen materia orgánica, y el 20% del volumen restante debe quedar libre para que se acumule el biogás durante el proceso. Entonces se dispuso de un volumen de 160 litros de volumen destinado a la materia orgánica, este volumen equivale a un 10% de sólidos totales.

Un digestor tipo batch debe contener un 10% (de peso en volumen) de sólidos totales; podemos decir que solo debemos contener 16kg de sólidos totales en nuestro digestor.

Para el tanque reactor con estiércol de vaca:

% sólidos totales (S.T): 27.79--- Relación C/N: 25:1---Producción de biogás: 0.25 m³/kg S.T

De lo deducido anteriormente, tenemos:

1kg estiércol fresco de vaca → 0.278 kg S.T---16 kg S.T → 57.57 kg estiércol de vaca

Es decir que se necesitan 57.57 kg de estiércol fresco de vaca para obtener el 10% de sólidos totales en nuestro digestor. Si observamos de los 160 litros en volumen del digestor solo 57.57litros serán de materia orgánica, los 102,43 litros restantes serán de agua que se agregará en el digestor.

En cuanto a la producción de biogás con ese volumen de materia orgánica, se tendrá en cuenta la Tabla 1, [4] para determinar el caudal de biogás producido por kg de sólidos totales.

Tabla1 Producción de biogás en base a sólidos totales.

Clase de animal	% por peso vivo		%del material de digestión		P=Producción de biogás (m ³ gas/ kg. De SO)
	PE-Estiércol	PO-Orina	% EST Sólidos	% SO Sólidos orgánicos	
Vacunos	5	4	15-16	13	0,250
Cerdos	2	3	16	12	0,350
Caprinos-Ovejas	3	1,5	30	20	0,200
Caballos	5	4	25	15	0,250
Avícolas, gallinas	4,5	4,5	25	17	0,400
Humanos	1	2	20	15	0,300

1kg S.T → 0.30 m³ de biogás



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL AREA
MECANICA
DE LAS
INGENIERIAS

FoDAMI

16kg S.T \longrightarrow 4.8 m³ de biogás.

Se puede decir que un tanque de 200 litros produce un volumen de biogás de aproximadamente 4.8 m³ utilizando estiércol de vaca. El estiércol de vaca como se puede observar cuenta con una relación C/N de 25:1, relación adecuada para la fermentación anaeróbica, es decir que se puede utilizar solo para producir de biogás, no necesita mezclarse con ninguna otra materia orgánica, es realmente un buen agente formador de biogás.

6. Adaptación de motor Diesel para funcionamiento dual.

En la Figura 1, se muestra un esquema general de un motor diesel aspirado en el cual el ingreso del biogás se realiza mediante un mezclador instalado en el conducto de admisión; el gas (GNC ó Biogás) es obligado a ingresar al motor a través de la depresión que se genera en cada uno de los cilindros en su fase de admisión.

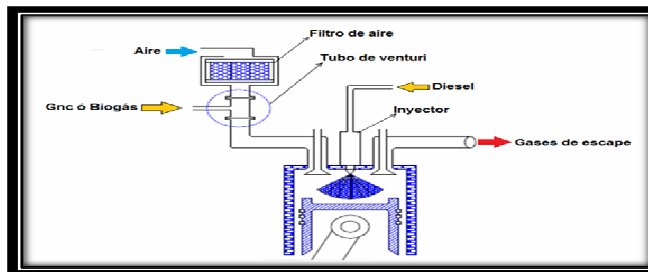


Figura 1. Esquema de motor Diesel en funcionamiento dual.

El gas se encuentra almacenado en los tubos de almacenamiento, y para ingresar al motor lo debe hacer a través de un dispositivo que trabaje en función de la depresión reinante en el tubo de admisión. Este dispositivo comúnmente se denomina regulador de presión, ya que me permite regular la presión de alimentación del gas al motor. Debido a la experiencia en laboratorio cuando se ensayan motores duales (Diesel-Gnc) los valores de reemplazo de combustible líquido varían de un ensayo a otro cuando se trabajaba con grandes diferencias en las presiones de almacenamiento del combustible gaseoso. Es decir que el caudal de combustible gaseoso entregado al motor varía con grandes variaciones de presión en los tubos de almacenamiento. Entonces para realizar ensayos comparativos entre un motor dual con diesel-Gnc y el mismo motor trabajando con diesel-Biogás, es necesario que los mismos se realicen con las mismas condiciones de presión de almacenamiento de gas en el tubo, se optó por trabajar con dos reguladores en serie



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL ÁREA
MECÁNICA
DE LAS
INGENIERÍAS

FoDAMI

para independizarse de la presión de almacenamiento en los tubos que contienen el combustible gaseoso.

7. Ensayo en Motor Diesel John Deere.

Este ensayo está basado en poner en funcionamiento un motor diesel dual y realizar comparaciones trabajando con diesel 100%, Diesel-GNC y Diesel-Biogás. En la Figura 2 se muestra el motor John Deere y su dinamómetro que se encuentran ubicados en la sala de ensayo.

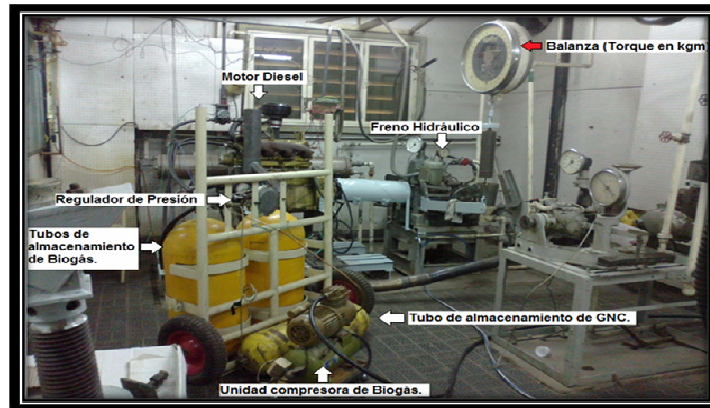


Figura 2. Sala de ensayo del laboratorio de máquinas térmicas.

Por medio de experiencias anteriores en motores duales, se realizó el ensayo del motor solamente con combustible Diesel para utilizarlo como referencia, luego se calculó la potencia y consumo específico para torque constante en un determinado rango de revoluciones. De modo que cuando el motor se encuentra en funcionamiento dual (diesel-Gnc ó diesel-Biogás), se puede medir el porcentaje de combustible líquido que fue reemplazado por el combustible gaseoso, para un mismo torque y un mismo número de revoluciones.

Por lo anterior, se observa en la Figura 3, el porcentaje de combustible líquido que se utilizó en el motor dual (Diesel-GNC y Diesel-Biogás), erogando un mismo torque en un rango de revoluciones de 1250 a 2000rpm.

Se observa que el porcentaje de combustible diesel utilizado en el motor dual con GNC, es relativamente menor al motor dual funcionando con biogás, esto se debe a que este combustible cuenta con el 98% de combustible gaseoso denominado gas metano (CH₄) y por lo tanto un poder calorífico de aproximadamente 9185 Kcal/m³, comparado con el biogás que posee un 60%(CH₄) y un poder calorífico de 5335 Kcal/m³. [3]



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL AREA
MECANICA
DE LAS
INGENIERIAS

FoDAMI

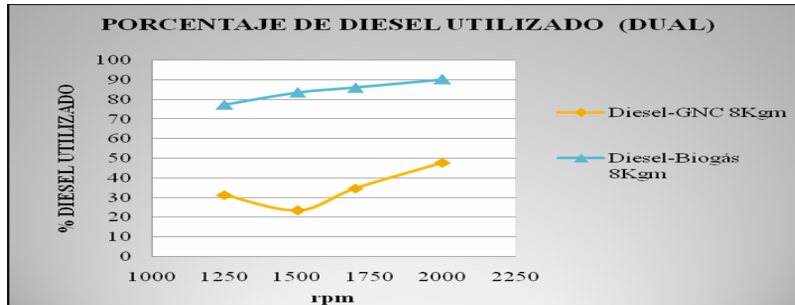


Figura 3. Grafica de % de combustible líquido utilizado.

Debido a los resultados obtenidos en el ensayo anterior se pensó en la manera de aumentar el caudal de biogás trabajando sobre el sistema de alimentación de gas, esto se logró ingresando biogás al motor con una presión mayor que la atmosférica. Es decir que el suministro de gas al motor no era mediante una simple aspiración sino que se entregaba al motor una presión positiva 1.7 bar de biogás. Realizando dicha prueba para dos estados de funcionamiento a igualdad de torque (8Kgm), se tuvieron los resultados que se observan en la Figura 4.

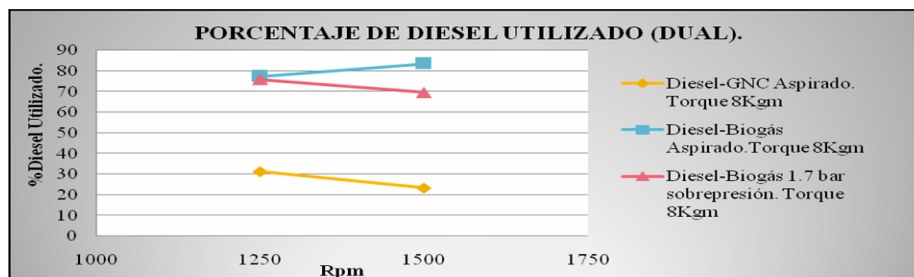


Figura 4. Grafica de Porcentaje de combustible utilizado con biogás a sobre presión.

Se concluye que trabajando con biogás a sobre presión se alcanzan mayores reemplazos de combustible líquido.

8. Ensayo motor diesel MWM (mono cilíndrico).

Para tener otras referencias sobre la bondad del biogás en otros tipos de motores diesel, se adaptó para el funcionamiento dual (diesel-GNC, diesel-biogás, biodiesel-biogás) un motor diesel MWM mono cilíndrico de 4 tiempos que posee un dinamómetro con motor eléctrico asíncrono el cual permite el arranque del motor diesel y el mismo trabaja a un número de revoluciones constantes de 1000 r.p.m. Se instalaron 2 vatímetros al dinamómetro eléctrico para determinar la potencia y de



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL AREA
MECANICA
DE LAS
INGENIERIAS

FoDAMI

esta manera poder determinar cómo influye el agregado del combustible gaseoso (GNC o Biogás). El motor mencionado es utilizado en el laboratorio de maquinas térmicas para ensayos de combustibles diesel. Para observar la presión en el cilindro se instaló un sensor piezoeléctrico que nos permitiría, por intermedio de un amplificador de señal, ver la evolución de la presión a medida que sucede el ciclo. En la Figura 5 se observa el motor de ensayo propiamente dicho y sus respectivos elementos para funcionamiento dual.

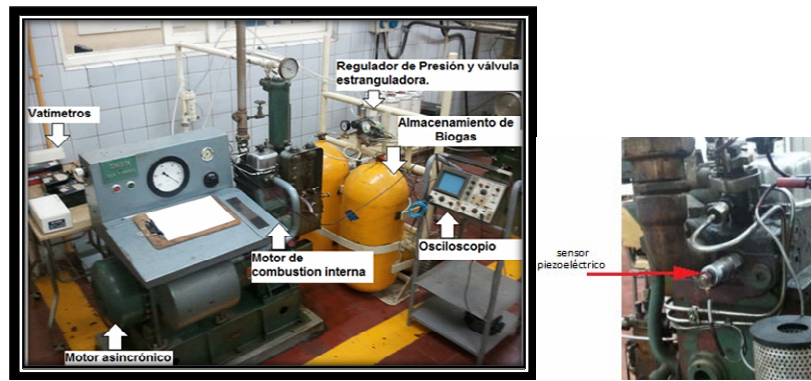


Figura 5. Instalación del Banco de ensayo.

Las variables que se utilizaron para la evaluación de los resultados son: las rpm del motor, la potencia de los vatímetros, Consumo específico diesel, y el diagrama del ciclo del motor dual

En todos los ensayos se tuvieron en cuenta que la ganancia de cada uno de los vatímetros es de 30, y el motor se encontraba trabajando con un avance de encendido constante para cada ensayo.

8.1 Comparación de ciclo del motor en funcionamiento Diesel-GNC.

En la Figura 6, se puede apreciar cómo influye el combustible gaseoso, en este caso GNC, en el ciclo real de funcionamiento del motor, el ciclo de color azul representa el área de trabajo cuando el motor funciona con diesel solamente, el área de color rojo cuando se le adiciona GNC, en cada imagen las dos graficas se superponen para observar el incremento de área que existe al alimentar el motor dual con GNC.

Un aumento en el área de trabajo se refleja en una elevación de potencia que va de los 1870 a 2170 Watts indicada por los vatímetros en los ensayos, por lo que equivale a incrementar la potencia en un 16%. Si evaluamos el consumo específico del combustible liquido observamos que el aporte de GNC, implica una disminución del mismo de 13.82%.



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL AREA
MECANICA
DE LAS
INGENIERIAS

FoDAMI

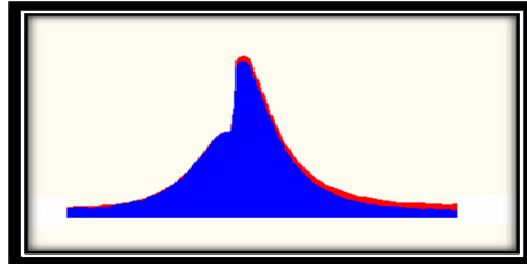


Figura N°6. Diagrama del ciclo Diesel-Gnc.

8.2 Comparación de ciclo del motor en funcionamiento Diesel-Biogás.

En este ensayo se adaptó la instalación de GNC, para que el motor dual funcione con Biogás, para ello se conectaron los tubos de almacenamiento de Biogás a los reguladores de presión del sistema. Con un caudal de biogás de 2.4 L/min, en ese momento determinamos el rendimiento del motor dual (diesel-Biogás), que no fue más que un aumento de potencia del 12.8% y una disminución del consumo específico del 11.3%. En la Figura 7, se puede observar el ciclo de funcionamiento del motor dual alimentado con un caudal de biogás de 2.4 L/min. El diagrama color celeste refleja el funcionamiento del motor con biogás a 2.4 L/min, y el diagrama color rojo el funcionamiento con diesel 100%.

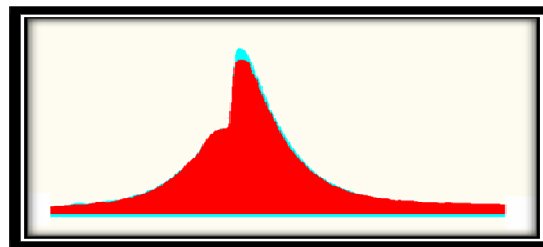


Figura 7. Diagrama del ciclo Diesel-Biogás a 2.4L/min.

9. Ensayo motor diesel MWM dual con aporte de hidrogeno.

Para poder realizar los ensayos en este motor se adaptó la toma de aire haciéndole una extensión con dos entradas donde se le colocaron las entradas del gas HHO y del GNC o BioGNC. Los dos gases se suministran con presiones por encima de la atmosférica y entre medio de la válvula de restricción y el filtro de aire para poder asegurarnos que se está consumiendo todo el gas combustible suministrado y el resto del volumen necesario es ocupado por el aire atmosférico.

En la Figura 8 se observa el ciclo en rojo y el ciclo en verde superpuestas una sobre la otra a cada lado respectivamente, el color verde representa el uso de Hidrógeno y el color rojo sin Hidrógeno.



Figura 8. Incorporación de Hidrogeno en la mezcla gaseosa.

Al pasar del rojo al verde, incorporación de hidrogeno se nota que las vueltas aumentan en 1 punto, la potencia marcada por los vatímetros pasa de 2125W a 2170W, lo que representa una ganancia de 45W y representa el 2,1% aumento de potencia. En cuanto a los grafico si bien la presión máxima es mayor la roja se puede ver una mayor pendiente en la combustión, lo que implica una mayor velocidad de frente de llama en el caso de uso del hidrogeno.

9. Conclusiones.

Tener un motor estacionario con alto rendimiento como el diesel funcionando en modo dual (diesel-biogás) en zonas marginales donde el acceso a la electricidad y demás fuentes energéticas convencionales son prácticamente inaccesibles permitiría desarrollar dichas zonas cerrando el círculo, extracción de agua subterránea, plantación de cultivos energético, obtención de biomas y biogás, biodiesel. Según los ensayos realizados para tener un reemplazo del 80% de diesel o biodiesel por metano se debe purificar el biogás y estudiar la incorporación de hidrogeno en la mezcla en proporciones mínimas para mejorar la combustión de la misma. Las tecnologías tradicionales para la purificación de biogás están basadas fundamentalmente en el empleo de métodos físicos y químicos, los cuales, además de generar contaminantes secundarios, utilizan energía en su purificación. Los filtros por absorción de ácido sulfhídrico con lana de hierro interna que se va convirtiendo en sulfuro de hierro, la eliminación de CO₂ a través de agua de cal y queda con el tiempo carbonato de calcio podrían utilizarse. Como una alternativa, la purificación de biogás mediante procesos biológicos utilizando microorganismos parece atractiva [5-10]. Existen en la naturaleza microorganismos que debido al metabolismo presente en ellos, adquieren su fuente de energía al oxidar H₂S y fijar CO₂, elementos contaminantes estos del biogás, por lo tanto es viable encontrar y perfeccionar una tecnología capaz de sostener un consorcio microbiano que los contenga, y diseñar un birreactor [7,10] capaz de remover estos contaminantes del biogás mejorando su calidad y poder calorífico. Los métodos biológicos de purificación mediante biofiltros, empleando diferentes especies de microorganismos son capaces de remover sustancias contaminantes desde corrientes gaseosas. Si tomamos en cuenta que se requiere solamente, entregar las condiciones ambientales necesarias para que ellos vivan, y estas son similares a las presentes en el ambiente, además se requiere un muy bajo nivel de energía adicional para que



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL ÁREA
MECÁNICA
DE LAS
INGENIERÍAS

FoDAMI

estos sistemas funcionen, estamos frente a una ventaja, como desventaja su lentitud a nivel industrial, que no es nuestro caso. La obtención de pequeñas cantidades de hidrogeno con técnicas de energías renovables como eólicas y solares de bajo costo y mantenimiento no hace descartable el uso de hidrogeno como elemento mejorador de la mezcla gaseosa a tal efecto debe estudiarse las cantidades mínimas a incorporar para obtener tal fin, objetivo este propuesto por el equipo de trabajo en una investigación futura.

10. REFERENCIAS.

- [1] El estado del arte de los biocombustibles en el Paraguay / IICA.-Asunción: IICA, 83 p. ISBN13: 978-92-9039-793-9. Año 2007
- [2] R. G. Papagiannakis. D.T. Hountalas. "Combustion and exhaust emission characteristics of a dual fuel compression ignition engine operated with pilot diesel fuel and natural gas". Energy Conversion and Management. Vol. 45. pp. 2971-2987 Año 2004.
- [3] Uri Marchaim. Biogas processes for sustainable development. ISBN 92-5-103126-6 MIGAL Galilee Technological Centre Kiryat Shmona, Israel. FOA 1992.
- [4] Fundación Presenca. El Biogás y sus aplicaciones; Colombia; 1992.
- [5] Schmack Biogas AG. Biogas Purification - Conditioning, cleaning and enriching of methane Año 2005. Disponible en: <http://www.schmack-biogas.com>.
- [6] Revah S. y Ortíz I. "El desarrollo de bioprocesos para el tratamiento de aire contaminado emitido por fuentes fijas." En "Fundamentos y Casos Exitosos de la Biotecnología Moderna" Francisco Bolivar Ed. El Colegio Nacional México. Pp 625- 658, Año 2004.
- [7] Rattanapan, C. y Ounsaneha, W. Removal of Hydrogen Sulfide Gas using Biofiltration – a Review. Walailak Journal of Science and Technology (WJST), North America, Año 2011. Disponible en: <http://wjst.wu.ac.th/index.php/wjst/article/view/22>.
- [8] María T. Varnero y otros. Tecnologías disponibles para la Purificación de Biogás usado en la generación Eléctrica Información Tecnológica Vol. 23(2), 31-40 Año 2012.
- [9] Llaneza, H., M. Morís, A. González y E. González. Estudio de viabilidad de sistemas de purificación y aprovechamiento de biogás. Pse probiogás desarrollo de sistemas sostenibles de producción y uso de biogás agroindustrial en España. España, PS 20000- 2007-6. Año 2010.
- [10] Mirella Lucia Marín . Purificación Biológica de Biogás. Tesis de grado. Universidad de Chile. Santiago- Chile. Año 2011.