



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO AUTOMOTRIZ**

**AUTORES: ANGAMARCA CASTILLO EDWIN RAÚL  
AREQUIPA IZA DIEGO PAUL**

**TEMA: ANÁLISIS DEL RENDIMIENTO DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN  
INTERNA CON BIOGAS Y APLICACIÓN PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA  
ELÉCTRICA**

**DIRECTOR: ING. MENA, LUIS  
CODIRECTOR: ING. QUIROZ, LEONIDAS**

**LATACUNGA, JULIO 2014**



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



## **JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA**

Utilizar un combustible alternativo como fuente de energía en un motor de combustión interna con un carburante como el biogas y determinar el rendimiento que este tiene a diferentes regímenes de giro de tal manera de aprovechar para una aplicación específica como es la generación de energía eléctrica aprovechada para un sistema de alumbrado de la Hacienda “San Francisco”.

**LATACUNGA, JULIO 2014**



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



## **OBJETIVO GENERAL**

**“ANALIZAR EL RENDIMIENTO DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA CON BIOGAS PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA.”**

**LATACUNGA, JULIO 2014**



## ESPECÍFICOS

- Seleccionar el motor - generador para el análisis del rendimiento y la generación de energía eléctrica.
- Realizar las pruebas del motor - generador en el Banco Dinamométrico Hidráulico utilizando gasolina como carburante.
- Analizar las adaptaciones necesarias para la modificación en el sistema de alimentación del motor – generador con el fin de utilizar el biogas como carburante.
- Diseñar y construir un mezclador de Aire/Biogas
- Realizar las pruebas del motor - generador en el Banco Dinamométrico Hidráulico utilizando biogas como carburante.
- Analizar los resultados obtenidos en las pruebas realizadas al motor – generador con los dos combustibles (Gasolina - Biogas).
- Realizar las curvas características de potencia, torque y consumo de combustible del motor – generador tanto con gasolina como con biogas.
- Determinar el rendimiento del motor – generador para la generación de energía eléctrica utilizando como carburante gasolina y biogas.
- Realizar el análisis de emisiones producidas en la combustión de gasolina y biogas.



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



## HIPÓTESIS

El rendimiento del motor – generador LUTOOL utilizando biogas como carburante permitirá que la generación de energía eléctrica se realice con una eficiencia o rendimiento que no afecte a las prestaciones del generador.

**LATACUNGA, JULIO 2014**



## **BIOGAS**

Es una mezcla gaseosa formada principalmente de metano y dióxido de carbono, pero también contiene diversas impurezas. La composición del biogas depende del material digerido y del funcionamiento del proceso. Cuando el biogas tiene un contenido de metano superior al 45% es inflamable.

## **COMO SE GENERA**

La digestión anaeróbica es un proceso biológico complejo y degradativo en el cual parte de los materiales orgánicos de un substrato (residuos animales y vegetales) son convertidos en biogas

**LATACUNGA, JULIO 2014**



## Características del biogás de la Hacienda “San Francisco”

Muestra	Muestra 1	
Presión(Psi)	Atmosfera	
Temperatura	20	
Componente	Muestra 1	
	% PESO	% MOLES
Nitrógeno	6,97	7,04
Metano	27,85	49,19
CO <sub>2</sub>	63,03	40,47
H <sub>2</sub> S	0,1	0,08
Agua	2,04	3,22
Densidad relativa	0,98	
Peso molecular promedio (g/gmol)	28,26	
Poder calorífico del biogás (Btu/pie <sup>3</sup> )	498,4	

**LATACUNGA, JULIO 2014**



## **MOTOR DE CUATRO TIEMPOS A GASOLINA**

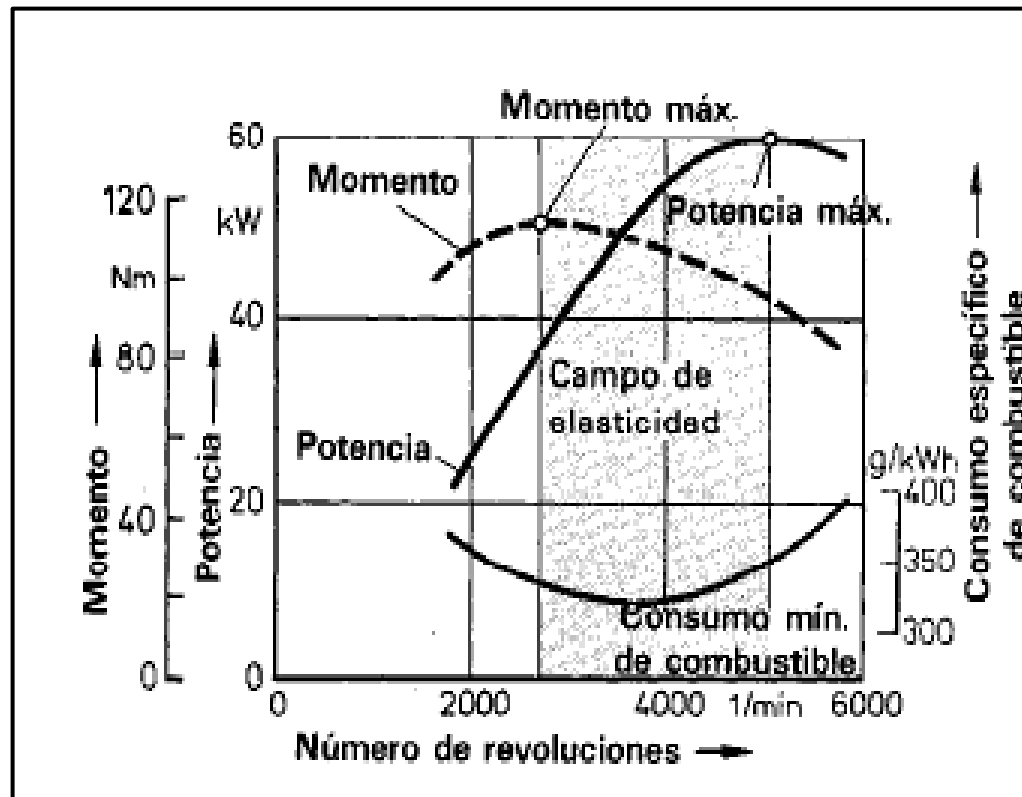
Un motor es un dispositivo que permite transformar cualquier tipo de energía en energía mecánica. Dentro de ese amplio campo, se encuentra el motor térmico, que se puede definir como el dispositivo que permite obtener energía mecánica a partir de la energía térmica contenida en un fluido compresible.

En estos motores el ciclo de trabajo se completa en dos vueltas de cigüeñal o, lo que es lo mismo, en cuatro carreras del émbolo.

**LATACUNGA, JULIO 2014**



## Curvas Características del motor



LATACUNGA, JULIO 2014



## PARÁMETROS DE DESEMPEÑO DE LOS MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA

- POTENCIA
- POTENCIA AL FRENO O EFECTIVA
- POTENCIA INDICADA ( $P_i$ )(KW)
- POTENCIA DE FRICCIÓN
- PRESIÓN MEDIA EFECTIVA AL FRENO
- PRESIÓN MEDIA EFECTIVA INDICADA
- TORQUE ( $T_q$ )(Nm)
- CONSUMO DE COMBUSTIBLE
- CONSUMO ESPECÍFICO DE COMBUSTIBLE
- CONSUMO DE AIRE
- RELACIÓN AIRE – COMBUSTIBLE ( $\frac{\dot{m}_a}{\dot{m}_c}$ )
- EFICIENCIA MECÁNICA ( $\eta_m$ )
- RENDIMIENTO TÉRMICO
- RENDIMIENTO VOLUMÉTRICO ( $\eta_v$ )



## BANCO DINAMOMÉTRICO HIDRÁULICO TecQuipment TD II4



**LATACUNGA, JULIO 2014**



## Prueba de Variación de la velocidad

- A plena carga (aceleración), entre cuyos objetivos se trata de determinar la potencia máxima ( $P_{f\text{máx}}$ ) y el consumo específico de combustible (CEC) mínimo, a cada velocidad (N).
- Pruebas con cargas parciales (aceleración parcial) para determinar principalmente las variaciones del consumo específico de combustible).

Para efectuar una prueba a plena carga (potencia máxima) en un motor a gasolina, se acelera totalmente manteniendo la velocidad en el valor deseado por regulación del freno o carga externa.

**LATACUNGA, JULIO 2014**





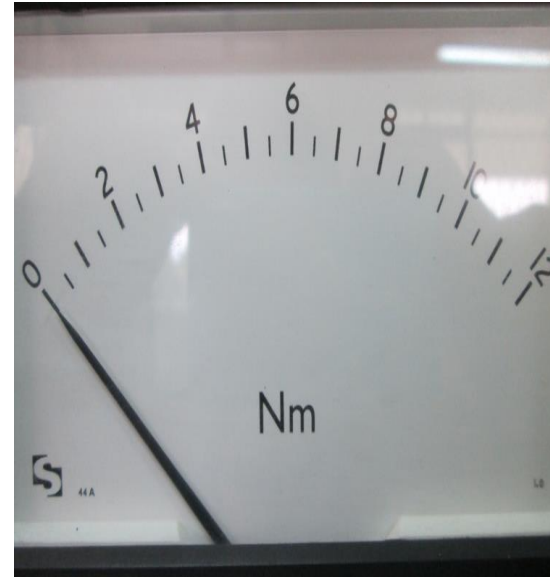
Acoplamiento entre el eje del motor y el eje del Dinamómetro



**LATACUNGA, JULIO 2014**



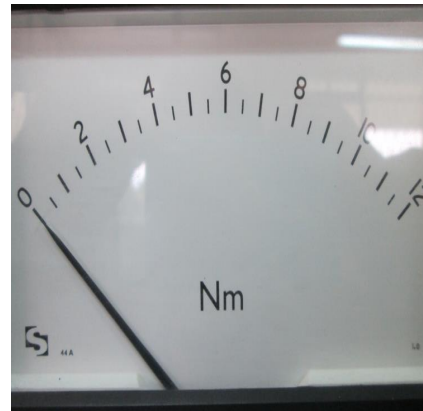
## Calibrar el Dinamómetro



**LATACUNGA, JULIO 2014**



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



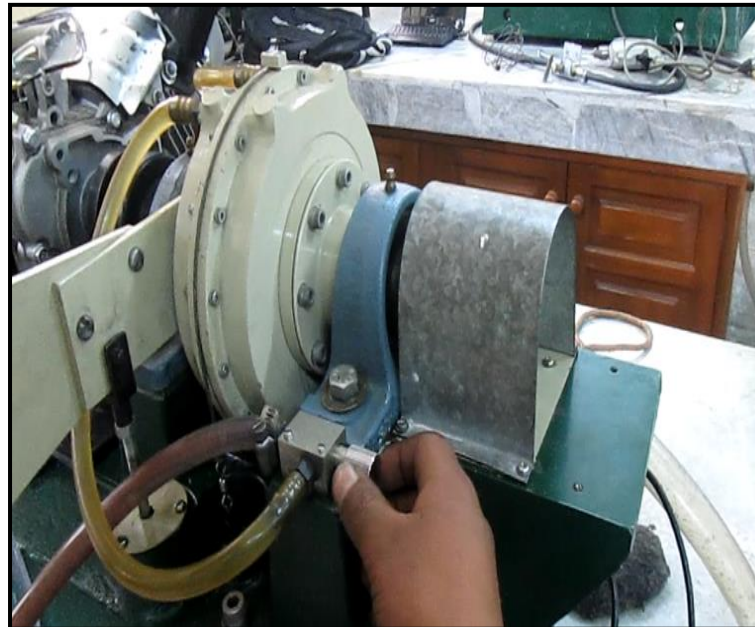
**LATACUNGA, JULIO 2014**



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



## VARIADOR DEL RÉGIMEN DE ROTACIÓN DEL MOTOR



**LATACUNGA, JULIO 2014**





# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



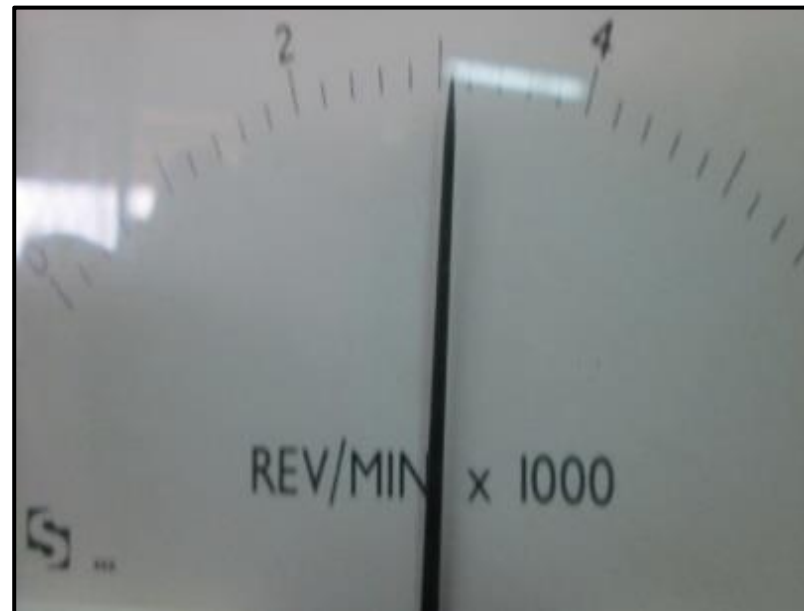
## MEDIDOR DE TORQUE



LATACUNGA, JULIO 2014



## MEDIDOR DE REVOLUCIONES POR MINUTO A LAS QUE GIRA EL EJE DEL MOTOR



LATACUNGA, JULIO 2014



# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



DEPARTAMENTO  
DE CIENCIAS DE LA  
ENERGÍA Y MECÁNICA

## MEDIDOR DE CONSUMO DE COMBUSTIBLE



LATACUNGA, JULIO 2014



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



## MEDIDOR DE INGRESO DE AIRE

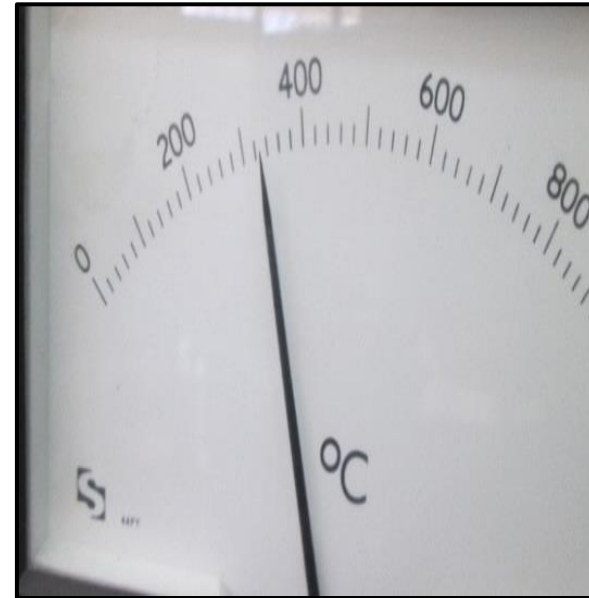


**LATACUNGA, JULIO 2014**





## MEDIDOR DE TEMPERATURA DE LOS GASES DE ESCAPE



**LATACUNGA, JULIO 2014**



## Analizador Infrarrojo de Gases (KAL EQUIP)



**LATACUNGA, JULIO 2014**



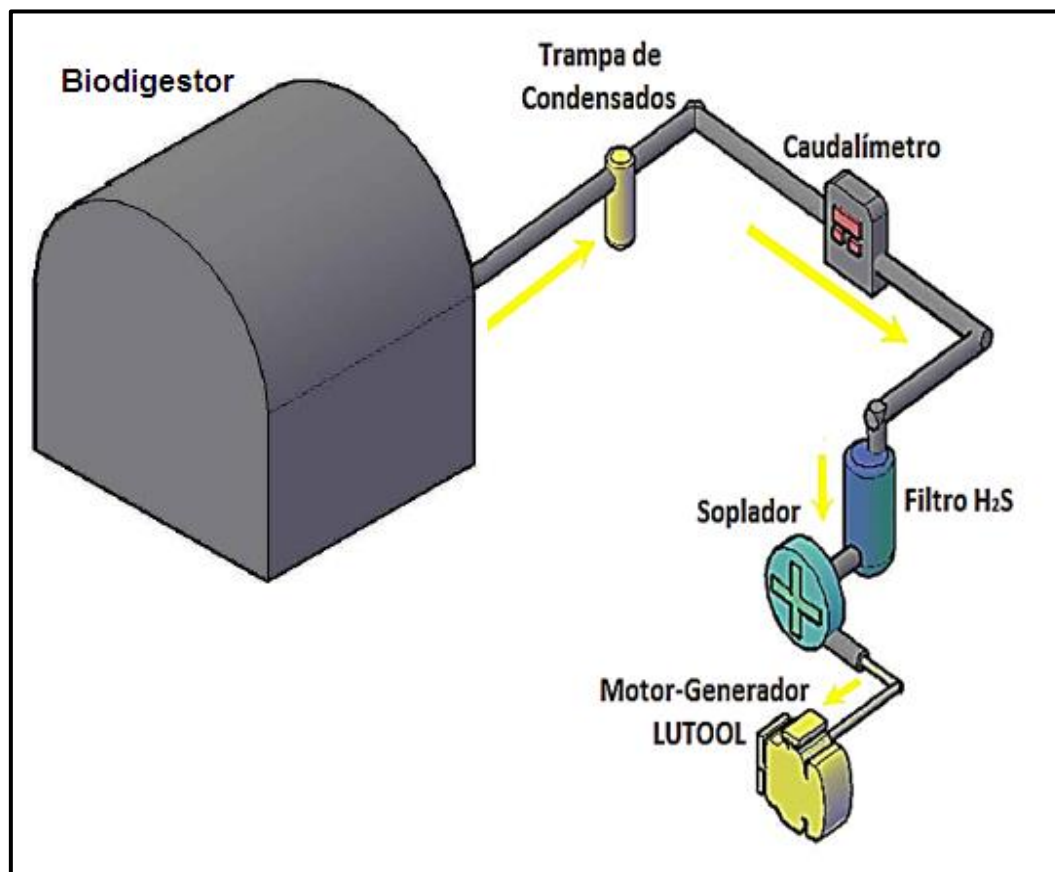
# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



LATACUNGA, JULIO 2014

## Circuito de Alimentación de Biogas



LATACUNGA, JULIO 2014





# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



**LATACUNGA, JULIO 2014**

## Elementos constitutivos de alimentación de biogas para el para el Motor-Generador LUTOOL

- a) Regulador de ingreso de biogas
- b) Ingreso de biogas
- c) Manómetro de presión
- d) Mezclador aire / biogas



LATACUNGA, JULIO 2014



El mezclador es el encargado de mezclar el aire y el biogas en las proporciones correctas (relación estequiométrica), bajo cualquier régimen de carga del motor. En los sistemas a biogás el mezclador es el equivalente al carburador de un motor a gasolina.



**LATACUNGA, JULIO 2014**



## CÁLCULO DE LOS PARÁMETROS DEL MOTOR - GENERADOR LUTOOL PARA LA OBTENCIÓN DE LAS CURVAS CARACTERÍSTICAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS CON BIOGAS RESPECTO A LA GASOLINA



**LATACUNGA, JULIO 2014**



## Valores obtenidos con Gasolina

TEST	N	T	Tq	h <sub>o</sub>	T
Nº	r.p.m.	min	N.m	mmH <sub>2</sub> O	°C
1	1400	2,77	1,88	2	250
2	1600	2,43	1,98	2,3	270
3	1800	2,50	2,08	2,5	280
4	2000	1,98	2,18	3,5	290
5	2200	1,88	2,28	4	290
6	2400	1,60	2,33	5	300
7	2600	1,45	2,48	5,5	320
8	2800	1,22	2,88	6,5	320
9	3000	1,28	2,98	8,5	345
10	3200	0,93	3,48	10	360
11	3400	0,83	3,58	11	325
12	3600	0,77	3,88	12	300

## Valores obtenidos con Biogas

Test	N	T	Tq	h <sub>o</sub>	T
Nº	rpm	Min	N.m	mmH <sub>2</sub> O	°C
1	1400	2,00	1,78	2,5	350
2	1600	2,43	1,88	3	360
3	1800	2,50	1,98	5,5	370
4	2000	1,98	2,08	6,5	380
5	2200	1,88	2,18	8	390
6	2400	1,60	2,28	8,5	420
7	2600	1,45	2,38	16	345
8	2800	1,22	2,78	14	320
9	3000	1,28	3,18	14,5	320
10	3200	1,00	3,28	15	330
11	3400	0,85	3,38	16,5	370
12	3600	0,77	3,68	17	400





## Valores Calculados con Gasolina

TEST	rpm	POTENCIA (KW)	PRESION MEDIA EFECTIVA AL FRENO (KN/m <sup>2</sup> )	CONSUMO DE COMBUSTIBLE (kg/h)	CONSUMO ESPECIFICO DE COMBUSTIBLE AL FRENO (kg/KW-h)	CONSUMO DE AIRE (kg/h)	RELACION AIRE COMBUSTIBLE A/C	CONSUMO VOLUMETRICO DE AIRE REAL (m <sup>3</sup> /s)	CONSUMO VOLUMETRICO DE AIRE TEORICO (m <sup>3</sup> /s)	RENDIMIENTO TERMICO %	RENDIMIENTO VOLUMETRICO %
Nº	N	P	PMEF	mc	CECF	ma	A/C	Va	VD	$\eta_t$	$\eta_v$
1	1400	0,28	202,49	0,26	934,12	1,8	6,90	0,0003826	0,001015	9,34	37,70
2	1600	0,33	213,27	0,29	882,39	1,9	6,51	0,0004103	0,001160	10,65	35,37
3	1800	0,39	224,04	0,28	726,72	2,0	6,97	0,0004278	0,001305	12,86	32,78
4	2000	0,46	234,81	0,36	786,62	2,4	6,55	0,0005062	0,001450	13,34	34,91
5	2200	0,53	245,58	0,38	720,05	2,5	6,64	0,0005411	0,001595	14,93	33,93
6	2400	0,59	250,96	0,45	760,25	2,8	6,31	0,0006050	0,001740	15,56	34,77
7	2600	0,68	267,12	0,49	727,53	2,9	6,00	0,0006345	0,001885	16,86	33,66
8	2800	0,84	310,20	0,59	693,30	3,2	5,47	0,0006898	0,002030	18,19	33,98
9	3000	0,94	320,98	0,56	592,88	3,7	6,60	0,0007888	0,002175	20,41	36,27
10	3200	1,17	374,83	0,76	654,45	4,0	5,21	0,0008556	0,002320	22,62	36,88
11	3400	1,27	385,60	0,85	670,60	4,2	4,88	0,0008974	0,002465	24,2	36,40
12	3600	1,46	417,91	0,93	635,19	4,4	4,68	0,0009373	0,002610	25,3	31,4

**LATACUNGA, JULIO 2014**



# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



## Valores Calculados con Biogas

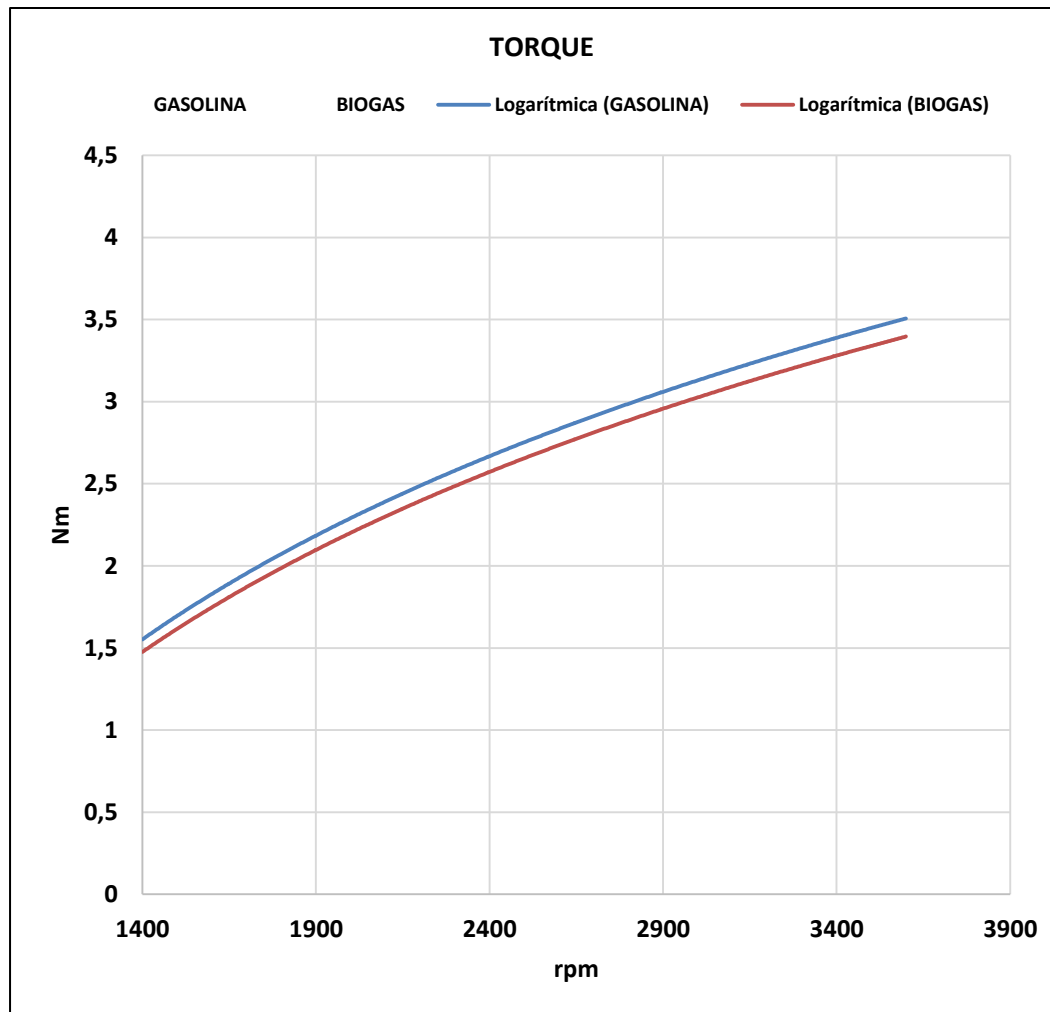
TEST	rpm	POTENCIA (KW)	PRESION MEDIA EFECTIVA AL FRENO (KN/m <sup>2</sup> )	CONSUMO DE COMBUSTIBLE (kg/h)	CONSUMO ESPECIFICO DE COMBUSTIBLE AL FRENO (kg/KW-h)	CONSUMO DE AIRE (kg/h)	RELACION AIRE COMBUSTIBLE A/C	CONSUMO VOLUMETRICO DE AIRE REAL (m <sup>3</sup> /s)	CONSUMO VOLUMETRICO DE AIRE TEORICO (m <sup>3</sup> /s)	RENDIMIENTO TERMICO %	RENDIMIENTO VOLUMETRICO %
Nº	N	P	PMEF	mc	CECF	ma	A/C	Va	VD	$\eta_t$	$\eta_v$
1	1400	0,26	191,72	0,56	2138,24	2,1	3,77	0,0004535	0,001015	13,76	44,68
2	1600	0,31	202,49	0,46	1455,98	2,3	5,03	0,0004968	0,001160	15,46	42,83
3	1800	0,37	213,27	0,45	1196,07	3,1	7,00	0,0006727	0,001305	17,30	51,55
4	2000	0,44	224,04	0,56	1291,65	3,4	6,04	0,0007313	0,001450	19,53	50,43
5	2200	0,50	234,81	0,59	1179,85	3,8	6,36	0,0008113	0,001595	22,44	50,86
6	2400	0,57	245,58	0,70	1217,22	3,9	5,57	0,0008362	0,001740	26,12	48,06
7	2600	0,65	256,35	0,77	1187,73	5,3	6,92	0,0011473	0,001885	29,37	60,86
8	2800	0,82	299,43	0,92	1125,28	5,0	5,43	0,0010732	0,002030	30,94	52,87
9	3000	1,00	342,52	0,87	870,46	5,1	5,83	0,0010922	0,002175	33,15	50,22
10	3200	1,10	353,29	1,12	1015,34	5,2	4,62	0,0011109	0,002320	35,13	47,88
11	3400	1,20	364,06	1,31	1090,99	5,4	4,12	0,0011651	0,002465	39,29	47,27
12	3600	1,39	396,37	1,46	1049,25	5,5	3,77	0,0011826	0,002610	42,36	40,6

LATACUNGA, JULIO 2014



# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



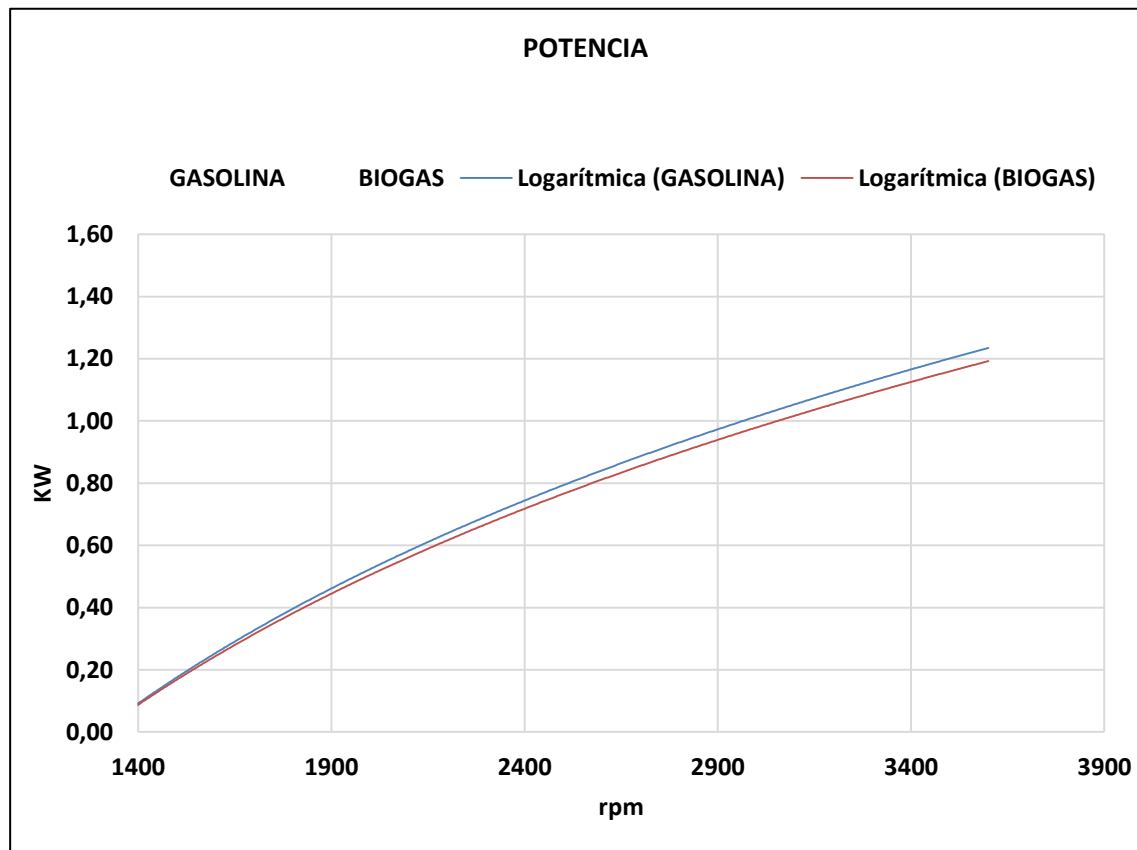
LATACUNGA, JULIO 2014





# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



LATACUNGA, JULIO 2014

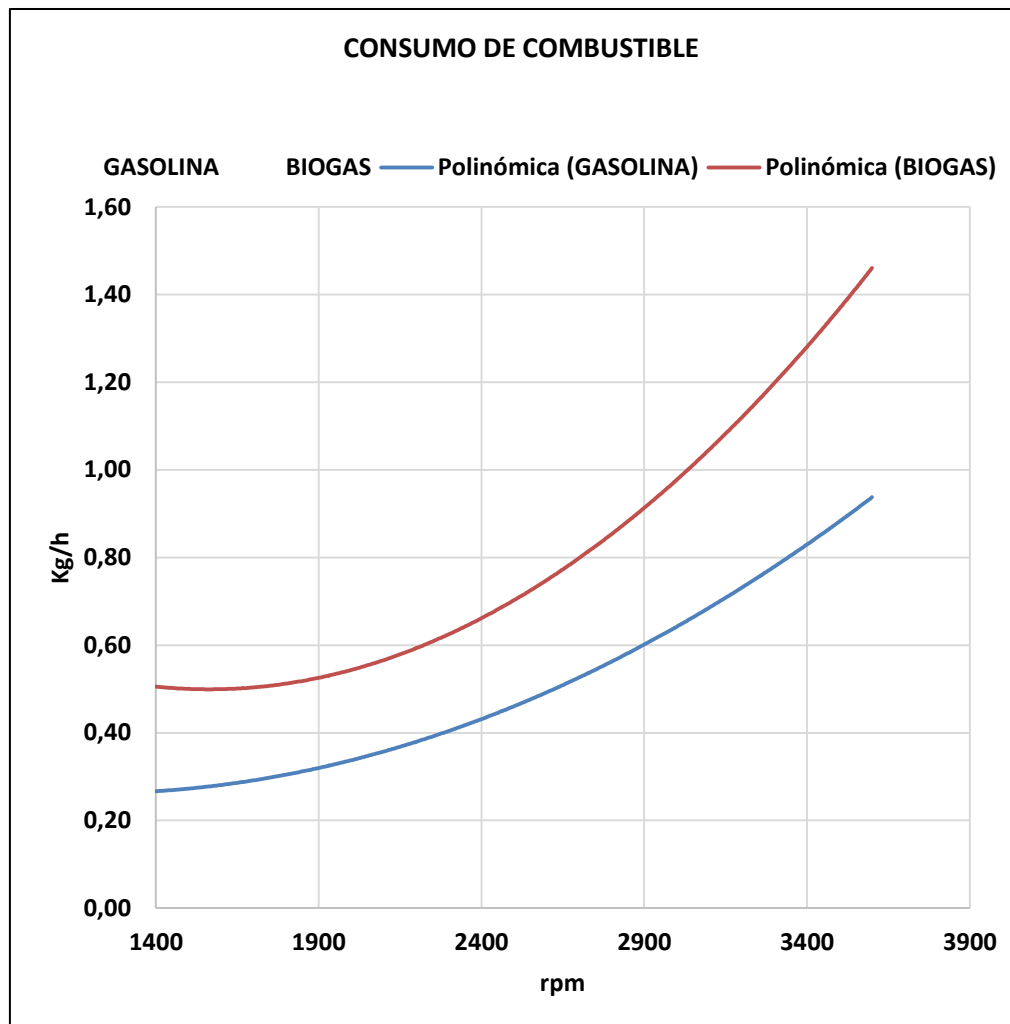


# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



DEPARTAMENTO  
DE CIENCIAS DE LA  
ENERGÍA Y MECÁNICA



LATACUNGA, JULIO 2014



El análisis de emisiones de gases se realizó utilizando un analizador de gases infrarrojo marca (KAL EQUIP)

Impresión de análisis de emisiones con Gasolina



```
4-GAS  
ANALYSIS  
  
HC = 1863  
  
CO2 = 1.4  
  
CO = 3.68  
  
O2 = Err
```

Impresión de análisis de emisiones con Biogas

```
4-GAS  
ANALYSIS  
  
HC = 85  
  
CO2 = 2.7  
  
CO = 1.31  
  
O2 = Err
```



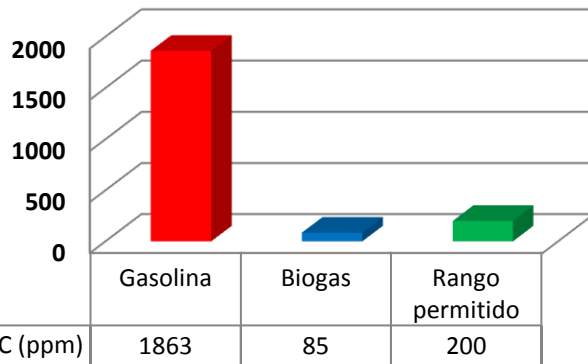
# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

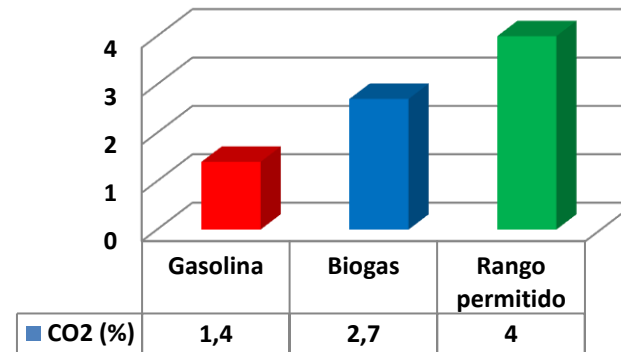


DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

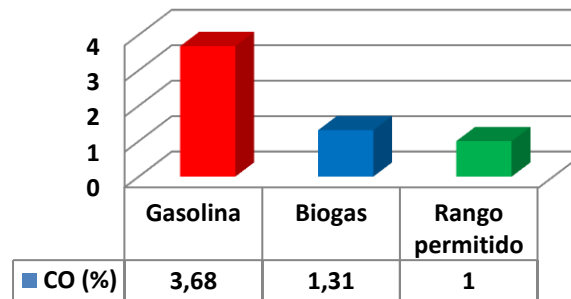
## HC (ppm)



## CO<sub>2</sub> (%)



## CO (%)



LATACUNGA, JULIO 2014





# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



## GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA



LATACUNGA, JULIO 2014



## GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA



LATACUNGA, JULIO 2014



# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



## GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA



LATACUNGA, JULIO 2014



## GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA

valores medidos cuando el generador funciona con biogas				
Focos	Potencia	Voltaje	Intensidad	
Unidades	Watts	Voltios	Amperios	
1	110	110	entrada	67,2
2	110	110	1y2	56,2
3	110	110	2y3	47,1
4	110	110	3y4	38,1
5	110	110	4y5	27,0
6	110	110	5y6	16,1
7	110	110	6y7	8,0

**LATACUNGA, JULIO 2014**





# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



## INSTALACIÓN EN LA HACIENDA “SAN FRANCISCO”



LATACUNGA, JULIO 2014



# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



DEPARTAMENTO  
DE CIENCIAS DE LA  
ENERGÍA Y MECÁNICA



**LATACUNGA, JULIO 2014**



## CONCLUSIONES

- El motor – generador LUTOOL para el funcionamiento con biogas requiere la adaptación de un regulador de ingreso de biogas, un manómetro de presión y un mezclador aire / biogas en el sistema de alimentación de tal manera de lograr su máximo rendimiento, con una relación aire / combustible de 10,4:1
- Para el diseño del mezclador se tiene que considerar algunos parámetros como la Cantidad de aire admitido, la Eficiencia volumétrica, la Cilindrada unitaria, revoluciones del motor y tipo de motor. De tal manera de poder determinar las velocidades de ingreso y salida de la mixtura A/C en el mezclador en función del número de MACH para biogas para lograr un flujo turbulento para lograr una eficiencia volumétrica con biogas de 60,88 % a 3600 rpm representando el llenado del cilindro.
- El rendimiento del motor – generador se efectuó en base al torque y potencia alcanzados por el motor funcionando con biogas mediante un BANCO DINAMOMÉTRICO HIDRÁULICO TecQuipment TD II4 y cálculos realizados de los que se pudo determinar que existe una disminución 7.53 % y 18.23 % respectivamente, en comparación con datos del fabricante en régimen de giro de 3600 rpm donde logra su máximo rendimiento.

**LATACUNGA, JULIO 2014**



## CONCLUSIONES

- El biogas es un combustible amigable con el ambiente en lo que se refiere al contenido de dióxido de carbono con un 2.7 %, monóxido de carbono con una 1.31 % y partículas por millón de hidrocarburos no combustionados igual a 85, que es el resultado de una combustión adecuada de la mezcla A/C con biogas y que está dentro de los rangos permitidos según la Norma técnica NTE INEN 2 204:2002 GESTIÓN AMBIENTAL. AIRE. VEHÍCULOS AUTOMOTORES. DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE EMISIONES DE ESCAPE EN CONDICIONES DE MARCHA MÍNIMA O “RALENTI”. PRUEBA ESTÁTICA.
- La selección del motor – generador logro satisfacer la demanda de energía eléctrica de la Hacienda “San Francisco” cuando este funcionó con biogas como fuente de energía, a pesar de la disminución de torque y potencia que dio como resultado, pues no registro una variación en la tensión de salida del generador.

**LATACUNGA, JULIO 2014**





## RECOMENDACIONES

- Utilizar una relación gasolina – biogas en proporciones que optimicen el rendimiento en un motor de combustión interna ciclo OTTO, en la que disminución de torque y potencia no afecte el desempeño y las prestaciones del motor – generador.
- Determinar el rendimiento en motores de combustión interna ciclo diésel en proporciones que satisfagan la demanda de energética y aplicaciones de estos.
- Estandarizar los procesos de producción y almacenamiento de biogas de tal forma de conseguir una un mayor porcentaje de metano  $CH_4$  que favorezca el uso de este combustible como fuente de energía en aplicaciones domesticas e industriales.
- Establecer normativas nacionales para el uso del biogas en aplicaciones automotrices, domesticas e industriales como carburante en base a los requerimientos técnicos de las diferentes aplicaciones, de tal manera que garanticen seguridad al utilizarlo como fuente de energía.

**LATACUNGA, JULIO 2014**