

**ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA GENERACIÓN DE ENERGIA
ELECTRICA EN EL CAMPO RANCHO HERMOSO (Yopal – Casanare)
POR MEDIO DE TURBINAS DE CICLO COMBINADO A PARTIR DE GN Y GLP**

RODRIGO VALDÉS DELGADILLO

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS FISICOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE HIDROCARBUROS
BUCARAMANGA**

2016

**ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA GENERACIÓN DE ENERGIA
ELECTRICA EN EL CAMPO RANCHO HERMOSO (Yopal – Casanare)
POR MEDIO DE TURBINAS DE CICLO COMBINADO A PARTIR DE GN Y GLP**

RODRIGO VALDÉS DELGADILLO

**Monografía para optar al título de
Especialista en Gerencia de Hidrocarburos**

**Director
Ingeniero Enrique Meneses Flórez**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS FISICOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE HIDROCARBUROS
BUCARAMANGA**

2016

AGRADECIMIENTOS

A Dios por brindarme la posibilidad de estar vivo, con salud y haberme guiado y cuidado para estar en este punto de mi vida realizándome como profesional.

Al Dr. German Ortiz Cardenas con quien inicie mi viaje por la industria del Oil&Gas, viaje que ha estado lleno de obstáculos, retos y éxitos y que promete ser un camino largo por recorrer.

A la Escuela de Ingeniería de Petróleos por apostarle al desafío de la formación y el conocimiento y crear este tipo de escenarios en los cuales podemos crecer como personas y como profesionales.

A los ingenieros de CANACOL ENERGY en el Campo Rancho Hermoso, por darme la posibilidad de poder conocer sus instalaciones y siendo consciente de la restricción de la información, permitirme conocer el escenario actual de generación, con el fin de poderles brindar el inicio de posibles soluciones interesantes de generación más económicas y eficientes.

Al Sr. Juan Carlos Mosseri, por compartirme su información referente al comportamiento de las nuevas tecnologías con las que vienen incursionando su compañía CAPSTONE en Colombia.

DEDICATORIA

A mis padres que desde el cielo me están guiando, espero que con este nuevo paso que estoy dando a nivel profesional se sigan sintiendo orgullosos.

A Laura que ha sido el motor de mi vida, mi confidente, y una gran mujer con la que Dios me ha permitido recorrer un bonito camino.

A todas las personas que de una u otra manera han estado ahí para apoyarme y mostrarme que la vida nunca es fácil, pero es un reto que se debe disfrutar día a día.

Rodrigo Valdés D.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	10
1 DEFINICIÓN DE PROBLEMA.....	11
1.1 ALCANCE	11
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	11
1.3 JUSTIFICACIÓN	11
2. OBJETIVO GENERAL	13
2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
3. MARCO DE REFERENCIA.....	14
3.1 MARCO CONCEPTUAL.....	14
3.2 MARCO TEORICO	15
3.3 DEFINICIONES BÁSICAS.....	15
3.3.1 ¿Qué es una Micro Turbina?	15
3.3.2 Motor a Gas WAUKESHA.....	16
3.3.3 GLP	16
3.3.4 ACPM.....	16
3.3.5 PODER CALORÍFICO	16
3.3.6 MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA	16
3.3.7 CROMATOGRAFÍA DE GASES.....	17
3.3.8 FACTOR DE DERRATEO	17
4. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN.....	18
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	19
6. CONCLUSIONES.....	20
7. RECOMENDACIONES.....	21
BIBLIOGRAFIA.....	22
ANEXOS	24

RESUMEN

TITULO: ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA GENERACIÓN DE ENERGIA ELECTRICA EN EL CAMPO RANCHO HERMOSO (Yopal – Casanare) POR MEDIO DE TURBINAS DE CICLO COMBINADO A PARTIR DE GN Y GLP*

AUTOR: ING. RODRIGO VALDÉS DELGADILLO**

PALABRAS CLAVE: Gas, GLP, GN, Generación, Energía Eléctrica.

DESCRIPCIÓN

El GAS es el combustible más económico para la generación de electricidad y que produce menor impacto ambiental. Estas ventajas pueden conseguirse tanto en grandes como en pequeños procesos de generación. La generación de electricidad con gas es posible mediante motores y/o turbinas. La generación de energía eléctrica por sistemas convencionales tiene rendimientos del 35-34% con hasta un 65% de la energía primaria consumida desperdiciada como calor residual.

El gas asociado (flare gas) es un recurso con un alto poder calorífico (de hasta 1.900 BTU/ft³) que está disponible desde que empieza la producción de hidrocarburos. Su composición química es muy diversa y varía dependiendo de la geología de la formación de la cual se extrae. Los componentes primarios son hidrocarburos livianos (tales como C1, C2 y C3), que alcanzan cerca del 65-90 % del contenido total. El remanente lo componen hidrocarburos pesados (C3+, CO₂, NO₂, H₂S).

El uso de turbinas de gas para mejorar centrales existentes y en nuevas centrales de ciclo combinado permite alcanzar ahorros de energía de entre el 15 y el 50%. La investigación y desarrollo de nuevas tecnologías está abriendo continuamente nuevas fronteras con rendimientos todavía mayores y por consiguiente menos contaminación. El objetivo de esta monografía es lograr aprovechar de la mejor manera posible los recursos existentes en campos productores con presencia de gas asociado y en cualquier tipo de facilidades donde se esté generando con DIESEL.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ciencias Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería de Petróleos. Director: Jorge Enrique Meneses Flórez.

ABSTRACT

TITLE: STUDY OF THE GENERATION FOR FEASIBILITY OF ELECTRIC POWER IN THE Rancho Hermoso FIELD (Yopal - Casanare) LPG AND GN BY TURBINE COMBINED CYCLE*.

AUTHOR: ING. RODRIGO VALDÉS DELGADILLO**

KEYWORDS: Gas, LPG, NG, Generation, Electric Power.

DESCRIPTION

GAS is the most economical fuel for generating electricity and producing less environmental impact. These advantages can be achieved both large and small generation processes. Electricity generation is possible by gas engines and / or turbines. The generation of electricity by conventional systems have yields of 35-34% up to 65% of primary energy consumed wasted as waste heat.

Associated gas (flare gas) is a resource with a high heating value (up 1,900 BTU / ft3) which is available from the start of production of hydrocarbons. Its chemical composition is very diverse and varies depending on the geology of the formation from which it is extracted. The primary components are light hydrocarbons (such as C1, C2 and C3), reaching 65-90 % about of total content. The remainder comprise heavy hydrocarbons (C3 +, CO2, NO2, H2S).

The use of gas turbines to improve existing plants and new combined cycle plants can achieve energy savings of between 15 and 50%. Research and development of new technologies is continually opening new frontiers with even higher yields and therefore less pollution. The aim of this paper is to take advantage of the best possible resources in producing fields associated with the presence of gas and any facilities where diesel is being generated.

* Bachelor Thesis

** Facultad de Ciencias Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería de Petróleos. Director: Jorge Enrique Meneses Flórez.

INTRODUCCIÓN

La continua búsqueda en la reducción de costos de operación, es lo que impulsa este trabajo de investigación a buscar alternativas energéticas, costo eficiente con el fin de poder aprovechar los recursos que se tienen o mejorar las soluciones energéticas que se tienen.

Muchos de estos campos en los que se puede implementar la sustitución del DIESEL por el GLP o el GN, operan aisladas de las redes de suministro eléctrico. Cuando esto sucede, aún en instalaciones de pequeña y media capacidad, se pierden determinadas ventajas que no pueden ser ignoradas cuando se trata de alcanzar el mayor beneficio social y disfrutar la compatibilidad ambiental de las tecnologías renovables.

Sincronizar los recursos existentes es una oportunidad para reducir costos y operar competitivamente las fuentes energéticas.

El interés que me llevo a desarrollar este trabajo fue el de demostrar que en muchas facilidades del sector minero energético se pueden aprovechar mejor los recursos y lograr ser autónomos con ellos. En este caso poder realizar la generación de energía eléctrica con gas asociado al petróleo como lo es el Gas Licuado del petróleo (GLP). Una buena parte del gas obtenido en los campos de producción es quemado, lo que busca este trabajo es poder dejar planteado de qué manera se pueden aprovechar estos recursos y bajo las experiencias de otros procesos poder dejar puntos relevantes de la manera adecuada de no fracasar en el intento.

Las pruebas de campo solo fueron realizadas con Gas Licuado del Petróleo, pero dentro del comparativo de resultados se mostrará de qué manera se logran eficiencias también con Gas Natural.

La generación de Energía Eléctrica con gas asociado del petróleo es una realidad que se practica en muchas partes del mundo, es hora de que en muchas facilidades del país se vea esta opción como una manera de aprovechar los recursos disponibles y en otros casos de mejorar los costos sustituyendo los líquidos de generación por Gas.

1 DEFINICIÓN DE PROBLEMA

1.1 ALCANCE

Establecer la Factibilidad económica y operativa que conllevaría realizar el proceso de cambio de motores de combustión interna con Diésel por Micro Turbinas de ciclo combinado con Gas Licuado del Petróleo (GLP) para la generación de energía eléctrica en la plataforma No. 9 del campo de producción Rancho Hermoso ubicado en Yopal Casanare.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El campo de producción Rancho Hermoso ubicado en Yopal - Casanare, operado por la compañía Canacol Energy, genera su energía eléctrica por medio de motores de combustión Interna con Diésel, este tipo de generación presenta los siguientes inconvenientes.

- a. Costos altos de Combustible.
- b. Costos altos en mantenimientos.
- c. Paras frecuentes por daños en motores.

Al tener este campo una producción de más o menos 12.000 gls día de Gas Licuado de Petróleo (GLP), la generación de energía eléctrica se puede realizar con este tipo de energético lo que ayudaría a tener una reducción de costos en la primera etapa del proyecto en hasta un 30%, por otra parte, se reducen sustancialmente los costos por mantenimiento y retrasos en producción por paras no programadas.

1.3 JUSTIFICACIÓN

En el campo de producción Rancho Hermoso, ubicado en Yopal Casanare se utilizan hasta 9MW/hora de energía eléctrica, en la actualidad esta energía está siendo generada por medio de motores de combustión interna con Diésel, generando los siguientes inconvenientes.

- a. Bajo nivel de seguridad en la generación continua de energía eléctrica, esto ocasiona paras no programadas en la operación normal del campo por lo cual se ha visto reducida su producción en un 8%.

- b. Altos costos de mantenimiento y MO calificada para poder estabilizar la carga mínima necesaria con el fin de reducir las paradas del campo. Esto conlleva a tener sobre dimensionada la cantidad de motores necesarios para generación con el fin de poder dar rápidamente respuesta a los picos de carga.

Por las razones expuestas anteriormente y con el fin de poder mejorar la eficiencia del campo, en esta monografía se desea realizar el estudio de factibilidad para cambiar la tecnología de generación existente en este campo. Este estudio puede ser replicado en campos del sector petrolero que cuenten con las características del campo Rancho Hermoso.

- Ubicación
- Productores de Gas
- Que puedan estar catalogados como consumidores no regulados de GLP.
- Y que no esté interconectados a la red de energía eléctrica.

El objetivo es que al terminar este estudio los tomadores de decisión del campo de producción Rancho Hermoso, puedan tener una segunda opción de generación de energía eléctrica, más limpia, eficiente y de la cual puedan en parte ser autosuficientes.

2. OBJETIVO GENERAL

Realizar el estudio de factibilidad para la generación de Energía Eléctrica en el campo Rancho Hermoso por medio de Micro Turbinas de ciclo combinado a partir de Gas Licuado del Petróleo (GLP) de fuente Cusiana.

2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Determinar las características actuales de los motores de combustión interna con ACPM.
2. Establecer los costos actuales para generar 1 KW/h con motores de combustión interna de ACPM.
3. Presentar experiencias de generación de energía eléctrica por medio de Micro Turbinas de ciclo combinado con GLP.
4. Calcular el ahorro en los costos de inversión (CAPEX) y costos de operación para poder generar 1 KW/hora, con motores de combustión interna con ACPM V/S Micro Turbinas de ciclo combinado.
5. Verificar la eficiencia de los motores de carburación interna con ACPM v/s Micro Turbinas de ciclo combinado.

3. MARCO DE REFERENCIA

3.1 MARCO CONCEPTUAL

Lo primero que es necesario indicar en la redacción de este marco conceptual es que no hay muchos antecedentes de proyectos de generación eléctrica por medio de GLP en la industria petrolera en Colombia, la cual tiene unas características especiales, en las cuales se enfocara este documento de monografía, ni en otras industrias en donde se prefiere seguir usando otro tipo de combustibles para la generación de energía eléctrica como por ejemplo el Diésel o el Carbón.

Al GLP no se le ha dado el uso adecuado en diferentes aplicaciones en nuestro país, fuera de la que comúnmente se utiliza, que es para el uso residencial en gasodomesticos, básicamente para la cocción de alimentos. Si bien allí es donde más es utilizado el GLP en Colombia, en el mundo se usa para cientos de aplicaciones.

El GLP en Colombia no tiene, ni ha tenido la relevancia que debería por diferentes razones. Las principales y en las que en el desarrollo de esta monografía se trataran de una manera más completa son:

- En Colombia no se ha fomentado como una política de gobierno una canasta energética diversa.
- La penetración del Gas Natural en los años 90 hizo que la industria del GLP se resintiera de forma considerable, haciendo que esta industria se relegara a mantener su presencia en zonas no interconectadas de Gas Natural, básicamente en zonas rurales.
- No tener una regulación clara en la que existieran barreras de entrada para el negocio del GLP, hizo que la industria durante más de 30 años no realizara inversiones importantes en infraestructura.
- En lo referente a los campos productores de Gas Natural rico, estos no realizaron durante muchos años inversiones para la obtención del GLP ya que no veían suficiente demanda y los costos en los que se incurría eran elevados.
- La capacidad instalada de las refinerías en el país y la caracterización de estas no ayudaba para tener una mayor carga en la producción de GLP.

Estas razones mencionadas, sumado a que el Blend que producen las diferentes fuentes reguladas en Colombia no es estándar (o por lo menos no presentan deltas pequeños de diferenciación), contribuyo a que las pocas iniciativas de generación de energía eléctrica con motores de combustión interna, Micro turbinas y otros tipos de generadores, no dieran los resultados esperados, lo que produjo que el GLP producido en Colombia tuviera mala reputación para el uso de motores y otro tipo de aplicaciones, por su bajo nivel de eficiencia y en algunas

aplicaciones de tipo industrial por la variabilidad en los niveles de poder calorífico durante diferentes procesos industriales.

Por estos motivos los concedores indican que es necesario que se le dé una alta relevancia a la fuente productora y sobre todo a que la cromatografía de la mezcla usada se mantenga durante todo el proceso, con el fin de mantener el performance del equipo que se utilice para la generación de energía eléctrica.

El comparativo de energéticos en Colombia no se hace de la manera coherente como se realiza en muchas partes del mundo, en donde se tiene una canasta energética variada con la cual no se comparan costos por unidades de medida entre cada uno de los energéticos, sino que se realiza la comparación de los valores de energía es decir los energéticos se comparan por su poder calorífico v/s su costo, de esta manera se puede tener diversos energéticos complementarios en lugar de ser diversos energéticos que compiten en una misma canasta como si ocurre en Colombia.

A continuación en el marco teórico, se describirán algunos casos de éxito en la generación de energía eléctrica a partir del GLP y hare una breve descripción de las definiciones básicas que utilizare en el desarrollo de esta monografía.

3.2 MARCO TEORICO

Como se mencionó anteriormente, el GLP en el mundo tiene diversos usos, entre los cuales se puede mencionar la generación de energía eléctrica, este tipo de aplicación es el objetivo de este trabajo.

El análisis será enfocado en el comparativo del energético actualmente utilizado para la generación de energía eléctrica y como se pueden reducir los costos en diferentes conceptos utilizando GLP.

Actualmente el campo Rancho Hermoso consume cerca de 9MW/hora, la generación se hace básicamente con Diésel ya que las corrientes de GN y GLP se comercializan.

3.3 DEFINICIONES BÁSICAS

3.3.1 ¿Qué es una Micro Turbina?

Es un Generador de Energía acoplado con una turbina de gas a pequeña escala. Sus principales características son:

- Eficiencia del 26-33%
- Combinado con CHP puede aumentar su eficiencia al 80%+

- Amplio rango de combustibles – 350 btu a 2500 btu • Hasta 7% H₂S
- Emisiones Ultra Bajas

3.3.2 Motor a Gas WAUKESHA

Dresser Waukesha es un fabricante líder de motores de gas natural y LPG, que ofrecen energía limpia y rentable. Los motores Waukesha® funcionan en generación de energía, compresión de gas y otras aplicaciones de accionamiento mecánico en todo el mundo. Dresser Waukesha, con sede en Waukesha, Wisconsin, EE. UU., además combina grupos electrógenos-motores y controles de equipos de conmutación CC para el mercado de generación distribuida

3.3.3 GLP

1 Gas Licuado del Petróleo, gas constituido por una mezcla de hidrocarburos específicos como propano, propileno, butano y butileno, los cuales son gaseosos bajo condiciones atmosféricas normales, pero pueden ser licuados bajo moderada presión a temperatura ambiente. Se obtiene de dos fuentes: del proceso del gas natural (el 60% se obtiene de esta manera) y de la refinación del petróleo (el 40% restante se produce durante el refinado).

3.3.4 ACPM

2 De sus siglas Aceite Combustible para Motores. Es una mezcla de hidrocarburos que se obtiene por destilación fraccionada del petróleo entre 250 °C y 350 °C a presión atmosférica.

3.3.5 PODER CALORÍFICO

3 El poder calorífico de un combustible es la cantidad de energía que puede liberar ese combustible por unidad de peso o volumen. Los poderes caloríficos son determinados de manera experimental. Se mide en calorías por m³ o kilogramo, y en unidades inglesas en BTU por pie³ o por libra.

3.3.6 MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA

4 Es una máquina que obtiene energía mecánica a partir de la energía calorífica producida por un combustible que arde dentro de una cámara de combustión. En los motores de ACPM el aire es comprimido y como consecuencia, calentado, luego el combustible finamente pulverizado se quema al encontrarse con el aire comprimido y caliente, sin necesidad de chispa eléctrica.

¹ [Guía del Gas](#), Grupo Comunicar, Glosario Técnico, 109, Noviembre 2014

¹ LPG Exceptional Energy – [En línea], [Fecha de Consulta septiembre de 2015], Disponible en:

http://www.exceptionalenergy.com/es_ES/que-es-el-glp/origen-del-glp

² Wikipedia – [En Línea], [Fecha de Consulta septiembre de 2015], Disponible en: <https://es.wikipedia.org/wiki/petrodiesel>

³ Termo Fluidos Aplicados – [En Línea], [Fecha de consulta septiembre de 2015], Disponible en:

<http://termofluidosaplicados.blogspot.com.co/2010/11/que-es-el-poder-calorifico-de-un.html>

⁴ Academia.edu – [En Línea], [Fecha de consulta septiembre de 2-015], Disponible en:

http://www.ancap.com.uy/docs_concursos/ARCHIVOS/2%20LLAMADOS%20FINALIZADOS/2011/REF%2046_2011%20TECNICO%20AYUDANTE%20MANTENIMIENTO%20E%20INGENIERIA/08%20-%20MATERIAL%20DE%20ESTUDIO/METAL%20MECANICO%20CIVIL/MECANICA/MOTORCOMBUS2.PDF

3.3.7 CROMATOGRAFÍA DE GASES

La cromatografía de gases es la técnica a elegir para la separación de compuestos orgánicos e inorgánicos térmicamente estables y volátiles. Su principal objetivo es la cuantificación de cada compuesto presente en la mezcla.

3.3.8 FACTOR DE DERRATEO

Los Fabricantes de equipos eléctricos, especifican la clase de aislación de acuerdo al voltaje de operación en lugares donde la altura no supera los 1.000 m.s.n.m.

A mayores altitudes, la clase de aislación sufre una degradación (derrateo o derrating), según la tabla siguiente:

Altura en metros	Factor de Derrateo
1.000	1,00
1.220	0,98
1.524	0,95
3.048	0,80

4. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

La ejecución de esta investigación (Tabla 9.1.1) se desarrolló durante seis (6) meses, en los cuales las pruebas realizadas se hicieron con GLP fuente Cusiana. Básicamente porque es la fuente más próxima a las facilidades y es el GLP que registra el mejor *Blend* de acuerdo a las condiciones que recomienda el equipo de generación (Tabla 9.1.2)

Estas pruebas de generación se desarrollaron con las siguientes características.

DURACIÓN DE LAS PRUEBAS	3 Meses
CARGA	500 KW/h
TIPO DE GENERADOR (Propuesta)	Micro-Turbina C-200
TIPO DE GENERADOR (Actual)	Motogenerador CUMMINS DFEH
Lugar	Plataforma No.9
Uso de la Energia Electrica	Energizar Motor de la plataforma 9 para la operación de una Bomba sumergible Grundfos e iluminación de la plataforma.

En el siguiente cuadro se resume los resultados obtenidos durante el tiempo de realización de las pruebas. La manera con la que se realizara el análisis de costos es con la valoración del KW/h generado, ya que la propuesta sugerida es un proyecto “*turnkey contrac*” o llave en mano, con el fin de que el cliente a cambio de un costo por KW/h generado reciba toda la solución empaquetada y no tenga que encargarse de una operación en la cual no tiene experiencia alguna.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el siguiente cuadro se recopilan los resultados de las variables analizadas con cada uno de los combustibles. El análisis se realiza en virtud del costo KW/h generado teniendo en cuenta todos los costos asociados.

	DIESEL	GNC	GLP
	Motor de Combustión Interna	Microturbinas C-200	Microturbinas C-200
Potencia	500,00 kW/h	500,00 kW/h	500,00 kW/h
Eficiencia	35,0%	32,0%	32,0%
Demanda teórica de combustible	1.428,57 kW/h	1.562,50 kW/h	1.562,50 kW/h
Combustible a suministrar	116.987.725,71 Btu/día	127.955.325,00 Btu/día	127.955.325,00 Btu/día
Unidad de medida	gal	ft3	gal
Poder calorífico	138.000,00 Btu/gal	35.315,00 Btu/ft3	92.000,00 Btu/gal
Demanda diaria	847,74 gal/día	3.623,26 ft3/día	1.390,82 gal/día
Demanda horaria	35,32 gal/hr	150,97 ft3/hr	57,95 gal/hr
Precio compra combustible en ecopetrol	8.500,00 \$/gal	5,00 USD/MMBTU	2.500,00 \$/gal
Margen de Intermediación por venta de combustible	680,00 8%	0,50 10%	625,00 25%
Transporte Primario (Round Trip Cusiana - Rancho Hermoso)	350,00 \$/gal	10,00 \$/gal	400,00 \$/gal
Costo Combustible por unidad	3,26 US/gal	15,50 USD/MMBTU	3.525,00 \$/gal
Costo diario combustible	2.765,81 us\$/día	1.983,31 us\$/día	1.678,41 us\$/día
Costo anual del combustible	1.009.521,15	723.907,25 US\$/año	612.619,71 US\$/año
Demanda eléctrica anual máxima	4.380.000,00 kW/Año	4.380.000,00 kW/Año	4.380.000,00 kW/Año
Inversión	600,00 USD/kWh	1.250,00 USD/kWh	1.350,00 USD/kWh
Factor Derateo (Casanare - 350 m.s.n.m)	1,00	1,00	1,00
Capacidad instalada	500,00 kW	500,00 kW	500,00 kW
Inversión equipos	300.000,00 USD	625.000,00 USD	675.000,00 USD
Calculo de la demanda eléctrica			
Capacidad de la bomba	4.500,00 HP	4.500,00 HP	4.500,00 HP
Factor de uso	80%	80%	80%
Demanda eléctrica	2.685,60 kW	2.685,60 kW	2.685,60 kW
Demanda accesorios y facilidad	400,00 kW	400,00 kW	400,00 kW
Demanda total	3.085,60 kW	3.085,60 kW	3.085,60 kW
Demanda eléctrica anual	26.659.584,00 kWh/año	26.659.584,00 kWh/año	26.659.584,00
Costo mantenimiento y operación	60,00 \$/kWh	45,00 \$/kWh	45,00 \$/kWh
Costo mantenimiento	547.612,13 USD/año	410.709,10 USD/año	410.709,10 USD/año
Tiempo de contrato	5,00 año	5,00 año	5,00 año
Utilidad	25%	25%	25%
	75.000,00 USD	156.250,00 USD	168.750,00 USD
Costo Año 1	922.612,13 USD	1.191.959,10 USD	1.254.459,10 USD
Costo Mes - Año 1	76.884,34	99.329,92	104.538,26
Costo kWh de combustible	673,24 \$/kWh	482,77 \$/kWh	408,55 \$/kWh
Precio de venta del kWh	20,22 \$/kWh	26,12 \$/kWh	27,49 \$/kWh
Precio de Venta kWh Generado (todo incluido)	693,46 \$/kWh	508,89 \$/kWh	436,04 \$/kWh
Provisión para instalación	79,78 \$/kWh	123,88 \$/kWh	132,51 \$/kWh
Precio Mercado alquiler de equipo	100,00 \$/kWh	150,00 \$/kWh	160,00 \$/kWh
Costo kWh (Incluido Equipo en Comodato)	773,24 \$/kWh	632,77 \$/kWh	568,55 \$/kWh

6. CONCLUSIONES

1. El motor DIESEL con el que se genera energía eléctrica en la actualidad es un equipo obsoleto, el cual genera un alto nivel de contaminación por emisiones de DIESEL y contaminación acústica. Aunque no se realizaron mediciones es evidente que las emisiones y el ruido generado por el motor actual es mucho mayor que el que emite la Turbina.
2. Los costos de mantenimiento en un motor DIESEL son superiores a los de una turbina en casi un 25%. La razón es que los componentes de la turbina en un alto porcentaje no son móviles, no necesita utilizar refrigerantes, ni aceites, ni grasas.
3. Los costos actuales para generar 1KW/h con el motor de combustión interna a DIESEL es de 673 \$/KWh v/s 408 \$/KWh que cuesta generar con GLP.
4. Aunque se espera que los costos en la generación con GLP puedan tener una reducción del 5 al 7 % realizando una generación de mayor capacidad en la que se puedan tener una reducción de costos por volumen. Se pudo establecer que realizando un proyecto "*turnkey contrac*" o llave en mano el costo de generación con GLP se reduce en aproximadamente un 26%.
5. Aunque se pudo determinar que la eficiencia del motor que se utiliza actualmente es superior a la eficiencia de la turbina, esto no compensa los costos superiores que se deben asumir en el combustible.

7. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda realizar una toma del nivel de decibeles y emisiones de DIESEL en un próximo estudio con el fin de poder cuantificar estas variables, ya que aunque en esta monografía solo se cualificaron con seguridad estas variables redundan en el performance de la solución energética escogida.
2. Es necesario que las pruebas que se realicen solo se utilice un tipo de GLP, ya que al realizar un cambio así sea mínimo en el blend la eficiencia del equipo cambia de manera drástica y se hace necesario realizar la calibración del equipo (sea Turbina o Motor).
3. Los costos en el combustible se pueden reducir de manera considerable si se realiza con Gas asociado a las corrientes que produce el campo, que va a implementar la solución. Cerca de 41 mpcd de Gas se envían a venteo en los actuales campos que operan en Colombia, el 50% de este gas se podría tratar y tener combustible para el consumo propio (para la separación de estas corrientes también hay compañías que están ofreciendo la solución completa sin que se deben hacer inversiones).

BIBLIOGRAFIA

Academia.edu – [En Línea], [Fecha de consulta septiembre de 2015], Disponible en:

http://www.ancap.com.uy/docs_concursos/ARCHIVOS/2%20LLAMADOS%20FINALIZADOS/2011/REF%2046_2011%20TECNICO%20AYUDANTE%20MANTENIMIENTO%20E%20INGENIERIA/08%20-%20MATERIAL%20DE%20ESTUDIO/METAL%20MECANICO%20CIVIL/MECANICA/MOTORCOMBUS2.PDF

COLOMBIA. UPME – Ministerio de Minas y Energía, Cadena del Gas Licuado del Petróleo 2013: [Bogotá], diciembre 2013. 25 p

CONTRERAS, Camilo. Generación de energía con turbinas utilizando gas asociado de petróleo: Conferencia 2015. En: 5th Colombia Oil and Gas Summit, Abril-2015.

Guía del Gas, Grupo Comunicar, Glosario Técnico, 109, Noviembre 2014

LPG Exceptional Energy – [En línea], [Fecha de Consulta septiembre de 2015], Disponible en: http://www.exceptionalenergy.com/es_ES/que-es-el-glp/origen-del-glp

MACEBA BARRETO, Francisco Eslay. Aprovechamiento en Colombia del Gas Natural (GN) y del Gas Licuado del Petróleo (GLP). Medellín. Centro General de Investigaciones Universidad Medellín. P. 19-27.

NTC 2303. 2012. Gases Licuados de Petróleo (GLP). Segunda Actualización, 2012. 4 p.

Publicaciones Semana S.A. Un Negocio a Granel. Octubre, 2013; p 41. ISSN0121 4837.

Reino Unido – Colombia. Seminario Energético – Centro de Convenciones Cartagena de Indias. 23-24 de septiembre de 1993.

REPSOL – [En Línea] , [Fecha de Consulta, Agosto de 2015] , Disponible en: http://www.repsol.com/pe_es/productos_y_servicios/productos/glp_butano_y_propano/paises/peru/repsolgas/servicio_e_industria/ventajas_del_glp_frente_a_otras_fuentes_de_energia/

Termo Fluidos Aplicados – [En Línea], [Fecha de consulta septiembre de 2015], Disponible en: <http://termofluidosaplicados.blogspot.com.co/2010/11/que-es-el-poder-calorifico-de-un.html>

Wikipedia – [En Línea], [Fecha de Consulta septiembre de 2015], Disponible en:
<https://es.wikipedia.org/wiki/petrodiesel>

ANEXOS

TABLAS Y GRAFICOS

Cronograma de actividades

CRONOGRAMA						
TAREA CONCRETA / FASE	MESES					
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
1. Determinación de las características actuales de los motores de combustión interna con DIESEL.						
2. Establecer los costos actuales para generar 1 KW/h con motores de combustión interna de DIESEL.						
3. Mostrar experiencias de generación de energía eléctrica por medio de Micro Turbinas de ciclo combinado.						
4. Calcular el ahorro en los costos de inversión (CAPEX) y costos de operación para poder generar 1 KW/hora, con motores de combustión interna con DIESEL V/S Micro Turbinas de ciclo combinado.						
5. Medir la eficiencia de los motores de carburación interna con DIESEL v/s Micro Turbinas de ciclo combinado.						

Tabla Cromatografía Fuentes Reguladas (Ecopetrol)

Empresa	Fuente Producción	Nitrogeno (%)	Melano (%)	Etano (%)	Etileno (%)	Propano (%)	Propileno (%)	Iso-butano (%)	N-butano (%)	1-buteno (%)	Iso-butileno (%)	Trans-2-buteno (%)	Cis-2-buteno (%)	1,3-butadieno (%)	C5 y más pesados (%)	Residuos (ml)	Densidad Relativa	Poder Calorífico (BTU/lb)	Presión de Vapor (psi)	Corrosión lámina de cobre	Azúfre (ppm)	(%)
ECOPETROL S.A.	APIAY	0,06	0,08	1,03	-	51,98	-	18,42	28,41	-	-	-	-	-	0,02	-	0,54	21.291,52	123,62	NR	-	100,0
ECOPETROL S.A.	COMPLEJO INDUSTRIAL BARRANCABERMEJA	-	-	0,82	0,11	12,61	10,17	17,95	17,18	8,90	12,72	10,66	6,99	1,26	0,63	0,02	0,57	20.902,74	85,42	1A	134,13	100,0
ECOPETROL S.A.	CUSIANA	-	-	6,22	-	55,22	-	19,70	18,70	-	-	-	-	-	0,16	-	0,52	21.386,20	163,18	1A	-	100,0
ECOPETROL S.A.	DINA	-	-	1,11	-	55,25	-	12,87	30,14	-	-	-	-	-	0,63	-	0,54	21.335,32	123,39	NR	-	100,0

Fuente: Tomado de Informe de Calidad Ecopetrol, con corte al 30 de Julio de 2015.

Grafica Cromatografía Lote de GLP Fuente Cusiana.

TIQUETES PARA MEDICIÓN DINÁMICA TIQUETE PARA GLP			
GESTIÓN DE MEDICIÓN Y CONTABILIZACIÓN DEPARTAMENTO DE MEDICIÓN Y CONTABILIZACIÓN			
ECP-VSM-F-004	Elaborado:	4/12/2015	Versión: 01
INFORMACIÓN GENERAL		Fecha:	4/12/2015 7:35:03PM
Planta o Terminal:	CUSIANA	Computador #:	LlenaderoSRV1
Estación Medición:	4	Tiquete #:	23,685
Tipo de Operación:	Llenado	Brazo #:	4
Destino:	FACATATIVA	Fecha de Inicio y Hora:	4/12/2015 7:00:56PM
Cliente:	ALMANSILLA S A E S P	Fecha Final y Hora:	4/12/2015 7:36:38PM
Origen - Procedencia:	TAURAMENA - CASANARE	Tanque #:	V-37001A
CALIDAD DEL PRODUCTO	DATOS DEL CROMATOGRAMA	UNIDADES	
ETHANE	1.87	%	
PROPANE	52.14	%	
I_BUTANE	20.26	%	
N_BUTANE	25.57	%	
I_PENTANE	0.07	%	
N_PENTANE	0.00	%	
N_HEXANE	0.00	%	
PODER CALORIFICO	2.920.99	BTU/lb3	
RVP	126.53	psi	
CORROSION LAMINA DE COBRE	1.00		
CONTENIDO AZUFRE	0.00	ppm	
RESIDUO VOLATIL	0.00	ml	
ETILMERCAPTANO	15.00	ppm	
MANCHA DE ACEITE	0.00		
CONTENIDO AGUA	0.00		
DENSIDAD CRONOMATOGRAMA	0.00	gr/cm3	
OBSERVACIONES CROMATOGRAFIA	MANUAL		

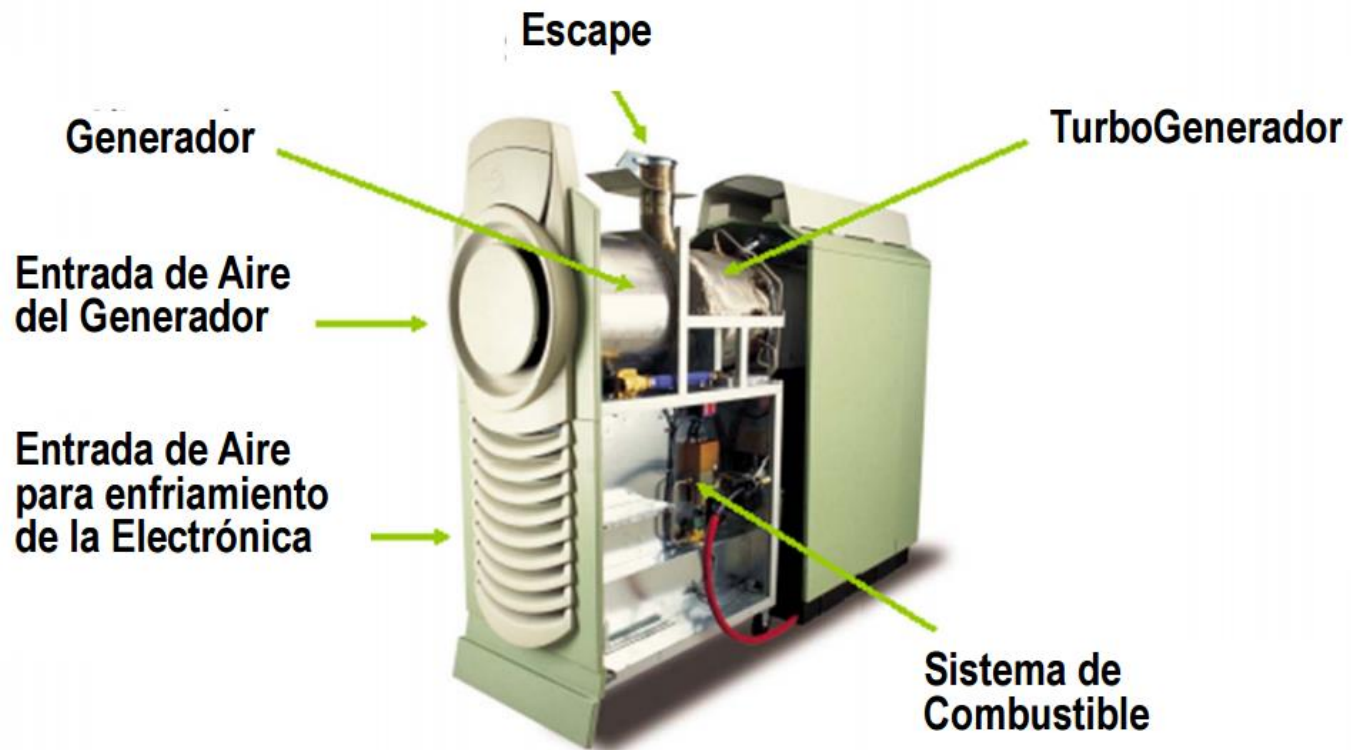
FIRMAS		
	OPERADOR	SUPERVISOR

TIQUETES PARA MEDICIÓN DINÁMICA TIQUETE PARA GLP			
GESTIÓN DE MEDICIÓN Y CONTABILIZACIÓN DEPARTAMENTO DE MEDICIÓN Y CONTABILIZACIÓN			
ECP-VSM-F-004	Elaborado:	4/12/2015	Versión: 01
INFORMACIÓN GENERAL		Fecha:	4/12/2015 7:35:02PM
Planta o Terminal:	CUSIANA	Computador #:	LlenaderoSRV1
Estación Medición:	4	Tiquete #:	23,685
Tipo de Operación:	Llenado	Brazo #:	4
Destino:	FACATATIVA	Fecha de Inicio y Hora:	4/12/2015 7:00:56PM
Cliente:	ALMANSILLA S A E S P	Fecha Final y Hora:	4/12/2015 7:36:38PM
Origen - Procedencia:	TAURAMENA - CASANARE	Numero Pedido:	1329162
Tanque #:	V-37001A	Placa:	XJB495
Sello 1:	049405	Placa Remolque:	R15122
Sello 2:	049406	Sello 4:	0
Sello 3:	049407	Sello 5:	0
Conductor:	JOSE FERRUCHIO	Sello 6:	0
DATOS DEL PRODUCTO		UNIDADES	
Producto	LPG		
Producto #	01		
Densidad Relativa a 60 °F	0.5402		
Temperatura Observada Densitometro (DTmp)	94.87	°F	
Presión de Equilibrio (Pe)	86.04	PSI	
DATOS MEDIDOR		UNIDADES	
Lectura Final (MRc)	119.334.104.00	Kg	
Lectura Inicial (MRo)	119.314.104.00	Kg	
Fujo Promedio	296.58	GPM	
Temperatura Promedio (TWA)	94.87	°F	
Presión Promedio (PWA)	239.90	PSIG	
TOTALES			
Volumen Neto Estándar (NSV)	9,789.36	57 l.	Gal
Masa	20,003.63		Kg
<p><i>pedido = 4661</i> <i>REG = 2347</i></p>			
FIRMAS:			
	OPERADOR	SUPERVISOR	CONDUCTOR

Fuente: Tomado de los tiquetes de Cargue de la Compañía Gas Gombel S.A. E.S.P

Grafica Micro Turbina

COMPONENTES PRINCIPALES MICRO TURBINA



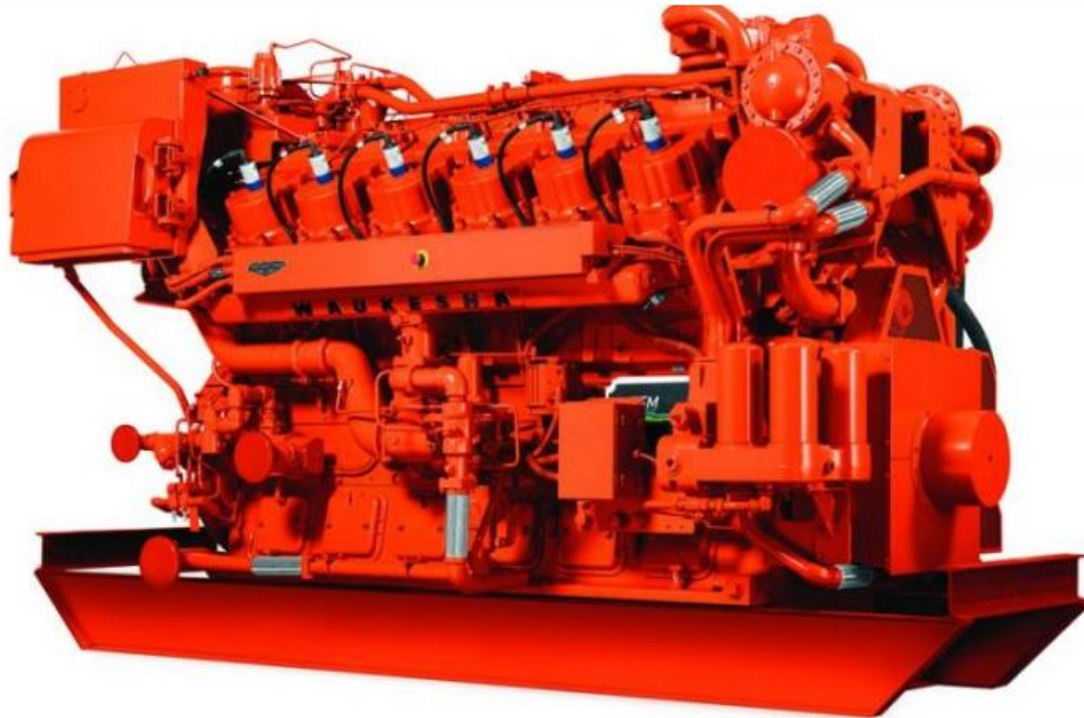
Fuente: Tomado de <http://www.capstoneturbine.com/products/c30>

Grafica Motor de Combustión interna con DIESEL - CATERPILLAR



Fuente: Tomado de Etone Power, <http://www.etonpower.com/cn/>

Grafica Motor de Combustión interna con GLP o GNC - WAUKESHA



Fuente: Tomado de General Electric Energy, <http://www.ge-energy.com/>