

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA



**MEJORA DEL PROCESO DE ARRANQUE DE UN
GRUPO ELECTRÓGENO A BIOGÁS DE 45 KW CON
GLP**

INFORME DE SUFICIENCIA

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO MECÁNICO**

RENEÉ HUALLPA ANTEZANA

PROMOCIÓN 2002-I

LIMA-PERU

2012

Dedico este trabajo a Dios por darme la vida, a mi hijo Miguel Armando, por ser mi motivo e inspiración de esfuerzo, a mi compañera Rosa por su constante apoyo y aliento.

A mis padres, en especial a mi madre Mercedes por su eterno cariño, comprensión y apoyo. A mis hermanos por su aliento y ayuda.

ÍNDICE

CAPITULO I: INTRODUCCIÓN

1.1	Antecedentes	3
1.2	Objetivo	5
1.3	Alcance	6
1.4	Justificación	6

CAPÍTULO II: GENERALIDADES DEL GLP Y BIOGÁS

2.1	Combustibles Gaseosos	7
2.2	Tipos de Combustibles Gaseosos	7
2.2.1	Primera Familia	8
2.2.2	Segunda Familia	9
2.2.3	Tercera Familia	9
2.3	Principales Propiedades de los Combustibles Gaseosos	9
2.3.1.	Poder Calorífico	9
2.3.2	Calor Específico	11
2.3.3	Temperatura de Ignición	11
2.3.4	Límites de Inflamabilidad	11
2.4	Gas Licuado de Petróleo (GLP)	12
2.4.1	Fuentes de obtención del GLP	12

2.4.1.1	Obtención por Refinación del Petróleo	13
2.4.1.2	Obtención por Fraccionamiento del Gas Natural	14
2.4.2	Composición del GLP	14
2.4.3	Propiedades Físicas y Químicas del GLP	14
2.4.4	Usos del GLP	16
2.5	Biogás	16
2.5.1	Composición del Biogás.	16
2.5.2	Fuentes de Obtención del Biogás	17
2.5.3	Producción del Biogás	17
2.5.4	Características Físico-Químicas del Biogás	19
2.5.5	Usos del Biogás	20

CAPITULO III: ESTADO ACTUAL DEL GRUPO ELECTRÓGENO

3.1	Obtención del Biogás	21
3.2	Generación de Energía Eléctrica	23
3.3	Características del Grupo Electrónico	24
3.4	Sistema de Combustible	24
3.4.1	Componentes del Sistema de Combustible	27
4.1.1.1.	Regulador de Caudal	29
4.1.1.2.	Mezclador Aire-Gas	29
3.5	Funcionamiento del Motor	30
3.6	Características del Grupo Electrónico modificado a Biogás	32

CAPÍTULO IV: MEJORA DEL GRUPO ELECTRÓGENO

4.1.	Parámetros de Operación	34
4.1.2.	Potencia en un Motor de Combustión Interna	34
4.1.2.1.	Potencia Indicada	35
4.1.2.2.	Potencia Efectiva	35
4.1.1.3	Potencia Absorbida	35
4.1.3.	Rendimiento en un Motor de Combustión Interna	36
4.1.3.1.	Rendimiento Indicado	36
4.1.3.2.	Rendimiento Mecánico	37
4.1.3.3.	Rendimiento Efectivo	38
4.1.3.4.	Rendimiento Volumétrico	39
4.1.4.	Combustión y Relaciones Estequiométricas	40
4.1.4.1.	Combustión Completa	41
4.1.4.2.	Combustión Incompleta	41
4.1.4.3.	Relación Aire-Combustible	42
4.1.4.4.	Relación Aire-Combustible Estequiométrica	42
4.1.4.5.	Coeficiente de Exceso de Aire	43
4.2.	Cálculo de la Potencia Efectiva con GLP	44
4.2.1.	Cálculo de la Relación Aire-Combustible	44
4.2.2.	Determinación del Caudal de GLP	45
4.2.3.	Cálculo de la Potencia Máxima con GLP	47
4.2.4.	Cálculo del Consumo Específico a Máxima Potencia	48
4.3.	Descripción del Sistema de Suministro GLP- Biogás	49
4.4.	Principio de Funcionamiento	52

4.5.	Proceso Experimental	53
4.5.1.	Tipo de Prueba para determinar la Potencia del Motor	53
4.5.1.1.	Potencia de un Generador Eléctrico	53
4.5.1.2.	Regulación de Voltaje	56
4.5.1.3.	Regulación de Frecuencia	59
4.5.2.	Procedimiento Experimental	61
4.5.3.	Resultados Experimentales	65

CAPITULO V: ASPECTOS ECONÓMICOS

5.1	Requerimientos de Arranque	68
5.2	Métodos de Arranque	73
5.3	Costo de Instalación del Sistema con GLP	74
5.4	Costo del Consumo de GLP para Arranque de	
5.5	Motores Eléctricos	75
5.6	Comparación de Costos con otros Métodos	76
	Conclusiones	78
	Recomendaciones	80
	Bibliografía	82
	Anexos	

PRÓLOGO

Es propósito de este informe exponer en forma sencilla y práctica el beneficio que puede obtenerse al usar como combustible alternativo el Gas Licuado de Petróleo (GLP) en un grupo electrógeno que viene operando con biogás. Este beneficio se consigue debido al mayor rendimiento térmico del GLP respecto del biogás, concretamente a su mayor Poder Calorífico, que permite incrementar la potencia efectiva del grupo electrógeno. Este aumento se puede aprovechar para satisfacer las condiciones de arranque de motores eléctricos, es decir, proporcionar el par de arranque, en el que la intensidad de corriente es siempre mucho más alta que la intensidad nominal, por lo que se requiere de una mayor potencia entregada por el grupo.

En el Capítulo I, se hace una introducción al tema, en él se describe los antecedentes al uso de los combustibles gaseosos, especialmente del GLP; se mencionan además el objetivo, el alcance y justificación del presente trabajo.

En el Capítulo II, se presenta el marco teórico de los combustibles gaseosos, se hace su clasificación y se mencionan sus tipos, se indican características y propiedades. Se hace referencia especial al biogás y al GLP, mencionando sus orígenes, modos de obtención, características físicas y químicas, así como su utilización.

En el Capítulo III, se hace la descripción del grupo electrógeno actualmente operando con biogás, se indica el modo de obtención del combustible, se describen las características del motor y generador, se hace un estudio del sistema de combustible y de su potencia entregada.

En el Capítulo IV, se hace el estudio de la optimización del grupo electrógeno utilizando GLP, se efectúan los cálculos para el aumento de la potencia, se describe el sistema de combustible a implementar, se procede a la parte experimental y se analizan los resultados.

En el Capítulo V, se realiza un estudio sencillo de los beneficios económicos al implementar el sistema de combustible con GLP para el proceso de arranque de motores eléctricos trifásicos, se realiza una comparación con respecto a otros métodos de arranque.

Finalmente, se presentan las conclusiones y recomendaciones, además de la bibliografía.

CAPITULO I INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES

El uso de los combustibles gaseosos; principalmente el gas natural (GNV), el gas licuado de petróleo (GLP) y el biogás, están convirtiéndose en una atractiva opción para la generación de energía eléctrica.

En los primeros tiempos estos tipos de combustible eran considerados como un subproducto con poco interés. Hoy en día, en particular a partir de la crisis petrolera de los años 70, se han convertido en una importante fuente de energía en el mundo.

El GLP fue un desarrollo relativamente tardío de la industria del petróleo. Su historia está documentada desde principios del siglo XX. La gasolina que se producía en aquella época se evaporaba rápidamente mientras estaba almacenada, lo cual era un problema. En 1911 se demostró que la evaporación se debía al propano y al butano presentes en ella. No se tardó en desarrollar un método práctico para separar estos gases de la gasolina.

La primera aplicación de producción comercial de GLP tendría que esperar hasta los años 20, y la primera distribución a escala regional hasta los 50. El uso generalizado del GLP no empezó a despegar hasta las décadas de los 40 y los 60.

A mediados de los años 30, una gran petrolera introdujo el GLP en Francia, y una gran empresa de distribución de gas construyó una planta de embotellado en Italia. A principios de los 50, varias empresas producían botellas de GLP para viviendas, que se comercializaban bajo licencia en distintos lugares.

Desde ese momento, el sector fue creciendo al ritmo de la disponibilidad de refinerías. La disponibilidad aumentó, sobre todo a partir de los 60, época en la que se construyeron muchas nuevas refinerías y el gasóleo desplazó al carbón como combustible industrial. Las ventas de GLP en el conjunto de Europa pasaron de 300 000 toneladas en 1950 a 3 millones de toneladas en 1960 y a 11 millones en 1970.

La disparada de los precios del petróleo está teniendo repercusiones en todos los aspectos de la economía mundial. El sector más afectado es el transporte que, como en la aviación, no vislumbra alternativa a los hidrocarburos líquidos. El impacto también ha sacudido a la industria automotriz, que ya estaba en la mira por el efecto del parque automotor sobre el calentamiento global y el cambio climático. El mayor mercado automotor, el de EE.UU., ya ha reaccionado, lo que a la industria le tomará más tiempo.

Mientras tanto, la ausencia de contaminantes y el menor volumen de emisiones del GNV, GLP y biogás lo están haciendo cada vez más populares. Si bien es cierto, se tratan de hidrocarburos, recurso no renovable que contribuye al calentamiento global, lo hacen en mucho menor grado.

Con el auge del uso de combustibles más limpios y el impulso de las autoridades locales en la inversión y facilidades en el desarrollo de este mercado, se proyecta a futuro en nuestro país el uso común de gas canalizado (GLP o gas natural) como sucede en otros países.

No obstante, aún es necesaria más investigación y desarrollo para generar alternativas tecnológicas que se adapten a condiciones y particularidades de cada sistema de producción.

1.2 OBJETIVO

El presente informe tiene como objetivo mejorar la potencia entregada por un grupo electrógeno de 45 kW que funciona con biogás, aumentándola hasta una potencia de aproximadamente 60 kW con el uso de Gas Licuado de Petróleo (GLP); este incremento se podrá utilizar para satisfacer las condiciones del proceso de arranque de motores eléctricos, en el que se requiere de una mayor potencia, dado que la corriente de arranque que se absorbe es varias veces la corriente nominal. Una vez alcanzado el régimen estacionario de funcionamiento retomar el uso de biogás.

1.3 ALCANCE

El informe abarcará el análisis de funcionamiento actual y la mejora de un grupo electrógeno Minneapolis Moline HD504A6A Serie 31001024 que opera en una planta de generación de biogás, esta planta forma parte del Proyecto de Generación de Biogás que utiliza como materia prima el estiércol de los caballos de Jockey Club del Perú en el Hipódromo de Monterrico, proyecto impulsado por la empresa Maros Green S.A.C

1.4 JUSTIFICACIÓN

La mejora del grupo electrógeno con el uso del Gas Licuado de Petróleo como combustible para la generación de energía eléctrica, nos permitirá mejorar el rendimiento del grupo, ello debido al mayor poder calorífico del GLP respecto del biogás. Se podrá disponer de cualquiera de estos combustibles en forma alternada, como sistema dual; o como una mezcla de ambas, en proporciones adecuadas, bajo un sistema bi-fuel.

CAPITULO II GENERALIDADES DEL GLP Y BIOGÁS

2.1 Combustibles Gaseosos

Se denominan combustibles gaseosos a los hidrocarburos naturales y a los fabricados exclusivamente para su empleo como combustibles, y a aquellos que se obtienen como subproducto en ciertos procesos industriales y que se pueden aprovechar como combustibles.

La composición de éstos varía según la procedencia de los mismos, pero los componentes se pueden clasificar en gases combustibles (CO, H₂, HC) y otros gases (N₂, CO₂, O₂).

Un combustible gaseoso, en comparación con los líquidos, es más fácil de manejar y su combustión es limpia y sin problemas de operación.

2.2 Tipos de Combustibles Gaseosos

Los gases combustibles de diferente origen y características se agrupan en grupos o familias.

2.2.1 Primera Familia

Se incluyen los gases manufacturados, cuyo principal componente es el hidrógeno.

- Gas de alumbrado, también denominado gas de hulla. Por cada 100 kg de carbón que se carbonizan, se obtienen unos 30 ó 35 m³ de gas de alumbrado. Es un excelente combustible, usado principalmente para usos domésticos y para pequeños hornos industriales. Su precio es elevado. Su poder calorífico está entre 4.380 y 5.120 kcal/m³ (18.3 y 21.4 kJ/ m³)
- Acetileno, se obtiene del tratamiento del carburo de calcio del agua. Es un excelente combustible. Su poder calorífico es superior a 1.8 kcal/m³ (7.52 kJ/ m³).
- Gas de agua, se obtiene haciendo pasar vapor de agua a través de una masa de carbón de coque incandescente. Su poder calorífico es de 2.420 kcal/m³ (7.52 kJ/ m³).
- Gas de aire, Se obtiene haciendo pasar aire por un manto de hulla o lignito incandescente de gran espesor. Su poder calorífico es de 1.080 kcal/m³ (4.51 kJ/ m³).
- Gas de altos hornos, se obtiene de los hornos de fundición. Al cargar un alto horno con mineral para obtener lingotes de hierro, se desprenden una serie de gases que salen parcialmente quemados y pueden ser posteriormente utilizados en la misma planta industrial como combustible. Se les utiliza principalmente para calefacción o para la producción de fuerza motriz. Su poder calorífico es de 0.9 kcal/m³ (3.76 kJ/ m³).

- Hidrógeno, su producción se hará muy probablemente, por electrólisis en instalaciones de altamar. El hidrógeno produce una combustión muy limpia; aunque al quemarse con aire se pueden producir óxidos de nitrógeno, esta emisión es mucho menor que cuando se quema gasolina.

2.2.2 Segunda Familia

Se incluye el gas natural, cuyo principal componente el metano (CH_4), y la mezcla equivalente de otros gases con aire. El gas natural es un gas casi inodoro e incoloro. Es una mezcla de metano, otros hidrocarburos (principalmente etano) y gases no combustibles.

2.2.3 Tercera Familia

Estos combustibles derivados del petróleo se almacenan en estado líquido pero se alimentan a los equipos de combustión en estado gaseoso. Pertenecen a esta familia el Propano, Butano y GLP.

2.3 Principales Propiedades de los Combustibles Gaseosos

2.3.1 Poder Calorífico

Es una de las propiedades más importantes de un combustible, se expresa para los combustibles gaseosos por unidad de volumen en condiciones normales. El valor del poder calorífico va a variar mucho dependiendo del tipo de gas que estemos manejando, y por lo tanto, en función de los componentes del combustible que estemos manejando. Los componentes no combustibles de un combustible

van a bajar el rendimiento calorífico de la combustión. Sin embargo, a pesar de esto, a veces, un combustible de calidad inferior pero que sea subproducto de un proceso industrial puede ser más ventajoso económicamente.

El poder calorífico es la cantidad de energía que la unidad de masa de materia puede desprender al producirse una reacción química de oxidación. Es la cantidad de calor que entrega un kilogramo, o un metro cúbico, de combustible al oxidarse en forma completa.

El Poder Calorífico Superior es la cantidad total de calor desprendido en la combustión completa de 1 Kg de combustible cuando el vapor de agua originado en la combustión está condensado y se contabiliza, por consiguiente, el calor desprendido en este cambio de fase.

El Poder Calorífico Inferior es la cantidad total de calor desprendido en la combustión completa de 1 kg de combustible sin contar la parte correspondiente al calor latente del vapor de agua de la combustión, ya que no se produce cambio de fase, y se expulsa como vapor.

2.3.2 Calor Específico

Otra propiedad importante del combustible es el calor específico. Se define éste como la cantidad de calor requerida para que la unidad de masa de gas aumente su temperatura en 1°C. En el caso de los gases, el calor específico varía con las condiciones de presión y temperatura. Las unidades son cal/g°C; Kcal/Kg°C; Btu/lb°F.

2.3.3 Temperatura de Ignición

Es la temperatura mínima que debe alcanzarse para que pueda iniciarse y propagarse la combustión en un punto de una mezcla inflamable de aire y gas, es la menor temperatura a la cual un gas inflamable se enciende debido a que ha llegado a una temperatura en la que no son necesarios chispa o llama para provocar fuego, a esta temperatura se alcanza la energía de activación suficiente para que se inicie la reacción de combustión. Este parámetro recibe también el nombre de temperatura o punto de autoencendido, temperatura de ignición espontánea o autógena.

2.3.4 Límites de Inflamabilidad

Son los límites de la composición aire-gas para que la combustión pueda iniciarse y propagarse. Definen las concentraciones mínimas y máximas del vapor o gas en mezcla con el aire, en las que son

inflamables, se expresa en tanto por ciento volumétrico de gas combustible en la mezcla. Reciben también el nombre de límites de explosividad, ya que según las condiciones de confinamiento, cantidad, intensidad de la fuente de ignición, etc. varía la velocidad de la combustión y es común que se origine una explosión.

El límite inferior de inflamabilidad se define como la concentración mínima de vapor o gas en mezcla con el aire, por debajo de la cual, la mezcla no es suficientemente rica en combustible para quemar, no existe propagación de la llama al ponerse en contacto con una fuente de ignición.

El límite superior de inflamabilidad se define como la concentración máxima de vapor o gas en aire, por encima de la cual, la mezcla es pobre en comburente y no tiene lugar la propagación de la llama al entrar en contacto con una fuente de ignición.

2.4 Gas Licuado de Petróleo (GLP)

El Gas Licuado de Petróleo (GLP) es un combustible conformado por una mezcla de gases, compuesta principalmente por propano (C_3H_8) y butano (C_4H_{10}); a presión atmosférica y temperatura ambiente son gaseosos y para su comercialización se licuan por compresión o enfriamiento.

2.4.1 Fuentes de obtención del GLP

El GLP que se produce hoy a nivel mundial se obtiene de dos maneras: en las refinerías como subproducto del procesamiento del crudo y por medio del fraccionamiento del gas natural en las Plantas Recuperadoras donde se procesa dicho gas.

2.4.1.1 Obtención por Refinación del Petróleo

Al llegar el petróleo crudo a las refinerías, mediante el proceso de refinación se produce la separación de los hidrocarburos en los que se aprovechan sus diferentes puntos de ebullición, se obtienen combustibles y productos químicos de uso doméstico e industrial como la gasolina, el kerosene, el diesel, etc., entre ellos el GLP.

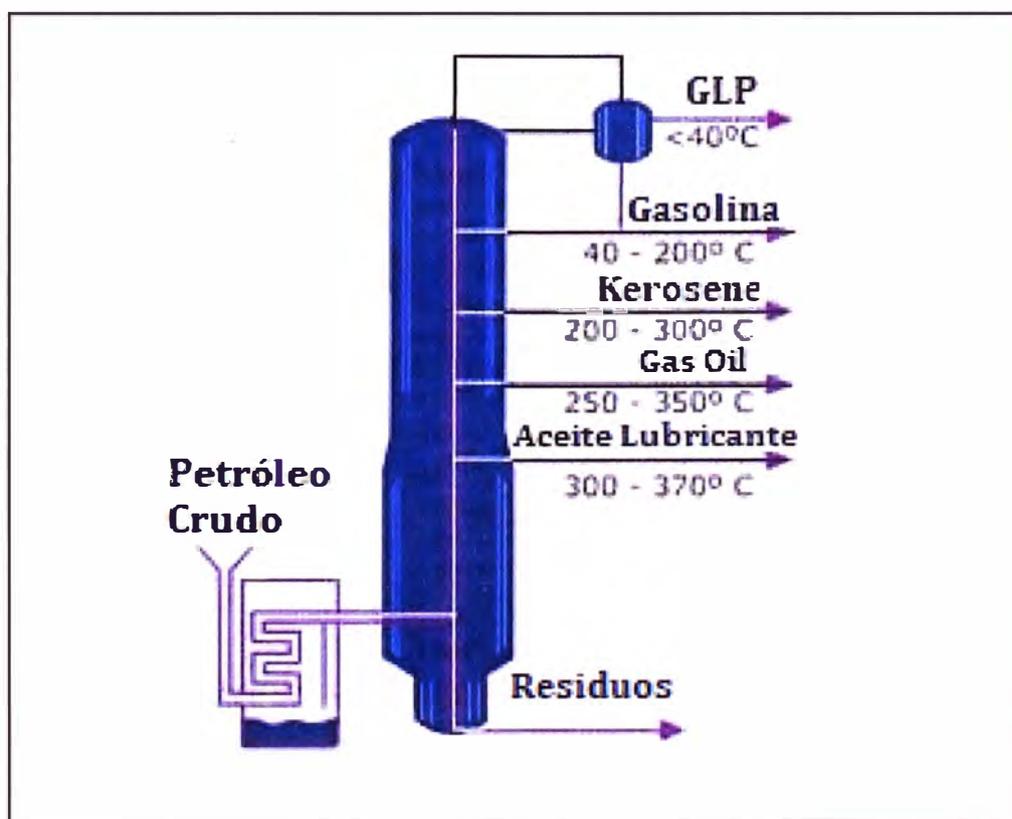


Figura 2.1. Obtención del GLP por Refinación del Petróleo

2.4.1.2 Obtención por Fraccionamiento del Gas Natural

El gas es extraído del subsuelo junto con líquidos de gas natural y con algunos contaminantes mediante torres de perforación. Este gas extraído de los pozos llega a una Planta de Separación en donde es separado de los líquidos de gas natural (LGN), a la vez que se eliminan los contaminantes. Los líquidos de gas natural son transportados a través de poliductos a una Planta de Fraccionamiento donde se obtienen diversos productos como el GLP, nafta, diesel, etc.

2.4.2 Composición del GLP

Además del propano C_3H_8 y butano C_4H_{10} que son los componentes primordiales del GLP, existen otros componentes en pequeñas cantidades como etano, etileno, propileno y otros. La composición del propano varía aproximadamente de 20 a 60% y del butano de 40 a 80%. Esta relación va de acuerdo al lugar de procedencia y de la refinería o planta donde se obtenga.

2.4.3 Propiedades Físicas y Químicas del GLP

Las características principales del GLP son:

- Más pesado que el aire.
- No es tóxico ni venenoso.
- Es inodoro e incoloro.
- Es altamente inflamable en mezclas con aire de 2 a 10%.

- Es gaseoso en condiciones ambientales, pero se licua con facilidad al incrementar la presión.
- Su combustión es completa y ni deja residuos.

Las propiedades más importantes del GLP a se muestran en la tabla 2.1

Tabla 2.1. Propiedades físico-químicas del GLP:

Propano 60% - Butano 40%

PROPIEDADES	UNIDADES	GLP	
Masa molar	kg/mol	0.0496	
Estado		Líquido	Gas
Poder calorífico inferior	MJ/Kg - MJ/m ³	45.99 - 105.32	
Densidad	Kg/m ³	540	2.28
Densidad relativa		0.54	1.77
Número de octano		100	
Temperatura de autoignición	°C	493	
Punto de ebullición	°C	-17	
Dosado estequiométrico másico	Kg aire/ Kg comb	15.63	
Dosado estequiométrico volumétrico	m ³ aire/ m ³ comb	7124.34	30.1

2.4.4 Usos del GLP

Dentro de las principales ventajas que tiene el uso del GLP sobre otros combustibles, se deben mencionar: limpieza, economía, alto poder calorífico, fácil manejo y transporte, seguridad en su uso, razones por las cuales el uso del GLP es cada vez mayor en el ámbito industrial, comercial y doméstico.

En el sector industrial, se destaca el uso del GLP en: metal-mecánica, cerámica, industria alimenticia, textil, cría de aves, galvanizado, laboratorio, agricultura, etc.

En el sector comercial, se destaca el uso del GLP en: Panaderías, locales de expendio de alimentos, lavanderías, etc.

En el sector doméstico, se destaca el uso del GLP en: viviendas unifamiliares, viviendas multifamiliares, edificios, piscinas, saunas, etc.

2.5 Biogás

El biogás es una mezcla de gases provenientes de la descomposición de materia orgánica realizada por acción bacteriana en condiciones anaeróbicas, es decir en ausencia de oxígeno.

2.5.1 Composición del Biogás

Los componentes principales del biogás son el metano (CH_4) y el dióxido de carbono (CO_2), pero también se encuentran pequeñas cantidades de ácido sulfhídrico (H_2S), hidrógeno (H_2), nitrógeno (N_2),

oxígeno (O₂), argón (Ar), monóxido de carbono (CO) y trazas de amoníaco (NH₃)

2.5.2 Fuentes de Obtención del Biogás

Por lo general, se puede obtener biogás a partir de cualquier material orgánico. Comúnmente se emplean las excretas de cualquier índole, los desechos de destilerías, los componentes orgánicos de los desechos sólidos municipales, los residuos orgánicos de mataderos, el lodo de las plantas de tratamiento de residuales, los desechos orgánicos de las industrias de producción de alimentos, los residuales agropecuarios, etc.

2.5.3 Producción del Biogás

El proceso de producción de biogás se efectúa en un recipiente cerrado denominado digestor, ya que en él ocurre el proceso de fermentación, similar a la digestión producida en nuestro aparato digestivo al ingerir los alimentos, que son descompuestos por la acción de las enzimas, mientras que la captación del biogás se produce mediante una campana o superficie abovedada o cilíndrica (en la mayoría de los casos), desde la cual se extrae el gas a través de una conducción por tubería o manguera.

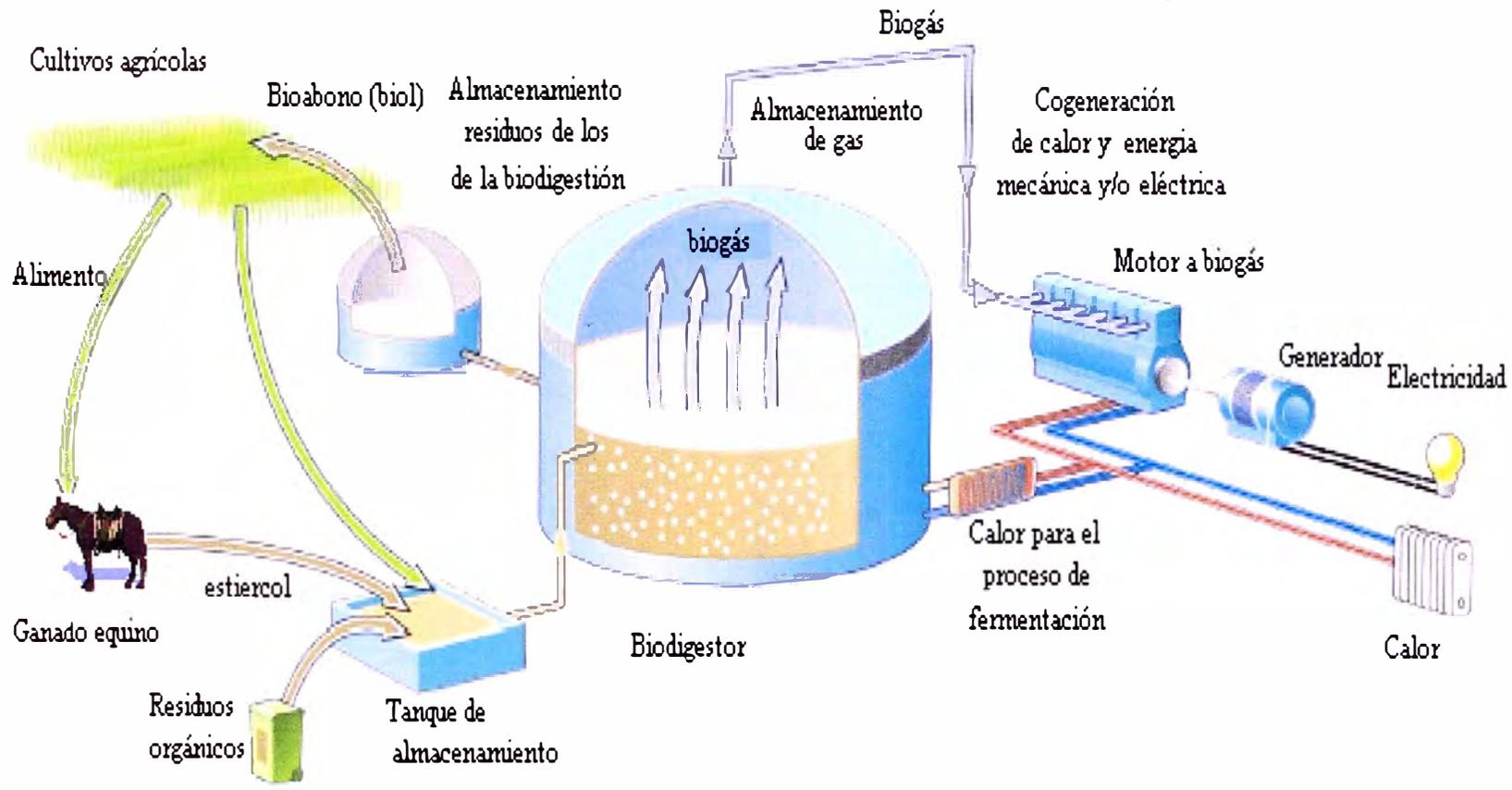


Figura 2.2. Obtención y Usos del Biogás

2.5.4 Características Físico - Químicas del Biogás

El poder calorífico y otras propiedades del biogás dependen de la cantidad de metano presentes en el biogás (éste varía entre 50 y 80% en vol.), el cual a su vez depende del proceso de obtención y de la materia prima utilizada.

Las propiedades físico-químicas del biogás en porcentaje volumétrico: 55% de CH₄ y 40% de CO₂, se muestran en la tabla 2.2

**Tabla 2.2. Propiedades Físico-Químicas del Biogás:
55%CH₄ - 40% CO₂ y otros**

PROPIEDADES	UNIDADES	BIOGÁS
Masa molar	kg/mol	0.0264
Estado		gas
Poder calorífico inferior	MJ/Kg - MJ/m ³	15.33 - 18.86
Densidad	Kg/m ³	1,23
Densidad relativa		0.953
Número de octano		125
Temperatura de autoignición	°C	700
Punto de ebullición	°C	
Dosado estequiométrico másico	Kg aire/Kg comb	5.56
Dosado estequiométrico volum.	m ³ aire/m ³ comb	5.77
Densidad mezcla aire-combustible	Kg/m ³	1.191

2.5.5 Usos del Biogás

El biogás producido en procesos de digestión anaerobia puede tener diferentes usos:

- En calderos para generación de calor o electricidad.
- En turbinas para generación de electricidad.
- En motores de combustión interna
- En grupos electrógenos
- En estufas de gas, en iluminación con lámparas de gas, en refrigeradores de gas, etc.

CAPITULO III

ESTADO ACTUAL DEL GRUPO ELECTRÓGENO

3.1 Obtención del Biogás

La empresa Maros Green S.A.C. a través del Proyecto Jockey Club del Perú ha impulsado e implementado la Primera Planta de Generación de Biogás en el Perú, usando el estiércol de los caballos del Hipódromo de Monterrico.

La producción de biogás en esta planta, permite la descontaminación del metano que libera la bosta de los cuadrúpedos hacia el medio ambiente; la producción de biol, afluente líquido utilizado como abono ; además de utilizar el biogás como combustible para la generación de energía eléctrica, para uso y aprovechamiento del propio Hipódromo de Monterrico.

El volumen de biogás generado actualmente por la planta es de 100 m³ al día.



Figura 3.1. Hipódromo de Monterrico



Figura 3.2. Planta de Generación de Biogás

3.2 Generación de Energía Eléctrica

La generación de energía eléctrica, así como la instalación y operación del grupo electrógeno, estuvo a cargo de la empresa All Energy S.A.C.

Para tal fin se adquirió un grupo electrógeno originalmente operado a gas natural y encendido por chispa. Fue necesario modificar el modelo original para su funcionamiento con biogás, principalmente, al sistema de alimentación de combustible, específicamente al regulador de suministro de gas del motor, adecuándolo a los requerimientos para su operación con biogás.

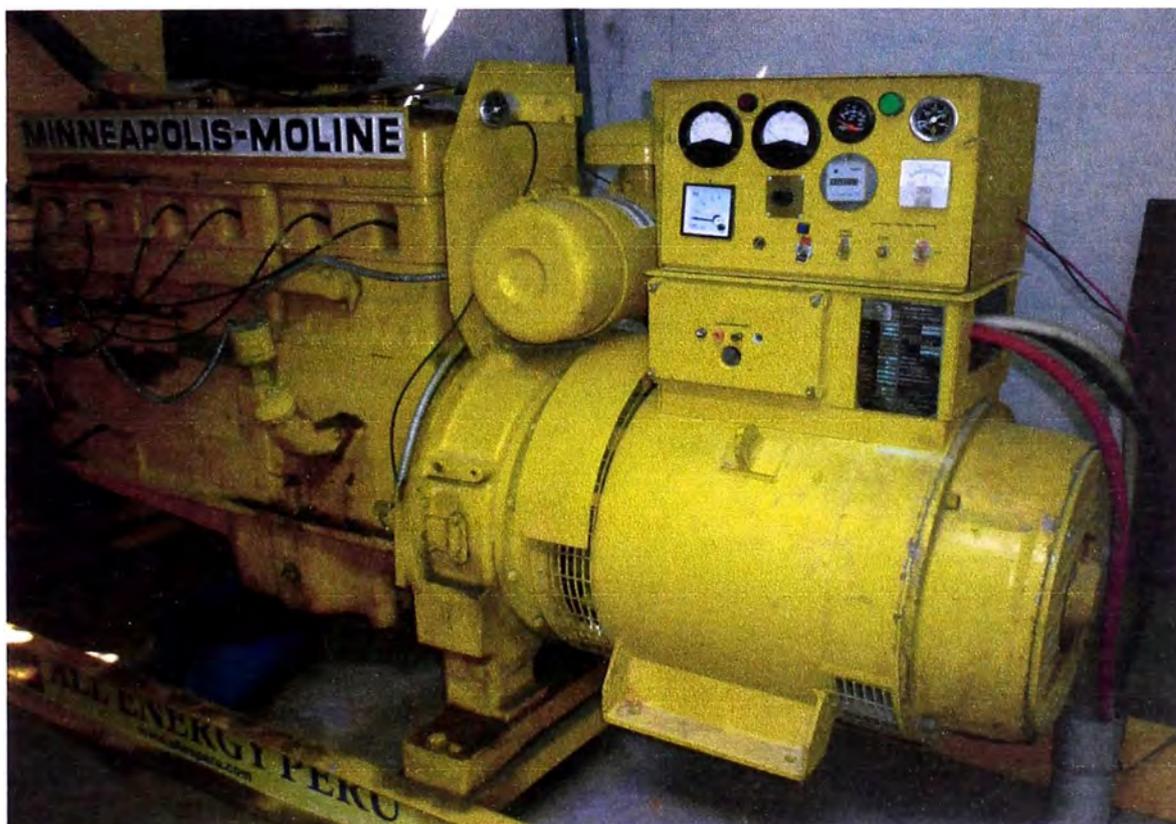


Figura 3.3 Grupo Electrónico Minneapolis Moline de 47 Kw a Biogás

3.3 Características del Grupo Electrónico

Motor

Marca: Minneapolis-Moline.

Modelo: HD5046A

Tipo de Motor: ECH a gas natural, 4 tiempos

No de cilindros: 06

Relación de compresión: 9,2: 1

Diámetro x carrera: 117.5 x 127 mm

Cilindrada: 8259 cm³

Potencia Nominal: 58Kw @ 1800 rpm (a gas natural)

Generador

Marca: Electric Construction

Tipo: BRF 250

Velocidad: 1800 RPM

Amperios: 190

Voltaje: 300

Factor de Potencia: 0.8

Potencia: 60 Kw

3.4 Sistema de Combustible

Este sistema suministra el biogás proveniente del biodigestor al grupo electrónico, bajo condiciones adecuadas de operación. El ácido sulfhídrico (H₂S) contenido en el biogás (de 0,10 a 0,50%) es altamente corrosivo, siendo

el límite máximo permitido 1.500 ppm (0,15% en vol.) por esta razón, es necesario el uso de filtros que disminuyan su concentración.



Figura3.4. Biodigestor



Figura 3.5. Transporte del Biogás desde el Biodigestor hacia los Filtros

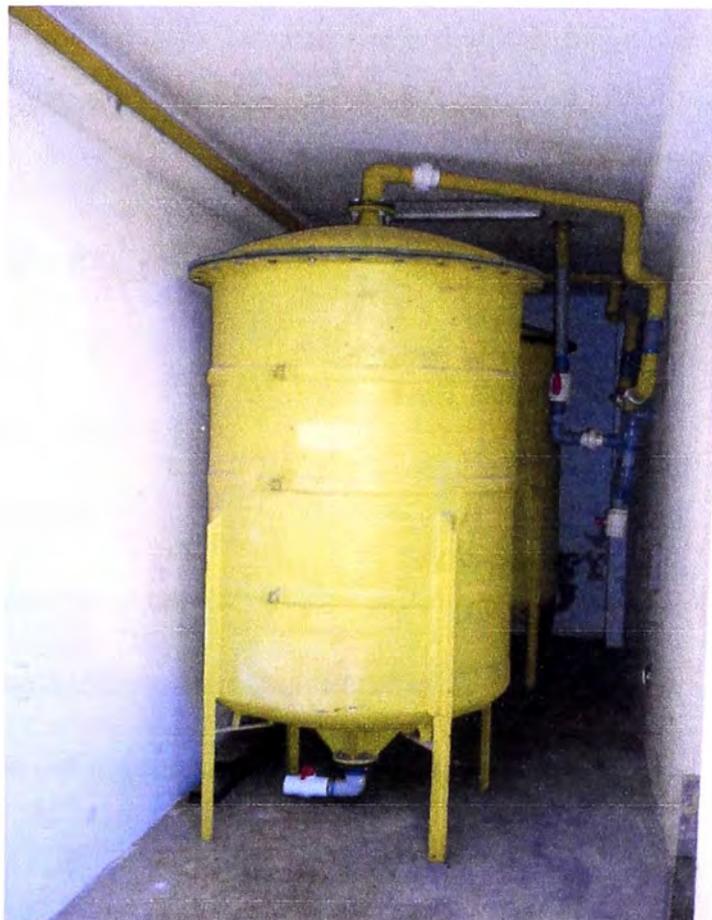


Figura 3.6. Filtros de Biogás



Figura 3.7. Paso del Biogás desde los Filtros hacia el Grupo Electrónico

3.4.1 Componentes del Sistema de Combustible

El sistema de alimentación de biogás comprende los siguientes elementos:

1. Motor
2. Mezclador Aire – Gas.
3. Filtro de aire.
4. Regulador de presión.
5. Electroválvula para arranque en frío.
6. Resorte del regulador.
7. Tornillo regulador de máxima.
8. Flujómetro.
9. Manómetro en U.
10. Regulador de velocidad.
11. Tubo de escape.
12. Línea de suministro de biogás.
13. Válvula de mariposa.
14. Diafragma.
15. Obturador.

3.4.1.1 Regulador de Caudal

Es el componente más importante del sistema de alimentación. Es un dispositivo neumático, que se encuentra ubicado entre la línea de suministro y el mezclador. Su función es regular con precisión la cantidad de biogás que ingresa al motor en función de la carga.

Debido a la baja presión manométrica de suministro del biogás, que no supera 20 mbar, este regulador ha sido modificado eliminando la etapa de alta presión y el evaporador del gas, de tal forma que el biogás llegue al reductor directamente, sin ninguna pérdida de presión.

3.4.1.2 Mezclador Aire-Gas

Es el elemento encargado de combinar el gas con el aire en la proporción adecuada para cualquier régimen de funcionamiento del motor. El mezclador tiene, básicamente, el mismo principio que un carburador convencional, es decir, el flujo de aire, que ingresa al motor durante la admisión, origina una depresión en la garganta del mezclador donde se ubican los agujeros por donde sale el biogás hacia el motor. La depresión en la garganta del mezclador varía en función de la posición de la válvula de mariposa del carburador y de la velocidad del motor.

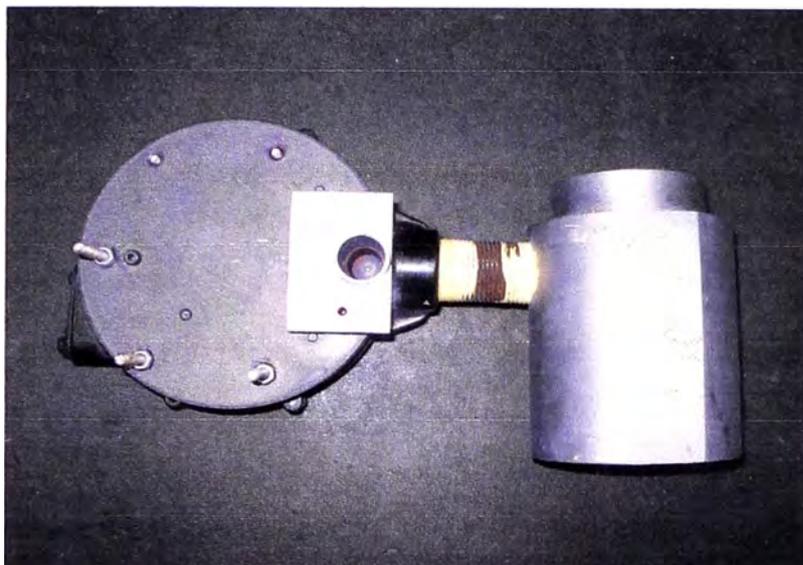


Figura 3.9. Regulador- Mezclador

3.5 Funcionamiento del Motor

El biogás, proveniente del biodigestor, ingresa al sistema de alimentación del motor por la línea de suministro (12) y luego al regulador de presión (4) donde se dosifica la cantidad de gas que consume el motor en función de la carga. El manómetro en "U" (9) y el caudalímetro (8) miden la presión de suministro y el caudal de gas entrante respectivamente, esto antes del ingreso del gas al mezclador aire/gas (2). El biogás ingresa al motor gracias a la succión que provoca el descenso de los pistones del motor durante la carrera de admisión, vacío que se incrementa cuando el aire, proveniente del filtro (3), pasa por la garganta del mezclador (2). Este vacío sirve también para succionar al diafragma del regulador (14) con lo que se abre el obturador (15). Para regular la cantidad de gas que ingresa al motor en el régimen de potencia máxima se utiliza el tornillo (7).

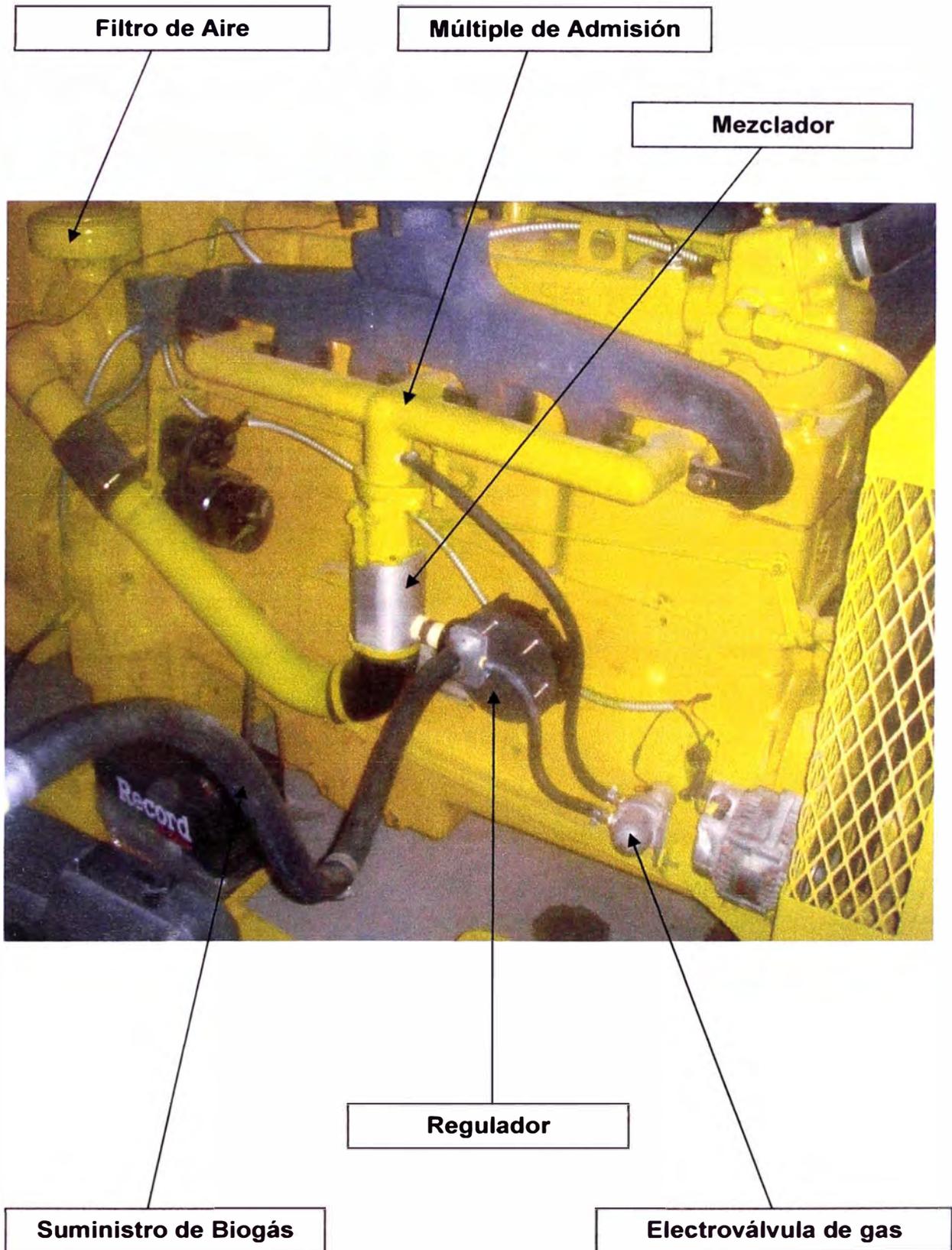


Figura 3.10. Sistema de Combustible a Biogás

Durante el arranque en frío del motor se abre la electroválvula (5) para derivar directamente el gas a la zona de alto vacío, delante de la válvula de mariposa (13).

La velocidad del motor se controla con el regulador centrífugo (10), el cual actúa sobre la válvula de mariposa (13) a través de un sistema de palancas.

3.6 Características del Grupo modificado a Biogás

La modificación del sistema de alimentación de combustible permitió el desarrollo de un sistema sencillo y original de regulación automática de alimentación de biogás a un motor de relativa alta potencia, funcionando en forma confiable y segura en todo el rango de cargas con un combustible no especificado por el fabricante.

Luego de las modificaciones realizadas, principalmente al regulador y mezclador; la potencia máxima desarrollada por el motor fue de 47 kW, lo que representa aproximadamente el 19% menos que la potencia nominal del motor (58 kW) trabajando con gas natural.

Las modificaciones realizadas permitieron no sólo controlar el consumo de gas, en el régimen de máxima potencia, sino regular automáticamente el consumo para cargas menores manteniendo la mezcla aire-gas prácticamente estequiométrica.

Los resultados de las pruebas con biogás arrojaron un consumo específico de aproximadamente $0,73-0,76\text{m}^3/(\text{kW-h})$ a plena carga.

Las emisiones tóxicas de CO y HC son relativamente pequeñas tratándose de un grupo estacionario a biogás.

CAPITULO IV

MEJORA DEL GRUPO ELECTRÓGENO

Específicamente la mejora del grupo electrógeno está referida al incremento de su potencia debido al reemplazo del biogás por GLP, este aumento se debe a su mayor poder calorífico. Los cálculos teóricos y la prueba experimental se fundamentan en los siguientes factores de funcionamiento:

4.1. Parámetros de Operación

4.1.1 Potencia en un Motor de Combustión Interna

El combustible que se introduce en el interior de los cilindros posee una energía química que con la combustión se transforma en energía calorífica, de la cual una parte es convertida en trabajo mecánico. La potencia es la rapidez a la cual se realiza este trabajo, además depende de diversos factores, entre ellos: la relación de compresión, la cilindrada, el número de cilindros, régimen de giro, etc. Fundamentalmente se distinguen tres clases de potencia en un motor.

4.1.1.1 Potencia Indicada

Es la potencia realmente desarrollada en el interior del cilindro por la expansión de los gases en el proceso de combustión, la designamos con N_i . Parte de esta potencia es necesaria para vencer la fricción de las partes móviles (pérdidas mecánicas), mover los elementos y accesorios, cargar el aire fresco dentro del cilindro en la carrera de admisión y expulsar los gases residuales en la carrera de escape.

4.1.1.2 Potencia Efectiva

La potencia efectiva N_e , es la potencia neta disponible al eje del motor, también se le denomina potencia al freno, ya que en general esta potencia se mide empleando un dispositivo frenante, que aplicado al eje del motor, se opone al par motor permitiendo medir su valor, este par es un esfuerzo de giro producida por la fuerza de la explosión aplicada a la biela y transmitida por ésta al codo del cigüeñal para hacerle girar.

4.1.1.3 Potencia por Pérdidas Mecánicas

Designada por N_f , es la potencia que se emplea para vencer la fricción en los cojinetes, émbolos y otras partes mecánicas del motor, además en la inducción de la carga aire-combustible y en la expulsión de los gases de escape. La potencia al freno es menor que la indicada, en una cantidad igual a la potencia consumida en las fricciones del motor.

$$N_i = N_e + N_f$$

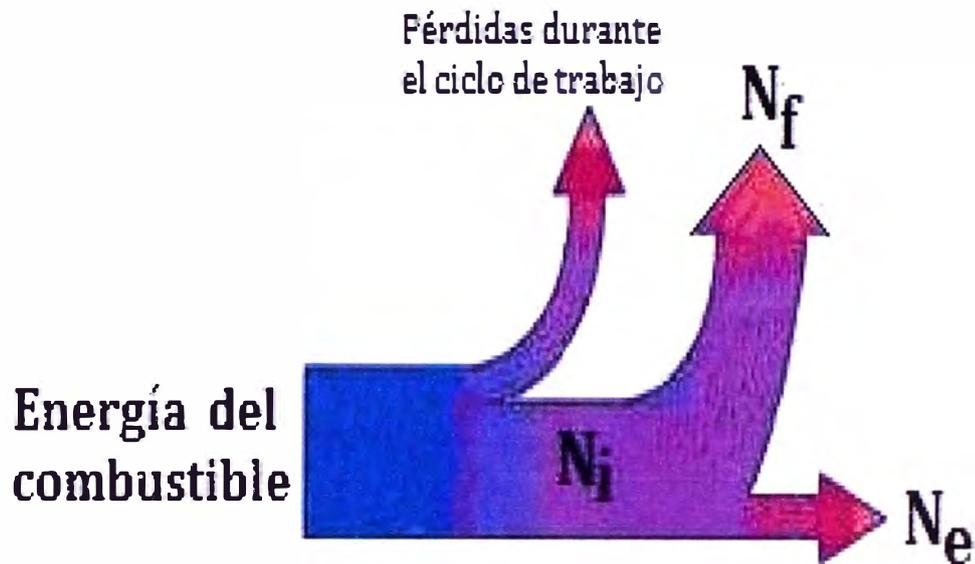


Figura 4.1 Diagrama de Sankey de las Potencias en un Motor

4.1.2 Rendimiento en un Motor de Combustión Interna

El rendimiento es la eficacia con que el motor convierte en energía mecánica la energía calorífica que recibe con el combustible. Los rendimientos se expresan en porcentajes y son siempre menores al 100%. La diferencia entre cada rendimiento y el 100% es el porcentaje de pérdidas ocurridas durante el proceso en cuestión.

Por lo que respecta a los motores, los rendimientos importantes que reflejan el comportamiento operativo de los mismos son:

4.1.2.1 Rendimiento Indicado

Es la eficiencia con que el motor transforma la energía almacenada en el combustible en energía mecánica sobre el pistón.

El rendimiento indicado determina las pérdidas que tienen lugar en el cilindro del motor durante el ciclo real de trabajo. Estas pérdidas son causadas por las diferencias que existen entre las propiedades del gas perfecto y el real, durante la combustión incompleta, en la refrigeración y estrangulación del fluido, durante el cambio de carga de combustible, etc.

$$\eta_i = \frac{N_i}{H_u}$$

Donde:

N_i : Potencia indicada en MJ/kg

H_u : Poder calorífico del combustible en MJ/Kg

4.1.2.2 Rendimiento Mecánico

Es la relación entre la potencia producida por el motor (N_e) y la potencia total desarrollada dentro de él (N_i).

$$\eta_m = \frac{N_e}{N_i}$$

La magnitud del rendimiento mecánico crece al disminuir las pérdidas por fricción y por accionamiento de los mecanismos auxiliares, así como al aumentar la carga hasta ciertos márgenes.

En la práctica, el rendimiento mecánico puede variar dependiendo también del tipo y campo de aplicación del motor.

- Para motores de encendido por chispa: $n_m = 0.7- 0.9$
- Para motores diesel de cuatro tiempos de aspiración natural: $n_m = 0.7- 0.82$
- Para motores diesel sobrealimentados: $n_m = 0.8- 0.9$
- Para motores a gas: $n_m = 0.75- 0.85$

4.1.2.3 Rendimiento Efectivo

Se define como la relación de la cantidad de calor equivalente al trabajo útil en el eje del motor por la cantidad total de calor introducido con el combustible.

$$n_e = \frac{L_e}{H_u}$$

Donde:

Le: Calor equivalente al trabajo efectivo, MJ/ Kg_{combustible}

Hu: Poder calorífico bajo del combustible, MJ/ Kg_{combustible}

También se puede expresar a través del rendimiento indicado y rendimiento mecánico.

$$n_m \equiv \eta_i \cdot \eta_m$$

La magnitud del rendimiento efectivo en función del tipo y campo de aplicación de los motores en régimen nominal:

- Para motores de encendido por chispa: $n_e = 0.23- 0.31$
- Para motores diesel : $n_e = 0.31- 0.42$

- Para motores a gas: $n_e = 0.22 - 0.32$

4.1.2.4 Rendimiento Volumétrico

La cantidad de mezcla introducida en el cilindro durante la carrera de admisión es una medida del rendimiento volumétrico del motor. Si la mezcla fuera aspirada lentamente sería posible que el cilindro se llenara en su totalidad; sin embargo, debe pasar muy rápidamente. Además, la mezcla está sometida al calor y por lo tanto aumenta su temperatura dilatando el aire. Estos dos fenómenos, rápido movimiento y calentamiento, reducen la cantidad de la mezcla en la carrera de aspiración; no puede realizarse el llenado completo debido al corto tiempo disponible.

La eficiencia volumétrica n_v es la relación entre la cantidad de la mezcla que realmente entra en el cilindro y la que podría entrar en condiciones ideales.

$$n_v = \frac{\dot{V}_{mz}}{V_H \times \frac{n}{120}}$$

Donde:

\dot{V}_{mz} : Caudal de la mezcla en m^3/seg

V_H : Cilindrada del motor en m^3

n : Velocidad de rotación del cigüeñal en RPM

4.1.3 Combustión y Relaciones Estequiométricas

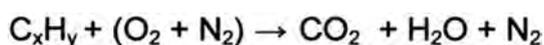
En vista de que los combustibles comprenden moléculas de diferentes hidrocarburos, la composición de los mismos se suele asignar a partir del contenido de masa o en volumen de sus elementos básicos. En la composición del combustible figuran el carbono C, hidrógeno H, oxígeno O, nitrógeno N y otros. Los elementos básicos que se toman en consideración al calcular las reacciones de combustión son el carbono, hidrógeno y oxígeno del combustible. El resto de elementos presentes comúnmente se desprecian.

En la combustión el oxígeno reacciona generalmente con el carbono y el hidrógeno, esta va acompañada de gran desprendimiento de calor. En la mayoría de los casos el portador del oxígeno es el aire; el nitrógeno (salvo en la generación de los NO_x) y los demás componentes del aire no reaccionan con el combustible, por lo que en muchos cálculos no se tienen en cuenta. Los productos reaccionantes son: el combustible, el aire, los productos de la combustión gaseosas denominados humos o gases de escape y las cenizas que pueden originarse formadas por componentes no combustibles o no quemados del combustible.

Las reacciones químicas de combustión del combustible permiten calcular la cantidad de oxígeno teóricamente necesario y la cantidad de productos de combustión resultantes. De acuerdo a como se produzcan las reacciones de combustión, pueden ser:

4.1.3.1 Combustión Completa

Ocurre cuando las sustancias combustibles reaccionan hasta el máximo grado posible de oxidación. En este caso no habrá presencia de sustancias combustibles en los productos o humos de la reacción. Toda combustión completa libera, como producto de la reacción, dióxido de carbono (CO₂) y vapor de agua (H₂O); no importa cuál sea el combustible a quemar. Estas sustancias no son tóxicas, pero el dióxido de carbono es el mayor responsable del calentamiento global.

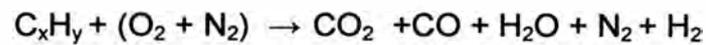


4.1.3.2 Combustión Incompleta

Se produce cuando no se alcanza el grado máximo de oxidación y hay presencia de sustancias combustibles en los gases o humos de la reacción.

Los productos de la combustión poseen sustancias todavía capaces de ser oxidadas, por ejemplo el CO que puede pasar a CO₂. La combustión incompleta aparece cuando el aire es insuficiente, o en aquellas zonas de las cámaras de combustión en las que el aire no llega en cantidad suficiente. En general se tiende a evitar las combustiones incompletas, ya que no sólo van ligadas a pérdidas de energía, sino también a procesos altamente contaminantes; el combustible que no ha reaccionado y los componentes combustibles de los humos, contienen una energía química que no

se aprovecha, al tiempo que se generan elementos inquemados CH, y elementos contaminantes CO, NO_x, etc.



4.1.3.3 Relación Aire-Combustible

Es la relación entre las cantidades de aire y combustible consumidas en el proceso de combustión, lo designamos como L_o y se puede determinar:

$$\text{En base másica (kg/kg):} \quad L_o = \frac{\textit{masa}_{\textit{aire}}}{\textit{masa}_{\textit{combustible}}}$$

$$\text{En base molar (moles/moles):} \quad L_o = \frac{\textit{moles}_{\textit{aire}}}{\textit{moles}_{\textit{combustible}}}$$

$$\text{En base volumétrica (m}^3\text{/m}^3\text{):} \quad L_o = \frac{\textit{volumen}_{\textit{aire}}}{\textit{volumen}_{\textit{combustible}}}$$

4.1.3.4 Relación Aire-Combustible Estequiométrica

Es la relación teórica que existe entre el aire y la cantidad de combustible para que la combustión se lleve a cabo de forma perfecta, depende del tipo de combustible y nos informa la cantidad mínima de aire que debe suministrarse a un motor para que se queme una cantidad de combustible dada.

4.1.3.5 Coeficiente de Exceso de Aire

La cantidad de aire que participa en el proceso de combustión puede ser mayor o menor que la cantidad teóricamente necesaria para la combustión completa del combustible.

La relación de la cantidad de aire, que participa en el proceso de combustión a la teóricamente necesaria para la combustión completa del combustible se llama coeficiente de exceso de aire. Se representa por la letra griega lambda (λ) y se determina mediante:

$$\lambda = \frac{AIRE_{real}}{AIRE_{teórico}}$$

Este coeficiente también se utiliza como parámetro de comparación de la riqueza (exceso de combustible) o pobreza (exceso de oxígeno) de la mezcla. A partir de la definición se tienen que dependiendo de la cantidad de oxígeno presente en la mezcla su valor puede ser: mayor, menor o igual que la unidad, lo que permite determinar si la combustión es completa o incompleta. Si $\lambda > 1$ hay más aire de lo que teóricamente se necesita para la combustión completa del combustible, tal mezcla se llama pobre (en combustible). La composición de la mezcla siendo $\lambda = 1$ se llama estequiométrica. Si la cantidad de aire es insuficiente para la combustión completa, o sea si $\lambda < 1$, la mezcla se llama rica. En los motores Diesel siempre se utilizan mezclas pobres. En motores con encendido por chispa se utilizan mezclas pobres, ricas y

estequiométricas. La tabla 4.1 muestra el resumen de dicha información.

Tabla 4.1. Riqueza de la Mezcla y relación con el Proceso de Combustión

Coefficiente de exceso de aire	Mezcla Aire - Combustible	Combustión
$\lambda > 1$	Pobre	Completa
$\lambda = 1$	Estequiométrica	Completa
$\lambda < 1$	Rica	Incompleta

4.2 Cálculo de la Potencia Efectiva con GLP

Consideramos la composición volumétrica del GLP como:

Propano (C₃H₈): 60%

Butano (C₄H₁₀): 40%

4.2.1 Cálculo de la Relación Aire-Combustible

La ecuación de combustión tomando como base 1 unidad de volumen es:

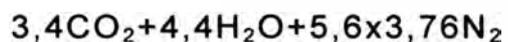
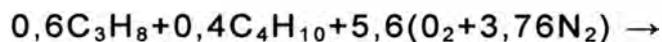


Balance del Carbono: $0,6 \times 3 + 0,4 \times 4 = b \Rightarrow b = 3,4$

Balance del Hidrógeno: $0,6 \times 8 + 0,4 \times 10 = 2c \Rightarrow c = 4,4$

Balance del Oxígeno: $2a = 2 \times 3,4 + 4,4 \Rightarrow a = 5,6$

Reemplazando:



La relación aire-combustible (L_o) es:

$$L_o = \frac{5,6 + 5,6 \times 3,76}{1}$$

$$L_o = 26,65 \text{ m}^3 / \text{m}^3$$

4.2.2 Determinación del Caudal de GLP

El caudal de GLP lo determinamos a partir de la eficiencia volumétrica n_v :

$$n_v = \frac{\dot{V}_{mz}}{V_H \times \frac{n}{120}} = \frac{\dot{V}_a + \dot{V}_g}{V_H \times \frac{n}{120}}$$

Donde:

\dot{V}_{mz} : Caudal de mezcla aire-gas en m^3 / seg

\dot{V}_g : Caudal de gas (GLP) en m³/seg

\dot{V}_a : Caudal de aire en m³ / seg

V_H : Cilindrada del motor en m³

n : Velocidad de rotación del cigueñal en RPM

También:

$$\dot{V}_g = \frac{\dot{V}_a}{\lambda L_o}$$

Donde:

λ : Coeficiente de exceso de aire

L_o : Relación aire – combustible en m³/m³

Reemplazando esta relación en la ecuación de la eficiencia volumétrica:

$$n_v = \frac{\dot{V}_a + \frac{\dot{V}_a}{\lambda L_o}}{V_H \times \frac{n}{120}}$$

$$n_v = \frac{\dot{V}_a \left(1 + \frac{1}{\lambda L_o} \right)}{V_H \times \frac{n}{120}}$$

$$n_v = \frac{(\lambda L_o + 1) \dot{V}_g}{V_H \times \frac{n}{120}}$$

De donde:

$$\dot{V}_g = n_v \times V_H \times \frac{n}{120} \times \left[\frac{1}{\lambda L_o + 1} \right]$$

4.2.3 Cálculo de la Potencia Máxima con GLP

La potencia efectiva lo calculamos a partir de:

$$N_e = \dot{V}_g \times H_u \times n_e$$

Donde:

H_u : Poder calorífico del GLP en $\frac{MJ}{m^3}$

n_e : Eficiencia efectiva del motor. Para motores a gas: $n_e = 0,22 \dots 0,32$

Reemplazando las relaciones anteriores tenemos:

$$N_e = n_v \times V_H \times \frac{n}{120} \times n_e \times H_u \times \left[\frac{1}{\lambda L_o + 1} \right]$$

Reemplazando valores:

$$n_v = 0,7$$

$$V_H = 8259 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$n = 1800 \text{ RPM}$$

$$n_e = 0,23$$

$$H_u = 105,32 \frac{MJ}{m^3}$$

$$\lambda = 1$$

$$L_o = 26,65 \frac{m^3}{m^3}$$

$$N_e = 0,7 \times 8259 \times 10^{-3} \times \frac{1800}{120} \times 0,23 \times 105,32 \left[\frac{1}{(1)(26,65)+1} \right]$$

$$N_e = 75,9 \text{ kw}$$

4.2.4 Cálculo del Consumo Específico a Máxima Potencia

Para motores que funcionan con combustibles gaseosos el gasto específico (g_e) se calcula mediante:

$$g_e = \frac{3,6}{n_e H_u}$$

Reemplazando valores:

$$g_e = \frac{3,6}{0,23 \times 105,32}$$

$$g_e = 0,149 \frac{m^3}{Kwh}$$

4.3 Descripción del Sistema de Suministro GLP- Biogás

Para el funcionamiento con GLP, se adaptó al sistema de combustible con biogás una derivación sencilla hacia el balón de GLP, esto nos permite pasar de un combustible a otro sólo cerrando y abriendo las respectivas válvulas de paso. El sistema de suministro de GLP - biogás está compuesto por los siguientes elementos:

1. Filtro de Aire
2. Mezclador
3. Regulador de Presión
4. Electroválvula
5. Válvula de regulación de flujo de biogás
6. Biodigestor
7. Filtro de biogás
8. Balón de GLP
9. Reductor de presión de GLP
10. Válvula de regulación de flujo de GLP
11. Filtro de gas
12. Regulador de velocidad
13. Válvula de mariposa
14. Tubo de escape

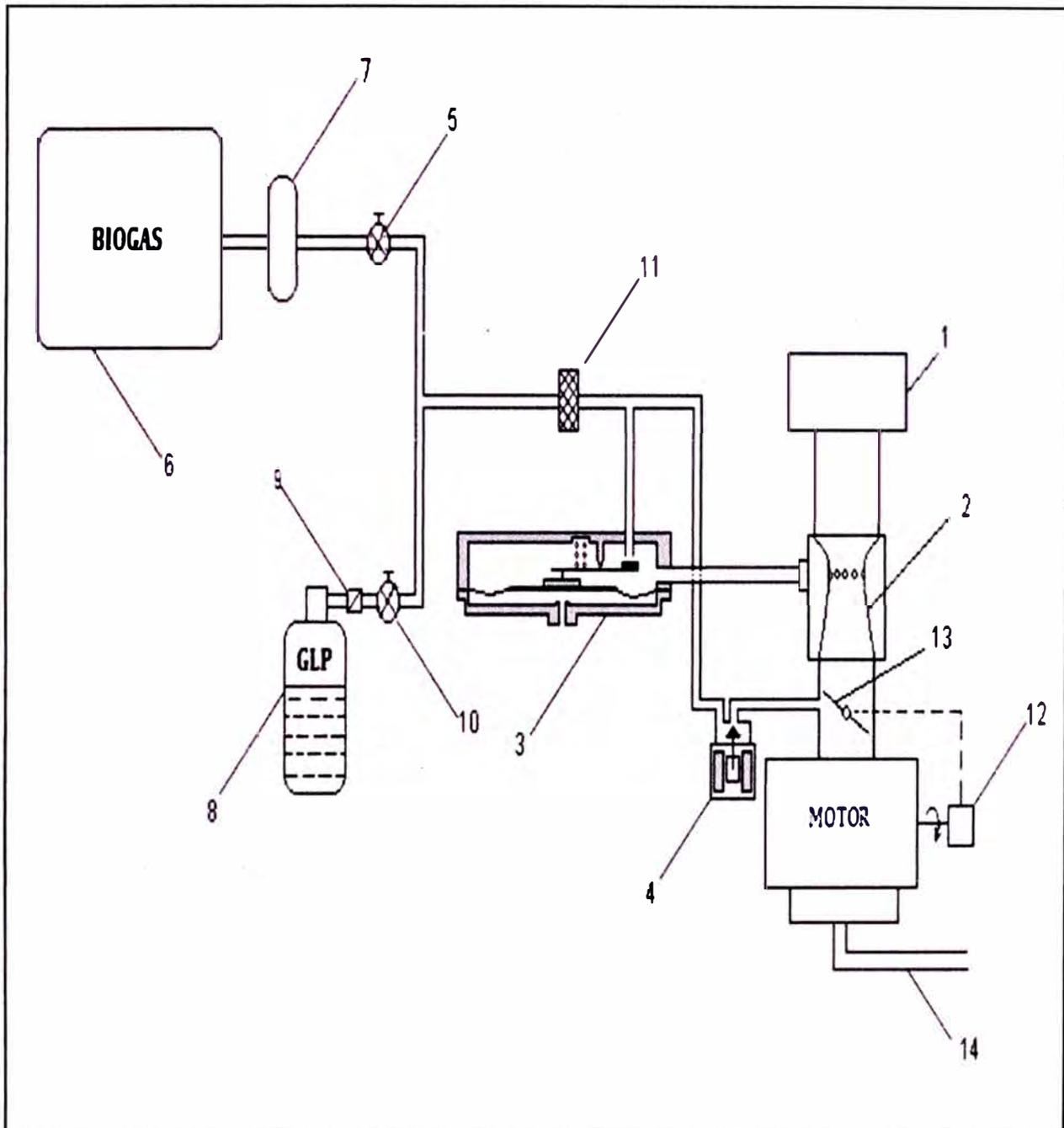


Figura 4.2. Esquema del Sistema de Combustible Biogás - GLP



Figura 4.3. Adaptación de Sistema con GLP

4.4 Principio de Funcionamiento

Dentro de la botella de GLP (8), coexisten en equilibrio la fase vapor y la fase líquida. Este equilibrio solamente se altera al variar la temperatura ambiente y/o al realizarse una toma de gas. La fase líquida ocupa la parte inferior; el suministro de GLP se hace en estado gaseoso, que ocupa la parte superior. Debido a que el gas en la botella, se encuentra sometido a una presión de alrededor 14 bar, la instalación dispone de un reductor de presión (9), el cual reduce su presión hasta aproximadamente 20 mbar enviándolo a la línea de suministro.

Antes de que el GLP sea succionado por el mezclador (2); pasa por el filtro de gas (11) e ingresa al regulador de presión (3), el cual dosifica la cantidad de gas en función de la carga aplicada. El aire proveniente del filtro (1) que aspiran los cilindros, al pasar por la garganta del mezclador arrastra el GLP, produciendo la mezcla carburante en las proporciones adecuadas y pasando a las válvulas de admisión, y de ahí a los cilindros, en el momento en que cada uno se encuentra en el tiempo de admisión.

Durante el arranque en frío del motor se abre la electroválvula (4) para derivar directamente el gas a la zona de alto vacío, delante de la válvula de mariposa (13).

4.5 Proceso Experimental

4.5.1. Tipo de Prueba para determinar la Potencia del Motor

Para establecer y medir la potencia efectiva del motor se conectó al generador una carga del tipo puramente resistiva y se determinó su potencia por medio de las lecturas del voltaje y la corriente en el tablero de control.

El método de la prueba experimental, así como el cálculo de la potencia del generador, se basan en los siguientes conceptos:

4.5.1.1. Potencia de un Generador Eléctrico

Una carga es cualquier dispositivo que absorbe energía en un sistema eléctrico. Los tipos de cargas se dividen en tres grupos: cargas resistivas, cargas inductivas y cargas capacitivas.

Las cargas resistivas son simplemente aquellas en las que la electricidad produce calor y no movimiento, ejemplos de este tipo de carga son las lámparas incandescentes, estufas eléctricas, cafeteras eléctricas o cualquier aparato de consumo que utilice para su funcionamiento resistencias. Las cargas inductivas generalmente son aquellas en las que la electricidad circula a través de bobinas, ampliamente utilizados en motores eléctricos o transformadores de tensión, que se encuentran en la mayoría de los aparatos electrónicos, tales como televisores, ordenadores o lámparas

fluorescentes. Las cargas capacitivas son las que generan los condensadores o capacitores.

En un circuito eléctrico de corriente alterna se pueden llegar a encontrar tres tipos de potencias eléctricas diferentes:

Potencia Activa o Resistiva. Es la potencia consumida por una carga resistiva que se convierte en trabajo útil. Su símbolo es P y su unidad es el Watt (W). La fórmula matemática para hallar la potencia activa es:

$$P = \sqrt{3} V I \cos\Phi$$

Donde:

P: Potencia Resistiva en Watts (W)

V: Voltaje de Línea en Voltios (V)

I: Corriente de Línea en Amperios (A)

CosΦ: Factor de Potencia

Potencia Reactiva o Inductiva. Esta potencia la consumen los circuitos de corriente alterna que tienen conectadas cargas inductivas. La potencia reactiva o inductiva no proporciona ningún tipo de trabajo útil, pero es necesaria para producir el flujo magnético de aquellos equipos basados en este principio. Se simboliza con Q y se mide en volt-ampere-reactivo (VAR).

Potencia Aparente. Llamada también "Potencia Total", es el resultado de la suma geométrica de las potencias activa y reactiva. Se representa con S y su unidad de medida es el volt-ampere (VA).

Estos tres tipos de potencia se pueden representar vectorialmente como un triángulo denominado triángulo de potencias.



Figura 4.4. Triángulo Vectorial de Potencias

Al coseno del ángulo Φ ($\text{Cos}\Phi$) se denomina factor de potencia y representa la relación entre la potencia activa (P) y la potencia aparente (S), es decir, la relación existente entre la potencia real de trabajo y la potencia total consumida por la carga en un circuito eléctrico de corriente alterna. Este término es el parámetro más utilizado como cifra característica en los equipos consumidores, se determina por:

$$\text{Cos}\Phi = \frac{P}{S}$$

En un circuito puramente resistivo, o sea cuando todo lo que se conecta a la fuente alimentadora de energía eléctrica es carga únicamente resistiva y no existe carga inductiva, la potencia total consumida S será igual a la potencia activa P por lo que el factor de potencia sería igual a la unidad, o sea $\text{Cos}\Phi = 1$, y la fórmula anteriormente mencionada se reduce a:

$$P = \sqrt{3} V I$$

Esta relación es la que se utilizará para calcular la potencia entregada por el generador en el proceso experimental, dado que el circuito adaptado es puramente resistivo.

4.5.1.2. Regulación de Voltaje

Un regulador de voltaje permite mantener el voltaje de salida del generador y su valor nominal dentro de un estrecho rango especificado, y cuando cargas pasajeras causen un cambio del voltaje, el regulador actuará para retornar el voltaje a este rango lo más rápido posible.

El voltaje del generador podría ser regulado manualmente controlando un reóstato en el circuito excitador del campo pero esto

es rara vez práctico por las amplias cargas fluctuantes. Por lo tanto un grupo electrógeno normalmente incorpora un regulador de voltaje automático.

Cuando la excitación del campo del generador es provista por un excitador giratorio, el regulador de voltaje opera indirectamente controlando la corriente en el campo del excitador en vez del campo del generador.

Un generador equipado con un regulador automático de voltaje mantiene aproximadamente constante el voltaje en cualquier carga fija, pero el voltaje puede variar ligeramente sobre y debajo del promedio. Esta ligera variación es usualmente expresada como un porcentaje más o menos del voltaje nominal. Usualmente el voltaje disminuye con carga, siendo más alto con cargas ligeras y más bajo con cargas paradas. Regulación de 4% es adecuada para muchas instalaciones y puede ser alcanzado por reguladores mecánicos económicos. Regulación extremadamente ajustada, en el orden de 1% a 1.5% es provista por reguladores más caros y son requeridos donde la carga incluye equipos electrónicos, iluminación o instrumentación.

La caída o el aumento momentáneo de voltaje cuando se aplica o se quita carga debe ser limitado para evitar fluctuación ligera o mal funcionamiento de equipos sensitivos.

Una respuesta típica de voltaje a una aplicación de carga es ilustrada en la figura 4.5. El voltaje decae súbitamente, aumenta bajo la influencia del regulador de voltaje, sobrepasa ligeramente la banda de regulación, disminuye y se ajusta dentro de la banda. Su nuevo valor fijo promedio puede ser ligeramente diferente de su valor original dependiendo de las características de regulación del regulador.

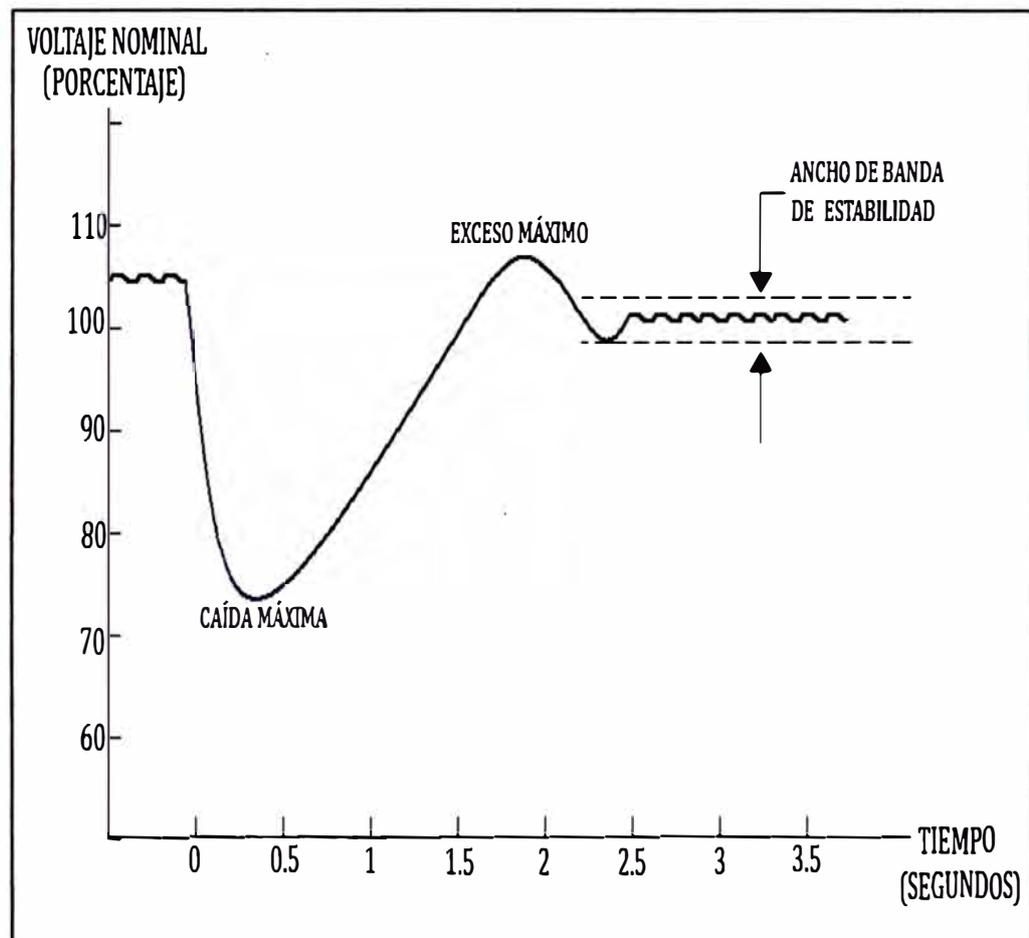


Figura 4.5. Variación del Voltaje por Aplicación de Carga

4.5.1.3. Regulación de Frecuencia

Para producir corriente alterna a una frecuencia especificada, el motor debe accionar el alternador en una correspondiente “velocidad sincrónica”. Velocidades sincrónicas comunes son 1800 RPM para 60 Hz y 1500 RPM para 50 Hz. La velocidad del motor y alternador es controlada por un gobernador regulador de velocidad que ajusta automáticamente el varillaje del control de combustible del motor a las variaciones de carga, incrementando o disminuyendo la potencia del motor, como sea necesario, para mantener la velocidad constante.

Cuando la carga es aplicada o sacada, hay una caída o aumento momentáneo en la frecuencia y el gobernador responde cambiando la cantidad de combustible del motor y restableciendo la frecuencia. Si una carga es añadida, la frecuencia decae y luego aumenta cuando reacciona el gobernador incrementando el flujo de combustible al motor.

El tiempo de recuperación es el tiempo en segundos desde el momento en que se desvió la frecuencia hasta que se recupera y permanece dentro del ancho de banda, entendiéndose por este como los límites de variación de la frecuencia en alguna carga fija. Un gobernador típico mantiene el ancho de banda en $\pm 1/4$ %.

La diferencia entre la velocidad promedio fija o frecuencia, sin carga y con carga es llamada "regulación". Es expresada como un porcentaje de la velocidad máxima con carga. La mayoría de las aplicaciones puede fácilmente aceptar un 3% de caída de velocidad. Esto hace posible el uso de un regulador sencillo y menos costoso, además de que se puede conectar en paralelo con otras unidades.

Un gobernador hidráulico percibe la velocidad con contrapesas giratorias y emplean un actuador hidráulico para accionar un varillaje de control de combustible. Las contrapesas controlan una válvula piloto la cual controla la posición de un pistón de fuerza que acciona el varillaje de control.

Cuando se quita carga y la velocidad aumenta, las contrapesas se abren y desplazan la válvula piloto para permitir que algo del aceite atrapado se escape y que el pistón de fuerza se mueva en una dirección que reduce el flujo de combustible hacia el motor. Cuando se añade carga y la velocidad disminuye, las contrapesas se cierran y desplazan la válvula piloto para admitir presión de aceite al extremo del pistón de fuerza, este mueve el varillaje de control para aumentar el flujo de combustible.

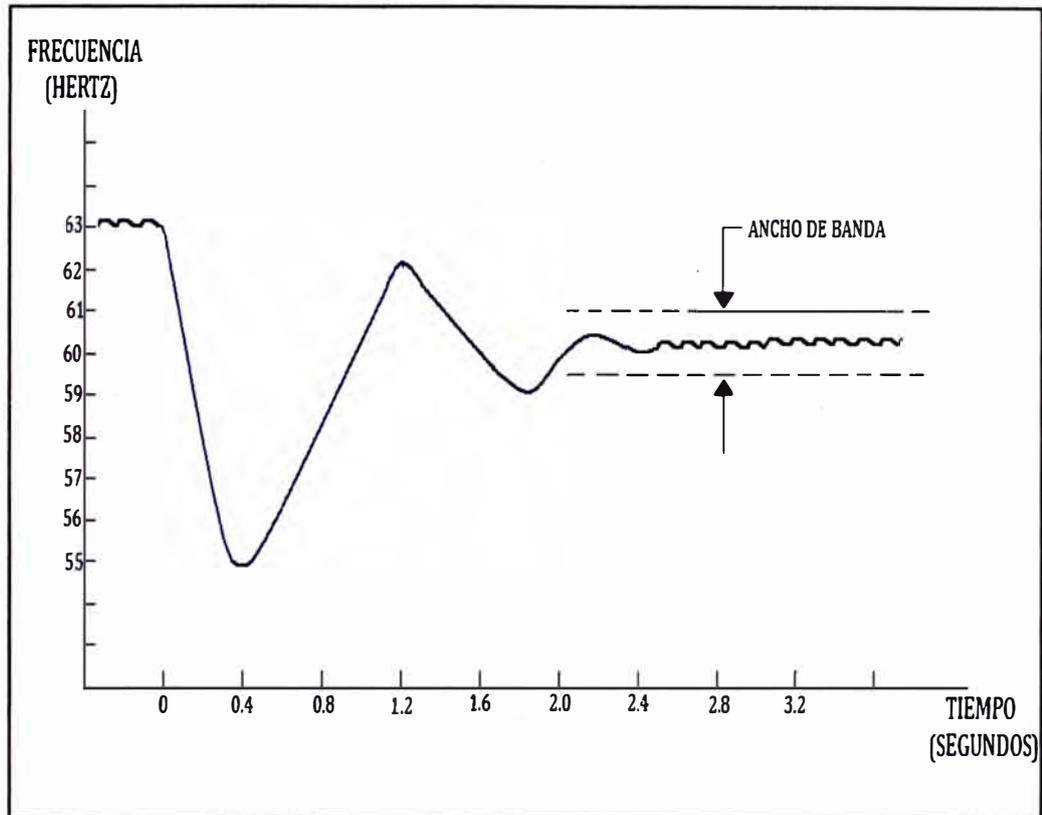


Figura 4.6. Variación de la Frecuencia por Aplicación de Carga

4.5.2. Procedimiento Experimental

En un tanque de fibra de vidrio de 1 m^3 de capacidad se diluyó 5 kg de sal industrial en 700 litros de agua, el fin de esta mezcla es obtener una solución de elevada conductividad eléctrica. Con acero estructural se construyó un electrodo trifásico de tres ángulos de $3'' \times 3'' \times 20''$ diametralmente equidistantes y separados por un material aislante (madera).



Figura 4.7. Electrodo

El procedimiento de la prueba experimental se realizó según los siguientes pasos:

- Se conectó el electrodo a una llave térmica trifásica, ésta a su vez se conectó a los tres bornes del generador.
- Por medio de un teclé correctamente aislado, se suspendió el electrodo por encima de la superficie de la solución.
- Con la llave térmica en posición abierta se encendió el grupo electrógeno, se esperó alcanzar su temperatura de operación.
- Se procedió, mediante el teclé, con el descenso del electrodo.

- En el instante del contacto de las puntas del electrodo con la superficie de la solución, se observó descarga eléctrica y se comprobó el paso de corriente eléctrica por medio de la lectura del amperímetro del tablero de control.
- Se continuó con la inmersión del electrodo hasta alcanzar una intensidad de corriente estable, se procedió a registrar los valores de corriente, voltaje y frecuencia.
- Se continuó con la inmersión del electrodo, tomando datos en tramos razonables.
- Durante la prueba se monitoreó constantemente la temperatura y presión de aceite del motor, verificando que correspondan a los rangos normales de operación.
- Se continuó con el proceso hasta notar una disminución de la frecuencia por debajo de 55 Hz, momento en que se finalizó el proceso de inmersión, este punto indica que el grupo entregó su máxima potencia.
- Se procedió a retirar el electrodo con el teclé eliminando el contacto con la solución.
- Se desconectó el electrodo con la llave térmica.
- Se apagó el grupo.

Esta prueba no se prolongó por más de media hora, dado que el aumento de temperatura en la solución compromete el material del recipiente.

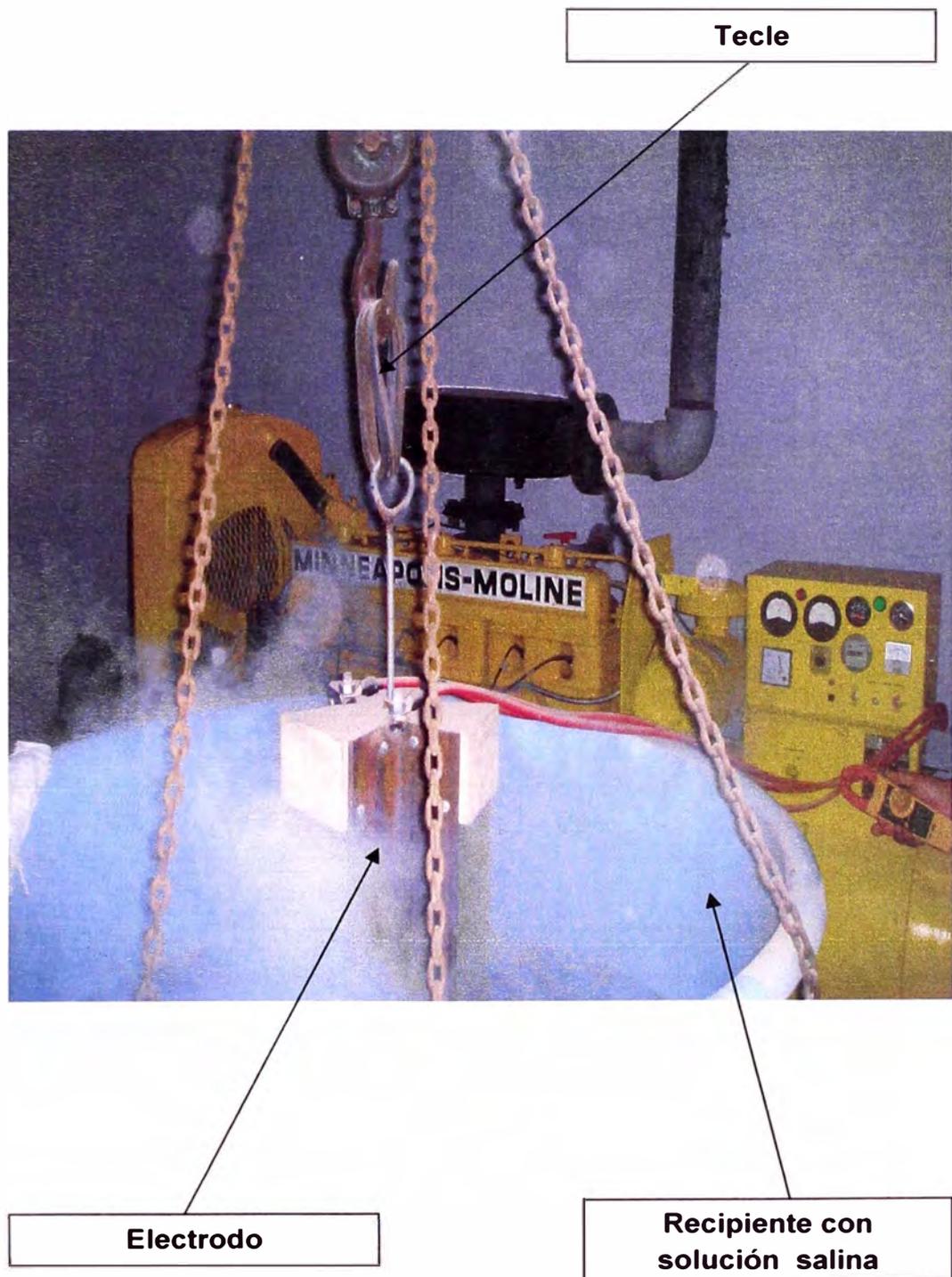


Figura 4.8. Proceso Experimental

4.5.3. Resultados Experimentales

Los resultados del ensayo se muestran en la tabla 4.1. En este grupo la regulación de voltaje es manual y se efectúa por medio de un reóstato. Los valores de la corriente y voltaje se tomaron directamente de las lecturas en el amperímetro y voltímetro respectivamente.

Tabla 4.1. Resultados Experimentales

Carga (A)	Frecuencia (Hz)	Voltaje (V)	Potencia (kW)
0	65	290	0
25	64.5	287	12.41
40	64	284	19.65
60	63.5	277	28.75
80	63	263	36.40
100	61.5	260	44.98
120	61	215	44.63
130	60.5	214	48.13
140	60	213	51.59
150	59.5	211	54.75
160	57	210	58.13
165	55	210	59.94

Teniendo en cuenta que la carga es estrictamente resistiva, la potencia en cada tramo se ha calculado empleando la siguiente fórmula:

$$P = 0,00173 V \cdot I$$

Donde:

V: Voltaje en Voltios (V)

I: Corriente en Amperios (A)

P: Potencia en kilowatts (kW)

Después que ha sido arrancado el motor y empezar con el descenso del electrodo ,se observa que al aumentar la carga como consecuencia de la inmersión, el valor de la corriente aumenta, simultáneamente la frecuencia y el voltaje descienden; del mismo modo, la potencia calculada para cada intervalo se va incrementando hasta un valor máximo de aproximadamente 60 kW, este valor corresponde a una caída de 55 Hz y 210V; por debajo de estos valores el grupo electrógeno adquiere desequilibrio e inestabilidad y la potencia empieza a disminuir.

Cabe resaltar que el cálculo teórico de 75.9 kW es la potencia máxima usando GLP y concierne únicamente al motor; sin embargo, por diseño y capacidad del grupo original, el generador eléctrico puede brindar hasta 60 kW.

Por ende, la máxima potencia que puede entregar el grupo electrógeno en su conjunto, es decir, motor y generador, se encuentra limitada por el generador y corresponde a 60 kW aproximadamente.

CAPITULO V ASPECTOS ECONÓMICOS

5.1. Requerimientos de Arranque

La potencia requerida por muchos tipos de carga puede ser mucha más alta cuando se arranca la carga que lo que se requiere para su funcionamiento continuo estable. Algunas cargas también requieren de energía pico durante la operación que durante el funcionamiento (soldaduras o algún equipo médico por ejemplo). Otras cargas (no lineales como UPSs, computadoras, VFDs y otras cargas electrónicas) causan excesiva distorsión del generador a menos que el generador sea de un tamaño más grande de lo que se requiere para alimentar la carga. La fuente de energía debe ser capaz de suministrar todos los requerimientos operativos de la carga.

Durante condiciones de arranque o de carga pico, las transiciones repentinas de carga pueden causar alteraciones de voltaje y frecuencia dañinos a las cargas conectadas, o lo suficientemente grandes para no arrancar exitosamente u operar apropiadamente si el generador es de un tamaño menor.

Un motor grande que se arranca a través de la línea con un conjunto generador representa una carga de baja impedancia mientras está en la condición de rotor bloqueado o en la condición inicial de parado. El resultado es una

corriente alta repentina, típicamente seis veces la corriente nominal (en operación). La alta corriente repentina hace que el voltaje del generador caiga. Esta caída de voltaje está compuesta de la caída de voltaje transitoria instantánea y la caída de voltaje de recuperación.

Cuando se arrancan los motores, ocurre una caída del voltaje de arranque lo cual consiste en principio en una caída instantánea del voltaje más una caída de voltaje como resultado de la respuesta del sistema de excitación. A esta caída de voltaje inicial puede seguirla otra caída causada por la función de "igualación de par torsional" del regulador de voltaje el cual "atenúa" el voltaje para descargar al motor de combustión si detecta una desaceleración significativa de éste. Un conjunto generador debe estar diseñado para optimizar el tiempo de recuperación mientras que evita la inestabilidad o forzamiento del motor de combustión.

La corriente de arranque del motor (rotor bloqueado) es cerca de seis veces la corriente nominal y no cae significativamente sino hasta que el motor casi alcanza la velocidad nominal. Esta gran corriente "repentina" del motor causa que el voltaje del generador caiga.

Los motores conectados directamente a dispositivos centrífugos de gran inercia como las bombas centrífugas o compresores de movimiento alternativo, pueden ocasionar severas fluctuaciones de frecuencia, y requieren más tiempo para que el motor alcance la velocidad de régimen.

Comparando la corriente de arranque de un motor, con carga y sin carga, se aprecia el tiempo tan extenso que el motor tiene que estar sujeto a alta corriente cuando arranca con carga (Fig. 5.1)

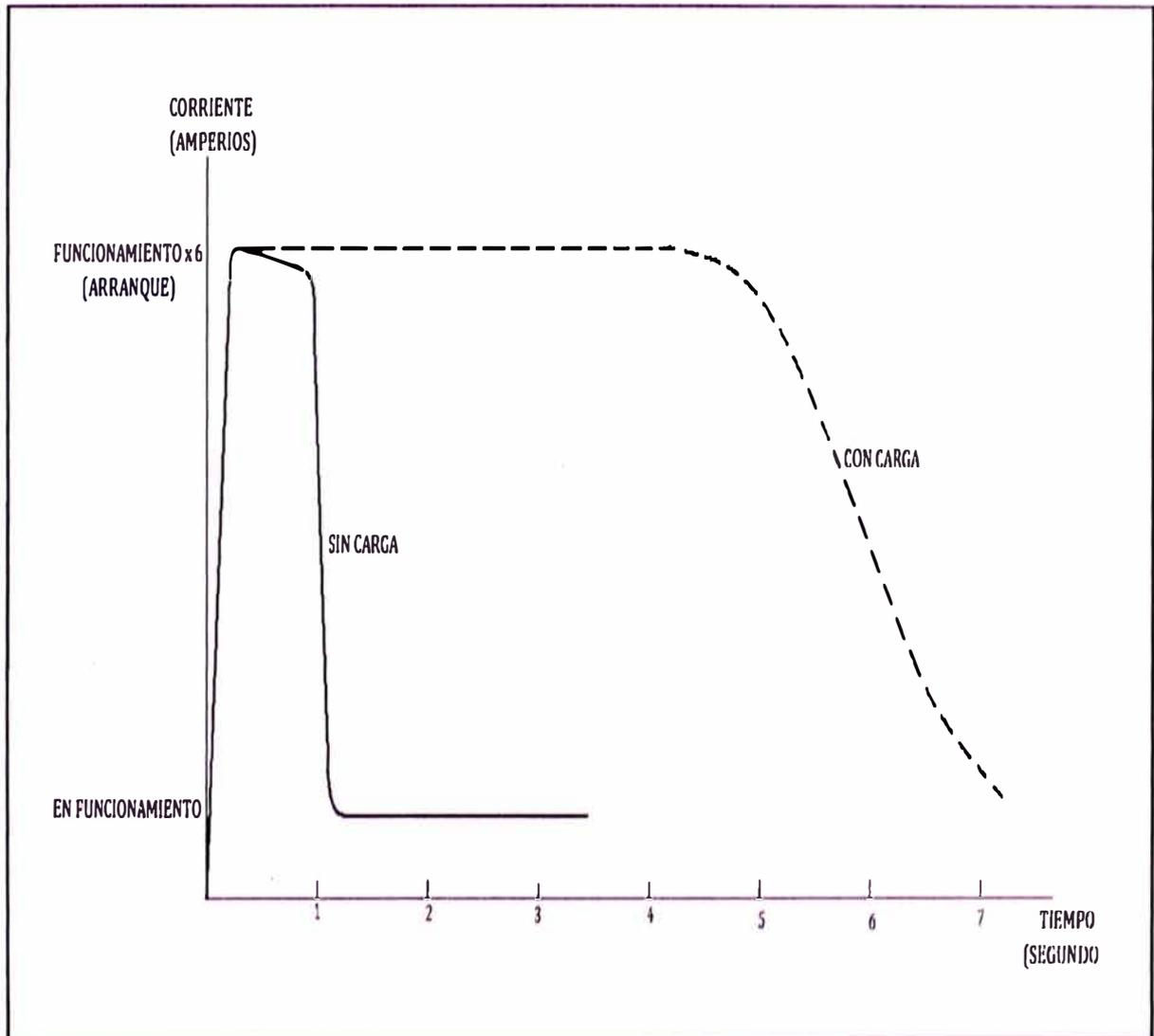


Fig. 5.1. Corriente de Arranque y de Funcionamiento Estable

Como ejemplo, el arranque y accionamiento de las bombas centrífugas se hace, comúnmente, mediante el acoplamiento directo a motores eléctricos. Los motores de inducción (motores asíncronos) constituyen el accionamiento más frecuente de las bombas centrífugas. En la gama de funcionamiento de alrededor de 1kW, se usan motores monofásicos de inducción casi exclusivamente, pero por encima de 1kW, hasta alcanzar 8-10 MW, se emplean motores alternos, trifásicos de inducción dependiendo de la velocidad de giro y del tipo de construcción.

Los motores más frecuentes son de doble jaula de ardilla y el de rotor bobinado, que presentan un par de arranque elevado y corriente de arranque elevada en el primero y baja en el segundo. El arranque del motor en forma directa absorbe de 5 a 7 veces la intensidad nominal.

La figura 5.2 muestra el esquema del conjunto bomba centrífuga de eje horizontal, con aspiración axial e impulsión radial hacia arriba, movida por motor eléctrico, el cual toma la energía eléctrica del generador de un grupo electrógeno. En el proceso de arranque de la bomba, la manera en la cual el voltaje del generador se recupera es una función de los tamaños relativos del generador y del motor, de la potencia del motor de combustión (capacidad en kW) y de la capacidad de forzar la excitación del generador. El desempeño de arranque del motor eléctrico depende del motor de combustión, generador, regulador de voltaje y gobernador.

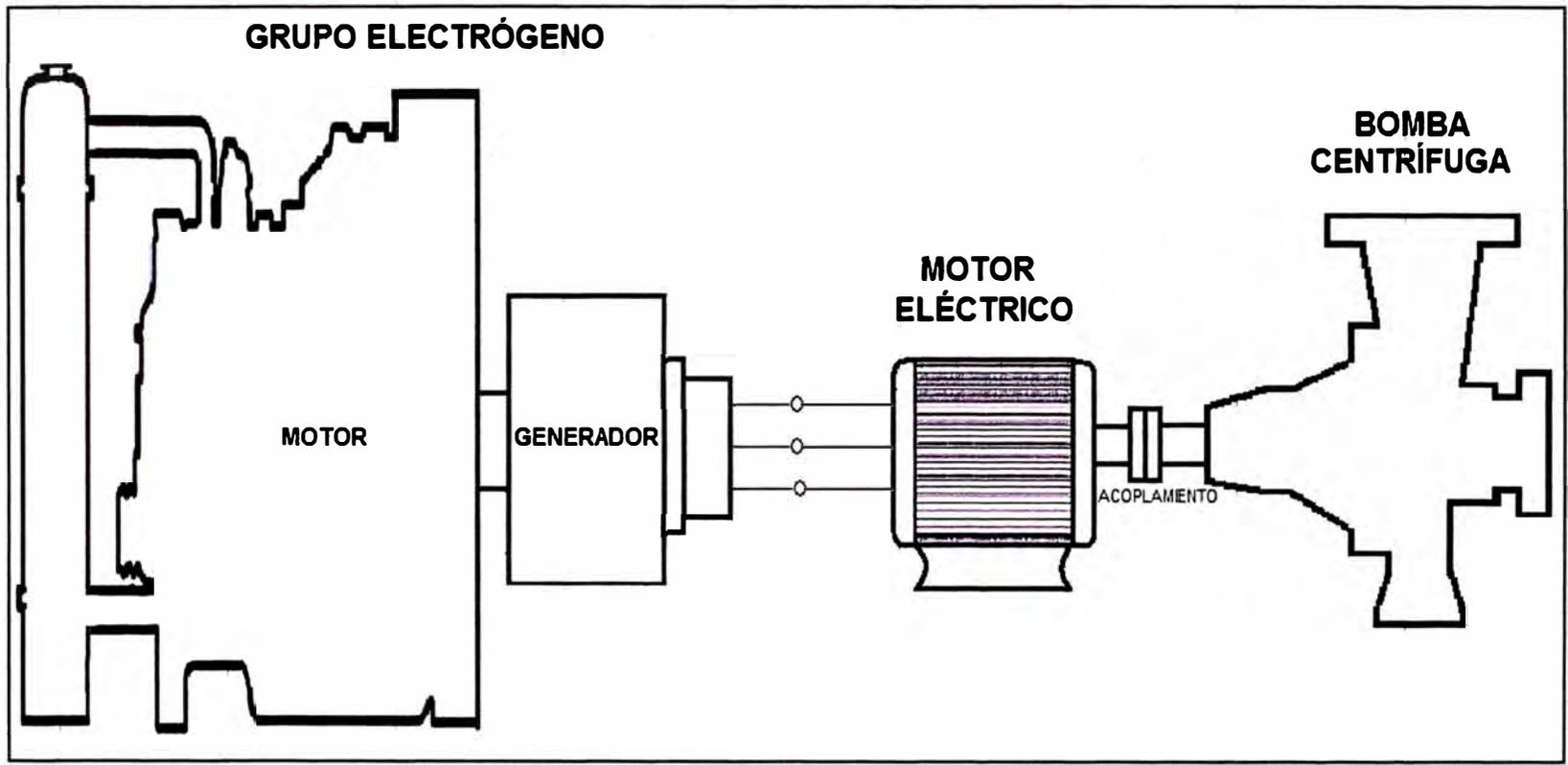


Fig. 5.2. Bomba Centrífuga Accionada por Grupo Electrónico

5.2. Métodos de Arranque

Existen varios métodos disponibles para arrancar motores trifásicos, algunas de estas formas son:

- Usar arrancadores de voltaje reducido, estos arrancadores limitan la corriente en la etapa de arranque, evitando alcanzar corrientes que puedan causar fluctuaciones perjudiciales en la línea de alimentación, reduciendo la tensión en los bornes del motor. El voltaje reducido disminuye el par de arranque y esto puede seriamente menguar la facilidad del motor para ponerse en marcha y alcanzar la velocidad nominal al aplicarle una carga. También aumenta el tiempo que necesita el motor para alcanzar la velocidad de operación plena. Existen varios métodos para hacer funcionar motores a voltajes reducidos durante el periodo de arranque, podemos mencionar: por autotransformador abierto, autotransformador cerrado, reóstato, reactancia, devanado parcial.
- Utilizar un grupo electrógeno de mayor capacidad.
- Utilizar un motor auxiliar con el grupo electrógeno. El motor auxiliar impulsa el generador, y éste, a su vez, suministra la potencia para arrancar el motor del equipo.
- Arranque estrella- triángulo. Este arranque es el más común y se basa en la conexión del motor en estrella sobre una red donde debe de conectarse en triángulo. De esta forma durante el arranque los devanados del estator están a una tensión 1.73 veces inferior y la corriente de arranque se reduce a un tercio. Los inconvenientes de este método se refiere a que ofrece un par de arranque pequeño y a la presencia de algunos fenómenos transitorios en el paso de estrella a triángulo.

- **Uso de Variadores de Frecuencia.** El arrancador por variador de frecuencia (velocidad) permite obtener un arranque suave y controlado, evitando impactos en el motor y la máquina asociada. Durante la operación es capaz de variar la frecuencia de salida hacia el motor para modificar la velocidad de giro del rotor. Usar variadores de velocidad nos permite tener muchas ventajas, entre ellas: reducción en el consumo de energía eléctrica por efectos de reducción del pico del par de arranque; mejoramiento de la rentabilidad y la productividad de los procesos productivos; protección del motor por contar internamente con sistemas de protección además de permitirle mayor vida útil al motor por reducción de impactos mecánicos a través de la asignación de rampas de aceleración y desaceleración para eventos de arranque y parada; ahorro en mantenimiento, por no contar con piezas mecánicas que puedan sufrir envejecimiento por desgaste mecánico. Entre sus desventajas se puede mencionar el hecho de que cuando estos variadores caen, puede parar todo un proceso industrial; generan corrientes perjudiciales para la red que alimenta al variador (armónicos); además de su alto costo.

5.3. Costo de Instalación del Sistema con GLP

La adaptación del sistema de alimentación con GLP es simple y económico; como se señaló, sólo se requiere hacer una derivación sobre la línea de suministro de biogás. Los costos de instalación son:

Balón industrial de GLP de 45 kg (gas + balón):	S/. 500.00
Válvula reductora de presión:	300.00
Tubo flexible, accesorios:	<u>200.00</u>
Total:	1000.00

5.4. Costo del Consumo de GLP para Arranque de Motores Eléctricos

Para el proceso de arranque, el tiempo estimado de operación del grupo con GLP hasta el retorno con biogás es de aproximadamente 5 minutos. A máxima potencia (60Kw), el gasto específico considerado es $g_e = 0.15 \text{ m}^3/\text{kwh}$.

Determinamos el volumen de gas consumido:

$$V = g_e \times N_e \times t$$

$$V = 0,15 \times 60 \times \frac{5}{60}$$

$$V = 7.5 \text{ m}^3$$

El consumo equivalente en masa se calcula mediante:

$$m = \rho \times V$$

Donde:

ρ : densidad del GLP en estado gaseoso, $\rho = 2.28 \text{ kg/ m}^3$

La cantidad en masa de gas consumida en el arranque:

$$m = 2,28 \times 7.5$$

$$m = 17.1 \text{ Kg}$$

Considerando que el precio de GLP por kilogramo es de S/ 3.3, el costo del consumo será:

$$C = 17.1 \times 3.3$$

$$C = \text{S/} . 56.4$$

5.5. Comparación de Costos con otros Métodos

Para hacer una comparación se muestra los costos de algunos métodos para el arranque de motores trifásicos; estos son aproximados e implican costos de instalación, operación, mantenimiento, etc.

La tabla 5.1 indica la notable diferencia en costos que existe entre los métodos alternativos y la implementación con GLP para el proceso de arranque.

Tabla 5.1. Costos de Implementación de algunos Métodos de Arranque

Métodos de arranque para motores trifásicos	Costo (\$)
Grupo electrógeno de mayor capacidad (60 KW)	30,000
Voltaje reducido por autotransformador	5,000
Motor auxiliar con el grupo electrógeno	4,000
Variador de frecuencia	10,000
Uso de GLP para aumento de potencia	400

Como se aprecia, implementar el sistema con GLP para el proceso de arranque de un motor trifásico, en que se requiere mayor potencia del grupo electrógeno, es ampliamente económico y de fácil instalación; además, no genera mayores costos posteriores a su instalación, por ejemplo en mantenimiento, que si se requiere en los otros métodos.

CONCLUSIONES

1. Utilizando un combustible de mayor poder calorífico como el GLP se mejoró la potencia del grupo electrógeno en un 27%.
2. La máxima potencia calculada que puede desarrollar el motor usando GLP es 75,9 kW; sin embargo, y de acuerdo a su diseño original, el generador puede brindar hasta 60 kW. Por lo tanto, teniendo en cuenta la limitación que ofrece el generador, el grupo electrógeno proporciona una potencia máxima de 60 kW.
3. Para el arranque de motores trifásicos, donde se requiere de mayor potencia, la implementación y uso del GLP como combustible resulta ser más sencillo y económico en comparación con otros métodos de arranque.
4. El sistema de combustible instalado para el biogás es compatible con la adaptación del GLP, debido principalmente a la baja presión en la línea de suministro.

5. Se puede utilizar indistintamente cualquiera de los dos combustibles, en forma individual o como mezcla para la operación del grupo, esto implicará obviamente variaciones en la potencia suministrada.

6. El sistema de GLP instalado se acondicionó exclusivamente para efectos de prueba, o sea, sólo para la demostración del aumento de potencia del motor con este combustible, por lo que su disponibilidad en fase gaseosa sólo tuvo duración para el ensayo. Se puede adecuar y disponer de elementos que permitan un mayor tiempo de disponibilidad del gas.

7. Alternativamente pueden utilizarse los combustibles gaseosos GLP, GNV y Biogás sin modificar la estructura de un motor originalmente diseñado para el uso de uno de estos, preliminarmente es preciso acondicionar y adecuar el sistema de alimentación. Ello permitirá obtener mayores ventajas y beneficios del motor, principalmente en el incremento de su potencia.

RECOMENDACIONES

1. Se puede adaptar un sistema que permita poseer en mayor tiempo el GLP en su fase vapor. Como alternativa se propone hacer el suministro de GLP en su fase líquida y de ahí mediante un circuito de transferencia de calor llevarlo a la fase vapor, aprovechando el agua del sistema de refrigeración. Es el mismo principio adoptado en los sistemas GLP automotrices.
2. Debido a que usando solamente GLP se dispone de una mayor potencia efectiva del motor (75.9 Kw) respecto a la máxima potencia que puede brindar el generador (60 Kw), se puede usar una mezcla de ambos gases en porcentajes adecuados. Esto permitirá un ahorro en el consumo de GLP.
3. Para el uso del GLP en arranques de motores trifásicos, se recomienda adaptar un sistema de válvulas electromagnéticas que permitan, una vez arrancado el motor, y haber alcanzado su régimen estable de funcionamiento, pasar automáticamente al uso de biogás.
4. Debido a la alta densidad del GLP, de aproximadamente 1.8 veces mayor que la del aire, un escape puede ser muy peligroso debido a que sus vapores tiende a concentrarse en las zonas bajas y donde hay mayor riesgo

de encontrar puntos de ignición tales como interruptores eléctricos, tomas de corriente eléctrica, o puntos calientes. Por tal razón se recomienda instalar el balón de GLP en un compartimento independiente para su suministro en forma segura.

BIBLIOGRAFIA

1. Lukanin V. N., "Motores de Combustión Interna". Editorial Mir, Moscú , 1987.
2. Jovaj M. S. , "Motores de Combustión Interna". Editorial Mir , Moscú, 1992.
3. Obert E. F., "Motores de Combustión Interna". Editorial C.E.C.S.A., 8va edición, México 1976.
4. Instituto de Motores de Combustión Interna FIM UNI, "Motores de Combustión Interna", Tópicos Selectos. Edición: Instituto de Motores de Combustión Interna. Impresión: Universidad Nacional de Ingeniería. Lima- Perú, 1991.
5. Centro Cultural Pablo Boner, "Grupos Electrógenos"
6. Morozov K., Streil H., Golubkov L., Jasper A., Ludeña A., "Soluciones a los Problemas de Desarrollo de los Motores de Combustión Interna". Lima- Perú, 1988.
7. Juan Guillermo Lira Cacho, Alex Contreras Paredes. Instituto de Motores de Combustión Interna-Facultad de Ingeniería Mecánica-Universidad Nacional de Ingeniería. "Regulación Automática del Sistema de Alimentación de Biogás de un Motor de Combustión Interna". CONIMERA 2011.

ANEXOS

Anexo I: Derivados del Petróleo

Anexo II: Gráfica: Presión de vapor del Propano y Butano. Tipos de balón de GLP.

Anexo III: Volumen y Capacidad de almacenamiento de GLP.

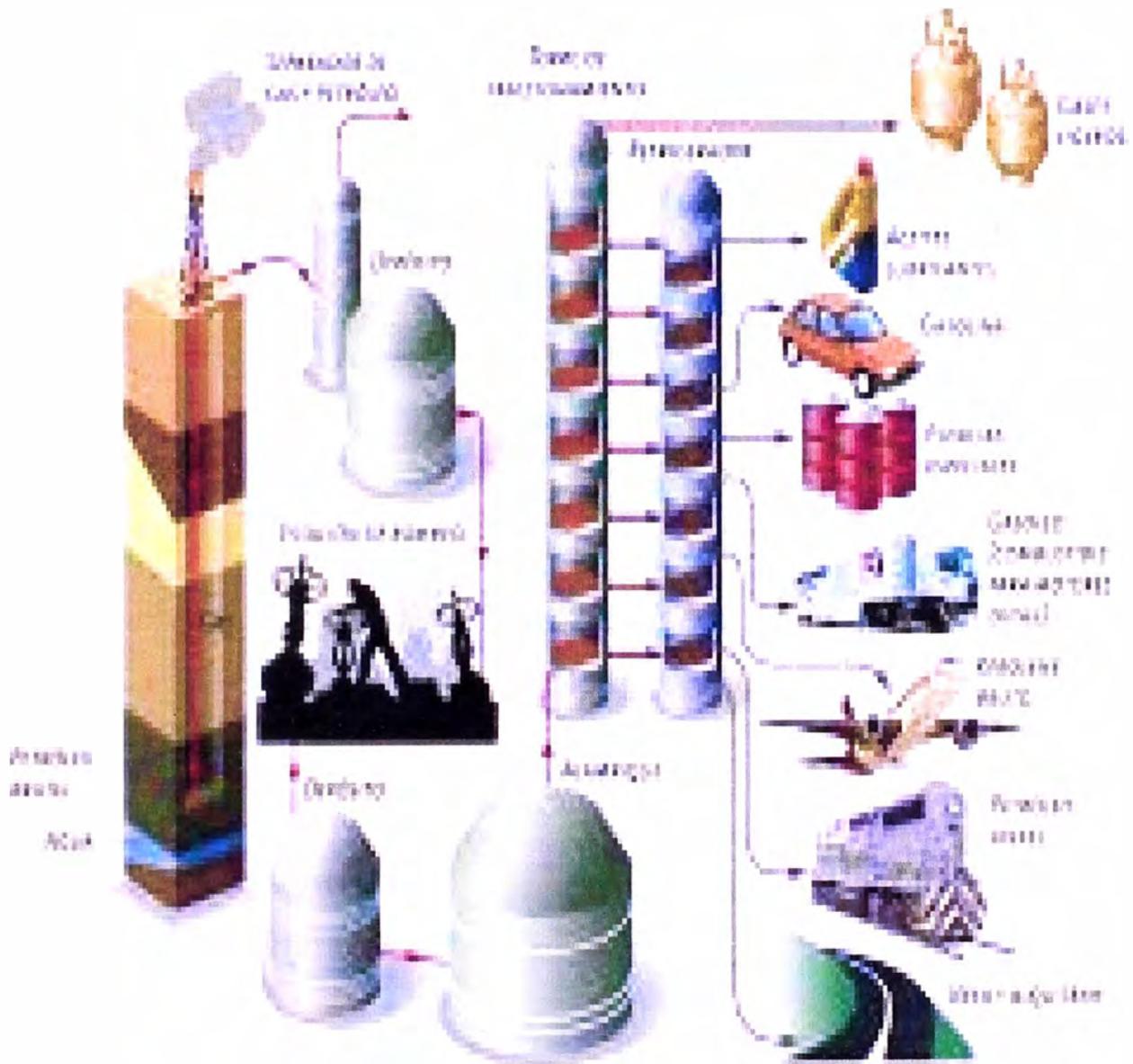
Anexo IV: Precio del GLP a partir del Gas Natural.

Anexo V: Productores de GLP según Refinería y Planta de fraccionamiento.

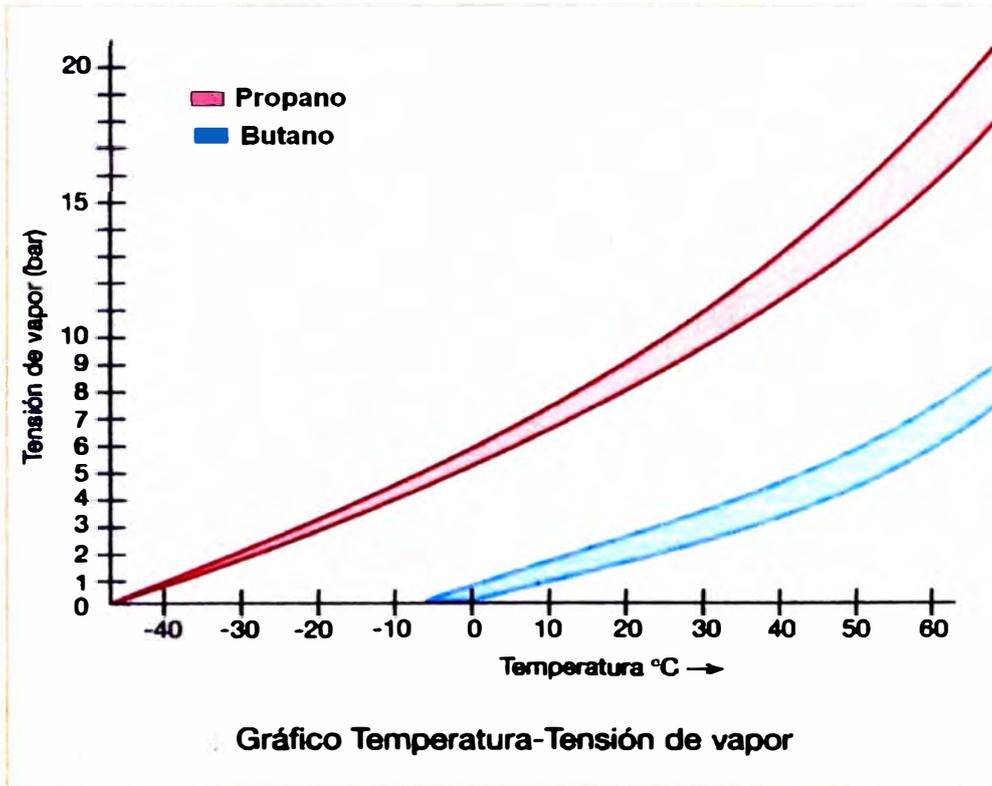
Anexo VI: Gráficas: Precios y Ventas de GLP.

Anexo VII: Normas de Seguridad.

Anexo I



Anexo II

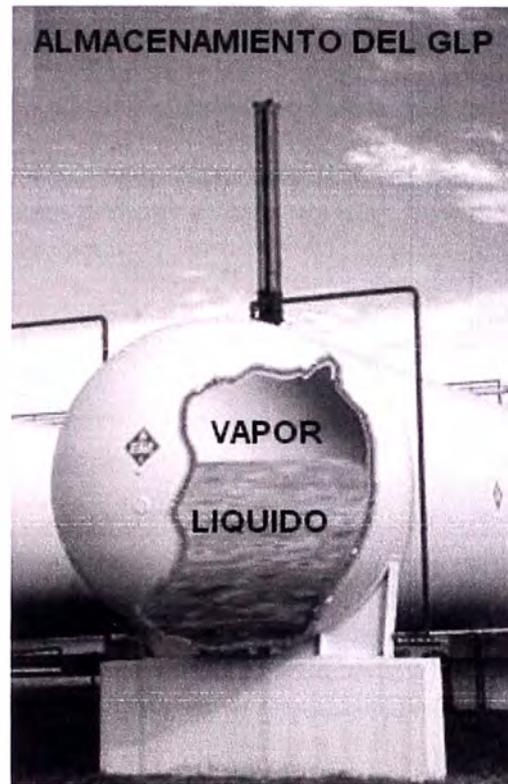


Tipos de balón de GLP

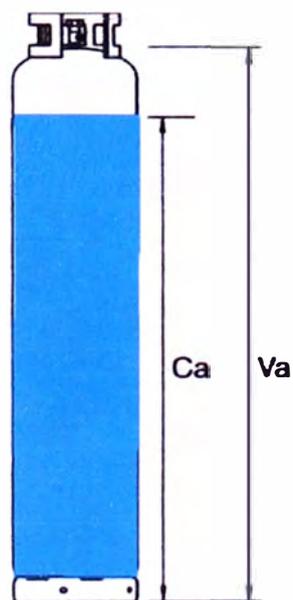


Tipo	Gas contenido	Capacidad almacenamiento	Material
Doméstica	butano	12,5 kg	Acero inoxidable
	propano	11 kg	Acero no aleado
Industrial	Propano	35 kg	Acero no aleado

Anexo III



Almacenamiento del GLP

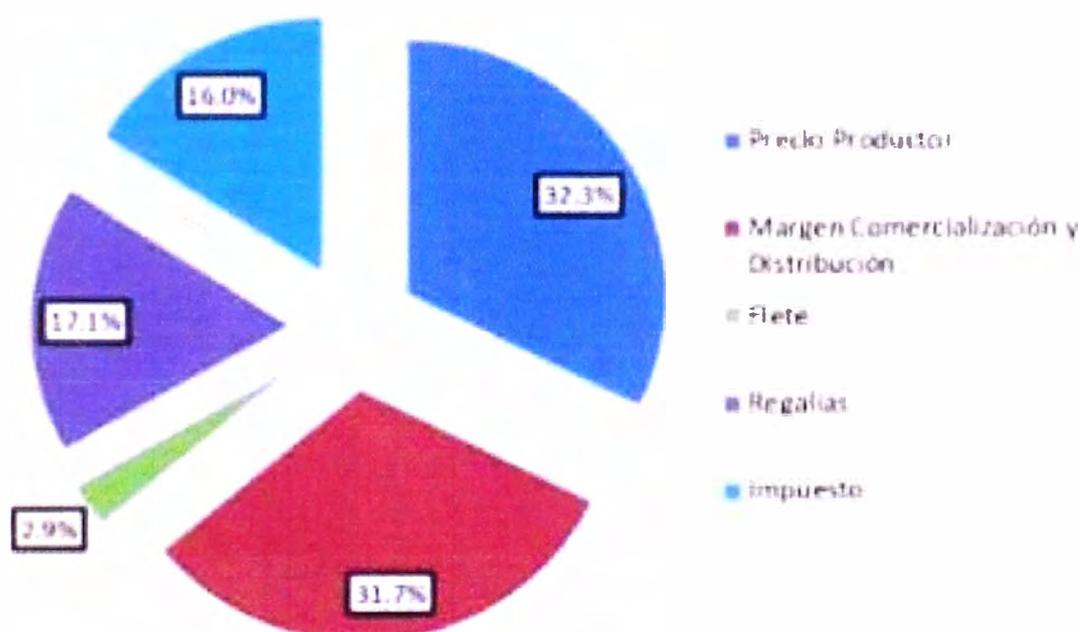


Va: Volumen de almacenamiento (m³)
Ca: Capacidad de almacenamiento (m³)
Ca = 85 % Va

Precios del GLP a Partir de los Líquidos de Gas Natural de Camisea

Esquema según OSINERGMIN

Estructura del Precio	Nuevos Soles	Porcentaje
Precio Productor	11.3	32.3%
Margen Comercialización y Distribución	11.1	31.7%
Flete	1.0	2.9%
Regalías	6.0	17.1%
Impuesto	5.6	16.0%
Total	35.0	100%



Fuente: Osinergmin, precio GLP en febrero de 2011 / Petroperú / MEM / DGH

**PERÚ: PRODUCTORES DE GLP SEGÚN REFINERÍA Y PLANTA DE
FRACCIONAMIENTO**

(En Miles de barriles día calendario)

	2007	2008	2009	2010 Esti-ocl
Petromex	4.84	5.07	4.54	4.89
Reposo	1.63	1.63	1.43	1.72
Producción en Refinería	5.47	6.74	5.97	6.61
Procesadora Gas Petrol	1.12	0.82	0.34	0.88
Fluorpetrol	15.40	19.56	33.95	37.86
Gasol y Marcas Petrolera	0.45	0.43	0.34	0.94
Aguaño	0.99	0.81	0.82	0.97
Producción en Planta de Fraccionamiento	18.95	22.11	35.98	40.65
TOTAL PRODUCCIÓN GLP	25.42	28.85	41.95	47.26

1) Datos extra de 2008 para la Planta Croyanka "Procesadora de Gas Petrol" - PGP

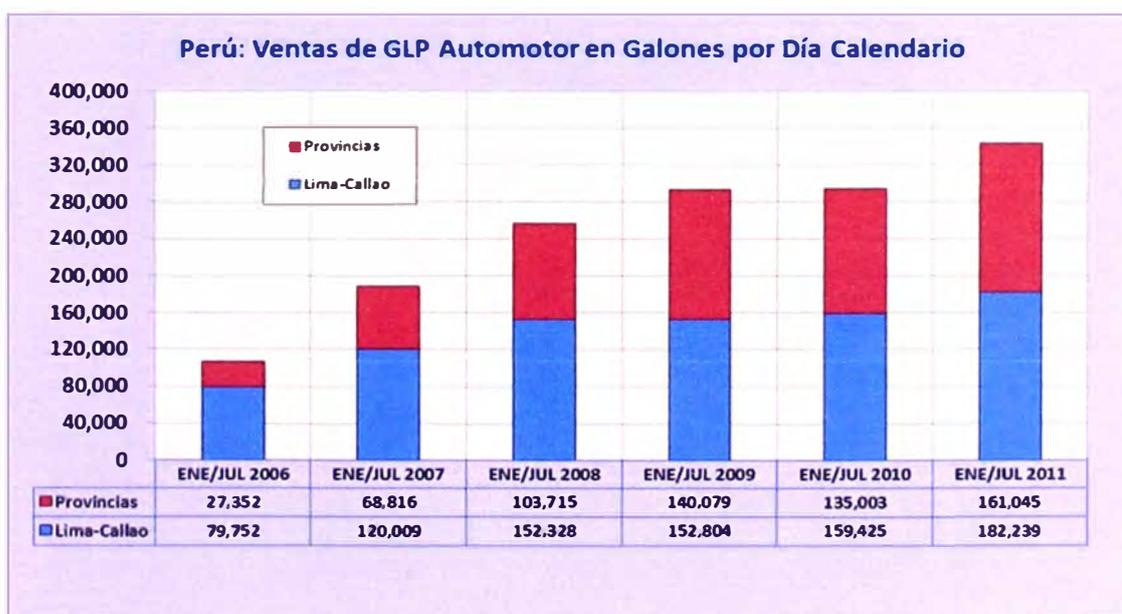
www.perupetrol.com/ocometti.blogspot.com

FUENTE: Anuario Estadístico de la Producción Industrial y Minería (EPI-M) años 2007-2010
Estadísticas Mensuales 2009, en 2010 de la Oficina General de Estadística e Informática

Anexo VI



Fuente: Artículo "Y el subsidio al GLP se acerca a los 10 Soles". Economía Petrolera. Autor: César Augusto Bedón Rocha.



Fuente: Artículo "Crece comercialización de GLP en gasocentros peruanos". Economía Petrolera. Autor: César Augusto Bedón Rocha.

Anexo VII

NORMAS DE SEGURIDAD



No poner el tanque en posición horizontal para evitar que salga el gas en forma líquida y provocar una situación peligrosa.



Mantener el tanque en áreas bien ventiladas.



Prohibido fumar y mantener alejado de cualquier llama cuando se instala o cambia un tanque.



No exponer el tanque a fuente de calor o fuego directo.



En caso de fuga, apague de inmediato todas las llamas, ventile el área abriendo puertas y ventanas y contacte a su proveedor.



No golpear el tanque.