

ANALISIS TECNICO ECONOMICO DE LA CONVERSION DE MOTORES
DIESEL A SISTEMA DUAL CON GAS

OSCAR JEOVANNY FERNANDEZ MORENO
COD: 2077605
Ingeniero Mecánico TP CN230-06519

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS FISICOQUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERIA DE PETROLEOS
ESPECIALIZACION EN INGENIERIA DEL GAS
BUCARAMANGA
2010

ANALISIS TECNICO ECONOMICO DE LA CONVERSION DE MOTORES
DIESEL A SISTEMA DUAL CON GAS

OSCAR JEOVANNY FERNANDEZ MORENO
COD: 2077605
Ingeniero Mecánico TP CN230-06519

MONOGRAFÍA PRESENTADA PARA OPTAR AL TITULO DE ESPECIALISTA EN
INGENIERIA DEL GAS

ING. EDUARDO RODRIGUEZ
ESPECIALISTA EN GAS
DIRECTOR

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS FISICOQUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERIA DE PETROLEOS
ESPECIALIZACION EN INGENIERIA DEL GAS
BUCARAMANGA
2010

AGRADECIMIENTOS

Hoy en día las personas han dejado de ser útiles por creerse importantes y es por eso que la transferencia del conocimiento cada día tiene más barreras, por lo anterior agradezco a Dios en primera instancia, a mi familia, a Confipetrol, a RMS, a FTC, a los docentes de la especialización y a todos aquellos que de manera humana y positiva fueron útiles en la transferencia de conocimiento, en el trabajo en equipo y en el logro de tan importante objetivo, demostrando con su granito de arena aportado que de verdad son importantes.

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCION	14
2. DESARROLLO DE LA TECNOLOGIA Y PROYECTOS DE CONVERSION DE MOTORES DIESEL A SISTEMA DUAL DIESEL-GAS EN EL TIEMPO, EN LOS ULTIMOS DIEZ AÑOS	16
2.1 Planteamiento del problema por los desarrolladores de la tecnología	16
a. Objetivo general de los fabricantes y desarrolladores de la tecnología	18
b. Objetivos específicos de los fabricantes y desarrolladores de la tecnología	18
2.2 Desarrollo de la tecnología para adecuar los motores diesel a combustible dual diesel – gas	18
2.3 Caso Venezuela	26
a. Herramientas e instrumentos de medición de los resultados de las pruebas presentadas en este trabajo	30
b. Resultados	31
c. Emisiones al medio ambiente	39
d. Análisis de resultados	41

e. Conclusiones caso Venezuela	44
3. IDENTIFICACION DE LAS SEIS TECNOLOGIAS MÁS USADAS PARA LA CONVERSION DE MOTORES DIESEL A SISTEMA DUAL CON GAS	45
4. ANALISIS TÉCNICO DE LA CONVERSION DE MOTORES DIESEL A SISTEMA DUAL DIESEL – GAS Y TECNOLOGIA DE CONVERSIÓN APLICADA EN EL CASO PRÁCTICO	46
4.1 Análisis técnico de la conversión del Motor Diesel a sistemas dual Diesel - Gas	46
4.2 Tecnología aplicada en el caso práctico	54
5. VIABILIDAD TÉCNICO ECONÓMICA DE LA CONVERSION DE MOTORES DIESEL A SISTEMA DUAL DE COMBUSTIBE CON GAS UTILIZANDO UN CASO PRÁCTICO	65
5.1 Viabilidad técnica	65
5.2 Viabilidad económica	67
6. ANÁLISIS DE RESULTADOS COSTO BENEFICIO Y RETORNO DE LA INVERSION	69
7. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE CONVERTIR UN MOTOR DIESEL A SISTEMA BI – FUEL DIESEL – GA	72

8. CONCLUSIONES	76
BIBLIOGRAFIA	79
ANEXO 1	80
HISTORIA DE LOS MOTORES DIESEL	80

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Viscosidad Cinemática a 100 C	34
Figura 2	Número Básico BN (ASTM4739)	35
Figura 3	Sulfatación/Nitración FT-IR	36
Figura 4	Oxidación/Hollín FTIR	36
Figura 5	Fe y Cr bajo régimen Diesel y Dual	37
Figura 6	Pb y Sn bajo régimen Diesel y Dual	37
Figura 7	Al y Cu bajo régimen Diesel y Dual	38
Figura 8	Al y Cu bajo régimen Diesel y Dual	40
Figura 9	Emisiones (gr/ Hp-hr) de motor 100% diesel y dual al 64% de sustitución	41
Figura 10	Adecuación con tecnología GTI un Motor diesel a dual	54
Figura 11	Tren de Gas	56
Figura 12	Mezcladores	56
Figura 13	Switch de Presión de Salida Positiva	56
Figura 14	tren de gas GTI	57
Figura 15	GTI Air-Gas Mixer	58
Figura 16	mezcladores Gas aire sistema GTI	59
Figura 17	Válvula de potencia dual gas instalada en un equipo diesel	60
Figura 18	Válvula de potencia dual gas	61
Figura 19	Válvula de potencia in la línea de gas	61
Figura 20	Panel de Control	62

Figura 21 Sensor Vibración B. Izq	64
Figura 22 Sensor Vibración B. Der	64
Figura 23 Sensor de Vacío Filtro Izq	64
Figura 24 Sensor de Vacío Filtro D	64
Figura 25 Termocupla Gas EscapC	64
Figura 26 Sensor P Manifold Aire	64
Figura 27 Sens de Vacío Filt. I	64
Figura 28 Termoc Manifold Air	64
Figura 29 Sensor Pres. Gas Entrad	64
Figura 30 Foto caso práctico, SET18 con Sistema GTI Bi-Fuel. Caso práctico	67
Figura 31 Hoja de cálculo de análisis de resultados Costo beneficio y retorno de la Inversión del caso práctico	71
Figura 32 emisiones reducidas con el sistema Dual	72
Figura 33 Niveles de NOX	73
Figura 34 Motores diesel convertido a sistema dual diesel gas	74
Figura 35 Ventajas en costos sistema Bi Fuel	75
Figura 36 Inyección indirecta diesel	82
Figura 37 Inyección directa diesel	83
Figura 18 Admisión	83
Figura 39 Admisión e inyección	84
Figura 40 Expansión	85
Figura 41 Escape	85

LISTA DE CUADROS

Tabla 1 Pruebas de aceite y procedimientos aplicados	30
Tabla 2 Resultados de análisis de aceites usados	33
Tabla 3 Opacidad CAT 3116	39
Tabla 4 Emisiones sistema diesel y dual Diesel/gas (g/hp-h)	40
Tabla 5 Datos de entrada del motor convertido en el caso práctico	51
Tabla 6 Pruebas de carga con diesel 100% caso práctico	52
Tabla 7 Intervalo de variación Parámetros Bi Fuel obtenidos en el caso práctico	53
Tabla 8 Status de resultados de la conversión del Caterpillar 3412 a Bi-Fuel datos caso práctico	66
Tabla 9 Costos de Conversión Caterpillar 3412 Diesel a Sistema Bi-Fuel	69
Tabla 10 tiempos retorno inversión	69
Tabla 11 Especificaciones Técnicas Diesel – Colombia	89

RESUMEN

TITULO:

ANALISIS TECNICO ECONOMICO DE LA CONVERSION DE MOTORES DIESEL A SISTEMA DUAL CON GAS

AUTOR:

Oscar Jeovanny Fernández Moreno

PALABRAS CLAVES:

Ambiente. Emisiones. Lubricantes. Termodinámica. Costo Beneficio. Retorno de Inversión.

DESCRIPCIÓN:

Esta monografía consiste en la investigación sobre la conversión de los motores Diesel a sistema Dual de combustible Diesel/Gas, con énfasis en el análisis técnico económico a través de una hoja de cálculo desarrollada para tal fin, aplicada a un caso práctico en un campo petrolero en Colombia.

La conversión de motores diesel a sistema dual de combustible con Gas o Bi-Fuel se presenta como solución más viable para disminuir las emisiones de gases tóxicos y hacer frente a uno de los principales problemas de contaminación, además de dar una opción de la utilización del gas como salida alternativa a los sistemas tradicionales mono combustibles; la contaminación atmosférica, la cual es causante de una serie de graves enfermedades, y que aumentan continuamente en cuanto al número de casos.

El sistema dual de combustible Diesel-Gas o Bi- Fuel aporta una serie de ventajas asociadas a la disminución de costos de mantenimiento y operación tanto en motores vehiculares como en motores estacionarios para la generación de energía eléctrica.

Está provista de un capítulo de teoría donde reseñamos el desarrollo de la tecnología,, uno de análisis y viabilidad técnica económica ;y; uno de análisis del costo beneficio y retorno de la inversión aplicado al caso práctico con sus debidas conclusiones.

Con esta monografía se genera una herramienta de análisis previos técnico económicos que permiten tomar decisiones a la hora de convertir a sistema dual con GAS los motores diesel, modelando la inversión, el costo beneficio y el retorno de la misma, además de reducir impactos ambientales.

*Monografía de Especialización en Ingeniería del Gas

**Facultad de Ingeniería Fisicoquímicas, Escuela de Ingeniería de Petroleos. Director:
Ing. Eduardo Rodriguez

SUMMARY

TITLE: TECHNICAL ANALYSIS CHEAP TO RUN OF THE CONVERSION OF DIESEL ENGINES TO DUAL WHIT GAS

AUTHORS:

Oscar Jeovanny Fernández Moreno

KEY WORDS: Environment. Emissions. Lubricants. Thermodynamics. Benefit Cost. Return of Investment.

DESCRIPTION:

This monograph consists in the investigation on the conversion of the Diesel engines to Dual system of fuel Diesel Gas, with emphasis in the technical cost-reducing analysis through a spreadsheet unrolled for such end, once a practical case was applied at an oil field in Colombia.

The conversion of Diesel engines to dual system or Bi-Fuel Oil shows up like more viable solution to decrease the emissions of poison gases and to make in front of one of the main problems of contamination, in addition to give as an output an option of the utilization of the gas alternative the traditional systems monkey combustible; The atmospheric contamination, which is causing of a series of grave diseases, and the fact that they increase continuously as to the number of cases.

The dual system of fuel Diesel Gas or Bi-Fuel Oil contributes a series of associated to advantages the cost reduction of maintenance and operation so much in vehicular engines like in stationary engines for the generation of electric power.

She is provided of one I surrender of theory where we depicted the development of technology, one of analysis and technical cost-reducing viability ;and; One of cost analysis benefit and return of the investment once the practical case with your proper findings was applied for.

With this monograph it generates a tool of previous technical cost-reducing analysis that they allow to take decisions at the time of converting the Diesel motors to dual carbonated system, modeling investment, the cost I benefit and the same return of her, in addition to reduce environmental impacts.

** Monografía specialization Ing. Of the Gas

* Carnal Ingenierías's *Facultad Chemical. School of Engineering Oils. Ing. Eduardo Rodríguez.

1. INTRODUCCION

El desarrollo tecnológico, los avances y las comodidades de las que gozamos hoy día han sido, a lo largo de su historia el fruto del uso irracional de los recursos naturales y de la actividad económica centrada en la utilización de combustibles fósiles, lo que ha generado la contaminación del medio ambiente constituyendo uno de los problemas más críticos en el mundo, es por ello que ha surgido la necesidad de tomar conciencia y buscar alternativas para su solución donde la relación entre los individuos y su medio ambiente determinarán la existencia de un equilibrio ecológico indispensable para la vida de todas las especies buscando disminuir el calentamiento global y llegar así al desarrollo sostenible y armonizado con el medio ambiente.

La generación de energía mediante el aprovechamiento de productos naturales o de residuos (biomasas) es la industria del futuro, pero mientras esto sucede, existen medidas que pueden ser implementadas para contribuir a la disminución de tales contaminantes y entre ellas, está la utilización del gas natural, recurso abundante, y por ello la alternativa de sustituir combustible diesel y/o gasolina por Gas Natural, minimizando la descarga de productos contaminantes especialmente, la reducción de gases efecto invernadero, contrarrestando así el calentamiento global y el cambio climático, además disminuyendo la proporción de desechos de aceites usados que contaminan las fuentes de aguas naturales y subsuelos.

La conversión de motores diesel a sistema dual de combustible con Gas o Bi-Fuel se presenta como solución más viable para disminuir las emisiones de gases tóxicos y hacer frente a uno de los principales problemas de contaminación,

además de dar una opción de la utilización del gas como salida alternativa a los sistemas tradicionales mono combustibles; la contaminación atmosférica, la cual es causante de una serie de graves enfermedades, y que aumentan continuamente en cuanto al número de casos.

El sistema dual de combustible Diesel-Gas o Bi- Fuel aporta una serie de ventajas asociadas a la disminución de costos de mantenimiento y operación tanto en motores vehiculares como en motores estacionarios para la generación de energía eléctrica.

El desarrollo de los automóviles se ha acelerado en la última década ayudado de la incursión de ciertos sectores como el de la industria Petroquímica. Esto ha contribuido al mejoramiento de diversos sistemas motrices de los automotores como es el caso de la propulsión de los motores y su combustible, utilizando, para ello los sistemas de propulsión gas natural comprimido (GNC) que comparado con el sistema Diesel proporcionan algunas mejoras que se refleja en la disminución de emisiones tóxicas al medio ambiente, menor costo de operación y disminución en la generación de ruido (antidetonante). Por esto es que su uso es cada vez más común y se encuentra en continuo desarrollo.

Actualmente encontramos equipos para sistemas de propulsión Gas Natural Comprimido (GNC) de alta tecnología y de menores costos de mantenimiento, aunque dicha transformación de diesel a Gas Natural Comprimido resulte costosa en un principio. Por estas razones se hace necesaria la generación de nuevas tecnologías que cumplan con las prestaciones que proporcionan los sistemas actuales y a menor costo de transformación.

Lo anterior descrito, asociado a la implementación de combustibles alternativos menos contaminantes, ha llevado a la ingeniería a desarrollar alternativas que permitan adecuar la flota existente de motores diesel instalados e incluso con mayor atención los motores a gasolina, el objetivo busca compensar costos-tecnología-ambiente, sin tener que desmontar el gran número de motores instalados en el mundo debido a que reemplazarlos con nuevas tecnologías dedicadas, sería imposible por costos y por fabricación.

2. DESARROLLO DE LA TECNOLOGIA Y PROYECTOS DE CONVERSION DE MOTORES DIESEL A SISTEMA DUAL DIESEL-GAS EN EL TIEMPO, EN LOS ULTIMOS DIEZ AÑOS.

Con el objetivo de entender el desarrollo de la tecnología para la conversión de motores diesel a sistema dual de combustible Diesel-GAS y el desarrollo de este tipo de proyectos en el tiempo entraremos a explicar inicialmente como se plantearon el problema los desarrolladores del kit de conversión , seguidamente explicaremos como se desarrolló la tecnología que permitió adecuar al motor diesel para que trabaje con combustible dual Diesel-Gas y mencionaremos un caso latinoamericano de investigación y comprobación de las nuevas tecnologías.

2.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA¹ POR LOS DESARROLLADORES DE LA TECNOLOGIA

Inicialmente la solución se enfocó desde una visión ambientalista, se buscaba un sistema de propulsión de automotores basados en combustibles limpios, es decir un combustible que produjera una menor cantidad de emisiones tóxicas, ya que los motores Diesel vigentes, eran y siguen siendo los causantes de la producción de emisiones de óxidos de nitrógeno formadores de smog y humo negro en las

¹ FUENTE: Gas Natural Vehicular una alternativa para la movilidad limpia, UPME, Junio de 2002.

ciudades, además que se ha determinado que las emisiones del diesel son las responsables de la mayor proporción de riesgo de cáncer y por sus características detonantes son causantes de una generación fuerte de ruido lo cual buscamos disminuir considerablemente.

También se buscaba que el sistema de propulsión con un combustible alternativo que se adoptara a los motores diesel fuera de menor costo de operación y mantenimiento dado que el Diesel genera altos costos.

La población mundial tendría que soportar los cambios climáticos y ambientales que se avecinaban, a causa principalmente de las emisiones de gases compuestos por nitrógeno (NOx), hidrocarburos, óxidos de carbono (COx), óxidos de azufre (SOx) y material particulado (PM u Hollín), producto de los motores de Combustión Interna y en especial del motor Diesel.

Éstas emisiones podrían ser reducidas implementando el uso de un combustible más limpio como el Gas Natural en los motores Diesel, aplicando la técnica de conversión que mejor se adaptara al sistema de motores diesel fueran estos estacionarios o de transporte en áreas metropolitanas, que a su vez permitiera recuperar la inversión a un corto o mediano plazo.

¿Sería posible implementarle a los motores diesel un sistema de propulsión con un combustible dual de menor costo de operación, menor índice de emisiones tóxicas y a un bajo costo de conversión?

Este era el problema que se intentaba resolver por el grupo de ingeniería en centros de investigación de universidades y de fabricantes de tecnología.

Los fabricantes de tecnología en colaboración tecnológica con universidades se colocaron como objetivos:

a) OBJETIVO GENERAL DE LOS FABRICANTES Y DESARROLLADORES DE TECNOLOGÍA:

Diseñar un sistema de combustible dual alternativo y limpio tipo GNC para motores Diesel.

b) OBJETIVOS ESPECIFICOS DE LOS FABRICANTES Y DESARROLLADORES DE TECNOLOGIA :

- i. Crear un sistema para motores de combustible diesel que fueran propulsados por combustible de menor costo de operación que el Diesel.
- ii. Buscar sistemas de propulsión con combustibles que produzcan menores índices de emisiones contaminantes del aire y formadores de smog.
- iii. Diseñar los diferentes elementos necesarios para la conversión o adecuación del motor Diesel a un sistema dual de combustible Diesel-Gas u otro combustible alternativo.
 - Balas de almacenamiento de GNC
 - Reguladores de presión
 - Válvulas
 - Acoples y accesorios.

2.2. DESARROLLO DE LA TECNOLOGÍA PARA ADECUAR LOS MOTORES DIESEL A COMBUSTIBLE DUAL DIESEL-GAS

Con el objetivo de viabilizar el desarrollo de la tecnología compatible con los diseños de los motores diesel y convertirlos a duales Diesel-Gas, el primer paso de ingeniería consistió en analizar la variación termodinámica del Motor Diesel al trabajar con combustible dual Diesel-Gas y en este primigenio estudio de la

termodinámica de combustión de un motor convertido a sistema Diesel/GNC se determino:

- Variando la composición del combustible dual y Operando a treinta por ciento (30%) de sustitución se evidenció que teóricamente hay un cambio termodinámico, y que este ocurre al contrario que el ciclo Sabathé, es decir, que la introducción de calor ocurre, primero a presión constante y luego a volumen constante con una ganancia de eficiencia, y en consecuencia de potencia efectiva muy pequeña.
- .Operando a un porcentaje (%) de sustitución mayores y menores al treinta por ciento (30%) parecería inicialmente mantenerse en el ciclo diesel.
- Estos resultados preliminares sugieren: El frente de llama generado por el combustible diesel enciende casi instantáneamente al gas natural comprimido (GNC) contenido en el cilindro, razón por la cual, no hay un segundo frente de llama generado por este último. Esto aunque teóricamente se pueda considerar un frente de llama asociado a cada combustible. La sustitución de mayor porcentaje (%) de gas natural comprimido (GNC) en el cilindro disminuye la cantidad de aire disponible para la combustión (mezcla muy rica) que tendería a disminuir la potencia.

Seguido a los estudios termodinámicos se investigó sobre la degradación de los lubricantes utilizados en el nuevo ciclo dual Diesel-Gas:

La degradación de los lubricantes se ve influida directamente por la contaminación del mismo debido a partículas de materiales, principalmente de hollín, partículas metálicas productos de corrosión promovidas por el alto contenido de azufre presente en el combustible diesel y a las altas temperaturas. Es por esto que la sustitución del combustible diesel por gas (a razón de sesenta por ciento (60%)), gracias a la implementación del sistema dual diesel-gas o bi- fuel prolonga la vida del lubricante permitiendo la extensión de los periodos de cambio de aceite, ya que se reduce en un alto porcentaje el contenido de hollín en la combustión así

Como la degradación por su dilución y por acidificación de productos de los gases que ocasionan el paso de combustible al aceite.

El monitoreo continuo del lubricante y su grado de degradación provee de información sobre el desempeño y condición del motor, y además permite establecer la vida útil remanente del aceite en uso, evitando así paradas no programadas de los equipos, al igual que permite el máximo aprovechamiento del lubricante en uso.

También la investigación cubrió inicialmente al desempeño del motor diesel adecuado a combustible dual Diesel - Gas:

La modificación del sistema de combustible del motor no afecta negativamente las características más resaltantes de las condiciones de operación del mismo, manteniendo los parámetros para los cuales el equipo fue diseñado. Por el contrario, con el sistema dual de combustible Bi- fuel se observó un pequeño aumento en el torque del motor y la potencia, provocando así una mayor capacidad de repuesta (aumenta la versatilidad del equipo bajo exigentes condiciones de operación).

Grandes fabricantes de motores como son Caterpillar y Mack avalan la conversión de sus motores (manteniendo su garantía), ya que la implementación del sistema Bi- Fuel en motores 100% diesel no requiere una modificación estructural del diseño original y mantiene sus condiciones de operación.

El porcentaje óptimo de sustitución de diesel por GNC experimental es de alrededor de sesenta por ciento (60%), sustitución donde se obtiene la mejor eficiencia, y las concentraciones mínimas de gases tóxicos, como son: CO, NO_x y

HC no quemados. Porcentaje (%) de sustitución que llevo a comenzar a estudiar la termodinámica de combustión de este motor convertido a sistema Bi- Fuel ya que suponía un nuevo ciclo termodinámico (similar al ciclo Sabethé).

Dentro de los estudios se enfocaron a la variación en la contaminación ambiental:

Con este sistema se consigue disminuir significativamente las concentraciones de óxidos de nitrógeno (NO_x), monóxido de carbono (CO) y HC no quemados en las emisiones de escape, (contaminantes que promueven la formación de ozono y que actúan como efecto invernadero aumentando la temperatura global del planeta).

Los índices de opacidad en los motores con sistema Bi- fuel son menores que en motores 100% diesel ya que la cantidad de hollín en los productos de la combustión es menor, viéndose esto en la reducción de las emisiones de humos negros por el escape.

Las emisiones al ambiente producto de la combustión (NO_x , CO, HC no quemados y PM10) disminuyeron significativamente con el uso del sistema, en comparación al sistema 100% diesel, cumpliendo así con las regulaciones ambientales establecidas por organizaciones Ambientales.

La sustitución de diesel por gas natural comprimido GNC no solo permite extender los periodos de cambio de aceite, con ello también se logra disminuir las emisiones de SO_x , especialmente de SO_2 , (contaminante que promueve la lluvia ácida ya que al combinarse con la humedad del aire produce ácido sulfúrico).

Esta extensión de los periodos de cambio de aceite es de importancia vital para la fuentes de aguas naturales ya que se ha demostrado que un solo litro de aceite tiene el potencial de contaminar un millón de litros de agua, y que solo medio litro de aceite puede formar una película contaminante sobre el agua, de una extensión semejante a la de un campo de fútbol, disminuyendo así la posibilidad de vida de peces, aves acuáticas y anfibios.

En cuanto a los costos por conversión a sistema dual diesel-gas de un Motor Diesel:

El análisis de costos de conversión cuando el Motor diesel es estacionario o cuando cumple funciones motrices en parque móvil automotriz se debe realizar a través del ciclo de vida del nuevo ciclo del motor, argumentando en el análisis costo beneficio las disminuciones en el impacto ambiental, este análisis debe ir enfocado a motores de mediano y alto caballaje, donde se notará fácilmente un alto beneficio económico y ambiental.

En casi todo el mundo la relación de precios entre el combustible diesel y el GNC es alta, siendo este uno de los beneficios económicos más resaltantes del sistema Bi- Fuel; a mayor razón de GNC, mayor ahorro por consumo de combustible que unido a una menor frecuencia en cambios de aceite, alarga la vida útil del motor (menor corrosión), lo que implica un ahorro importante por gastos de operación y mantenimiento.

Aunque Desde 1909 Rudolph Diesel experimentó el uso del gas natural en sus motores. En la búsqueda de mayores eficiencias y el cumplimiento de estándares ambientales, su idea se aplica hoy en la cogeneración, eliminación de picos de energía y en equipos utilizados para la irrigación de cultivos, en América latina.

Solo se le dio la importancia al final de los años 80 inicio de los 90, en Colombia al inicio de los 90 en la costa atlántica en especial en Cartagena y Barranquilla.

Venezuela aunque su combustible era muy barato fue uno de los países que dedico horas de investigación en los años 90, comprobó de manera experimental el uso del combustible dual al experimentar la conversión de algunos motores de marca reconocida con grupos de investigación y desarrollo de la universidad Metropolitana de Caracas, como ejemplo a continuación incluimos los resultados de su primera conversión de un Motor diesel a combustible dual Diesel-Gas.

PALABRAS CLAVES.

Ambiente. Emisiones. Lubricantes. Termodinámica.

El desarrollo de la tecnología para convertir el Motor Diesel a “Dual (Diesel/GNC)” mantiene el ciclo Diesel original y se añade el sistema de admisión de combustible GNC, por lo que el motor pasa a trabajar con diesel y gas natural simultáneamente.

Su principal ventaja es el menor costo de adecuación para operar con GNC, aunque su costo operativo y las emisiones de escape podrían superar a un motor dedicado.

Este sistema trabaja mezclando aire, gas natural y usando una inyección piloto de diesel para generar la combustión. La relación de trabajo Diesel/GNC varía en función del régimen de trabajo del motor, y en el común de los casos, la sustitución de diesel por gas natural podría ser de un 20% para bajas

Revoluciones, hasta llegar a un 80% en los regímenes nominales, dependiendo de los ciclos de servicio en tránsito (ciudad, autopista, o ciclo combinado).

- **Aspiración Natural del gas**

El aporte del gas se realiza a través de un mezclador, con flujo de gas controlado al igual que la bomba inyector original.

Tanto en el motor aspirado como en el turbo comprimido no se interviene en ninguno de los componentes que hacen a la calibración y control del sistema diesel, haciendo al sistema totalmente reversible y operativo en las condiciones originales en ausencia de gas.

- **Antes del Turbocompresor**

Existe una gran variedad de convertidores duales, que generalmente se instalan a la salida del filtro de aire antes del turbo-cargador, donde se mezcla el aire con el gas natural en la relación adecuada para la combustión.

El proceso más empleado para entregar el gas natural se denomina “Fumigación”, pre-mezclando el gas natural con el aire antes que entren al motor, (sin cambiar el diseño original del múltiple de admisión). La mezcla aire/gas es distribuida en forma homogénea y pareja a través del múltiple de admisión y cuando la válvula de admisión de un cilindro se abre, la carga de la mezcla es introducida en el cilindro.

- **Antes del múltiple de admisión**

En los motores diesel/gas turbo comprimidos se descartó la posibilidad de introducir el gas antes del turbocompresor debido al volumen de mezcla que este método de alimentación acumula en el circuito de admisión. Dependiendo de la relación de aire/combustible y en caso de retroceso de llama o inconvenientes en

el turbo compresor, un circuito de admisión cargado con mezclas combustibles puede producir violentas y peligrosas explosiones. Debido a esto se optimizó el método de admisión realizando el aporte de gas secuencial directamente a la entrada de los conductos de admisión en la cabeza de cilindros, y al igual que en los motores convertidos a ciclo Otto se efectúa en las proximidades del RCE (retardo del cierre de escape) correspondiente a cada cilindro para evitar problemas de emisiones de escape y optimizar consumo de combustible. La inyección del combustible diesel no presenta ninguna variación.

- **Inyección del gas a alta presión**

En los motores encendidos por compresión- “Motores diesel” no existen bujías de encendido, una cantidad casi constante de aire es admitida en la cámara de combustión y comprimida por el pistón; el combustible es inyectado directamente a la cámara al final de la carrera de compresión, y la temperatura alcanzada es lo suficientemente alta para encender la mezcla. El control de la velocidad y la carga se efectúa mediante la regulación de la cantidad de combustible a ser inyectado.

- **Inyección simultanea de los combustibles**

Opera de forma similar al motor diesel donde solo se comprime aire en el cilindro, el gas se inyecta a alta presión al final de la etapa de compresión así como una pequeña cantidad de diesel

- **Inyección alterna de los combustibles**

Se inyecta una cantidad reducida de diesel en la cámara de combustión, encendiéndose de la misma forma que en el motor 100 % diesel, y creando un frente de onda para posteriormente quemar el gas natural.

2.3. CASO VENEZUELA²

En la década de los 90 fue homologado en Venezuela el primer convertidor diesel/ gas ante los entes del estado, para lo cual se realizaron pruebas de desempeño de doce unidades terrestres de diferentes marcas/ modelos comparándolos bajo régimen ciento por ciento (100%) diesel y bajo régimen Diesel/ Gas. El prototipo fue instalado y se registraron sus resultados, tanto en lo relativo a emisiones como en lo concerniente a los resultados de los análisis de aceites usados y pruebas dinamométricas. Cabe destacar que el ajuste del sistema bi-fuel era realizado de forma tal de mantener los mismos parámetros de potencia del fabricante, lo cual coincidió en todos los casos estudiados a una sustitución del sesenta o setenta por ciento (60%-70%).

Los precios de los combustibles en ese país, excepcionalmente bajos al compararlos con los precios internacionales y, en gran medida, la falta de cumplimiento de las regulaciones ambientales para la época, impidieron su afianzamiento en el mercado venezolano, aunque aun se observan algunas unidades de transporte pesado con sistema Bi- fuel en las autopistas.

La Universidad Metropolitana- UNIMET- de Caracas y su plantel de profesores en las áreas de mecánica y química, conscientes de la importancia que las emisiones y desechos de aceites usados significa para el país continuo desarrollando investigaciones sobre el comportamiento de los motores de combustión interna bajo regímenes duales gasolina/ gas y Bi-Combustible diesel/ gas, mas sobre estos últimos ya que para los primeros existen reglamentos en el país que exigen sistemas de conversión dual para vehículos del transporte público.

² <http://www.iangv.org/reports-amp-papers/ngv-2004-buenos-aires-argentina/motores-bi-fuel-y-conservacion-medio-ambiente-rivas-alberto-/view-2.html>

Teniendo como punto de partida el proyecto de homologación, en el cual estaban involucrados desde su inicio, realizaron el estudio de desempeño, análisis de aceites usados y pruebas de emisiones de un motor CAT-3116 instalado en un vehículo Kodiak de transporte interurbano, que corroboró las estimaciones sobre resultados obtenidos durante la homologación del prototipo.

Muchas pruebas fueron hechas a lo largo de estos años, desde la corrida de un motor nuevo de este modelo en un dinamómetro de chasis entre lo que cabe destacar los resultados de las emisiones obtenidas en el estudio del motor CAT que reflejaban una disminución sustancial en las emisiones, excepto en el contenido del monóxido de carbono con un incremento en el torque de este motor en un dinamómetro de chasis y posible extensión del periodo de cambio de aceite del doble al triple del estipulado por CAT.

Por otra parte, la presencia de dos combustibles dentro de la cámara de combustión los llevo a pensar que estaban frente a un nuevo ciclo termodinámico. “No Otto, no Diesel, sino un ciclo mixto, similar al Sabathé.

Ante tantas dudas y ante la imposibilidad de disponer de un banco de pruebas recibieron los resultados de las pruebas desarrolladas sobre un motor Daihatsu modelo 8-DL32 cuyos resultados les permitirían desarrollar un modelo teórico dado que sus resultados fueron medidos a diferentes regímenes de carga y de sustitución de gas por diesel. Adicionalmente contaban con la colaboración de la Compañía Anónima Metro de Caracas de transporte de pasajeros, el cual dispone de unidades de transporte marca Pegaso 6424. Con unidades a diesel y otras convertidas a sistema Bi- fuel.

Ellos como dije en el inicio, son un grupo de profesores comprometidos con el ambiente y, sobre todo, con los estudiantes, futuros profesionales de la ingeniería,

a los cuales trataron de sensibilizarlos ante el gran desastre ecológico que se cierne sobre el mundo.

El área de cálculos termodinámicos fueron desarrollados por el profesor Antonio Borges, el cual ha sido recientemente nombrado director de la escuela de ingeniería mecánica de la UNIMET, razón por la cual no contaron con su presencia y experticia; quien suscribe la profesora Beatriz Leal se ha encargado de la evaluación de las emisiones y resultados de análisis de aceites usados, así como el resto del grupo profesoral (Pietersz, Marino, Crespo y otros) que han colaborado y continuaran haciéndolo.

Son muchos los objetivos que se han planteado estos años en la investigación, por ahora dejan ante nosotros, de forma sucinta los resultados obtenidos del motor convertido:

- Análisis de la degradación de los aceites usados a fin de minimizar desechos al ambiente.
- Evaluación de resultados de las emisiones de los gases de escape al ambiente.

El estudio en su totalidad pretende llegar a establecer los ítems señalados a continuación, de los cuales algunos ya han sido concluidos y que serán publicados en otra oportunidad tanto por falta de tiempo y sobre todo debido a que los resultados de las pruebas de un motor Daihatsu provienen de un trabajo confidencial de una empresa internacional, y por tanto no nos corresponde revelarlo hasta su publicación formal:

- Establecer diferencias del rendimiento de un motor operando 100% diesel con el mismo motor operando a mezcla (Diesel/GNC). Realizado en su totalidad.

- Determinar si existen pérdidas de potencia cuando parte del volumen de combustible diesel es sustituido por gas para mantener el mismo valor energético requerido por el motor. Realizado en su totalidad.
- Determinar si se alargan las frecuencias de mantenimiento del motor convertido, es decir, los periodos de cambios de aceite y filtros. Realizado en su totalidad.
- Determinar si con la conversión de motores Diesel a sistema Bi- fuel (Diesel/GNC) se logra cumplir las estrictas regulaciones ambientales a nivel mundial. Realizado en su totalidad.
- Determinar cuantitativamente los productos contaminantes en las emisiones generadas al medio ambiente por el motor a ambos regímenes (100% Diesel o Sistema Bi- fuel). Realizado y bajo estudio.
- Proponer ecuaciones químicas teóricas a fin de establecer posibles productos de la combustión en el motor dual para posteriormente poder compararlos con resultados de los estudios de emisiones. Sujeto a estudio.
- Determinar si la conversión de motores diesel a sistema dual Diesel/GNC significa ahorro económico en cuanto a costos de operación y mantenimiento, Inversión a realizar para la transformación de los motores. Realizado en su totalidad.
- Definir costos por conversión, ahorros anuales en cambios de aceite y consumo de combustible. Realizado en su totalidad.
- Calcular el retorno de la inversión de una transformación a sistema dual mediante cálculos matemáticos. Realizado en su totalidad.
- Determinar si el ciclo termodinámico que se cumple en el motor dual diesel/GNC, es decir, si se mantiene el ciclo Diesel o se trata de un ciclo combinado:
- A partir del ciclo termodinámico determinado, definir algunos de los parámetros que pueden estar rigiendo el comportamiento y desempeño del motor dual; entre los más importantes: Sujeto a estudio aunque con resultados preliminares.

- o Eficiencias.
 - o Relación de compresión.
 - o Trabajo realizado.
 - o Potencia efectiva. Relación aire combustible.
- Determinar teóricamente porcentajes de sustitución de diesel por GNC que se deben suministrar para la optimización del funcionamiento del motor. Determinado aunque sujeto a estudio. Como resultado de varios años de trabajo se espera contar próximamente con un banco de pruebas en las instalaciones para continuar evaluando este sistema que, por lo demás, redundara en beneficios incalculables ante la grave contaminación ambiental que producen tanto las emisiones como los aceites desechados al ambiente.

a) Herramientas e instrumentos de medición de los resultados de las pruebas presentadas en este trabajo

- Para la evaluación de los aceites usados en el motor CAT 3116 se utilizó el Laboratorio SETA de industrias Venoco, Guacara, Edo Carabobo, Venezuela según normas y procedimientos ASTM de la tabla 1.

Pruebas Aceite Lubricante	Procedimientos
Viscosidad Cinemática	ASTM D-445
Infrarrojo FT-IR	JOAP- TSC- TR-95-01
Número Básico (BN)	ASTM D-2896/D-4739
Análisis espectrométrico por RDE	ASTM D-6595

Tabla 1 Pruebas de aceite y procedimientos aplicados

- Para la evaluación de las emisiones de los gases de escape de utilizaron los resultados en el motor CAT-3116. Ocean Air Enviromental para

Transvalgas. Caracas, Venezuela.³, “Estudio del desempeño y comportamiento del motor y de los lubricantes en motores diesel convertidos al Sistema Dual Diesel/ GNC”

- Para pruebas de desempeño se utilizaron los resultados Venequip, Caterpillar en Venezuela sobre un motor 3116 nuevo (100% diesel y luego a Bi- Fuel) y sobre una unidad de transporte (Kodiac CAT-3116) bajo ambos regímenes.⁴ “Estudio del desempeño y comportamiento del motor y de los lubricantes en motores diesel convertidos a Sistema Dual Diesel/ GNC”

- Para las pruebas de análisis de aceites usados y emisiones en el motor convertido Pegaso 6424 y estudio primigenio de la termodinámica de combustión del motor dual.⁵ “Estudio de los impactos ambientales de las emisiones generadas al medio ambiente por motores Duales Diesel/GNC”.

b) RESULTADOS.

- **DEGRADACION DE LOS ACEITES USADOS EN MOTOR DIESEL/ Y BI-FUEL o DUAL.**

Para la obtención de las muestras de aceite, se procedió en primer lugar a realizar un chequeo de funcionamiento de la unidad en estudio, basado en la revisión de los sistemas de combustible, refrigeración, lubricación y admisión de aire. Una vez realizado este chequeo, se realizó un cambio de aceite, filtros de lubricante, aire y combustible, para así comenzar el estudio en condiciones ideales de operación y garantizar la confiabilidad de los resultados. El proceso de toma de muestras se realizó en varias etapas, en primer lugar se tomó una muestra de aceite virgen


³ www.andrómeda.unimet.edu.ve

⁴ www.andrómeda.unimet.edu.ve

⁵ www.andrómeda.unimet.edu.ve

para así obtener las características de dicho lubricante y en segundo lugar se procedió a la toma de muestras de aceite según su tiempo de uso basándose en las especificaciones del fabricante del motor (250 horas o 5000 Km.). Para la obtención de las muestras se aplicó el método de la pistola de muestreo. Las muestras de lubricante obtenidas se enviaron a los laboratorios de las industrias VENOCO para hacerle los análisis correspondientes. Los resultados de los análisis de aceite realizados se muestran en la Tabla 2 , entre lo que cabe destacar que para tiempos de operación de aceite similares los resultados de los análisis de aceites usados de los motores convertidos mantienen sus propiedades fisicoquímicas, con patrones de desgaste muy inferiores, así como menores índices de oxidación y hollín, sin sulfatación. Indudablemente que la sustitución de diesel mantuvo al lubricante dentro de los parámetros estipulados por CAT para continuar en operación.

Nota: Ya se disponen de una base de datos extensa de resultados de análisis de aceites usados de motores de generación CAT -3306 y 3406 que serán sometidos a evaluación a fin de establecer posibles extensiones de cambio de aceite.

REPORTE DE ANALISIS DE ACEITES EN FUNCIONAMIENTO									
ESTATUS DE LA MUESTRA									
	Servicio de Tribología Aplicada								
CLIENTE	UNIVET		CILINDRADA/ASPIRACIÓN		6 en línea/ turbocargado				
CONTACTO	Tomás Sosal Alejandro Reyes		PUNTO DE MUESTREO		Medidor de nivel de aceite				
TIPO DE EQUIPO	Unidad Servicio Pesado		CAPACIDAD DE SISTEMA		18 litros				
MARCA	Chevrolet GM		TIPO/MARCA LUBRICANTE		BP 15W40 CH4				
MODELO	Kodak 3116		TIPO DE COMBUSTIBLE		DIESEL y DUAL				
EQUIPO	Motor CI		% DE SUSTITUCIÓN		84% de gas natural				
MARCA/MODELO	CAT-3118								
RESULTADOS DE EVALUACION									
MUESTRA			VIRGEN	1	2	3	4	5	6
TIEMPO SERVICIO (Khr)			No aplica	2800	3000	4500	1500	2700	4300
DATOS DEL FLUIDO	ASTM	LIMITES	VIRGEN	100% diesel			Dual (64%)		
VISCOSIDAD 100° C cSt	D-445	>25% <10%	15,24	14,27	13,75	11,03	15,11	14,17	14,04
B.N. mg/KCH g	D-4739	13 de inicial	7,19	6,51	5,05	3,11	7,29	7,11	6,98
FT-IR	JOAP- TSC- TR-86-01								
HOLLIN (A/D,1mm)		0,30	NA	0,00	0,14	0,30	0,05	0,06	0,06
OXIDACION (A/D,1mm)		1,00	NA	0,10	0,50	0,85	0,00	0,00	0,01
NITRACION (A/D,1mm)		1,00	NA	0,00	0,00	0,09	0,02	0,04	0,05
SULFATACION (A/D,1mm)		1,00	NA	0,10	0,50	1,10	0,00	0,00	0,00
DIESEL FUEL (%)		6,00	NA	0,00	0,50	3,80	0,00	0,00	0,00
AGUA (%)		0,30	NA	0,00	0,00	0,10	0,00	0,00	0,00
GLYCOL (%)		6,00	NA	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Espectrométrico (mg/ml)	D-6595								
HIERRO (Fe)		100,00	2,70	26,00	56,00	65,00	9,00	12,00	11,00
CROMO (Cr)		10,00	0,00	4,00	5,00	4,00	1,00	1,00	2,00
PLOMO (Pb)		40,00	4,50	3,00	4,00	25,00	0,00	1,00	1,00
ESTAÑO (Sn)		20,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ALUMINIO (Al)		10,00	1,20	5,00	11,00	13,00	1,00	2,00	1,00
COBRE (Cu)		20,00	0,60	2,00	7,00	15,00	1,00	3,00	2,00
NIQUEL (Ni)		NR	0,00	1,00	1,00	2,00	1,00	1,00	1,00
PLATA (Ag)		NR	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MOLIBDENO (Mo)		15,00	2,80	2,00	0,00	5,00	1,00	1,00	1,00
TITANIO (Ti)		NR	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MAGNESIO (Mg)		NR	475,00	400,00	420,00	470,00	420,00	460,00	466,00
SILICE (Si)		20,00	12,00	6,00	9,00	5,00	6,00	9,00	5,00
SODIO (Na)		NR	10,00	5,00	3,00	3,00	5,00	4,00	3,00
VANADIO (V)		NR	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
BORO (B)		NR	120,00	109,00	113,00	99,00	108,00	113,00	99,00
CALCIO (Ca)		NR	2254,00	2096,00	2297,00	2306,00	2096,00	2297,00	2306,00
BARIO (Ba)		NR	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FOSFORO (P)		NR	1756,00	1687,00	1687,00	1612,00	1697,00	1687,00	1612,00
ZINC (Zn)		NR	1784,00	1514,00	1708,00	1718,00	1514,00	1708,00	1716,00

Resultados de análisis de aceites usados.

Tabla 2⁶ Resultados de análisis de aceites usados

⁶ Tabla tomada de <http://www.iangv.org/reports-amp-papers/ngv-2004-buenos-aires-argentina/motores-bi-fuel-y-conservacion-medio-ambiente-rivas-alberto-/view-2.html>

Caterpillar recomienda realizar los cambios de aceite, dependiendo de la capacidad de los sistemas, cada 5.000 Km. o 250 horas (lo que ocurra primero, cuando utiliza combustibles diesel con contenidos inferiores a 0,5% de azufre. En Venezuela se producen aun combustibles Diesel con concentraciones de azufre cercanas a 0,5%, mil veces superior al establecido como referencia a nivel internacional (0,003%/ 3 ppm.) valor de azufre utilizado para el cálculo de la mayoría de los OEM.

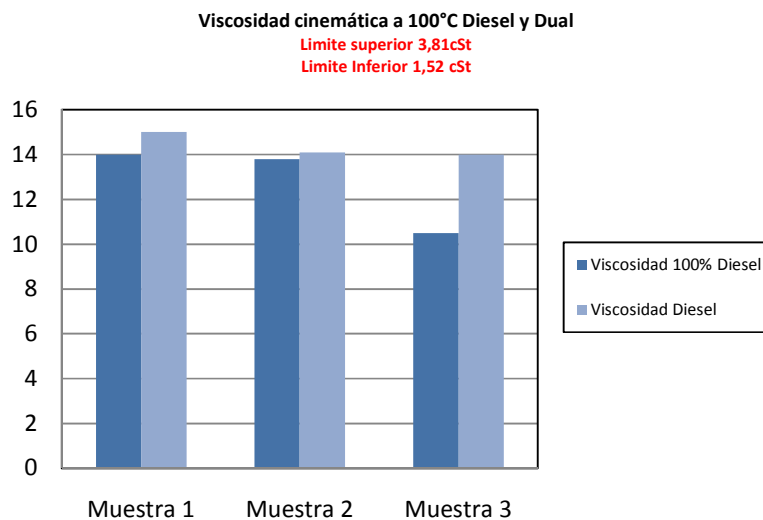


Figura 1⁷ Viscosidad Cinemática a 100 C

⁷ Figura tomada de <http://www.iangv.org/reports-amp-papers/ngv-2004-buenos-aires-argentina/motores-bi-fuel-y-conservacion-medio-ambiente-rivas-alberto-/view-2.html>

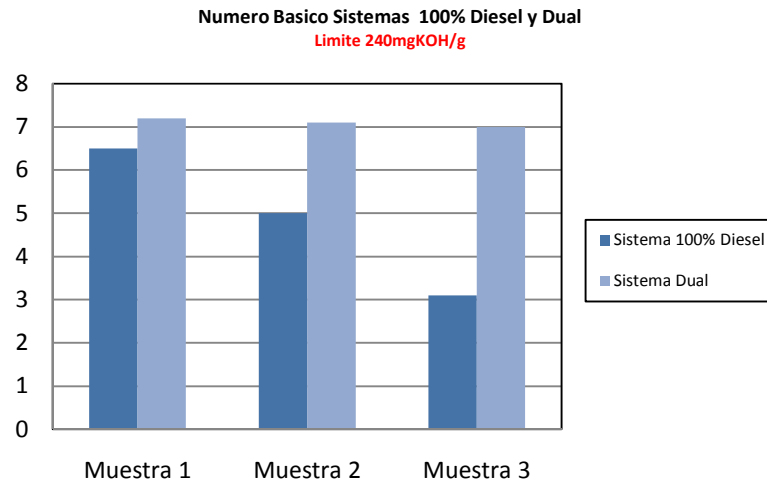


Figura 2⁸ Número Básico BN (ASTM 4739)

Observen en las figuras 1 y 2 que con el motor convertido, los resultados de viscosidad y basicidad obtenidos en las pruebas de los aceites en servicio para 4.300 Km. son similares al aceite del motor 100% diesel con 2.000 Km. de operación, muy probablemente debido a que las causas que producen su degradación (acidificación por ingreso de gases y de combustible líquido) se minimizan al utilizar menor % de combustible diesel, por lo que la vida misma del lubricante será tan larga como la especifique el proveedor o mayores.

⁸ Figura tomada de <http://www.iangv.org/reports-amp-papers/ngv-2004-buenos-aires-argentina/motores-bi-fuel-y-conservacion-medio-ambiente-rivas-alberto-/view-2.html>

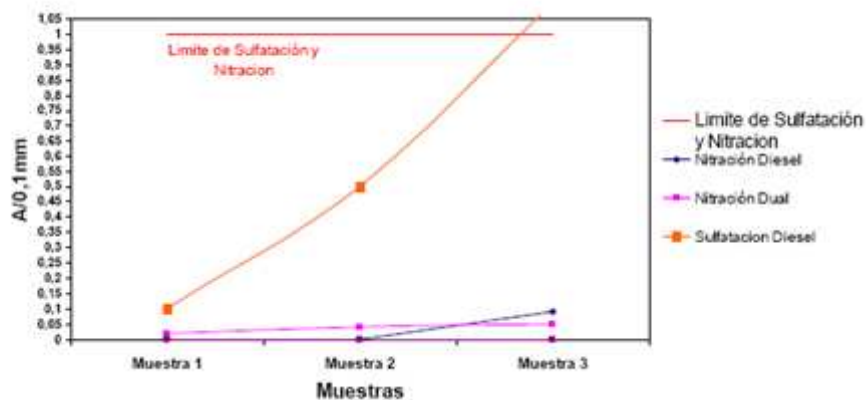


Figura 3⁹ Sulfatación/Nitración FT-IR

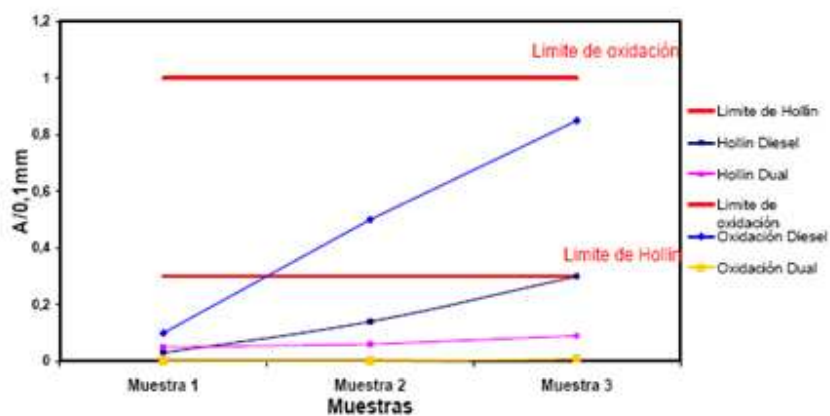


Figura 4¹⁰ Oxidación/Hollín FTIR

⁹ Figura tomada de <http://www.iangv.org/reports-amp-papers/ngv-2004-buenos-aires-argentina/motores-bi-fuel-y-conservacion-medio-ambiente-rivas-alberto-/view-2.html>

¹⁰ Figura tomada de <http://www.iangv.org/reports-amp-papers/ngv-2004-buenos-aires-argentina/motores-bi-fuel-y-conservacion-medio-ambiente-rivas-alberto-/view-2.html>

De la evaluación Infrarroja es evidente la disminución de oxidación figura 2// Sulfatación figura 4 y en menor proporción la de nitración figura 3, lo cual puede racionalizarse como algo normal en motores que operan a gas natural dado la mayor temperatura de combustión que tiende a incrementar la nitración.

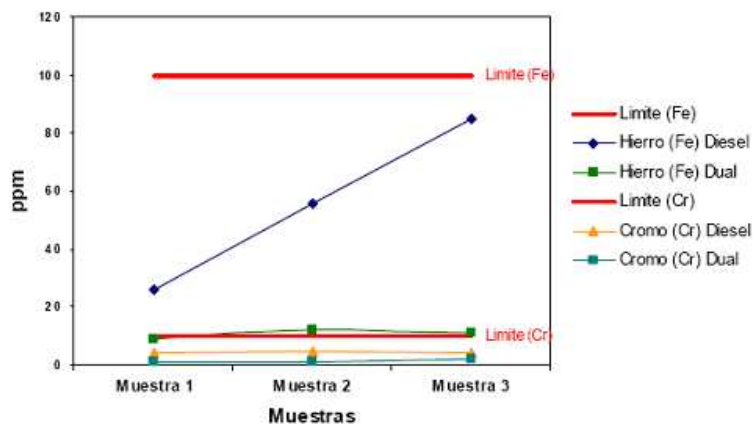


Figura 5¹¹ Fe y Cr bajo régimen Diesel y Dual

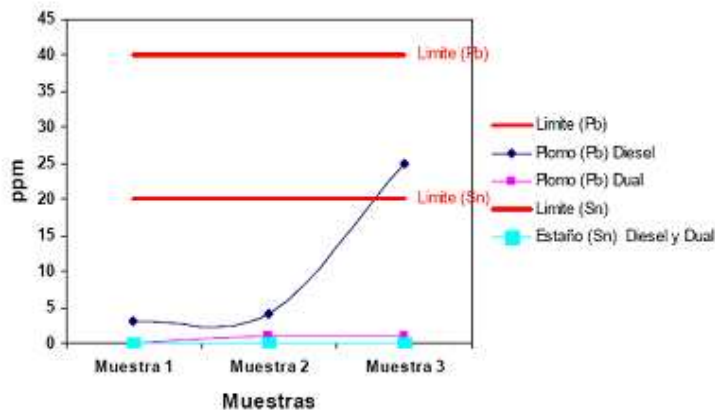


Figura 6¹² Pb y Sn bajo régimen Diesel y Dual

¹¹ Figura tomada de <http://www.iangv.org/reports-amp-papers/ngv-2004-buenos-aires-argentina/motores-bi-fuel-y-conservacion-medio-ambiente-rivas-alberto-/view-2.html>

¹² Figura tomada de <http://www.iangv.org/reports-amp-papers/ngv-2004-buenos-aires-argentina/motores-bi-fuel-y-conservacion-medio-ambiente-rivas-alberto-/view-2.html>

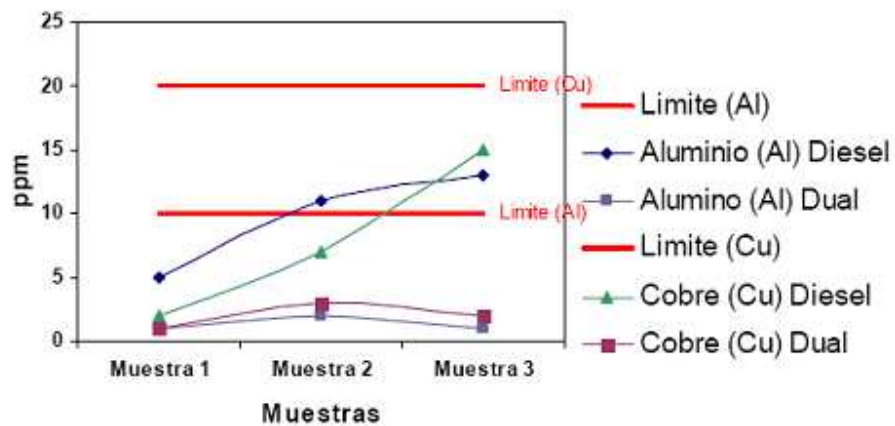


Figura 7¹³ Al y Cu bajo régimen Diesel y Dual

Los resultados de los análisis espectrométricos reflejan una condición de desgaste metálico menor bajo régimen Diesel/ GNC que bajo régimen 100% Diesel, no porque se evite el desgaste normal que ocurre en el arranque sino por la utilización de una mezcla de combustible con menor contenido de azufre (reduce la formación de ácidos que promueven la generación de partículas de herrumbre y corrosión)), reduce la producción de hollín (contribuyen al desgaste abrasivo).

Nota: Fueron realizadas pruebas de desempeño del motor bajo diferentes regímenes de operación, los cuales pueden ser consultados en las direcciones de la Web de la UNIMET antes señaladas.

¹³ Figura tomada de <http://www.iangv.org/reports-amp-papers/ngv-2004-buenos-aires-argentina/motores-bi-fuel-y-conservacion-medio-ambiente-rivas-alberto-/view-2.html>

c) EMISIONES AL MEDIO AMBIENTE.

Fueron realizadas las pruebas de emisiones del motor CAT- 3116 del Kodiak con sustitución del 64% Diesel / gas en un motor nuevo.

Opacidad y emisiones en el motor CAT-3116

Pruebas sobre motor en operación:

Para la realización de las pruebas de opacidad, se procedió a contactar a la empresa BOSCH de Venezuela para que facilitaran el equipo y el personal técnico para la realización de esta prueba, el equipo a utilizar se denomina opacímetro. Las muestras obtenidas de la prueba fueron procesadas por la empresa y los datos se presentan en la tabla 3.y la Figura 7.

Combustible	Opacidad		K
	%	% máx.	Factor
Diesel	19,0	48,0	2.1
Bi- fuel	2.5	19.7	1.06

Tabla 3¹⁴ Opacidad CAT 3116

¹⁴ Figura tomada de <http://www.iangv.org/reports-amp-papers/ngv-2004-buenos-aires-argentina/motores-bi-fuel-y-conservacion-medio-ambiente-rivas-alberto-/view-2.html>

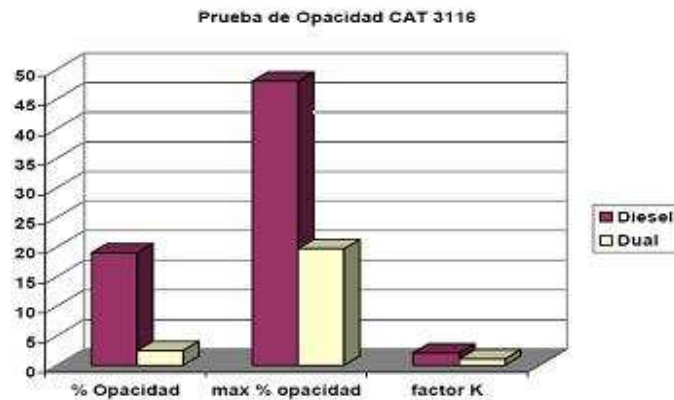


Figura 8¹⁵ Al y Cu bajo régimen Diesel y Dual

La recolección de los datos de emisiones se obtuvieron de la prueba de homologación del sistema en el año 1998, Estas datos se presenta en la tabla 4 y Figura 9, a saber:

- CO: Monóxido de Carbono.
- NM/ NEHC: Hidrocarburos sin quemar.
- NOx: Óxidos de nitrógeno.
- PM 10: Material particulado.

Prueba de emisiones CAT 3116. Engine Dynamometer. Sept/1.998

Combustible	g/ hp-hr			
	CO	NM/NEHC	NOx	PM10
Diesel	0,63	0,07	3,41	0,19
Dual	13,49	0,31	2,88	0,12
Max 2000	15,50	1,30	5,00	0,10

Tabla 4¹⁶ Emisiones sistema diesel y dual Diesel/gas (g/hp-h)

¹⁵ Figura tomada de <http://www.iangv.org/reports-amp-papers/ngv-2004-buenos-aires-argentina/motores-bi-fuel-y-conservacion-medio-ambiente-rivas-alberto-/view-2.html>

¹⁶ Figura tomada de <http://www.iangv.org/reports-amp-papers/ngv-2004-buenos-aires-argentina/motores-bi-fuel-y-conservacion-medio-ambiente-rivas-alberto-/view-2.html>

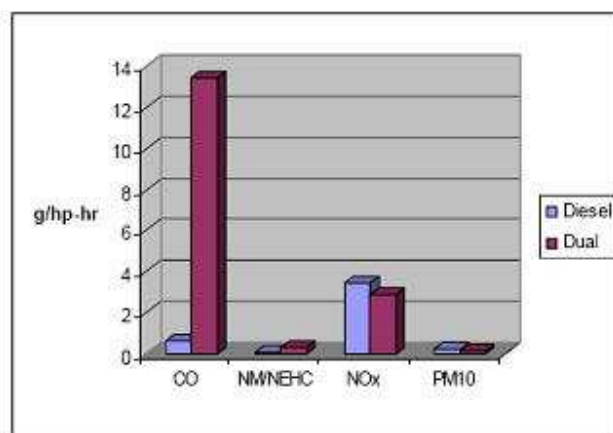


Figura 9¹⁷ Emisiones (gr/ Hp-hr) de motor 100% diesel y dual al 64% de sustitución

Los contenidos de HC+ NOx (precursores de ozono) son inferiores en más del 20%. Las emisiones de PM (material particulado se observa un descenso en relación al motor 100% diesel incluyendo la opacidad antes mencionada. La concentración de monóxido de carbono se incremento lo cual constituyo un resultado no esperado.

d) ANALISIS DE RESULTADOS.

Aceites usados.

Las propiedades fisicoquímicas de los aceites lubricantes bajo régimen Bi-fuel se mantienen sus propiedades por mayor tiempo puesto que las causas que producen su degradación (gases y ácido sulfúrico) se minimizan al utilizar menor cantidad de combustible diesel para la combustión, por lo que la vida misma del lubricante será tan larga como así lo especifique el proveedor del mismo.

¹⁷ Figura tomada de <http://www.iangv.org/reports-amp-papers/ngv-2004-buenos-aires-argentina/motores-bi-fuel-y-conservacion-medio-ambiente-rivas-alberto-/view-2.html>

Es importante resaltar que en Venezuela el combustible diesel se produce con concentraciones de azufre cercanas al 0,5%, mil veces superior al establecido como referencia a nivel internacional (0,005%/ 5 ppm.), valor de azufre utilizado por los OEM para el cálculo de los periodos de cambio de aceite. A mayor contenido de azufre los fabricantes recomiendan acortar los periodos, tanto como a 1/3, lo que supone en Venezuela mayores costos solo para asegurar la capacidad de protección del lubricante.

Las concentraciones metálicas producto de desgaste se ven disminuidas en los análisis de aceites usados para el motor convertidos en relación al motor operando 100% diesel, no porque se evite el desgaste normal que se presenta en el arranque (causa el 70% del desgaste total) sino porque al disminuir la probabilidad de partículas de hollín se disminuye el desgaste abrasivo y al disminuir la acidez se disminuye la posibilidad de desgaste corrosivo sobre las superficies metálicas.

De la evaluación infrarroja es evidente la disminución en los niveles de oxidación, sulfatación y hasta de nitración, que a su vez disminuye la probabilidad de formación de depósitos que ocasiona la operación con diesel (hollín, barnices y lacas). Por lo tanto se disponen de aceites con menor degradación.

Por lo tanto se disponen de aceites lubricantes con menor degradación, motor sujeto a menor desgaste, por lo que se pueden extender los periodos de cambio de aceite y la vida misma del motor.

Pruebas de desempeño.

En cuanto a las temperaturas del refrigerante del motor se determinó que son menores en el motor convertido que bajo régimen 100% diesel; lo cual podría sugerir un mejor aprovechamiento de la energía calórica de la combustión.

Es importante destacar que no solo el refrigerante cumple con la función de disipar calor, también el combustible diesel lo hace en su paso por la culata dado el % de retorno de diesel que retorna no utilizado en la combustión.

El rango de temperaturas del refrigerante se mantiene en un mismo rango para ambos regímenes debido a que las temperaturas de funcionamiento del motor están controladas por un termostato diseñado para mantener las condiciones de enfriamiento bajo ese rango establecido, enviando mayor o menor caudal según las necesidades de carga / potencia exigidas en la operación.

Temperatura de gases de escape.

Al inicio de las pruebas se detectaron incrementos en las temperaturas de escape en el motor convertido respecto al original, presumiblemente a consecuencia de la acumulación de combustible sin quemar dentro de la cámara de combustión; en el momento inicial aun el turbo no ha enviado suficiente proporción de gas natural. Cuando el motor comienza a aumentar su velocidad (aproximadamente 800- 850 rpm.) comienza la inducción de gas natural debido a la depresión que se genera en el mezclador por el flujo mayor de aire que viene del filtro de la admisión del motor. Es decir, una vez que el motor vence la inercia de la unidad, levanta el torque mucho más rápido que a régimen Bi-fuel, puesto que se le están suministrando gas natural, el motor comienza a registrar temperaturas de gases

de escape menores que las registradas a régimen diesel, lo que sugiere una combustión más completa haciendo que el motor sea térmicamente más eficiente.

Es importante destacar que la temperatura del combustible diesel en el tanque registro un incremento en 10°C, presumiblemente debido a que el gobernador de la bomba de inyección disminuye el suministro de diesel a los inyectores utilizando al diesel para evacuar calor del sistema lo cual también disminuye la posibilidad de formación de NOx al ambiente.

Contaminación Ambiental.

Disminución en el porcentaje (%) de partículas sólidas (opacidad) en relación al motor original y disminución de todas las emisiones contaminantes NOx, CO, NMHC.

e) CONCLUSIONES CASO VENEZUELA.

Los resultados obtenidos en este estudio así como los realizados sobre una unidad de transporte de pasajeros (concluida recientemente) e indudablemente por las pruebas realizadas por los ingenieros de Argenchip reflejan que el sistema BI- FUEL DIESEL/ GNC contribuyen a mejorar el ambiente tanto por la disminución de las emisiones al ambiente como de los desechos de aceites usados, unido a las ventajas económicas que significan la extensión de la vida útil de los motores.”

La tecnología se desarrolló de tal manera que no afectara el diseño original del motor diesel, la adecuación se hace en el hardware externo del motor acondicionando los siguientes accesorios de conversión para combustible dual:

1. Un Mezclador de gas
2. Una Válvula de Potencia
3. Una válvula de control de gas

4. Una válvula de doble acción de control de gas
5. Un regulador de gas
6. Un filtro de bajo micraje.

Para poder definir la relación de la mezcla del combustible dual se inicia la inflamación con diesel y se va aumentando paulatinamente la adición de GNC, con el objetivo de verificar los parámetros operacionales y su punto de variación, cuando estos muestran tendencia a variar o varían hasta ese punto puede adicionarse GNC, por lo tanto la variación de los parámetros operacionales del diseño original son los que determinan el porcentaje (%) de adición de GNC al diesel, estos parámetros deben permanecer acorde a su diseño original, enunciamos los siguientes:

1. Temperaturas de Exhosto
2. Temperaturas de toma de aire
3. Presión Máxima de la salida de Gas
4. Presión mínima de salida de Gas
5. Presión en el manifold del motor
6. Aspiración del motor
7. Vibración

3. IDENTIFICACION DE LAS SEIS TECNOLOGIAS MAS USADAS PARA LA CONVERSION DE MOTORES DIESEL A SISTEMA DUAL CON GAS

Hoy en día todas las tecnologías se fundamentan en el mismo principio de trabajo sin modificar el diseño original de los motores diesel a convertir a sistema Bi-Fuel diesel-GAS, se diferencian por costos, calidad de los accesorios a instalar y la relación de conversión de diesel a dual con gas. Las tecnologías identificadas que existen las relacionamos a continuación con el propósito de suministrar un listado de referencia para aquellos que quieran ahondar más en el tema.

1. Tecnología Bongas / www.bon-gas.com/dieselgas_faq.htm
2. Tecnología Volkswagen / www.bon-gas.com/dieselgas_faq.htm
3. Tecnología Volvo / www.bon-gas.com/dieselgas_faq.htm
4. ITG innovate technology Group corp.
5. Energy Conversions INC.
6. Kits de Sistema Bi-Fuel tecnología GTI de Altronics (Utilizada en el caso práctico)
 - a. Serie I Kit
 - Para motores hasta 300kW (Hasta 400 HP)
 - b. Serie II Kit
 - Para motores de 350-600kW (450-800 HP)
 - c. Serie III Kit
 - Para Motores de 650-1100kW (850-1500 HP)
 - d. Series IV Kit
 - Para motores de 1200-2000kW (1600-2700 HP)

La tecnología GTI utilizada en el caso práctico, es una tecnología americana de alta confiabilidad, en Colombia es la más usada y cuenta con un gran respaldo técnico por parte del representante exclusivo que la Marca Altronics tiene en nuestro país.

4. ANALISIS TÉCNICO DE LA CONVERSION DE MOTORES DIESEL A SISTEMA DUAL DIESEL – GAS Y TECNOLOGIA DE CONVERSIÓN APLICADA EN EL CASO PRÁCTICO.

4.1. Análisis técnico de la conversión del Motor Diesel a sistema dual Diesel-GAS.

Con el objetivo de entender el esfuerzo de ingeniería que desarrolló el sistema dual de combustible Diesel-Gas que permite adecuar el parque de Motores diesel instalados en el mundo y desarrollar la tecnología con aplicación bajo el sistema

costo beneficio y armonía con el medio ambiente reduciendo emisiones y aportando a la disminución del calentamiento global entraremos inicialmente a aclarar unas cuantas incógnitas técnicas abajo descritas:

¿Qué significa Combustible Dual o BI-Fuel para Motores Diesel?

En términos sencillos, combustible dual puede definirse como la combustión simultánea de los dos combustibles. En el caso del sistema dual de combustible, el gas natural se utiliza en conjunto con el combustible diesel para el funcionamiento del motor. Después de la conversión a sistema Bi-Fuel Diesel-GAS, el motor es capaz de funcionar bien en el 100% de combustible diesel, o alternativamente, en una mezcla de combustible diesel y el gas natural (metano u

Otros combustibles). En ningún momento el motor diesel es capaz de operar con gas natural exclusivamente, siempre será una mezcla que oscila en el intervalo del (20....75) % de Gas.

¿El Diseño del Motor diesel tiene que ser modificado para ser convertido a combustible dual?

La tecnología ha sido diseñada para permitir que los motores diesel sin necesidad de cambiar o modificar el diseño del motor, puedan trabajar con combustible dual Bi-Fuel Diesel-Gas. Debido a que se adapta el hardware externo montado en el motor y no se requiere ninguna modificación del motor o cualquier alteración de los parámetros fundamentales del mismo.

¿EL sistema para adecuar el motor Diesel a Motor que trabaje con combustible dual o Bi-Fuel Diesel-Gas afecta la garantía del Fabricante?

La mayoría de los programas de garantía de los original equipment manufacturing (OEM's) de motores no prohíben el uso de piezas de recambio o de las tecnologías. En resumen, la política de la OEM es no recomendar ni respaldar

tecnologías de recambio, sin embargo, el uso de estos productos no da pleno derecho a la validez de la garantía del motor. Si la causa no está relacionada con el Bi-Fuel, los OEM's históricamente han dado la garantía y han reparado el motor. Además, todos los convertidores de motores diesel a Bi-Fuel asumen nuevas responsabilidades de garantía con los dueños de los equipos respaldados por los suplidores de la tecnología o producto que representan.

¿Qué tan viable es reemplazar el parque de Motores Diesel Instalados por Motores a Gas 100%?

Ya que la sustitución de motores diesel por motores dedicados a gas natural no son viables dado a su alto costo de reposición del parque diesel instalado, dentro de este contexto, se fundamentó aún más el desarrollo tecnológico de un sistema de conversión dual externo al diseño original fácil de adecuar.

¿Por qué no pueden utilizar los Motores Diesel 100% Gas?

Debido a la muy alta temperatura de combustión de gas natural (alrededor de 1300 grados Fahrenheit), no es suficiente el calor generado durante la carrera de compresión diesel para inflamar el 100% del gas natural. Como tal, los motores de gas emplean bujías de encendido y un sistema para facilitar la combustión de gas natural-aire mezcla. En contraste, durante la operación con Bi-Fuel, una cantidad reducida de combustible diesel actúa como fuente de ignición de la mezcla aire-gas; este proceso se denomina a menudo piloto de encendido.

¿El motor Diesel Pierde Potencia después de convertirse a sistema de combustible Dual con Gas?

En circunstancias normales, los motores convertidos a duales o Bi-Fuel no sufren ningún tipo de pérdidas de potencia durante el funcionamiento en modo dual con

Gas o de Bi-Fuel. Debido a que el sistema mantiene la relación de compresión de diseño del OEM y no incorpora más aire a la regulación del dispositivo, picos de caballos de fuerza y los niveles de eficiencia de la conversión del motor siguen a la par que el 100% de operación con diesel. En algunas circunstancias, puede ser

El motor dual desvalorado debido a las deficiencias en el suministro de gas en la composición y / o calidad, en ese momento el regulador cambia la relación gas diesel para compensar.

¿El Motor Diesel al convertirse en dual incrementa la temperatura y trabaja más caliente?

La tecnología ha sido diseñada para mantener las especificaciones del fabricante original de los equipos OEM, para todos los motores la temperatura incluye la temperatura del refrigerante del motor, temperatura de aceite, temperatura de los gases de escape y la temperatura del aire de admisión. El combustible dual o Bi-Fuel System sustituye el diesel normalmente consumido por el motor con una cantidad equivalente de gas natural, en relación con el valor de calor de cada combustible. Como tal, la relación del motor de aire-combustible durante la operación con Bi-Fuel sigue siendo en gran medida un "galón equivalente" del gas natural que se consume, la eficiencia de combustible del motor es similar.

Nota: 1 galón de diesel # 2 = 140 scf de gas natural basada en # 2 diesel hhv.

¿Qué pasa con la eficiencia del Motor Diesel cuando trabaja con combustible dual Diesel-Gas?

Como se explicó anteriormente, el sistema dual de combustible Bi-Fuel sustituye el combustible diesel con una cantidad equivalente de gas natural.

Este proceso resulta en la misma red frente a la carga de combustible que se experimentó durante la operación 100% diesel. Por cada galón de combustible diesel desplazadas durante la operación con combustible dual o Bi-Fuel, hay un

Consumo correspondiente de aproximadamente 140 pies cúbicos de gas natural de buena calidad (sobre la base de 129000 Btu / galón de diesel # 2 y 930 Btu / scf de gas natural). Así, por cada galón de combustible diesel desplazadas durante la operación con combustible dual o Bi-Fuel, un "galón equivalente" de gas natural suministra la eficiencia de combustible equivalente a la del motor 100% diesel.

¿Qué efecto tendrá el Sistema dual de combustible en la durabilidad del motor diesel?

En general, el funcionamiento en modo de combustible dual no tiene efectos negativos en las tasas de desgaste del motor y durabilidad. Como se ha explicado anteriormente, ya que el motor térmicamente opera con cargas equivalentes a 100% diesel, no se produce ningún exceso de desgaste de la cámara de combustión o componentes (pistones, anillos, válvulas, inyectores, etc.). Además, muchos usuarios del combustible dual han reportado beneficios positivos en relación con el desgaste del motor incluyendo los intervalos de cambio de aceite, se prorrogó y amplió el tiempo entre reparaciones. Esto es principalmente el resultado de la quema de las características más limpias del gas natural en comparación con el Diesel.

En cuanto a la degradación del lubricante, se ve influida directamente por la contaminación del mismo debido a partículas de materiales, principalmente de hollín, partículas metálicas productos de corrosión promovidas por alto contenido de azufre presentes en el combustible diesel y a las altas temperaturas. Es por

esto que la sustitución del combustible diesel por gas en un intervalo que oscila entre (20....75) %, gracias a la implementación del sistema dual de combustible

Bi-Fuel Diesel-GAS prolonga la vida del lubricante permitiendo la extensión de los periodos de cambio de aceite, ya que se reduce en un alto porcentaje el contenido de hollín en la combustión así como la degradación por su dilución y por acidificación de productos de los gases Blow-By que ocasionan el paso de combustible al aceite.

En el caso práctico, el generador Diesel Caterpillar 3412 con potencia en stand by de 545 kw y potencia derrateada a 380 kw para trabajo continuo, instalados en el campo petrolero Cari Care en el Departamento de Arauca; en primera instancia se hizo el análisis técnico para asegurar que los parámetros operacionales de diseño no variaran con la conversión a sistema Bi-fuel con gas, fue importante antes de encontrar la relación ideal diesel-gas para este caso, monitorear el comportamiento de los parámetros operativos abajo relacionados, trabajando solo con diesel a diferentes cargas y compararlos con la relación Bi-fuel con gas incrementando tal relación de 5% en 5% incremento de gas y reducción de Diesel hasta notar una sensibilidad en la variación de los mismos, punto determinante para definir la relación apropiada Diesel-Gas en sistemas Bi-Fuel.

Potencia Stand By Motor	545	kw
Trabajo Continuo Máximo de la Potencia en Stand By	70%	%
Máxima Potencia en trabajo Continuo	381,5	kw
Marca Motor	Caterpillar	Diesel
Referencia	3412	

Tabla 5 Datos de entrada del motor convertido en el caso práctico

PARAMETROS	PRUEBAS DE CARGA CON DIESEL 100%		
	25%	50%	75%
Manifold Air Pressure (psi)	4.20	9.10	14.2
Manifold Air Temperature (F)	176	178	192
Vibration Left Bank (ips)	0.87	0.92	0.92
Vibration Right Bank (ips)	0.35	0.38	0,44
Exhaust Gas Temp. Left Bank (F)	735	835	911
Exhaust Gas Temp. Right Bank (F)	678	803	894
Gas Suply Pressure (psi)	2.20	2.20	2.80
Vaccum Left Bank (psi)	-0.50	-0.50	-0.60
Vaccum Right Bank (psi)	-40	-0.30	-0.30

Tabla 6 Pruebas de carga con diesel 100% caso práctico

En función a los resultados prácticos de la conversión de la conversión del motor diesel a sistema dual Diesel-GAS, de trabajar a diferentes cargas de 25%, 50% y 75% sólo diesel como lo muestran los resultados de la tabla 6 pruebas de carga con diesel 100%, encontramos los intervalos mínimos y máximos en que pueden variar los parámetros operacionales del Motor Caterpillar Diesel 3412 en sistema Bi-Fuel con Gas variando la relación Diesel-Gas de 5% en 5% hasta encontrar la relación óptima para el sistema Bi-Fuel a la máxima potencia de trabajo continuo de 381,5 kw.

Análisis técnico del comportamiento de Parámetros de Operación Sólo con Diesel	Mínimo	Máximo	Unidades
Manifold Air Pressure (psi)	4.20	14.20	PSI
Manifold Air Temperature (F)	176.00	192.00	℉
Vibration Left Bank (ips)	0.87	0.92	lps
Vibration Right Bank (ips)	0.35	0,44	lps
Exhaust Gas Temp. Left Bank (F)	735.00	911.00	℉
Exhaust Gas Temp. Right Bank (F)	678.00	894	℉
Gas Suply Presure (psi)	2.20	2.80	Psi
Vaccum Left Bank (psi)	-0.50	-0.60	Psi
Vaccum Right Bank (psi)	-40	-0.30	Psi

Tabla 7 Intervalo de variación Parámetros Bi Fuel obtenidos en el caso práctico

Como podemos notar en la Tabla 7 intervalo de variación parámetros Bi-Fuel obtenidos en el caso práctico, la potencia máxima de 381,5 kw del equipo se mantiene y no varía, de igual manera la relación Diesel-Gas en el sistema Bi-Fuel nos debe garantizar que los parámetros operacionales no sean diferentes al intervalo definido para sólo diesel en las diferentes cargas, en el instante que la relación Diesel-Gas del sistema Bi-Fuel saque los parámetros de operación del intervalo definido, ese es el punto óptimo de la relación buscada para el trabajo en sistema dual de combustible Diesel-Gas, en la Tabla 8¹⁸ Status Bi-Fuel datos obtenidos caso práctico, vemos el comportamiento de los parámetros operacionales del caso práctico del motor Caterpillar Diesel 3412.

¹⁸ Incluido en el punto 5 Viabilidad Técnico Económica de la conversión de Motores diesel a sistema Dual de combustible con GAS utilizando un caso Práctico.

En el caso práctico de la conversión del Motor Caterpillar 3412 a sistema Bi- Fuel, aplicamos la tecnología Americana GTI de Altronics, Serie III B-26, el sistema GTI Consta de los siguientes elementos:

Características del Sistema GTI Bi-Fuel Aplicado:

- Mantiene el desempeño & la eficiencia del sistema diesel Compresión de ignición
- Funcionamiento con baja presión de gas.
- Sistema sofisticado de protección Altronic para el motor.
- Cambio Automático del modo de combustible.
- Instalación simple, no Invasiva
- Fácil de operar.

TREN DE GAS

El tren de Gas utilizado en el caso real del motor Caterpillar 3412 consta de 2 Mezcladores de 6" JIC connection, una válvula de potencia de 2,5" JIC connection, un regulador de DN65, un filtro de gas DN65, una válvula solenoide DN65, un flanche adaptador dentado DN65, un kid de acople de la serie DN y un switch de presión.

Fotos tomadas del caso real del motor Caterpillar 3412 en el campo Cari Care en Arauca.



Figura 11 Tren de Gas



Figura 12 Mezcladores



Figura 13 Switch de Presión de Salida Positiva ²⁰

²⁰ Fotos tomadas al Motor Caterpillar 3412 del caso práctico convertido

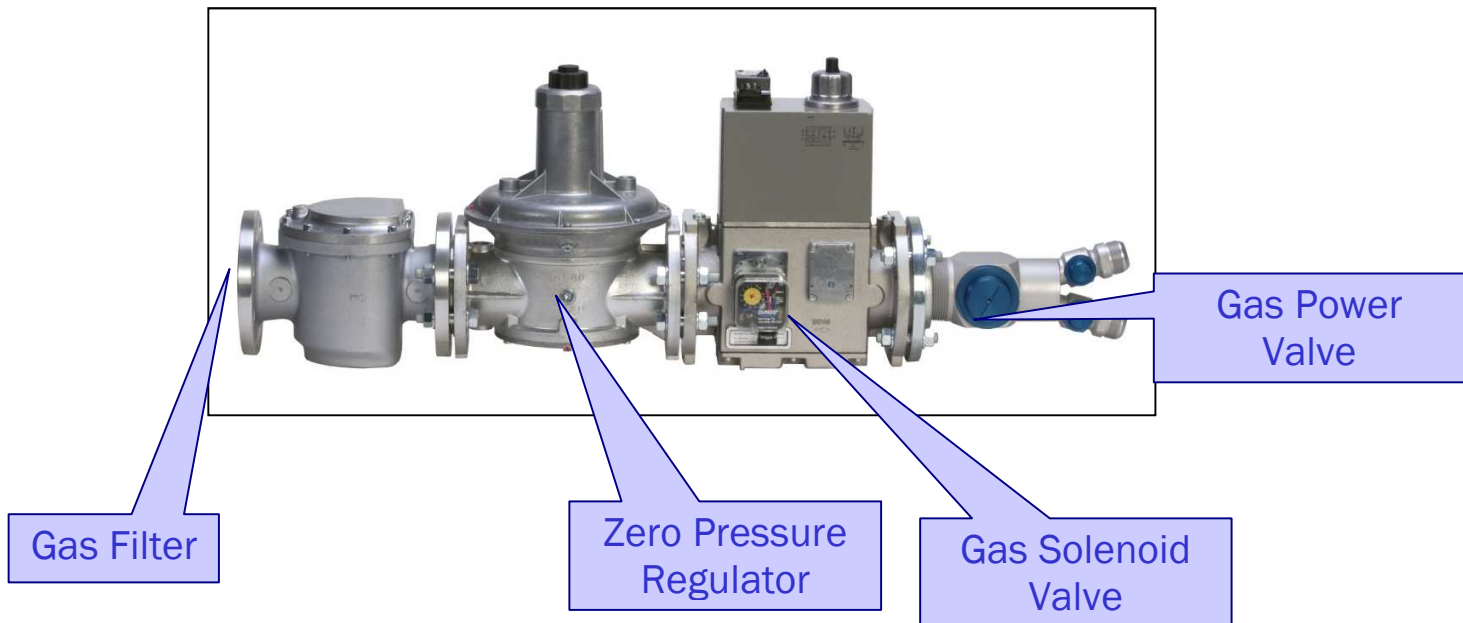


Figura 14, tren de gas GTI²¹

El tren de gas figura 14, es acondicionado para regular el gas natural antes de la admisión en el motor, es una parte fundamental de la GTI Bi-Fuel System, sistema de "tren de gas" incluye un filtro de combustible de 20 micras, la válvula de cierre manual, una válvula solenoide eléctricos accionados. En el caso de una emergencia o para del sistema de cierre, y una presión cero, la demanda de gas de tipo regulador de presión. Este último componente reduce la presión de gas de entrada (1-5 psi), aproximadamente a la presión atmosférica. Con una presión de salida negativa, el diseño permite al sistema utilizar una "demanda" esquema de control de flujo de aire de admisión del motor, el cual determina el flujo de gas del motor. Como los cambios de carga del motor, los cambios correspondientes en el volumen de aire de admisión automáticamente extraen combustible adicional.

²¹ imagen tomada de www.gti-altronicinc.com

Mezcladores de 6" JIC connection figura 15



Figura 15 GTI Air-Gas Mixer ²²

1. Bi-Fuel es un “co-firing” diesel estándar y gas natural (metano)
2. Está diseñada para uso en maquinaria pesada con motores diesel.
3. El motor no requiere modificaciones.
4. El GTI Bi-Fuel Sistema puede ser instalado en campo o en un equipo ensamblado como un OEM up-fit
5. El Gas natural sustituye entre el 20-75% del diesel requerido para mantener una cierta velocidad o carga.

²² imagen tomada de www.gti-altronicinc.com

Sistema GTI Bi-Fuel Combinación Aire-Gas figura 16

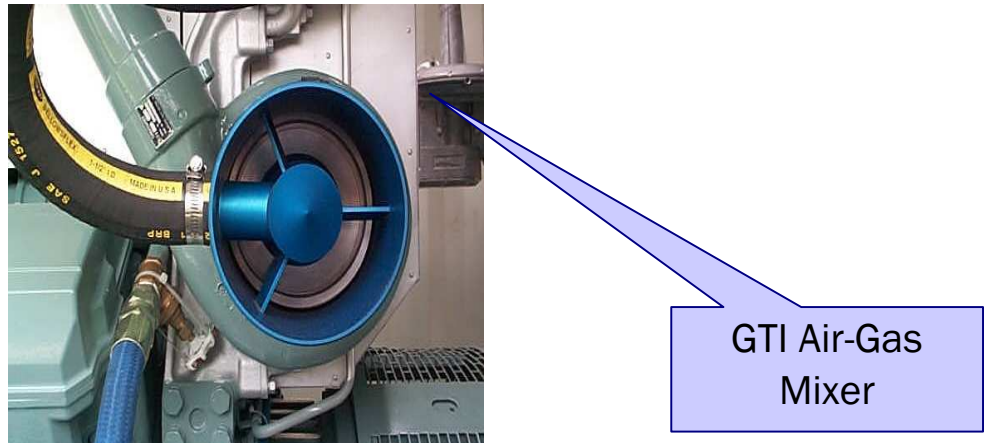


Figura 16 mezcladores Gas aire sistema GTI²³

Mezclador de aire-combustible

El Aire de Combustible del Mezclador figura 16 patentado GTI Bi-Fuel System, que se encuentra aguas abajo de la válvula de gas de potencia, incorpora un innovador Venturi diseñado fijo. Este mezclador está instalado de forma que todas las corrientes de aire pasen a través del mezclador. A diferencia de muchos motores, la admisión de aire, requiere un mezclador en cada admisión de cilindros. El GTI Bi-Fuel System utiliza dispositivos de mezcla que no incorporen ningún tipo de caudal de aire diferente. Después del dispositivo de mezcla, la mezcla aire-gas entra en el colector de aire de admisión del motor, y distribuye la carga a cada cilindro a través de el régimen normal de distribución de aire del motor.

²³ imagen tomada de www.gti-altronicinc.com

Ventajas

1. Poca restricción del aire
2. Venturi mejorado sin aceleración
3. No hay partes móviles
4. CNC-maquinado de aluminio T6
5. Acabados anodizados para resistir la corrosión

Sistema GTI Bi-Fuel Válvula de potencia

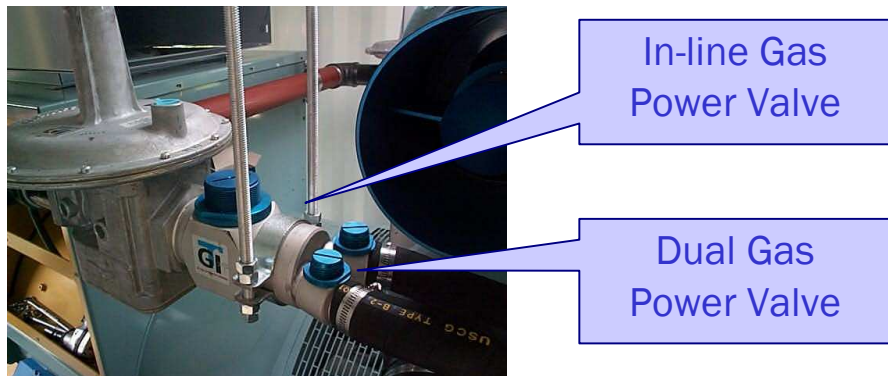


Figura 17 Válvula de potencia dual gas instalada en un equipo diesel²⁴

La válvula de gas de potencia

El poder de la válvula de gas figura 17, que se encuentra aguas abajo del regulador de presión de gas, es un tipo de válvula de aguja-y es uno de los componentes ajustables a GTI Bi-Fuel System. Este dispositivo se fija durante el ajuste en la fase de la conversión del motor y conjuntos de máxima velocidad del flujo de gas al motor. Esta válvula se mantiene en una posición fija con independencia de la carga del motor.

²⁴ Foto suministrada por FTC representante de Altronic

Nota: Para una mayor flexibilidad en los motores que operan sobre un amplio espectro de niveles de carga, están facultados, para ser accionados automáticamente por la válvula de corte de gas que sustituye el poder calorífico de la válvula de gas por diesel



Figura 18 Válvula de potencia dual gas ²⁵



Figura 19 Válvula de potencia in la línea de gas²⁶

²⁵ imagen tomada de www.gti-altronicinc.com

²⁶ imagen tomada de www.gti-altronicinc.com

PANEL DE CONTROL



Figura 20 Panel de Control ²⁷

El panel de control utilizado es de referencia **GPN2000V** de la tecnología GTI de Altronics figura 20, tiene entre otras las siguientes aplicaciones primarias y medición de parámetros críticos en el monitoreo:

Aplicaciones primarias

3. Potencia en trabajo continuo
4. Disminución de picos
5. Potencia en Stand by
6. Generación & Distribución de Energía
7. Aplicaciones de bombeo
8. Compresores

²⁷ Foto tomada al equipo convertido en el campo Cari Care Arauca

Parámetros Críticos en el monitoreo, tales como:

- Temperaturas de Exhosto
- Temperaturas de toma de aire
- Presión Máxima de la salida de Gas
- Presión mínima de salida de Gas
- Presión en el manifold del motor
- Aspiración del motor
- Vibración

KIT DE ACCESORIOS PARA EL PANEL DE CONTROL

El kit de accesorios utilizado en el caso práctico del sistema GTI de Altronics consta de un arnés para el banco izquierdo de 30 pies, un arnés para el banco derecho de 30 pies, Un arnés para el sistema de combustible de 30 pies, un arnés para el sistema de potencia de 30 pies, dos transductores de presión de 0 a 50 psia, un transductor de presión de 0 a 15 psig, un transductor de presión de 0 a 50 psig, un adaptador para el transductor de presión del filtro, un empaque para el adaptador del filtro, dos bujes, 2 paquetes de sensores de vibraciones, tres termocuplas con extensión de 30 pies y tres adaptadores para las termocuplas.

Fotos ²⁸del caso práctico del Motor Caterpillar 3412 convertido a sistema Bi-Fuel Diesel-GAS



Figura 21 Sensor Vibración B. Izq.



Figura 22 Sensor Vibración B. Der.



Figura 23 Sensor de Vacío Filtro Izq.



Figura 24 Sensor de Vacío Filtro D



Figura 25 Termocupla Gas Escap.



Figura 26 Sensor P Manifold Aire



Figura 27 Sens de Vacío Filt. I



Figura 28 Termoc Manifold Air



Figura 29 Sensor Pres. Gas Entrad

Otros Accesorios utilizados en el caso práctico

Cuatro Fitting de 1.5" JIC swivel (1-7/8"-12 roscado), dos mangueras de 1.5" de Diámetro y de 10 pies de longitud, cuatro adaptadores para las mangueras de 6x6" y un regulador de presión primario de 15000 scfh, de 30 psi para la presión de entrada.

²⁸ Fotos tomadas al equipo convertido en el campo Cari Care Arauca caso práctico

5. VIABILIDAD TÉCNICO ECONÓMICA DE LA CONVERSION DE MOTORES DIESEL A SISTEMA DUAL DE COMBUSTIBLE CON GAS UTILIZANDO UN CASO PRÁCTICO.

5.1. Viabilidad Técnica

En el caso práctico de conversión del Motor Caterpillar 3412 diesel , la viabilidad técnica nos la dió el monitoreo de los parámetros operacionales del motor Caterpillar 3412 diesel en función de la relación diesel-gas del sistema dual de combustible, encontramos la relación óptima para el sistema Bi-Fuel, al llegar a la relación 70% Diesel y 30% Gas (ver tabla 9 status Bi-fuel de resultados del caso práctico), los parámetros operacionales del motor se mantuvieron, mostrando una pequeña sensibilidad al cambió, permaneciendo dentro del intervalo de variación Parámetros Bi-Fuel encontrados previamente con las pruebas a condiciones de máxima potencia de trabajo continuo 100% diesel y consignados en la Tabla 8 Intervalo de variación Parámetros Bi-Fuel obtenidos en el caso práctico²⁹

²⁹ Includo en el punto 5 Análisis técnico de la conversión y Tecnología aplicada en el caso práctico.

Análisis técnico del comportamiento de Parámetros de Operación con respecto a la relación Diesel/Gas	STATUS BI-FUEL						
	100%	95%	90%	85%	80%	75%	70%
	Diesel	Diesel	Diesel	Diesel	Diesel	Diesel	Diesel
	0%	5%	10%	15%	20%	25%	30%
	Gas	Gas	Gas	Gas	Gas	Gas	Gas
Porcentaje de Carga Stand By	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%
Máxima Potencia trabajo Continuo kw	381,5	381,5	381,5	381,5	381,5	381,5	381,5
Consumo (GPH) 129000Btu/gl	30	28,5	27	25,5	24	22,5	21
Consumo Gas (scf) 930Btu/scf	0	208,06	416,13	624,19	832,26	1.040,32	1.248,39
Manifold Air Pressure (psi)	13.10	13	13	12,9	12,6	12,3	12.30
Manifold Air Temperature (F)	193.00	193	193	193	192	192	192.00
Vibration Left Bank (ips)	0.87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0.88
Vibration Right Bank (ips)	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43	0,43	0,44
Exhaust Gas Temp. Left Bank (F)	904.00	904.00	902	900	898	895	896.00
Exhaust Gas Temp. Right Bank (F)	881.00	880	881	881	881	881	883.00
Gas Suply Pressure (psi)	2.80	2.6	2.6	2.5	2.5	2.4	2.30
Vaccum Left Bank (psi)	-0.60	-0.60	-0.60	-0.60	-0.60	-0.60	-0.60
Vaccum Right Bank (psi)	-0.40	-0.40	-0.40	-0.40	-0.40	-0.40	-0.40

Tabla 8 Status de resultados de la conversión del Caterpillar 3412 a Bi-Fuel datos caso práctico.

En la tabla 9 Status de resultados de la conversión del Caterpillar 3412 a Bi-Fuel diesel-gas datos caso práctico, donde monitoreamos los parámetros operacionales con respecto al combustible dual, se notó que a la relación 70% Diesel y 30% Gas (70/30), el parámetro de vibraciones del banco izquierdo varió un (1) ips con respecto al 100% Diesel a carga del 70%, de igual manera el parámetro operacional de vibración del banco derecho también subió un (1) ips, la temperatura del exhosto del Banco derecho se incrementó en 2 grados, la presión de vacío de los dos bancos están en el límite, en este instante se definió que a la

potencia máxima de trabajo continuo de 381,5 kw la relación óptima de combustible dual diesel Gas para este caso práctico es de 70/30. Con base en los resultados prácticos mostrados en la tabla 8 status de resultados de la conversión del Motor Caterpillar 3412 a Bi-Fuel Diesel-GAS datos caso práctico, al detectar la sensibilidad de los parámetros de operacionales de diseño a cambiar en la relación Bi-Fuel Diesel-GAS 70/30, se fijó esta relación como la óptima para este equipo y se definió de esta manera la viabilidad técnica que permitió convertir el motor a sistema dual trabajando dentro de los parámetros de diseño del mismo.



Figura 30 Foto caso práctico, SET18 con Sistema GTI Bi-Fuel. Caso práctico³⁰

5.2. Viabilidad Económica

¿Cuáles son los beneficios económicos de operar con combustible dual en motores diesel?

Ahorros de costos resultantes de la operación del motor diesel con combustible dual, estos variarán de acuerdo con los respectivos precios de cada uno de los combustibles. Si hay una diferencia significativa de costos entre el precio del

³⁰ Foto tomada al equipo convertido en el caso práctico

combustible diesel (por galón, litro, etc.) y la cantidad equivalente de gas natural (valor base de calor), en favor del gas natural, tendría como resultado un significativo ahorro de costos de combustible. Cuanto más cerca están los combustibles en el precio, menor es el ahorro de costos de combustible durante el modo dual de combustible. Además de los ahorros de costos de combustible, el ahorro de mantenimiento de los motores (como se explica más arriba) también puede contribuir a los beneficios económicos de operación con combustible dual.

Como podemos apreciar los antecedentes que agobiaron a la ingeniería generaron incógnitas que debieron ser analizadas previamente para poder entrar al desarrollo de la tecnología dual de combustible para motores diesel, desde el punto económico el diesel ha sido subsidiado durante muchos años por los gobiernos, esa restricción no incentivaba la inversión para el desarrollo de una tecnología dual en motores diesel, el desmonte de subsidios, las nuevas exigencias de energía limpia, el calentamiento global y las grandes reservas de gas natural, impulsaron la investigación para obtener desarrollos, tecnológicos que permitieran usar una combinación de combustibles más limpios, más económicos en los diseños diesel instalados en el mundo, adecuando estos a las nuevas exigencias técnico-económicas y ambientales.

La viabilidad económica de la conversión en el caso práctico de conversión del Motor Caterpillar 3412 Diesel en el campo Cari Care en Arauca, a sistema dual de combustible con gas se sustentó con los bajos costos de inversión respecto al corto tiempo de recuperación de la misma y los grandes ahorros en el tiempo de duración del proyecto.

El costo aproximado de la adecuación con suministro del KIT se muestra en la tabla 9

Costo Sistema Bi-Fuel	Valor Pesos
Para Motor Caterpillar 3412	\$ 95.356.031,00
Instalación	\$ 11.761.999,00
TOTAL	\$ 107.118.030,00

Tabla 9 Costos de Conversión Caterpillar 3412 Diesel a Sistema Bi-Fuel

En la tabla 10 mostramos los tiempos de retorno de la inversión y el ahorro por máquina en los 10 años de duración del proyecto como resultado de la adecuación del Motor Caterpillar 3412 diesel a sistema Bi-Fuel Diesel-Gas con Tecnología GTI de Altronics, estos tiempos y ahorros son el resultado de correr la hoja electrónica desarrollada para calcular el costo Beneficio y Retorno de la inversión de la conversión de Motores diesel a sistema Bi-Fuel figura 37. Lo anterior dió la viabilidad económica de la conversión de los equipos del caso práctico.

Retorno de la inversión	Tiempo
Horas de operación	1872
Meses de operación continua	2,6
Ahorros por máquina en el tiempo de duración del proyecto 10 años	\$ 4.898.880.000

Tabla 10 tiempos retorno inversión

6. ANÁLISIS DE RESULTADOS COSTO BENEFICIO Y RETORNO DE LA INVERSION

El análisis de costos de conversión cuando el Motor diesel es estacionario o cuando cumple funciones motrices en parque móvil automotriz se debe realizar a través del ciclo de vida del nuevo ciclo del motor, argumentando en el análisis costo beneficio las disminuciones en el impacto ambiental, este análisis debe ir

enfocado a motores de mediano y alto caballaje, donde se notará fácilmente un alto beneficio económico y ambiental.

En casi todo el mundo la relación de precios entre el combustible diesel y el gas natural comprimido (GNC) es alta, siendo este uno de los beneficios económicos más resaltantes del sistema Bi- Fuel; a mayor razón de GNC, mayor ahorro por consumo de combustible que unido a una menor frecuencia en cambios de aceite, alarga la vida útil del motor (menor corrosión), lo que implica un ahorro importante por gastos de operación y mantenimiento.

El desarrollo de la hoja de cálculo en Excel mostrada en la figura 37 análisis de resultados Costo beneficio y retorno de la Inversión del caso práctico, permitió correr el análisis costo beneficio del caso práctico de conversión del Motor Caterpillar 3412 Diesel a sistema dual de combustible con gas, mostrando los siguientes resultados:

7. En 2,6 meses se recupera la inversión
8. El ahorro en el primer año es de \$382.769.970
9. El porcentaje equivalente de ahorro en el primer año es de un 23,4%.
10. A partir del segundo año el ahorro se incrementa a un 30%.
11. En el tiempo total del proyecto el ahorro acumulado asciende a \$4.898.880.000 millones por máquina convertida.
12. Adicional al ahorro en dinero hay otros beneficios ambientales por reducción de emisiones.

**ANALISIS COSTO- BENEFICIO Y RETORNO DE INVERSION
CONVERSIÓN DE MOTORES DIESEL A SISTEMA BI-COMBUSTIBLE CON GAS**

NOTA: Modifique unicamente las celdas amarillas con los datos del motor requerido, consumo de diesel a plena carga, capacidad del tanque de combustible, valor del m3 de gas si aplica, valor del galon de diesel, horas diarias trabajadas, días al mes trabajados y porcentaje de sustitucion a evaluar.

Carga del Generador Trabajo Continuo	381,5	KW		
Consumo de Combustible Diesel	30,0	Gl/hr		
Capacidad Almacenamiento de combustible	1000	Galones		
Tiempo de operación en Diesel 100%	33,33	Horas		
Tiempo de operación con reemplazo Bi-Fuel	47,62	Horas		
Valor m3 Gas	\$ -	Pesos		
Costo Galon Gas (1Gl=3.964359m3)	\$ -	Pesos		
Costo Galon Diesel	\$ 6.300,00	Pesos		
Numero horas de Generacion en el día	24	Horas		
Numero de días de Generacion en el mes	30	Dias		
Años duración Proyecto	10	Años		

	DIESEL	GAS	DIESEL	Bi-Fuel
Porcentaje de combustible para operación	100%	30%	70%	100%
Tasa de Consumo de Combustible (Gl/H)	30,0	9,00	21,00	30,00
Costos de combustible por Galon	\$ 6.300	\$ -	\$ 6.300	\$ 4.410,00
Costo consumo Combustible a Plena Carga por Hora	\$ 189.000,0	\$ -	\$ 132.300,00	\$ 132.300,00
Costo KW/HORA	\$ 495,41	\$ -	\$ 346,79	\$ 346,79

	DIESEL	BI-FUEL
Consumo con CARGA PLENA/diario	\$ 4.536.000	\$ 3.175.200,00
Consumo con CARGA PLENA/mesual	\$ 136.080.000	\$ 95.256.000,00
Consumo con CARGA PLENA/anual	\$ 1.632.960.000	\$ 1.143.072.000,00

Ahorro por HP/HORA Gti Vs. Diesel	\$ 148,62
Ahorro por CARGA PLENA/HORA Gti Vs. Diesel	\$ 56.700,00
Ahorro por CARGA PLENA/Día Gti Vs. Diesel	\$ 1.360.800,00
Ahorro por CARGA PLENA/Mes Gti Vs. Diesel	\$ 40.824.000,00
Ahorro por CARGA PLENA/Año Gti Vs. Diesel	\$ 489.888.000,00

COSTOS ASOCIADOS A SISTEMA BI-FUEL	Pesos	Ahorro total en el Tiempo del Proyecto
Equipos	\$ 95.356.031,00	\$ 4.898.880.000,00
Instalacion	11761999	
TOTAL	\$ 107.118.030	

Retorno de la inversión operación 100% Diesel		AHORRO TOTAL PRIMER AÑO \$ GTI Vs. DIESEL	\$ 382.769.970
Horas de operación		PORCENTAJE DE AHORRO	23,4
Meses de operación continua	2,6		

AHORRO TOTAL A PARTIR DEL SEGUNDO AÑO \$ GTI Vs.DIESEL	\$ 489.888.000
PORCENTAJE DE AHORRO	30,0

Figura 31 Hoja de cálculo de análisis de resultados Costo beneficio y retorno de la Inversión del caso práctico

7. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE CONVERTIR UN MOTOR DIESEL A SISTEMA BI-FUEL DIESEL-GAS

Emisiones Reducidas



Figura 32 emisiones reducidas con el sistema Dual³¹

- NOx
- CO2
- SOx
- Emisiones Visibles
- PM
- NMHC

³¹ Imagen suministrada por FTC representante en Colombia de GTI Altronics

El Impacto del Sistema Bi-Fuel y un SCR Catalizador en NOx proporcionan bajos niveles de NOx.

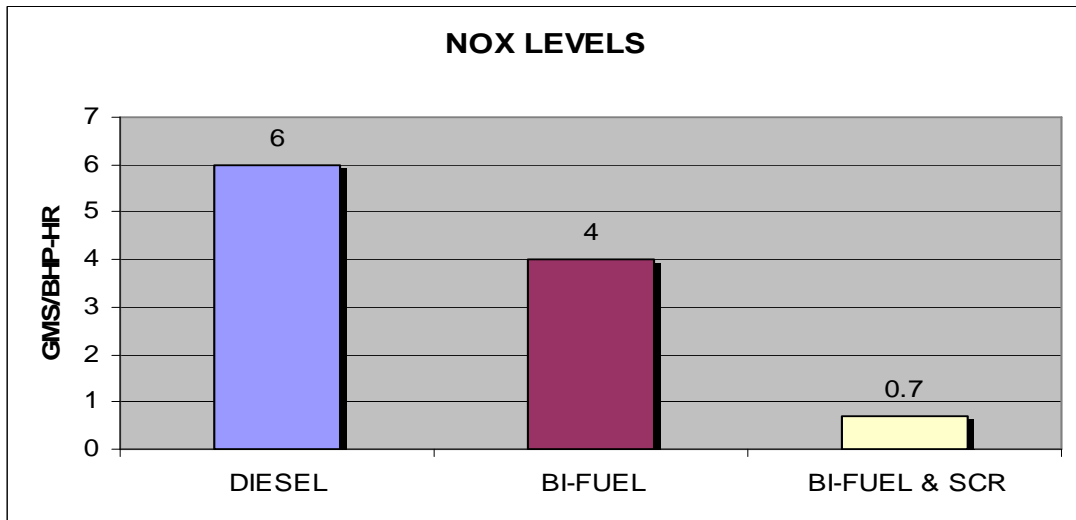


Figura 33 Niveles de NOx³²

Ventajas Especificas en Bi-Fuel dual diesel gas.

- Operación extendida vs. Capacidades almacenadas de combustible.
- Reducción en la exposición ambiental (menor que tanques de diesel sobre & debajo de la tierra)
- Reduce costos de utilidad para gas y electricidad
- Disminución de contaminación visual mientras el sistema es probado y validado.

Operación extendida con el sistema dual Bi-Fuel diesel gas

Caso real:

- 100% Diesel vs. Bi-Fuel Operando a una carga de 381,5 kw.
 1. Tasa de combustible Diesel: 30 galones/hora

³² imagen tomada de www.gti-altronicinc.com

2. Capacidad de combustible almacenado: 1000 galones
3. 100% Diesel Opera: 33,3 horas
4. Tasa de sustitución Bi-Fuel Gas: 30%
5. 30% Gas Opera: 47,62 horas

Motores Equipados con Bi-Fuel vs. Motores a Gas

1. Bajo costo inicial de conversión
2. “Versatilidad en combustible”
3. Mayor eficiencia
4. Reduce costos O&M
5. Físicamente más pequeños



Figura 34 Motores diesel convertido a sistema dual diesel gas.³³

³³ Foto suministra por FTC representantes de GTI Altronics en Colombia

Ventajas en Costos del Sistema Bi-Fuel

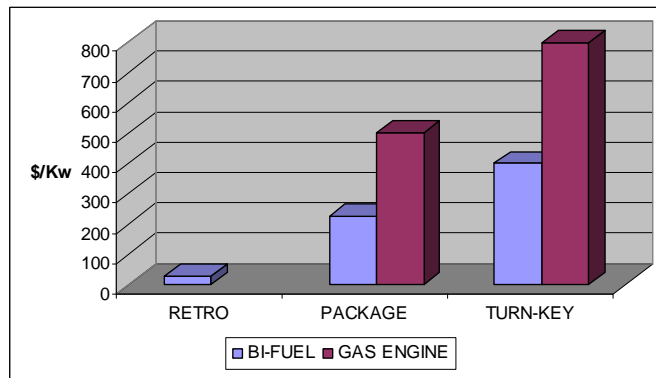


Figura 35 Ventajas en costos sistema Bi Fuel³⁴

Otras ventajas son las siguientes:

El gas natural tiene un octanaje de 130, característica que permite incrementar la potencia de los motores, propiciando que trabajen con mayor eficiencia, evitando dejar residuos de la combustión, y por lo tanto desgastando menos los motores, los costos de mantenimiento se ven reducidos al poder espaciar los cambios de aceite.

A los motores Dual-Fuel se les debe hacer mantenimiento por separado a ambos sistemas de combustible.

Una gran desventaja para motores estacionarios, es que a aquellos lugares donde no hay gas, se debe buscar la manera de llevar el suministro requerido del mismo para poder adecuar los equipos a sistema Bi-Fuel a fin de que el uso del GNC sea atractivo, es importante primero evaluar que puedan proporcionar una amplia disponibilidad de combustible a nivel Nacional y Departamental.

³⁴ imagen tomada de www.gti-altronicinc.com

8. CONCLUSIONES

- a. El mayor aporte del autor de la monografía es el desarrollo de la hoja de cálculo para analizar el costo beneficio y el retorno de la inversión de proyectos de conversión de motores diesel a sistema dual con GAS, permitiendo previamente a los dueños de los activos tomar decisiones con criterios objetivos y cuantificables.
- b. En nuestro País ha sido difícil entrar por el temor a la nueva tecnología, con los buenos resultados de los proyectos que ya hemos realizado se ha abierto un nicho de negocio interesante y bajo el criterio de costo beneficio y retorno de inversión en este momento hemos podido ampliar las conversiones en sectores como el camaronero, petrolero y en el de transporte de Hidrocarburos.
- c. Hemos capacitado a técnicos y operadores en las mejores prácticas de Operación y Mantenimiento del nuevo sistema dual para equipos Bi-Fuel.
- d. Reemplazar los Motores Diesel con nuevas tecnologías dedicadas sólo a GAS, sería imposible por costos y por fabricación, por eso la alternativa más económica para minimizar el impacto ambiental, reducir costos de O&M es la tecnología de Kit de Conversión que permite adecuar la flota existente de motores diesel instalados de una manera fácil y práctica a sistema Dual Diesel-GAS. Bajo esta tecnología permite compensar costos-tecnología-ambiente, sin tener que desmontar el gran número de motores diesel instalados en el mundo.
- e. Como nos muestra el costo/beneficio estimado en la monografía por el autor, los ahorros en un proyecto de mediano y largo plazo son muy significativos favoreciendo la economía final del proyecto, en el caso práctico por máquina durante 10 años de duración del proyecto el ahorro de operar con sistema Bi-Fuel Diesel-GAS asciende a \$4.898.880.000 millones por máquina convertida con respecto a operar sólo con Diesel.

- f. Para campos que inicialmente no tenían GAS, pero con el tiempo empezaron a producirlo, es una excelente alternativa adecuar a sistema Bi-Fuel con GAS sus motores diesel, ya que reducen el impacto ambiental, económicamente reducen costos de O&M, adicionalmente pueden implementar proyectos de energía Limpia MDL, comercializando créditos de carbono, la inversión para la conversión es muy baja comparada con el beneficio Técnico-Económico y manejo de impacto ambiental.
- g. La conversión bajo el modelo análisis de Costo Beneficio, aplica a proyectos en operación que su ciclo de vida aun permita el retorno de la inversión, para un nuevo proyecto, es mejor estimar desde el inicio motores dedicados 100% a GAS.

BIBLIOGRAFIA

- **CORPODIB, Corporación para el desarrollo industrial de la biotecnología**, CORPODIB. Manuales y memorias GNCV .CD. Bogotá 2000.
- Gas Natural Vehicular una alternativa para la movilidad limpia, UPME, Junio de 2002.
- **MECANICA PARA MOTORES DIESEL.** Teoría, mantenimiento y reparación. Tomo II. Mc Graw Hill. 1999.
- **MONTENEGRO, Manuel Antonio.** Notas de taller, Cursos de Mecánica Diesel. Sena, Regional Bogotá.
- **REVISTA PARABRISAS**, Editorial Primavera S.A, Año 45 N° 316 Febrero 2005
- Tecnología Bongas /www.bon-gas.com/dieselgas_faq.htm
- Tecnología GTI Altronics /www.gti-altronicinc.com
- Tecnología Volkswagen /www.bon-gas.com/dieselgas_faq.htm
- Tecnología Volvo /www.bon-gas.com/dieselgas_faq.htm
- **WALKER, Jonathan.** New CAT 3500B Marine Diesel Engine. Diesel and Gas Turbine Worldwide v 34 n 10 /Diciembre/ 2002. p 92-94. Año Publicación. 2002

Internet:

- www.ecopetrol.com.co/especiales/catalogo
- http://www.mundotutoriales.com/tutorial_motores_diesel_y_contaminacion-mdtutorial312359.htm
- <http://ingenieria.udea.edu.co/grupos/revista/revistas/nro025/contenido.htm>

- WWW. Nicolai Patrakhaltsev.com
- www.promigas.com/web/images/diesel.PDF+diesel+gas+cartagena&hl=es&ct=clnk&cd=1&gl=co

ANEXO 1 HISTORIA DE LOS MOTORES DIESEL

13. HISTORIA DE LOS MOTORES DIESEL

Tras cuatro años de experimentación, el ingeniero alemán RUDOLPH DIESEL presenta el primer motor de combustión interna que funciona según el ciclo que él mismo había inventado en 1892. La máquina se presenta desde sus inicios como un competidor de la máquina de vapor más serio que el motor Otto.

Los socios capitalistas y los consejeros técnicos de muchos países se lanzan sobre la fábrica de máquinas de Augsburgo en la que trabaja Diesel, con el fin de obtener licencias. Éste nuevo motor presenta tres ventajas fundamentales respecto al motor de Otto. Por un lado, es más robusto debido a que está construido con menor número de piezas; por otro, el cual es capaz de consumir aceite pesado, es mucho más barato que la gasolina; y por último, este nuevo motor tiene mayor rendimiento que el de Otto.

Este lograba en la década de los años 90 del siglo XIX transformar un 13 % de la energía calorífica generada por la gasolina en trabajo mecánico, mientras que el motor de Diesel aumenta esa proporción a un 26 %. Sin embargo, para el propio Diesel este resultado es desalentador, pues había calculado que su motor sería capaz de aprovechar un 75% del calor. No obstante, la máquina es todavía más que competitiva. Sigue presentando problemas constructivos con la estanqueidad de 30:1, así como la inyección de combustible en el momento que la densidad del aire es máxima. Ésta es la razón por la que los primeros motores son de grandes dimensiones.

Funcionamiento del motor Diesel

El motor diesel es un motor de combustión interna cuya función se basa en un ciclo termodinámico, en el cual se inyecta en la cámara de combustión el combustible después de haberse realizado una compresión de aire por el pistón.

La relación de compresión de la carga del aire es lo suficientemente alta como para encender el combustible inyectado.

Este motor utiliza varios tipos de combustible, que se caracterizan por una mayor eficiencia térmica y por las ventajas económicas para las aplicaciones que tiene.

En los sistemas que funcionan con combustible líquido, se producen complicaciones técnicas (en las bombas de inyección, en las toberas de los inyectores y en las cámaras de combustión en las cuales se realizan los procesos de entrega, atomización y quema del combustible).

Para obtener una combustión limpia y para no emplear una gran cantidad de aire, se ha de realizar todo el proceso en cuestión de milisegundos.

Según el proyecto de Rudolph Diesel, el auténtico motor diesel presenta un sistema de inyección de combustible en el que la razón de inyección se retarda y se controla para obtener una presión constante durante el proceso de combustión. Este proyecto se encuentra en la mayoría de motores de baja velocidad (unas 300 rpm). Estos motores utilizan combustibles más pesados.

La presión deja de ser constante en la adaptación del principio de inyección cuando se trabaja con motores de alta velocidad (1000-2000 rpm), ya que el tiempo del que se dispone para la inyección es tan solo de milisegundos. Esa

Especificación de presión constante no afecta al avance de la combustión, pudiéndose realizar grandes presiones pico.

En los motores Diesel, el combustible llega al cilindro por inyección a través de los inyectores de alimentación tradicionales. En función de dónde pulvericen los inyectores el combustible, los motores diesel se dividen en dos tipos: motores de inyección indirecta, en los cuales el Diesel se inyecta en una pre-cámara, situada antes de la cámara de combustión del cilindro o directa donde el diesel se atomiza directamente a la cámara de combustión.

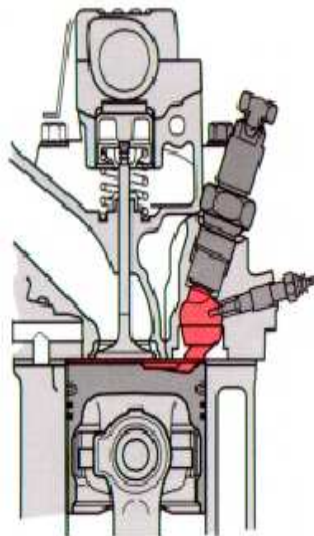


Figura 36 Inyección indirecta diesel³⁵

Por otra parte, los motores de inyección directa, en los que el diesel se inyecta directamente en el cilindro, consiguiendo una combustión más completa.

³⁵ Imagen tomada de MONTENEGRO, Manuel Antonio. Notas de taller, Cursos de Mecánica Diesel. Sena, Regional Bogotá.

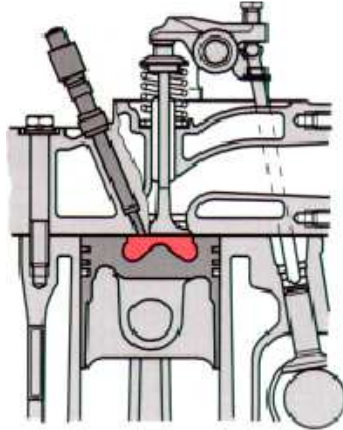


Figura 37 Inyección directa diesel³⁶

El Ciclo Diesel

Se trata del ciclo de un motor de combustión interna, en el cual el calor que produce la compresión se encarga de inflamar el combustible. La secuencia de sus procesos es:

- **Admisión:** en la carrera de admisión de un motor diesel penetra una carga completa de aire a cada cilindro. Su relación de compresión está entre 12 y 20.

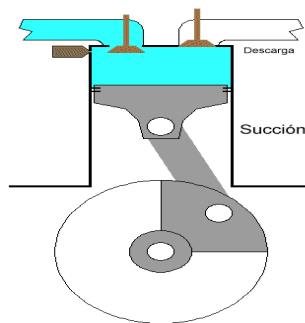


Figura 38 Admisión³⁷

³⁶ Imagen tomada de MONTENEGRO, Manuel Antonio. Notas de taller, Cursos de Mecánica Diesel. Sena, Regional Bogotá.

³⁷ Imagen tomada de MONTENEGRO, Manuel Antonio. Notas de taller, Cursos de Mecánica Diesel. Sena, Regional Bogotá.

📍 **Compresión:** durante la carrera de compresión, se eleva la temperatura del aire a causa de la alta relación de compresión. El combustible es atomizado en la cámara de combustión poco antes de llegar al punto muerto superior en la carrera de compresión.

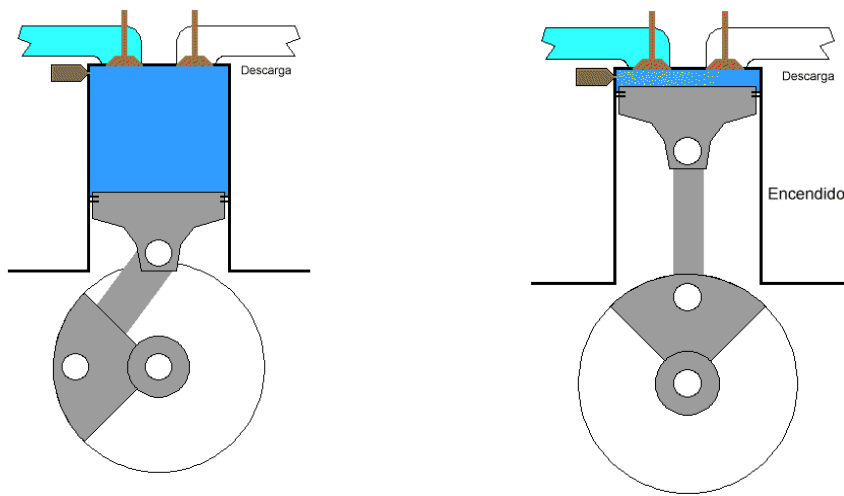


Figura 39 Admisión e inyección³⁸

📍 **Adición de calor:** se obtiene a partir de la quema del combustible producida casi en el mismo instante en el que se introduce, debido a la alta temperatura del aire.

📍 **Expansión:** se expanden los productos de la combustión para producir potencia.

³⁸ Imagen tomada de MONTENEGRO, Manuel Antonio. Notas de taller, Cursos de Mecánica Diesel. Sena, Regional Bogotá.

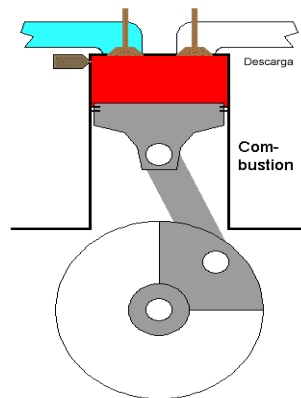


Figura 40 Expansión³⁹

- ⓐ Escape: salen los productos de la combustión después de expandirse para concluir el ciclo.

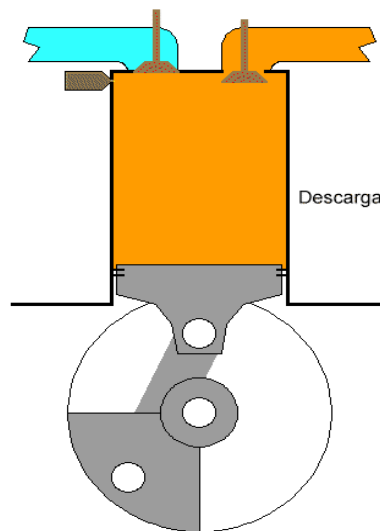


Figura 41 Escape⁴⁰

³⁹ Imagen tomada de MONTENEGRO, Manuel Antonio. Notas de taller, Cursos de Mecánica Diesel. Sena, Regional Bogotá.

⁴⁰ Imagen tomada de MONTENEGRO, Manuel Antonio. Notas de taller, Cursos de Mecánica Diesel. Sena, Regional Bogotá.

14. COMBUSTIBLE DIESEL⁴¹

Los combustibles Diesel, también llamados Aceite Combustible Para Motores (ACPM), están constituidos por un gran número de hidrocarburos, los cuales tienen rangos de ebullición entre 180°C y 380°C. Ellos son obtenidos por procesos de destilación atmosférica del petróleo crudo. Algunas refinerías incrementan la producción de ACPM incorporando productos del craqueo catalítico, previamente tratados para eliminar compuestos indeseables, tales como azufre y las olefinas.

Las diferentes propiedades del ACPM tienen incidencia sobre la calidad de la combustión, es decir sobre la cantidad de compuestos nocivos emitidos al ambiente.

Número de Cetano

Está relacionado con la calidad de la ignición. El ACPM debe iniciar su combustión fácilmente, es decir ***su auto ignición, por temperaturas, sin necesidad de una fuente externa de ignición. A mayor número de cetano, más fácil es iniciar la combustión.*** Los números de cetano típicos que se encuentran en el mercado están entre 45 y 50, los cuales satisfacen las tecnologías actuales de los motores. A mayor contenido de hidrocarburos parafínicos se obtienen más altos números de cetano, mientras que lo contrario sucede con los aromáticos.

Punto de Inflamación

El punto de inflamación es aquella temperatura a la cual un líquido produce suficiente cantidad de vapores para formar una mezcla aire/combustible capaz de

⁴¹ FUENTE: www.ecopetrol.com.co/especiales/catalogo

encenderse bajo la presencia de una fuente de ignición o chispa. Esta propiedad se controla normalmente, por razones de seguridad en el manejo del producto, en valores superiores a 51°C.

Rango de Ebullición

El rango de ebullición, determinado por la curva de destilación debe estar muy bien balanceado para no comprometer el buen desempeño de los motores. Los compuestos de bajo rango de ebullición son deseables para facilitar una buena operación a baja temperatura, buenos patrones de dispersión, combustible más fácil; pero pueden disminuir el número de cetano y desmejorar las propiedades de lubricación. Por otra parte, los compuestos de alto rango de ebullición son deseables para mejorar el rendimiento de los crudos, aumentar la densidad calórico, la lubricidad; pero son más difíciles de quemar, aumentando las emisiones de material particulado y los depósitos sobre las boquillas.

Densidad

El valor calorífico del ACPM depende en alto grado de su densidad, manteniendo una relación directa. Las bombas de inyección de combustible inyectan volúmenes fijos, por lo tanto si la densidad varía ampliamente se presentan fluctuaciones notorias en la masa de entrada, y por ende, en la energía disponible.

Azufre

El azufre está presente en el combustible Diesel en proporciones que dependen de los crudos de origen. En las refinerías el azufre es retirado mediante tratamientos con hidrógeno. Las regulaciones sobre calidad de combustibles son muy exigentes con el contenido de azufre por dos razones fundamentales:

- La combustión del azufre genera SO₂, responsable de la formación de lluvias ácidas y de smog foto químico por reacción con otros productos de la combustión.
- Los nuevos sistemas de tratamiento de gases de escape para reducir las emisiones de NO_x, y de material particulado son muy sensibles al azufre, perdiendo actividad en su presencia.

Composición Química

En el Diesel se pueden encontrar más de 200 diferentes tipos de hidrocarburos, siendo los compuestos poli aromáticos los más indeseables por su dificultad para quemar completamente en el motor, produciendo compuestos de alto potencial cancerígeno. Las regulaciones ambientales limitan bastante estos compuestos, siendo necesario en las refinerías someter el combustible Diesel a procesos de hidrocrackeo para reducir los compuestos poli aromáticos, transformándolos en hidrocarburos parafínicos.

Aditivos

Para mejorar el desempeño de los combustibles Diesel se utilizan productos químicos en pequeñas cantidades, llamados aditivos, cuyo nombre se asocia a la propiedad que mejoran. Entre ellos se encuentran: antioxidantes, inhibidores de herrumbre y corrosión, antiespumantes, mejoradores de cetano, mejoradores de combustión, depresores de punto de fluidez, detergentes, dispersantes, odorizantes y mejoradores de lubricidad, entre otros.

Especificación	Método	Mínimo	Máximo
Gravedad API a 60 °F	D287	30	
Punto de inflamación, °C	D93	52	
BSW	D96		0,1
Punto de fluidez, °C	D97		+3,0
Micro carbón residual – Conradson	D4543		0,2
Cenizas	D482	Reportar	
Viscosidad a 37,8 °C , cst	D445	2	5
Índice de cetano	D976	45	
Destilación (°C) - 10% volumen evaporado	D86	Reportar	
Especificación	Método	Mínimo	Máximo
Destilación (°C) - 50% volumen evaporado	D86	Reportar	
Destilación (°C) - 90% volumen evaporado	D86		360
Destilación (°C) - Punto final de ebullición (PFE)	D86	Reportar	
Contenido total de azufre (% peso)	D4294		0,5
Color ASTM	D1500		+2
Corrosión al cobre (3 hrs a 50 °C/122 °F)	D130		1

Tabla 21 Especificaciones Técnicas Diesel - Colombia⁴²

⁴² FUENTE: www.ecopetrol.com.co/especiales/catalogo