

“AUDITORÍA ENERGÉTICA DE LA HACIENDA SAN FRANCISCO PARA USO DE UN GENERADOR A BIOGAS COMO SUSTITUTO PARCIAL DE ENERGÍA”

ZAMBRANO IBUJÉS VANESSA MAGDALENA.

Departamento de Eléctrica y Electrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas Extensión Latacunga

Resumen.- El presente proyecto de tesis, consta del análisis de flujo de energía en los tres sistemas energéticos existentes en la Hacienda San Francisco con el objetivo de identificar potenciales de ahorro: **Sistema de aire comprimido:** En el que se determinan las pérdidas existentes por concepto de fugas en la línea de distribución de aire comprimido en el área del establo, para la actividad de ordeño, con el detector ultrasónico SDT 200; **Sistema eléctrico:** donde se realiza una análisis de energía eléctrica, mediante el analizador de calidad de energía PQ Box100; **Sistema de producción de biogás:** en el que se realizan dos análisis de cromatografía del biogás producido y en función de sus propiedades dimensionar un generador a biogás que permita sustituir parcialmente el consumo de energía eléctrica convencional para autoabastecimiento de la Hacienda.

Palabras clave.- Auditoria energética, generador a biogás, dimensionamiento de un generador, biogás, sistemas energéticos.

I INTRODUCCIÓN

Una auditoría energética es una inspección, estudio y análisis de los flujos de energéticos dentro de dos o más sistemas de energía, con el propósito de determinar pérdidas energéticas e identificar potenciales de ahorro y mejora. El presente documento detalla una auditoria energética realizada en la hacienda

San Francisco en la ciudad de Latacunga, que posee una determinada producción de biogás y que pretende ser aprovechado para sustituir parcialmente el uso de la energía eléctrica convencional.



Figura 1. Biodigestor Hacienda San Francisco - $1300m^3$ de capacidad.

Para el estudio se dividió a la hacienda en cuatro áreas operativas: biodigestor, establo, rociadores, pivotes.

II ANÁLISIS DEL SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO.

Este análisis comprende básicamente la detección de fugas en la línea de distribución de aire comprimido en el área del (establo). Para realizar este análisis el equipo utilizado fue el detector ultrasónico SDT 200, este equipo permite la detección de fugas en el sistema de aire comprimido. El equipo detecta sonidos ultrasónicos (mayores a 20 kHz) producidos por las fugas de aire [1].



Figura 2.- Detector ultrasónico.

Fuente: El autor

Las pérdidas por concepto de fugas se estiman en $13,6 \frac{m^3}{h}$ aproximadamente $29\ 700 m^3/año$, El costo de la energía por comprimir $1000m^3$ se estima en \$ 1.41, este es el resultado que arroja la aplicación en Excel propia del equipo. Es decir que anualmente se pierde \$ 50 por concepto de fugas.

II ANÁLISIS DEL SISTEMA ELÉCTRICO

Para realizar el análisis de calidad de energía, el equipo empleado fue el analizador PQ BOX 100, con el correspondiente software para la evaluación de calidad de energía WinPQ Mobil.

El equipo fue instalado durante 7 días en los bornes de bajo voltaje de cada uno de los transformadores, como lo estipula el Conelec en la regulación 004/01[2].



Figura 2.- Analizador de energía.

Fuente: El autor

PARAMETRO A EVALUAR	NORMA	CRITERIO DE APROBACION.
NIVEL DE VOLTAJE	CONELEC 004/001	Menos del 5% de los registros no exceden el $\pm 10 Vn$.
FACTOR DE POTENCIA	CONELEC 004/001	Menos del 5% de los registros están bajo 0,92
ARMONICOS DE VOLTAJE	IEEE 519	El indice THD no debe sobrepasar el 6% en distorsión total y el 6% en la distorsión individual.
ARMONICOS DE CORRIENTE.	IEEE 519	El indice THD no debe sobrepasar el 1% que de como resultado el valor de impedancia relativa $(\frac{I_{cc}}{I_L})$

Figura 3.- Criterios de aprobación de parámetros de calidad de energía.

• RESULTADOS.

Tabla 1.- Resultados del análisis de calidad de energía eléctrica.

item	Biodig.	Estab	Roc.	Piv
V	✓	✓	✓	✓
PF	X	✓	X	✓
THD v	✓	✓	✓	✓
THD i	✓	x	x	x

Fuente: El autor.

III ANÁLISIS DEL SISTEMA DE PRODUCCIÓN DE BIOGÁS

El fermentador del biodigestor tiene un volumen de 1300 metros cúbicos, el biodigestor fue diseñado para producir $50 \frac{m^3}{h}$.



Figura 3. Biodigestor Hacienda San Francisco.

Fuente: El autor

Tabla 2.- Resultados de las cromatografías del biogás.

ANÁLISIS DE BIOGAS POR CROMATOGRAFÍA.					
BIOGAS PRODUCIDO EN LA HACIENDA SAN FRANCISCO LATACUNGA-ECUADOR					
CROMATOGRAFÍA # 1.			CROMATOGRAFÍA # 2.		
10 de julio del 2013.	% PESO	% MOLES	20 de septiembre del 2013.	% PESO	% MOLES
NITROGENO.	6,97	7,04	NITROGENO.	9,22	8,82
METANO.	27,85	49,19	METANO.	32,10	53,72
CO2.	63,03	40,47	CO2.	56,74	34,51
H2S.	0,10	0,08	H2S.	Ver anexo 03	
AGUA.	2,05	3,22	AGUA.	1,98	2,94
DENSIDAD RELATIVA.	0,38		DENSIDAD RELATIVA.	0,33	
PESO MOLECULAR PROM. (g/mol)	28,26		PESO MOLECULAR PROM. (g/mol)	26,78	
PODER CALORIFICO DEL GAS $\frac{BTU}{ft^3}$	498,40		PODER CALORIFICO DEL GAS $\frac{BTU}{ft^3}$	544,08	

Fuente: Laboratorio de análisis instrumental E.P.N

La producción actual es de $23 \text{ m}^3/h$.

i. DIMENSIONAMIENTO DEL GENERADOR A BIOGÁS EN BASE AL CONTENIDO DE METANO

El biogás ideal puede producir 2,2 kWh [3] entendiéndose como ideal al que tiene un contenido comprendido entre el 60 y 70% de metano; partiendo de los datos obtenidos de la cromatografía el porcentaje de metano es de 51.45%

$$65 \% \text{-----} 2,2 \text{ kwh/m}^3$$

$$51,45\% \text{-----} X$$

$$X = 1,74 \text{ kwh/m}^3 \quad \text{Ec. 1}$$

- Con una producción de $23 \text{ m}^3/h$.

$$1,74 \frac{\text{Kwh}}{\text{m}^3} \times 23 \frac{\text{m}^3}{h} = 40,02 \text{ Kw} \quad \text{Ec.2}$$

- Con la producción nominal de $50 \text{ m}^3/h$.

$$1,74 \frac{\text{Kwh}}{\text{m}^3} \times 50 \frac{\text{m}^3}{h} = 87 \text{ Kw} \quad \text{Ec. 3}$$

ii. DIMENSIONAMIENTO DEL GENERADOR A BIOGÁS EN BASE AL PODER CALORÍFICO

Poder calorífico promedio del biogás producido en la Hacienda San Francisco $521,24 \text{ BTU}/\text{ft}^3$. Factores de conversiones utilizados[4]:

Tabla 3. Factores de conversión.

1Btu	1,055056 KJ
1Kwh	3600 KJ

$$521,24 \frac{\text{Btu}}{\text{ft}^3} \times \frac{1,055 \text{ KJ}}{1 \text{ Btu}} \times \frac{1 \text{ Kwh}}{3600 \text{ KJ}} \times \frac{1 \text{ ft}^3}{0,3048^3 \text{ m}^3} = 5,36 \frac{\text{Kwh}_t}{\text{m}^3} \quad \text{Ec.4}$$

- Con la producción actual de $23 \text{ m}^3/h$.

$$5,36 \frac{\text{Kwh}_t}{\text{m}^3} \times \frac{23 \text{ m}^3}{h} = 123 \frac{\text{Kwh}_t}{h} \quad \text{Ec.5}$$

La energía térmica obtenida diariamente:

$$123,28 \frac{\text{Kwh}_t}{h} \times \frac{24 h}{1 \text{ día}} = 3000 \frac{\text{Kwh}_t}{\text{día}} \quad \text{Ec.6}$$

Considerando una eficiencia de 30%(dada por el generador de Aqualimpia) [5]

$$3000 \frac{\text{Kwh}_t}{\text{día}} \times \frac{1 \text{ día}}{24 h} \times 0,30 = 37.5 \text{ Kw} \quad \text{Ec.7}$$

- Considerando la producción nominal de biogás que es de $50 \text{ m}^3/h$.

$$6400 \frac{\text{Kwh}_t}{\text{día}} \times \frac{1 \text{ día}}{24 h} \times 0,30 = 80 \text{ Kw} \quad \text{Ec.8}$$

Ya considerando la eficiencia de 30%(dada por el generador de Aqualimpia) [5]

Tabla 4. Potencia del generador.

MÉTODO	PRODUCCIÓN ACTUAL
	23 m ³ /h.
% DE METANO	40 KW
PODER CALORIFICO	37,5 KW

Elaborado por: El autor.

Como se puede apreciar en tabla 4, a través de los dos métodos se obtienen valores similares de potencia, por lo que se puede determinar que el generador apropiado debería ser máximo de 40 Kw y máximo de 37.5Kw

Consideraciones:

- La hacienda no tiene como prioridad actualmente hacer trabajar al biodigestor al 100% de su capacidad (50 m³/h).
- Considerando un factor de planta del 80%. En la práctica, el factor de planta nunca es 100%. Se ve disminuido por: operaciones de mantenimiento programados y no programados, la ausencia de demanda de electricidad, la intermitencia o irregularidad de la fuente de energía como es en este caso el biodigestor (ruptura de la membrana generalmente).
- La necesidad de producción de energía comprendería básicamente entre las seis horas en la mañana hasta las 6 horas en la tarde, como se aprecia en la curva de carga posteriormente.

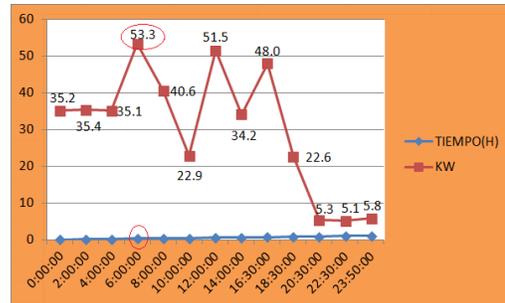


Figura 4.- Curva de carga de la Hacienda.

Fuente: El autor

- Actualmente la demanda máxima coincidente en potencia de la Hacienda, es de aproximadamente 53,3 KW alrededor de las 6 de la mañana.
- Estimando un crecimiento de la demanda de energía eléctrica por parte de la Hacienda del 5% en 10 años, se tendría un valor de 56 Kw.
- La vida útil del generador a biogás es de aproximadamente 12 años.
- La cantidad de energía eléctrica que se puede sustituir es de:

$$36Kw \times \frac{12h}{1\text{ dia}} \times \frac{365\text{ dias}}{1\text{ año}} \times 0.9 = 141\,900 \frac{Kwh}{\text{año}} / 11\,800 \frac{Kwh}{\text{mes}} \quad \text{Ec.8}$$

La demanda de energía de la hacienda es de 20 800 $\frac{Kwh}{\text{mes}}$, es decir que existiría un déficit de energía de 9000 $\frac{Kwh}{\text{mes}}$ que deberían ser tomados de la red eléctrica convencional.

Se selecciona entonces, el generador de la marca Aqualimpia, modelo AQL 50 que tiene una potencia de entrega de 45 Kva o 36 Kw, este es el más aproximado al cálculo disponible comercialmente

Especificaciones técnicas: Generadores desde 30 kW hasta 69 kW					
Generador	AQL30	AQL33	AQL50	AQL56	
Especificaciones	Standby power (kW/VA)	30/34	33/38	50/40	69/53
	Prime power (kW/VA)	29/22	30/24	45/36	60/48
	Carga nominal (A)	33.1	36.1	54.1	72.2
	Motor	Marca	Iscru	Iscru	Cummins
	Modelo	4JB1T	4Y	4BTAA	4BTAA
	Cilindrada (L)	2.771	2.237	3.9	3.9
Motor	Velocidad de giro (RPM)	1800	3600	1800	1800
	Relación de compresión	10:1	8.8:1	10:1	10:1
	Diámetro/Carrera (mm/Inch)	93*102	91*98	102*120	102*120
	Capacidad de aceite (L)	5	4.2	9.5	9.5
Alternativo	Marca	Leroy Somer	Stamford	Leroy Somer	Leroy Somer
	Modelo	1.58.42.3.3/51	8Y144F	1.58.47.3.1/5	1.58.47.3.1/5

Figura 5.- Extracto de las especificaciones técnicas del generador.

Fuente: Catalogo Aqualimpia [5]

Tabla 5. PROPUESTAS DE SOLUCIÓN

Biodig.	1	10 y 3 kvar
Establo	2 / 3	258 A / 7 Kw
Rociad.	1	12.5 y 15 kvar
Pivotes.	---	---

1. Banco de capacitores.
2. Filtro de armónicos.
3. Corrección de fugas de aire.
4. Implementación de un generador a biogás.

III CONCLUSIONES.

- La potencia instalada en transformadores de distribución en la Hacienda San Francisco es de 230 Kva; mientras que la potencia utilizada es de 141 Kva, es decir que en forma general existe una disponibilidad de 39%(141 Kva).
- La calidad de energía eléctrica se ve afectada principalmente por dos aspectos: el contenido armónico de

corriente que para el caso de la hacienda el límite máximo corresponde al 8% y en las áreas de rociadores, establo y pivotes el THD_i es superior a este valor; mientras que el factor de potencia está por debajo de lo establecido en el área del biodigestor así como en el área de los rociadores.

- Empleando el detector ultrasónico de fugas SDT 200, se pudo determinar que las fugas en la línea de aire comprimido son relativamente pequeñas, ya que actualmente a causa de ellas se pierden $16,3 \text{ m}^3/h$ es decir $29\,700 \text{ m}^3/año$, que representan un costo de \$ 50 anuales.
- A partir de las dos pruebas de cromatografía de biogás realizadas en el Departamento de Ingeniería Química de la Escuela Politécnica Nacional (Laboratorio de Análisis Instrumental), se determinó que el biogás de la hacienda San Francisco es un gas medianamente pobre ya que tiene en promedio: el 51.45 % de contenido de metano(CH_4), el 37.49 % de dióxido de carbono (CO_2), 7.93% de nitrógeno(N), 0.04% de ácido sulfhídrico (H_2S) y 3.08% de agua (H_2O).
- En base a la disponibilidad energética del biogás producido en la Hacienda se calculó que es factible utilizarlo en un generador de 45Kva/36 Kw, que podría satisfacer la demanda de energía de la Hacienda que es de $20\,866 \frac{kWh}{mes}$; en un 56% ($11\,800 \frac{kWh}{mes}$).

- Respecto a la demanda en potencia, el generador de 36 Kw, estaría en capacidad de cubrir la demanda máxima coincidente de la Hacienda que es de 53 Kw, es decir que podría sustituir solo "parcialmente" la demanda en potencia de la Hacienda San Francisco.

IV RECOMENDACIONES.

- No descuidar el estado del biodigestor, pues el biogás producido en el representa un potencial económico que actualmente está siendo desaprovechado.
- Reparar las fugas detectadas en la línea de distribución de aire comprimido para optimizar el consumo de energía eléctrica.
- Implementar el filtro activo así como los bancos de capacitores propuestos pues esto implica un ahorro inmediato de energía eléctrica una vez colocados, ya que la energía consumida se convertirá en trabajo real y no sea desperdiciada, incurriendo en la disminución del pago de energía eléctrica.
- Capacitar a una persona que pueda mantener las condiciones operativas adecuadas del biodigestor, sobre todo para que la inversión que representa el generador no se vea afectada.

V REFERENCIAS

- [1] Atlas Copco, "Eficiencia Energética\ Aire Comprimido, mayo. 2013.

[2] Conelec,Regulacion004/01.Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/76/8/Capitulo2.pdf>. [citado el: 14 03 14].

[3] G.Moncayo,"Dimensionamiento, Diseño y Construcción de plantas de biogás". Aqualimpia Boratende Ingenieure, 2011.

[4] T.Engel y P.Reid, "Termodinámica", 3ra edición, 2010.

[5] Aqualimpia, generadores a biogás. Disponible en: http://www.aqualimpia.com/Generadores_biogas.htm [citado el: 07 11

V BIOGRAFÍA



Zambrano Ibijes Vanessa Magdalena, nació en Latacunga-Cotopaxi, cursó sus estudios de bachillerato en el Instituto Tecnológico Superior "Victoria Vásquez Cuví" en donde obtuvo el Título de Bachiller en Ciencias especialización: Físico Matemático. Sus estudios superiores los realizó en la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE Extensión Latacunga, en donde obtuvo el Título de Ingeniera Electromecánica en julio del 2014 en la ciudad de Latacunga.
Email: vannezi@hotmail.com