

GASL-01

ESTUDIO DE CASO PML- 030

Junio 2007

SUSTITUCIÓN DE DIESEL POR MEZCLA DE DIESEL/GAS EN MOTORES ESTACIONARIOS EMPRESAS: SOTCO LTDA. Y GASTRONIC LTDA.

DIVISIÓN 503, Clase 5030: Venta de partes, piezas y accesorios de vehículos automotores
(Según la Revisión 3 de la Clasificación Industrial Internacional Uniforme - CIIU)

IMPLEMENTACIÓN DE LAS RECOMENDACIONES DE PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA

RESULTADOS ECONÓMICOS (*)

- Inversión: 10,000 US\$
- Beneficio económico: 36,500 US\$/año
- Retorno sobre la inversión: 365%

RESULTADOS AMBIENTALES (*)

- Reducción en emisiones a la atmósfera:
 - 130 kg/año en emisiones de azufre (71%)
 - 65 t/año en emisiones de dióxido de carbono (20.5%)

(*) En el formato numérico, la coma se utiliza como separador de miles y el punto como separador de decimales.

QUÉ ES “PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA”

“La Producción Más Limpia es la aplicación continua de una estrategia ambiental, preventiva e integrada, a los procesos productivos, a los productos y a los servicios para incrementar la eficiencia global y reducir riesgos para los seres humanos y el ambiente. La Producción Más Limpia puede ser aplicada a los procesos empleados en cualquier industria, a los productos mismos y a los diferentes servicios prestados en una sociedad”.

CICLO DE “PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA”

1) Identificar oportunidades y formular recomendaciones

3) Medir el éxito: más utilidades y menos desechos

2) Implementar las recomendaciones

1) Identificar oportunidades y formular recomendaciones

El primer paso consiste en realizar una revisión técnica para identificar oportunidades y formular recomendaciones que permitan mejorar la productividad y eficiencia en cada operación unitaria. Estas tareas deben ser realizadas por profesionales idóneos, quienes deben trabajar con el personal de la empresa en general, desde obreros hasta ejecutivos.

2) Implementar las recomendaciones

Una vez que las recomendaciones han sido formuladas, éstas son ordenadas según las prioridades e intereses de la empresa. Luego, se forma un equipo de trabajo para implementar las recomendaciones seleccionadas según el cronograma establecido y el presupuesto asignado.

3) Medir el éxito

Los resultados son medidos a través de indicadores como la reducción en la cantidad de desechos o de contaminación generada; la reducción en el consumo específico de materias primas, energía y agua; la reducción de costos de producción; y el incremento de las utilidades. Una vez medido el éxito, se debe volver al paso 1 para iniciar un nuevo ciclo.

INTRODUCCIÓN

Este estudio de caso presenta los resultados obtenidos por dos empresas de la ciudad de El Alto que implementaron una medida de Producción Más Limpia (PML) consistente en la instalación de un kit de conversión bicomcombustible. Este kit de conversión permite que los grupos electrógenos a diesel funcionen con mezclas diesel/gas. De esa manera, se hace posible la sustitución parcial de diesel por gas natural en la generación de energía eléctrica en motores estacionarios (grupos electrógenos).

Las empresas que aplicaron la medida son Sotco Ltda., dedicada a la importación de maquinaria pesada, y Gastronic Ltda., dedicada a la prestación de servicios técnicos, principalmente en mecánica de motores.

El objetivo de ambas empresas fue demostrar que la tecnología empleada para la sustitución parcial de diesel por gas natural es técnicamente viable inclusive a la altura del altiplano, en motores estacionarios. Para ello, instalaron un kit de conversión bicomcombustible en un grupo electrógeno cuya fabricación data de los años 70, porque es la tecnología representativa de la mayoría de los grupos electrógenos que operan con diesel en Bolivia.

El CPTS participó en las pruebas demostrativas de sustitución y en la evaluación de los rendimientos alcanzados, una vez realizadas las mediciones con equipos específicos para este fin (ver Figura 1). La sustitución de diesel por mezclas diesel/gas es una medida de PML y su aplicación genera beneficios ambientales y económicos.

Desde el punto de vista ambiental, el gas boliviano es del tipo “sweet” (dulce), es decir, no contiene azufre, por lo que su combustión no genera óxidos de azufre, como ocurre con el gas de tipo “sour” (amargo), que sí lo tiene, principalmente bajo la forma de mercaptanos y de sulfuro de hidrógeno.

Asimismo, la combustión del diesel importado produce más óxidos de azufre que la combustión de diesel nacional. El diesel importado contiene, aproximadamente, 9 veces más azufre que el diesel nacional (el diesel nacional tiene alrededor de 0.02% de azufre peso/peso).

La información, extraída de la página Web de la superintendencia de Hidrocarburos, da cuenta que Bolivia importó, el año 2006, 360 de los 1,160 millones de litros de diesel que representó el consumo interno¹.

Desde el punto de vista económico, la sustitución de diesel por gas natural, representa un ahorro económico para las



Figura 1 Equipos utilizados en la medición de las pruebas demostrativas de sustitución de diesel por mezclas de diesel/gas. a) Analizador de redes eléctricas; b) Pinzas amperimétricas de 400 A.

¹ Debido a que el diesel puesto en el mercado nacional a 0.80 US\$/L es vendido a 0.465 US\$/L, la subvención para el diesel importado alcanzó a aproximadamente 121 millones de US\$ en 2006.



Figura 2. Grupo electrógeno empleado en las demostraciones de sustitución parcial de diesel por gas natural

Motor	Generador
Marca: Caterpillar	Marca: Caterpillar
Modelo: 3306 PCT	Modelo: SR4
Serial: 66D41946	Serial: 5FA01203
Arreglo: 8N3419	Tensión: 380 v
	Frecuencia: 50 Hz
	Potencia Máxima (4,029 msnm): 110 kW

industrias que operan con grupos electrógenos debido a la diferencia de costos entre ambos energéticos y un ahorro para el estado por la eliminación de la subvención al diesel importado.

RECOMENDACIÓN IMPLEMENTADA

SUSTITUCIÓN DE DIESEL POR MEZCLAS DE DIESEL/GAS EN MOTORES ESTACIONARIOS

A. GRUPO ELECTRÓGENO UTILIZADO

En la Figura 2 se muestra el grupo electrógeno que fue utilizado para realizar las pruebas. La potencia efectiva del motor a 4,029 msnm fue de 110 kW.

B. PARTICIPACIÓN INSTITUCIONAL EN EL MONITOREO DE LAS OPERACIONES DE SUSTITUCIÓN DE DIESEL POR GAS NATURAL

Con el objetivo de certificar la validez de las pruebas de sustitución de diesel por gas natural, se contó con

la presencia de la **Superintendencia de Hidrocarburos, del Instituto Boliviano de Metrología y de Yacimientos Petrolíferos Fiscales Bolivianos**. Los experimentos demostrativos se realizaron en instalaciones habilitadas por ambas empresas para realizar dichos experimentos.

C. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA OPERACIÓN DEL SISTEMA BICOMBUSTIBLE

El kit de conversión bicomcombustible es una tecnología nueva que permite que los motores a diesel, sean éstos móviles (vehiculares) o estacionarios (grupos electrógenos), puedan trabajar con mezclas de diesel oil y gas natural o sólo con diesel oil. Los motores a diesel, bajo ninguna circunstancia, podrían trabajar únicamente con gas natural.

El kit de conversión bicomcombustible hace posible que, durante la carrera de admisión, se introduzca una mezcla de aire y gas natural al interior de los cilindros. Esta mezcla se

comprime durante la carrera de compresión y poco antes de que el pistón llegue a su punto muerto superior, el sistema de inyección del motor que no ha sufrido ninguna modificación, respecto a su configuración original, inyecta el diesel a los cilindros y se produce la combustión. El volumen de diesel que se inyecta hace de bujía por lo que recibe el nombre de bujía de ignición líquida. El volumen de diesel que hace de bujía de ignición líquida es el mismo que se inyectaría si el motor estuviera trabajando sólo con diesel oil.

Desde el punto de vista energético, esta tecnología permite reemplazar parcialmente un tipo de combustible (diesel oil) por otro (gas natural), en una cantidad que, sumando la energía que desarrollan ambos combustibles, siempre se llega, en el mismo intervalo de tiempo, a la misma cantidad de energía que se obtendría empleando 100% de diesel oil. Lo que implica que la potencia del motor no varía.

RESULTADOS DE LA SUSTITUCIÓN

Situación anterior:

En la Figura 3, las barras rojas indican la energía térmica teórica de la combustión del diesel y de las mezclas diesel/gas. Las barras azules son el resultado medido de la energía eléctrica generada por esa combustión. El primer par de barras a la izquierda, muestra que, cuando se utiliza solo diesel oil como combustible, el grupo electrógeno alcanza un rendimiento de 26.33% en la conversión de energía térmica a energía eléctrica. En este caso, el costo de generación, considerando solamente el costo del diesel, es de 16.52 centavos de US\$ por kWh generado (ver Figura 4).

Situación actual:

Los otros 4 pares de barras de la Figura 3, muestran que se obtiene un rendimiento similar en la conversión de energía térmica a energía eléctrica con diferentes proporciones de diesel/gas. Un litro de diesel genera aproximadamente, la misma cantidad de energía térmica que un metro cúbico de gas natural en condiciones estándar (Presión = 1 atmósfera, Temperatura = 15 °C). Al iniciar la prueba el motor consumía 4.84 L de diesel oil en 10 minutos. Luego, se fue reemplazando gradualmente el diesel por gas natural, hasta llegar a un consumo de 1.45 L de diesel oil y 3.4 m³ de gas natural en 10 minutos. Esto corresponde a una mezcla de 30% de diesel oil y 70% de gas natural. Con esta mezcla se obtuvo un rendimiento de conversión de 27.15%, que es algo superior al obtenido

con sólo diesel, 26.33%. En lo económico, el costo de generación del kWh baja de 16.52 centavos de US\$, empleando solo diesel, a 6.22 centavos de US\$, empleando una mezcla de 30% diesel y 70% de gas natural (ver Figura 4).

BENEFICIOS DE LA SUSTITUCIÓN

El resumen de los beneficios ambientales y económicos, que a continuación se describen, se encuentra en las Tablas 1 y 2 al final de este estudio de caso.

Beneficios económicos

El ahorro generado por la sustitución de un litro de diesel por un metro cúbico de gas natural está dado por la diferencia en precio entre estos dos energéticos. Actualmente, en el país, un litro de diesel para la industria o el transporte cuesta 0.46 US\$/L (3.72 Bs/L, precio subvencionado), y un metro cúbico de gas a la tarifa industrial cuesta 0.06 US\$ (lo que equivale a 1.70 US\$ por millar de pies cúbicos (mpc)). Consiguientemente, por cada litro de diesel sustituido, una empresa industrial que autogenera su energía eléctrica mediante un grupo electrógeno obtendría un ahorro de 0.40 US\$².

Los resultados de las mediciones obtenidas durante las pruebas realizadas, permitieron comparar los costos de generación eléctrica en grupos electrógenos cuando se emplea sólo diesel como combustible y cuando se emplean mezclas diesel/gas. Los datos se presentan en la Figura 4, donde se muestra, en centavos de dólar (línea verde), el costo del kWh producido empleando diesel y diferentes proporciones de la mezcla de diesel/gas. Si se considera que el grupo electrógeno trabaja un promedio de 12 horas diarias, durante todos los días del año, se generará un ahorro anual estimado de 36,000 US\$ para una relación de 70% gas y 30% diesel.

Beneficios ambientales

Las sustituciones de diesel por gas natural, que se efectúen en grupos electrógenos, tienen que dirigirse principalmente a reducir la cantidad de diesel importado, porque, por su composición química, es más contaminante que el diesel nacional. El beneficio ambiental de sustituir diesel importado por gas natural boliviano proviene, principalmente, de una disminución significativa en la generación de óxidos de azufre y en la generación de dióxido de carbono.

² En el cálculo de beneficios económicos se empleó una tarifa de 1.70 US\$ por millar de pies cúbicos de gas natural (mpc).

Curvas de energía para el generador a diesel

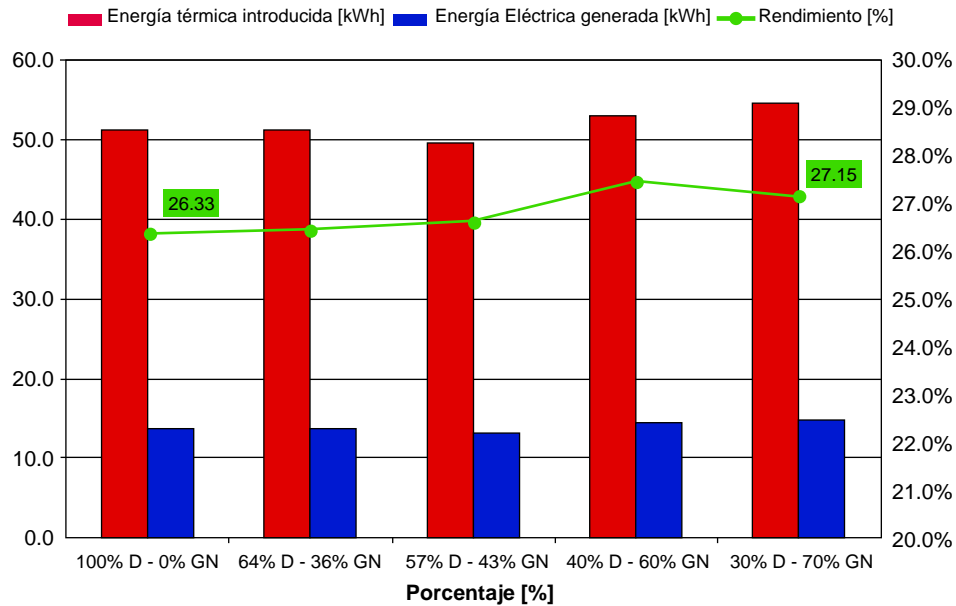


Figura 3. Cantidad de energía eléctrica (barras azules) que se obtiene a partir de la energía térmica (barras rojas) introducida en forma de solo diesel, extremo izquierdo, o de mezclas de diesel y gas natural. La línea verde muestra el rendimiento logrado con las distintas proporciones de la mezcla diesel/GN.

Curvas de energía para el generador a diesel

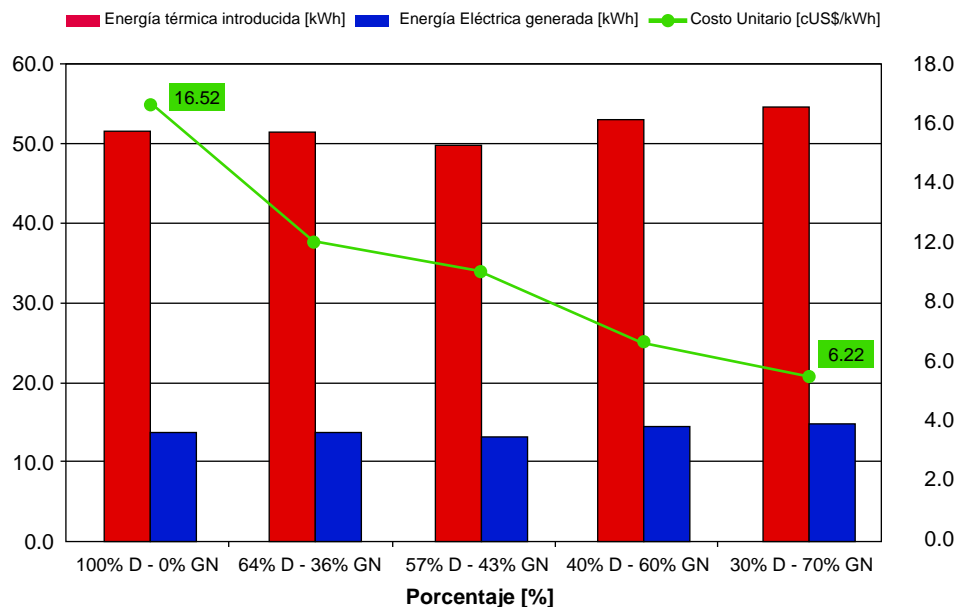


Figura 4. La gráfica muestra que el costo por kWh producido, línea verde, decrece conforme se incrementa el porcentaje de gas en la mezcla diesel/GN. Para una mezcla de 30% diesel y 70% gas natural, el precio por kWh producido disminuye de 16.52 US\$ a 6.22 US\$, o sea, una disminución de alrededor del 62% en el costo de generación.

Con relación al azufre, la máxima concentración de azufre permitida por la Superintendencia de Hidrocarburos de Bolivia es de 0.2 %, o sea, 2,000 ppm. Por lo tanto, en un litro de diesel, de densidad 0.8 kg/L, la máxima cantidad de azufre permitida es de 1.6 g.

Los datos proporcionados por YPFB dan cuenta que el diesel que importa y distribuye PETROBRAS en el país contiene 1.46 g de azufre por litro. Si se toma en cuenta que el gas boliviano prácticamente no contiene azufre, el hecho de sustituir 1 L de diesel importado por 1 m³ de gas boliviano, resulta en una disminución de las emisiones de hasta 1.46 gramos de azufre por litro.

Con relación al dióxido de carbono, y asumiendo que el diesel tiene una composición aproximada de 85% de carbón y 15% de hidrógeno, se tiene que la combustión completa de un litro de diesel genera 2,490 g de dióxido de carbono. En cambio, en la combustión completa de 1 m³ de gas, asumiendo que es metano puro, se genera sólo 1,860 g de dióxido de carbono. Por lo tanto, la disminución debida a la sustitución será de 630 g por cada litro sustituido, lo que equivale a una reducción del 25%.

Una aproximación al beneficio potencial de la sustitución de diesel con gas natural en la generación de energía eléctrica de los sistemas aislados de Bolivia

En este estudio de caso, también se ha querido presentar una estimación del impacto económico y ambiental que se obtendría al aplicar esta medida en los grupos electrógenos de las empresas generadoras de electricidad de los sistemas aislados.

La información proporcionada por YPFB, da cuenta que en Bolivia se consume anualmente una cantidad aproximada de 35 millones de litros de diesel³ para la generación de energía eléctrica en los sistemas aislados. El 75% del diesel es de origen nacional y el 25% restante es importado. La capacidad de los generadores varía desde los 30 kW de potencia (generadores pequeños), hasta los 2,000 kW (generadores grandes), como los que generan electricidad para ciudades en los sistemas aislados mayores (por ejemplo, Trinidad y Riberalta) y menores (por ejemplo, Rurrenabaque y San Buenaventura).

Si se lograra sustituir por gas natural un 70% de los 35 millones de litros de diesel que se consumen anualmente

en el país para generar electricidad, se reduciría en 24.5 millones de litros por año el consumo de diesel en este sector. Si esto fuera así, la totalidad de diesel que se reemplace por gas natural en el sector de generación eléctrica, sustituiría al diesel que se importa tanto para este sector, como para otros sectores como el del autotransporte.

Si esto ocurre se obtendría los siguientes beneficios:

- Un ahorro aproximado de 18 millones de dólares por año, asumiendo que se sustituye por gas natural 24.5 millones de litros de diesel importado (16 millones de dólares de ahorro por concepto de la eliminación de las subvenciones al diesel destinado a las generadoras y 2 millones de dólares de ahorro para las generadoras, por sustituir diesel subvencionado a 0.14 US\$/L con gas a precio industrial de 0.06 US\$/m³). Es importante resaltar que una condición imprescindible para que las empresas generadoras obtengan este ahorro, es que tengan acceso al gas natural al menos al precio de la tarifa industrial⁴. Para ello, se deberá invertir en una red de gasoductos que haga llegar este energético a las diferentes generadoras del sistema aislado.
- Una reducción, en emisiones de azufre, cercana al 90%, 52 toneladas por año, que a su vez podría evitar la generación de aproximadamente 160 toneladas de ácido sulfúrico, bajo la forma de lluvia ácida.
- Una reducción de 15,400 toneladas por año (17.7%) en emisiones de dióxido de carbono, que contribuyen al efecto invernadero.

Debido a que existe un mercado para la transacción de bonos de carbono, dentro del Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) del Protocolo de Kyoto, que está destinado a disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero, una disminución de 15,400 toneladas anuales significaría un monto aproximado de 70 mil dólares anuales en bonos de carbón (actualmente el precio promedio por tonelada no emitida de dióxido de carbono es de 4.5 US\$). Considerando que, en promedio, los proyectos de sustitución de energéticos tienen una duración aproximada de 20 años, el monto total generado por la sustitución durante 20 años alcanzaría a 1.4 millones de US\$.

³ Comunicación personal proporcionada por la Vicepresidencia Nacional de Operaciones de YPFB.

⁴ En las grandes termoeléctricas que operan en el país, la tarifa es de 1.2 US\$/mpc, lo que equivale a 0.042 US\$/m³.

Tabla 1. Desempeño antes y después de la sustitución en el grupo electrógeno analizado.

Indicador de desempeño	Antes	Después	Aumento (Reducción)	%Aumento (%Reducción)
Potencias medidas [kW]	81	89	8	9.8
Energía generada al año (12 h/d y 365 d/año) [kWh-año]	354,780	389,820	35,040 ^(*)	9.8
Rendimiento en la producción de energía eléctrica a partir de energía térmica [kWh-eléctrico/kWh-térmico]	0.2633	0.2715	0.0082	3.1
Costo de producción de energía eléctrica [cUS\$/kWh]	16.52	6.22	(10.30)	(62.3)
Reducción en las emisiones de dióxido de carbono [g/kWh]	894	711	(183)	(20.5)
Reducción en las emisiones de azufre [g/kWh]	0.52	0.15	(0.37)	(71.2)

^(*) Como se observa, para el mismo tiempo de funcionamiento del grupo electrógeno, el sistema bicomcombustible es capaz de generar mayor cantidad de energía eléctrica debido al incremento del 9.8% en la potencia. Sin embargo, en el cálculo económico esta ventaja ha sido obviada para que las estimaciones sean más conservadoras.

Tabla 2. Inversiones, ahorros, retornos y beneficios ambientales.

Recomendación		Inversión [US\$]	Beneficios económico [US\$/año] ^(*)	Retorno	Beneficio ambiental
Substitución de diesel por gas natural		10,000	36,500	365%	Reducción de 130 kg/año en las emisiones de azufre. Reducción de 65 t/año en las emisiones de dióxido de carbono.
%Diesel	%Gas Natural				
30	70				

^(*) Para el cálculo de los beneficios económicos y ambientales, se asumió una generación de energía eléctrica anual de 354,780 kWh-año. Esto equivale al funcionamiento del generador durante 12 horas diarias durante 365 días al año a una potencia medida de 81 kW. En las emisiones de azufre se asume que se consume el diesel importado.

Financiado por:



**EMBAJADA
REAL DE
DINAMARCA**

Elaborado por:



Av. Mariscal Santa Cruz N° 1392
Edif. Cámara Nacional de Comercio, Piso 12
Tel.: (591-2) 2319891
Fax: (591-2) 2319903
Casilla 2603
Página Web: www.cpts.org
Correo electrónico: direccion.ejecutiva@cpts.org
La Paz - Bolivia

Este estudio de caso ha sido producido gracias al apoyo proporcionado por:

- , el Pueblo de los Estados Unidos de América, a través de la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional, USAID, bajo los términos del Acuerdo Cooperativo No. 511-A-00-02-00282-00.
- , el Pueblo de Dinamarca, a través de la Embajada Real de Dinamarca, bajo el marco del Convenio Gubernamental entre la República de Bolivia y el Reino de Dinamarca.

Las opiniones expresadas en este documento, no necesariamente reflejan el punto de vista de la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional ni de la Embajada Real de Dinamarca.