

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS

FACULTAD DE TECNOLOGÍA

CARRERA MECÁNICA AUTOMOTRIZ



PROYECTO DE GRADO

NIVEL LICENCIATURA

“ANÁLISIS ECONÓMICO Y DE POTENCIA DE UN MOTOR TOYOTA TOWNACE 7K A GASOLINA Y
GAS NATURAL INCORPORANDO UN COMPRESOR ELÉCTRICO”

Postulante: Univ. Ediberto Rogelio Castro López

Tutor: Lic. Juan Marcelo Illanes Dorado

La Paz- Bolivia
Marzo 2018

DEDICATORIA Y AGRADECIMIENTO

Doy gracias a DIOS sobre toda las cosas, por ser mi guía y mi fortaleza para lograr todas las metas que me he propuesto en la vida. “con Él todo y sin Él nada”.

A mi MAMÁ Juana Francisca López y a mi PAPÁ Santiago Castro por haberme dado la vida y por sus luchas constantes de trabajo y esfuerzo para que nunca me faltará nada.

A mis SUEGROS Juan Callisaya y Teodora Mamani, por el apoyo incondicional en los momentos más necesarios en toda mi carrera universitaria.

A mis PADRINOS Benedicto Roque y Florencia Huanca, por el apoyo incondicional que nunca lo olvidaré.

A mi ESPOSA María Elena Callisaya Mamani, regalo maravilloso que Dios cruzó en mi camino. Gracias amor por apoyarme día y noche.

A mi HIJA Milka Andrea, por darme fuerza e inspiración.

A mi TUTOR Lic. Juan Marcelo Illanes Dorado por darme ese impulso y comprensión para realizar este proyecto.

RESUMEN

El principal objetivo de este proyecto es realizar un análisis económico y de potencia de un motor Toyota 7K a gasolina y convertido a G.N.V. incorporando un compresor eléctrico para mejorar el rendimiento en la ciudad de La Paz.

Partiendo de un problema atmosférico en La Paz, se concluye que existe pérdida de potencia por haber menor presión de aire, donde con la ayuda de un compresor eléctrico se compensará en un porcentaje.

Se introducirá gran flujo de aire al múltiple de admisión para que el motor absorba fácilmente y que exista una buena combustión.

Gracias a la recolección de datos del gas natural se pudo evidenciar que existe una mayor cantidad de metano, por tanto es menor la contaminación para el medio ambiente.

En cuanto se refiere al compresor eléctrico vemos que es muy fácil de activarlo, por lo cual este no será un problema en el momento de querer utilizar.

Se hizo los cálculos necesarios para comparar estos datos teóricos con las pruebas realizadas con el dinamómetro móvil TM 900, donde se observa claramente que se recupera la potencia incrementándose teóricamente en 6% respecto a la prueba realizada.

Se hizo el ciclo de conducción en carretera y en rutas obteniendo resultados de ahorro económico de un 47%.

ÍNDICE

CAPÍTULO 1 GENERALIDADES	Pág.
1.1. Introducción.....	1
1.2. Antecedentes	2
1.3 Planteamiento del problema	3
1.4 Descripción del objeto de estudio	4
1.5 Objetivos	5
1.5.1 Objetivo general	5
1.5.2 Objetivos específicos	5
1.6 Justificación	6
1.6.1 Justificación económica	6
1.6.2 Justificación técnica	6
1.6.3 Justificación social	7
1.6.4 Justificación ambiental	7
CAPÍTULO 2 MARCO TEÓRICO-REFERENCIAL	
2.1. Antecedentes del gas natural	8
2.1.1. Reservas del gas natural	8
2.1.2. Gas de yacimientos gasíferos	8
2.1.3. Gas de yacimientos petrolíferos	8

2.1.4. Propiedades físico - químicas del gas natural	9
2.1.4.1. Temperatura de combustión	9
2.1.4.2. Densidad	9
2.1.4.3. Color y olor	10
2.1.4.4. Resistencia a la detonación	10
2.1.4.5. Relación de compresión	11
2.1.4.6. Poder calorífico del gas natural	12
2.1.5 Comportamiento de los vehículos a GNV en grandes altitudes	13
2.2 Ciclo teórico de los motores de explosión.....	15
2.2.1 Rendimiento térmico del ciclo a volumen constante	17
2.2.2 La presión media del ciclo	19
2.2.3 Reacciones químicas del combustible	19
2.2.4 Ciclo real en motores de explosión	20
2.3 Sobrealimentación de motores	25
2.3.1 Generalidades	25
2.4 Características técnicas del dinamómetro portátil TM 900.....	27
2.4.1 Presentación	27
2.4.2 Funcionalidades del TM900	28
2.4.3 Especificaciones técnicas	29

2.5 Instalación del TM 900 en el vehículo	29
2.5.1 La fijación en los vidrios del vehículo	30
2.5.2 Directrices para colocar el dispositivo en el parabrisas	30
2.5.3 Instalación del sensor de velocidad	31
2.5.4 Instalación de la cinta reflectante en la rueda del vehículo	35
2.5.5 Instalación del disparador manual (Trigger)	35
2.5.6 Ajuste de la sensibilidad del acelerómetro	36
2.5.7 Pruebas de potencia realizados por el TM 900	37
2.5.8 Importancia de la medición de RPM en las pruebas de potencia y definición de la marcha para la realización de la prueba	37
2.5.9 Sistemas empleados en la sobrealimentación	39

CAPÍTULO 3 METODOLOGÍA

3.1 Tipo de investigación	44
3.2 Población y muestreo	44
3.3 Instrumentos de relevamiento de información	44
3.4 Metodología para determinar la economía del gasto de combustible mediante el método de repostaje	46

CAPÍTULO 4 INGENIERÍA DE PROYECTO

4.1 Instalación del compresor eléctrico y modificación al vehículo	47
4.1.1 Instalación mecánica del compresor eléctrico	47
4.1.2 Instalación eléctrica	48
4.2 Datos técnicos del motor Toyota 7K	48
4.2.1 Descripción	48
4.3 Datos técnicos del compresor eléctrico	49
4.3.1 Descripción	49
4.3.2 Funcionamiento	49
4.4 Cálculo de la potencia consumida por el compresor eléctrico	49
4.5 Cálculos de componentes porcentuales de Carbono e Hidrógeno	50
4.6 Cálculo termodinámico de potencia	52
4.6.1 Datos para el cálculo	52
4.6.2 Resultados obtenidos	53
4.7 Pruebas de potencia realizadas mediante el dinamómetro TM900	56
4.7.1 Tabla de comparación de potencia obtenido por el TM 900	59
4.8 Consumo de combustible en carretera	60
4.9 Costos del proyecto	60
4.10 Ciclo de conducción	61

4.10.1 Metodología	61
CAPÍTULO 5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
5.1 Conclusiones	64
5.2 Recomendaciones	66
BIBLIOGRAFÍA	
Bibliografía	67

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Comparación de precios de gasolina, diésel y gas natural	2
Tabla 2 Temperatura de encendido de algunos combustibles.....	9
Tabla 3 Densidad de algunos combustibles	10
Tabla 4 Número de octano y cetano	11
Tabla 5 Relación de compresión de algunos combustibles	12
Tabla 6 Poder calorífico de algunos combustibles	13
Tabla 7 Comparación de propiedades de los combustibles	13
Tabla 8 Especificaciones técnicas	29
Tabla 9 Resumen de los datos de 20 encuestados del anexo 1	45
Tabla 10 Datos técnicos del motor Toyota 7k	48
Tabla 11 Datos técnicos del compresor eléctrico	49
Tabla 12 Componentes porcentuales del gas natural	50
Tabla 13 Componentes porcentuales de carbono e hidrógeno	51
Tabla 14 Cálculo teórico de la potencia del motor a gasolina, g.n.v. sin C.E. y g.n.v. con C.E.....	53
Tabla 15 Datos de prueba	59
Tabla 16 Identificación	59

Tabla 17 Resultados	59
Tabla 18 Valores nominales	60
Tabla 19 Costo del proyecto	60
Tabla 20 Resultado del ciclo de conducción	62
Tabla 21 Cálculo de consumo de combustible en carretera	63

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Ciclo teórico de los motores de explosión	15
Figura 2 Limpieza del área de fijación	30
Figura 3 Alineación del dispositivo	31
Figura 4 Fijación del sensor	32
Figura 5 Asegurado del soporte del sensor con cable de acero	33
Figura 6 Ubicación del brazo telescópico en el tubo de apoyo	33
Figura 7 Sensor en el soporte del brazo telescópico	34
Figura 8 Alineación del brazo telescópico con el espejo	34
Figura 9 Dispositivo fijado en el parabrisas	34
Figura 10 Cinta reflectante	35
Figura 11 Conexión del disparador manual	35
Figura 12 Botón disparador	36
Figura 13 Ajuste de la sensibilidad	37
Figura 14 Compresor de aire	40
Figura 15 Turbocompresor	42
Figura 16 Compresor Eléctrico	43
Figura 17 Instalación mecánica del compresor eléctrico	47

Figura 18 Filtro del compresor eléctrico	47
Figura 19 Circuito real para el funcionamiento del compresor eléctrico	48
Figura 20 Curva de potencia del motor con gasolina sin compresor eléctrico.....	
Figura 21 Curva de torque del motor con gasolina sin compresor eléctrico	56
Figura 22 Curva de potencia del motor con gnv sin compresor eléctrico	57
Figura 23 Curva de torque del motor con gnv sin compresor eléctrico	57
Figura 24 Curva de potencia del motor con gnv y compresor eléctrico	58
Figura 25 Curva de torque del motor con gnv y compresor eléctrico	58
Figura 26 Ruta realiza en el ciclo de conducción	62

ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO 1	68
ANEXO 2	74
ANEXO 3	77
ANEXO 4	78
ANEXO 5	78
ANEXO 6	79
ANEXO 7	80
ANEXO 8	82

SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS

SÍMBOLO	SIGNIFICADO
GNV	Gas Natural Vehicular
TCF	Trillones Pies Cúbicos
L.A.	Línea atmosférica
ϵ	Relación de compresión
V_h	Volumen de trabajo de un cilindro
V_c	Volumen de la cámara de combustión
l_0	Cantidad teórica de aire necesaria para la combustión de 1kg de combustible en kg
G_1	Cantidad total de mezcla fresca
M_1	Cantidad total de mezcla de aire y combustible
M_2	Cantidad total de los productos de combustible
ΔM	Incremento de volumen
R	Densidad de la carga de admisión
μ_a	Masa molecular aparente del aire
ρ_0	Densidad de la carga de admisión
H_u	Poder calorífico inferior
W	Cantidad de humedad contenida en 1kg de combustible
p_a	Presión al final de admisión
T_k	Temperatura a la salida del C.E.
T_0	Temperatura ambiente
V_s	Volumen de cilindrada
V_f	Volumen final
T_c	Temperatura absoluta alcanzada después de la compresión
p_c	Presión de compresión
k	Exponente adiabático de la mezcla aire-combustible
Q_1	Calor en la combustión
C_v	Calor específico másico a volumen constante

T_z	Temperatura de combustión
p_f	Presión al final de escape
p_z	Presión calculada para el final de combustión
p''_z	Presión máxima del ciclo
k_1	Exponente adiabático de la mezcla de gases residuales
λ	Grado de elevación de la presión al suministrar el calor
T_e	Temperatura al final de escape
η_t	Rendimiento térmico del ciclo a volumen constante
q_1	Cantidad de calor suministrada en el proceso de compresión
$ q_2 $	Cantidad absoluta de calor desprendido en el proceso de compresión
C_p	Calor específico másico a presión constante
ρ	Grado de expansión preliminar al suministrar el calor en el proceso
ρ'	Grado de expansión preliminar al desprender el calor hacia la fuente fría
p_{mc}	Presión media del ciclo
p_0	Presión atmosférica
p_k	Presión a la salida del C.E.
β	Coeficiente de amortiguación de la velocidad de la carga en la sección del cilindro
ϵ_{ad}	Coeficiente de resistencia del sistema de admisión
ΔT	Incremento de temperatura de la carga fresca
T_r	Temperatura de los gases residuales
p_r	Presión de los gases residuales
T_a	Temperatura al final de admisión
n_1	Coeficiente politrópico de compresión
μ_r	Coeficiente real de variación molecular

α	Coeficiente de exceso de aire
μ_0	Coeficiente teórico de variación molecular
L_0	Cantidad de aire teórico necesaria para quemar 1mol de combustible gaseoso
p_b	Presión final de la expansión
n_2	Exponente politrópico de expansión
T_b	Temperatura al final de expansión
$(p_i)_{an}$	Presión media indicada del ciclo calculado
V_p	Velocidad media del pistón
n	Número de revoluciones del motor
P_m	Pérdidas mecánicas
η_m	Rendimiento mecánico
p_i	Presión media indicada
p_e	Presión media efectiva
g_i	Consumo efectivo indicado de combustible
g_e	Consumo específico efectivo de combustible
η_i	Rendimiento indicado del ciclo
η_e	Rendimiento efectivo del ciclo
ω_{ad}	Velocidad de la carga en la sección de la válvula
γ_r	Coeficiente de los gases residuales
ϕ_1	Coeficiente de recarga durante el cierre de los órganos de admisión
η_v	Rendimiento volumétrico
$(\Delta H_u)_{quim}$	Calor no desprendido por el efecto de la combustión incompleta
r_{co}	Calor específico molar del monóxido de carbono
r_{co_2}	Calor específico molar del dióxido de carbono
r_{H_2}	Calor específico molar del hidrógeno

r_{H_2O}	Calor específico molar del agua
r_{N_2}	Calor específico molar del nitrógeno
ξ_z	Coefficiente de aprovechamiento del calor de combustión
U''_c	Energía interna de los productos de combustión
V_H	Cilindrada
N_e	Potencia efectiva del motor
C.E.	Compresor Eléctrico
CH ₄	Metano
C ₂ H ₂	Etino o Acetileno
C ₂ H ₄	Etileno
C ₂ H ₆	Etano
C ₃ H ₈	Propano
C ₄ H ₁₀	Butano
C ₅ H ₁₂	Pentano
C	Carbono
H	Hidrógeno
O	Cantidad centesimal de oxígeno en peso por 1kg de combustible
S	Cantidad centesimal de azufre en peso por 1kg de combustible
CO	Monóxido de Carbono
H ₂	Hidrógeno
Cc	Consumo de combustible

CAPÍTULO 1

GENERALIDADES

1.1 Introducción

El automóvil en este tiempo ya no es un lujo sino una necesidad para el hombre en su vida cotidiana, se utiliza como un medio para ganarse el sustento de su familia o un medio de transporte para un paseo familiar, de algún modo existe la necesidad de economizar el gasto del combustible, por un lado los fabricantes aumentando la efectividad de inyección en la cámara de combustión aliándose con la electrónica y por otro los conductores buscando formas de reducir gastos económicos. Esto se debe a que el combustible es una energía no renovable. Otra forma de economizar es cambiar el tipo de combustible como ser el Gas Natural Vehicular (G.N.V.) ya que el precio de este es menor a la gasolina.

En Bolivia tenemos grandes reservas de gas natural y con el gobierno actual se aprobó el Decreto Supremo N° 1344, 10 de Septiembre de 2012 (ANEXO 1) donde indica que se puede transformar en forma gratuita los motores que utilizan gasolina a G.N.V.

En abril de 1992 se aprueba la LEY DEL MEDIO AMBIENTE, mediante Decreto Supremo N° 1333 (ANEXO 2) durante el gobierno del Lic. Jaime Paz Zamora, la cual nos indica; que se debe proteger y preservar el medio ambiente en nuestro territorio.

Los principales problemas que se tuvo con la conversión de vehículos a GNV es la disminución de potencia y rendimiento en el motor particularmente en las pendientes como en el caso de la ciudad de La Paz.

La desventaja de este combustible es que al ser la relación estequiométrica mayor en partes de aire que en la relación aire-gasolina, es decir que necesita idealmente 17.2 kg de aire para mezclarse con 1 kg de G.N.V., a comparación de la gasolina que idealmente necesita de 14.7 kg de aire para mezclarse con 1 kg de gasolina, al estar la ciudad de La Paz a una altura de 3600 m.s.n.m. hay menor cantidad de aire por unidad de volumen, por lo tanto existe una disminución en la potencia y que se hace mucho más notoria debido a la topografía que presenta la ciudad de La Paz.

Debido a esta falencia el planteamiento de este proyecto, es acerca de la forma de compensar la disminución de potencia de los motores que utilizan el G. N. V. como combustible en la ciudad de La Paz, mediante la introducción de mayor cantidad de aire al motor realizando la adaptación de un compresor eléctrico.

1.2 Antecedentes

Ya que en el país es permitida la conversión de automóviles a gasolina y diésel para que funcionen a G. N. V., existen muchas ventajas de dicha conversión, que son:

- El bajo costo de este combustible con respecto a la gasolina, se muestra en la tabla 1.

TABLA 1 Comparación de precios de gasolina, diésel y gas natural

COMBUSTIBLE	PRECIO UNIT.(Bs.)	CANT.
GASOLINA	3.74	1 lt
DIESEL	3,72	1 lt
GAS NATURAL	1,66	1 m ³

Fuente: Agencia Nacional de Hidrocarburos

- Al tener reservas de gas natural en el país, existe seguridad en el abastecimiento de este combustible y estabilidad en el precio del mismo.
- Menor contaminación del medio ambiente, debido a su composición química por ejemplo:
 - a) No contiene azufre ni plomo.
 - b) Reducción de entre el 20% y 30% en emisiones de dióxido de carbono a comparación de los vehículos que funcionan a gasolina y diésel.
 - c) Reducción de hasta 100% de emisiones de particulado.

Al contrario, también existen desventajas con la conversión de vehículos que utilizaban gasolina y ahora utilizarán G.N.V. como combustible, y una de ellas, por la cual muchas personas no realizaron dicha conversión a sus motores es, la pérdida de potencia.

Esta desventaja es el motivo principal de este proyecto, llegar a solucionar esta deficiencia para que estos vehículos tengan una óptima potencia y buen desempeño en la ciudad de La Paz, obteniendo el beneficio de reducir la contaminación del medio ambiente, ya que al realizarse la combustión el G.N.V. con el aire, el porcentaje de gases contaminantes disminuirá en comparación de un motor que funciona con gasolina.

1.3 Planteamiento del problema

Al convertir un vehículo a G.N.V. existen pérdidas notables con respecto a la potencia específicamente en La Paz por su altitud y la pendiente que existe.

En Bolivia se trata de reducir el problema de las pérdidas de potencia, al convertir un vehículo al uso de G.N.V., con este objetivo se harán las investigaciones teóricas, prácticas para implementar un compresor eléctrico de

aire para compensar la diferencia de combustión requerida entre un motor a gasolina con respecto a GNV.

Las ventajas que ofrece la instalación del gas natural para vehículos se refleja tanto en el punto de vista económico, ambiental, seguro y el práctico uso de este sistema.

El motor aspirado no tiene la capacidad de absorber rápidamente un mayor volumen de aire para lograr una mezcla ideal y que el motor aumente sus revoluciones rápidamente.

En el país es permitida la conversión de automóviles a gasolina y diésel para que funcionen a G.N.V., existen muchas ventajas de dicha conversión, que son:

- El bajo costo de este combustible con respecto a la gasolina
- Al tener altas reservas de gas natural en el país, existe seguridad en el abastecimiento de este combustible y estabilidad en el precio del mismo.
- Menor contaminación del medio ambiente debido a su composición química.

1.4 Descripción del Objeto de estudio

La razón del tema, es compensar la potencia del motor que funciona a G.N.V., normalmente se reduce debido a la menor presión atmosférica de aire que existe a mayores alturas, con la ayuda de un compresor eléctrico que realizará el trabajo de introducir gran flujo de aire a presión al múltiple de admisión para que el motor absorba más fácilmente la cantidad de aire que requiere para una buena combustión.

El sobre alimentador eléctrico que se utilizará en este caso consta de un compresor que va acoplado a un motor eléctrico por esto se lo conoce también con el nombre de “compresor eléctrico (C.E.)” el cual tiene por objetivo absorber

el aire que sea posible e introducirlo al múltiple de admisión del motor después de que este haya pasado por un filtro de aire.

El compresor eléctrico funcionará únicamente cuando el conductor crea necesario, específicamente en pendientes como el caso La Paz-El Alto, su activación estará controlada por un SWITCH instalado en el tablero de dicho vehículo, y proporciona un caudal constante de aire en todo momento.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo General

Realizar un análisis económico y de potencia de un motor TOYOTA 7K a Gasolina y convertido a Gas Natural incorporando un compresor eléctrico (C.E.) para mejorar el rendimiento en la ciudad de La Paz.

1.5.2 Objetivos específicos

- Realizar la recolección de datos necesario acerca de G.N.V., compresores eléctricos, características de motores que funciona a G.N.V. en la ciudad de La Paz.
- Realizar la adaptación del compresor eléctrico para compensar la deficiencia de presión en el aire que existe en la ciudad de La Paz a causa de la altura, pruebas con el dinamómetro TM900.
- Evaluar la variación de potencia con la implementación del C.E. realizando pruebas en carretera.
- Realizar una tabla comparativa de potencia y torque obtenido del minibús Toyota Townace motor 7k con la ayuda de un dinamómetro, donde en una primera se realizará con gasolina, y luego con el kit de G.N.V. y finalmente con la adaptación del compresor eléctrico.
- Realizar una comparación económica usando gasolina y gas natural.

1.6 Justificación

Con los datos obtenidos podremos mejorar el rendimiento del motor y además darle confianza a la ciudadanía en poder convertir sus vehículos a G.N.V. con la implementación de un accesorio como es el compresor eléctrico.

Después de efectuar estos análisis se podrá recomendar a los propietarios que puedan convertir su vehículo a G.N.V.

1.6.1 Justificación Económica

Debido a que Bolivia no es un país rico en reservas de petróleo que es la materia prima que se utiliza para producir la gasolina el precio de éste es alto a comparación del G.N.V., y aun teniendo en cuenta que este combustible está subvencionado por el estado Boliviano, por otra parte, al tener nuestro país grandes reservas de G. N.V., los precios de éste son muy favorables y el ahorro de cada propietario de un vehículo que funcione a G.N.V. será considerable, e incluso el ahorro del estado Boliviano.

Económicamente se comprobó el ahorro del 60% que existe cuando un motor funciona a G.N.V.¹ y no a gasolina, pero la desventaja por la cual muchos propietarios aún no utilizan este tipo de combustible más barato es la pérdida de potencia en sus vehículos, que es lo que se soluciona con la adaptación del C.E.

1.6.2 Justificación Técnica

¹ Rodas Gonzales D.R. (2007). Taller de conversión de motores a gnv. Oruro, Bolivia.

Al existir una menor cantidad de aire en la ciudad de La Paz, hay una pérdida de potencia en los motores. Por tanto, la adaptación de un C.E. para motores que funcionan con G.N.V. aumentará el caudal de aire para conseguir un eficiente rendimiento.

Es importante recordar que la potencia de un motor a gas natural decrecerá alrededor de 4 a 12 % porque el gas ocupa alrededor del 12 % del volumen de la admisión², lo que no pasa con combustibles líquidos, por lo tanto, se tendrá menos aire que también se espera compensar en cierto porcentaje con la adaptación del C.E.

1.6.3 Justificación Social

Viendo la inconformidad de los usuarios de los vehículos convertidos a gas natural por la frecuente pérdida de potencia de los vehículos, se decide analizar el problema, para poder acondicionar el mecanismo y minimizar pérdidas de combustible y potencia en los vehículos.

1.6.4 Justificación Ambiental

El gas natural es el combustible alternativo que tiene la combustión más limpia. Las emisiones de la descarga de vehículos que funcionan con G.N.V. son más bajas que las de vehículos a gasolina, con el proyecto se incrementará la cantidad de combustible a quemar pero no se incrementará la contaminación.

² Fenalco.(2016). Expomotor. Colombia.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO-REFERENCIAL

2.1. Antecedentes del gas natural

El Gas Natural es una mezcla de hidrocarburos gaseosos que incluye al Metano, (CH₄) en mayor proporción. El Gas Natural se obtiene de los pozos de petróleo en forma autónoma, ya que el mismo es expulsado hacia la superficie, por la presión reinante en la cuenca petrolífera que en algunos casos llega a superar los 100 bar. El mismo que es conocido como gas natural de petróleo, luego es canalizado hacia las plantas de tratamiento y compresión donde se recuperan los hidrocarburos pesados.

2.1.1. Reservas del gas natural

Las reservas del gas natural son abundantes, hasta el momento Bolivia cuenta con 11 TCF, según la publicación de Y.P.F.B. del año 2016.³

2.1.2. Gas de yacimientos gasíferos

Estos gases solo se obtienen de yacimientos gasíferos que se encuentran en grandes cantidades y a elevadas presiones.

2.1.3. Gas de yacimientos petrolíferos

Estos pueden encontrarse en estado libre por encima del petróleo formado, lo que se denomina “gorro de gas” o bien pueden encontrarse saturados con el petróleo.

³ Yacimientos Petrolíferos Fiscales Bolivianos. (2016). Reservas certificadas de gas en Bolivia.

2.1.4. Propiedades físico - químicas del gas natural

Para la utilización del gas natural como combustible, estos deben poseer algunas características para una mejor combustión, estas son: temperatura de combustión, poder calorífico, densidad, volatilidad y otros.

2.1.4.1. Temperatura de combustión

Para que se produzca la combustión es necesaria una temperatura adecuada para el inicio de la reacción, esta temperatura es una característica de cada gas y se la llama temperatura de combustión o temperatura de encendido.

TABLA 2 Temperatura de encendido de algunos combustibles

COMBUSTIBLE	TEMPERATURA DE COMBUSTIÓN °C
GLP	365
GASOLINA	456
DIESEL	700-900
GAS NATURAL	600

Fuente: Superintendencia de Hidrocarburos

2.1.4.2. Densidad

En La tabla 3 se puede ver que si bien las unidades de volumen no son comparables: el G.N.V. bajo todo punto de vista aporta menor energía calorífica que la gasolina o el Diésel. La densidad del Gas es menor a la densidad del aire, lo que nos muestra la fácil difusión hacia el medio ambiente.

TABLA 3 Densidad de algunos combustibles

ELEMENTO	DENSIDAD (15,6°C)
GLP	550 Kg/m ³
GASOLINA	739 Kg/m ³
DIESEL	860 Kg/m ³
GAS NATURAL	0,8 Kg/m ³

Fuente: Mantilla Gonzales J.M.(2008). Ingeniería e investigación. Bogotá, Colombia.

2.1.4.3. Color y olor

Tanto el gas natural y el gas licuado de petróleo son incoloros e inodoros, razón por lo que a estos combustibles se les añaden compuestos químicos, como el etil mercaptano, sulfuro de di-amil y otros.

2.1.4.4. Resistencia a la detonación

La detonación es la explosión de la mezcla aire-combustible sin la necesidad que salte la chispa debido a las altas temperaturas, la cual es incontrolable y de muy alta velocidad (mayor a la velocidad del sonido), considerándose dos índices:

a) Índice de Octano:

Nos permite evaluar la resistencia a la detonación, cuanto más alto sea este número, entonces el combustible será más resistente a la detonación. El octanaje es una limitante para la relación de compresión, puesto que el índice de octano nos indica cuanto se puede comprimir la mezcla sin que esta detone.

b) Índice de Cetano:

Guarda relación con el tiempo que transcurre entre la inyección del carburante y el comienzo de su combustión, denominado "Intervalo de encendido". Una combustión de calidad ocurre cuando se produce una ignición rápida seguida de un quemado total y uniforme del carburante.

Cuanto más elevado es el número de cetano, menor es el retraso de la ignición y mejor es la calidad de combustión. Por el contrario, aquellos carburantes con un bajo número de cetano requieren mayor tiempo para que ocurra la ignición y después queman muy rápidamente, produciendo altos índices de elevación de presión.

Si el número de cetano es demasiado bajo, la combustión es inadecuada y da lugar a ruido excesivo, aumento de las emisiones, reducción en el rendimiento del vehículo y aumento de la fatiga del motor.

TABLA 4 Número de octano y cetano

COMBUSTIBLE	NÚMERO DE OCTANO	NÚMERO DE CETANO
GLP	90 - 120	20
GASOLINA	80 - 95	30 - 34
DIESEL	30 - 34	40 - 60
GAS NATURAL	130	10

Fuente: Manual Dinamotor

2.1.4.5. Relación de compresión

La relación de compresión en un motor de combustión interna es el número que permite medir la proporción en que se ha comprimido la mezcla de aire-combustible (motor otto) dentro de la cámara de combustión de un cilindro.

En la tabla 5 se puede observar algunos valores de los motores de combustión interna. Para calcular su valor teórico se utiliza la fórmula siguiente:

$$\varepsilon = \frac{V_h + V_c}{V_c} \quad (1)$$

TABLA 5 Relación de compresión de algunos combustibles

COMBUSTIBLE	RELACIÓN DE COMPRESIÓN
GASOLINA	8.5-9:1
DIESEL	14-25:1
G.N.C.	12-14:1

Fuente: M.S. Jívaj, Motores del Automóvil

2.1.4.6. Poder calorífico del gas natural

Se define como la cantidad de calor que produce al combustionar completamente una cantidad conocida de combustible. El poder calorífico superior “Ho” es la cantidad de energía que libera el gas suponiendo que el agua que resulta de la combustión se encuentra en estado líquido en los productos de la combustión.

El poder calorífico Inferior “Hu” es la energía que libera el gas, suponiendo que el agua que resulta de la combustión se encuentra en estado de vapor en los productos de la combustión. Para un motor de combustión interna, es preferible realizar los cálculos con el poder calorífico inferior “Hu”, ya que el poder calorífico superior “Ho” incluye el calor latente que se entrega para la reacción química de elementos inertes que están presentes en el combustible y/o aire.

Si se conoce la composición del combustible, se puede calcular aproximadamente el poder calorífico inferior, a través de la ecuación de Mendeléiev:

Para combustible Líquido como la gasolina $\left(\frac{J}{kg}\right)$

$$Hu = [34,013C + 125,6H - 10,9(O - S) - 2,512(9H + W)] \cdot 10^6 \quad (2)$$

Para Combustible gaseoso como el Gas Natural $\left(\frac{J}{m^3}\right)$

$$Hu = [12,8CO + 10,8H_2 + 358CH_4 + 56C_2H_2 + 59,5C_2H_4 + 63,4C_2H_6 + 91C_3H_8 + 120C_4H_{10} + 144C_5H_{12}] \quad (3)$$

Donde:

CO, H₂, etc. Son las fracciones volumétricas de los componentes de la mezcla gaseosa. En la tabla 6, se mencionan algunos valores.

TABLA 6 Poder calorífico de algunos combustibles

COMBUSTIBLE	PODER CALORÍFICO
GASOLINA	44,0 MJ/Kg
GAS NATURAL	38,75 MJ/Kg
DIESEL	42,5 MJ/Kg

Fuente: Manual Dinamotor

En la tabla 7 se muestra un resumen de las propiedades físico-químicas de los combustibles más usados en la actualidad.

TABLA 7 Comparación de las propiedades de los combustibles

PROPIEDADES	GASOLINA	GNV
Fórmula química	C ₈ H ₁₈	CH ₄
Temperatura de combustión (°C)	456	600
Densidad (Kg/m ³) a 15,6 °C	739	0,8
Límite de inflamabilidad % de gas en el aire	0.6 – 0.8	5-17
Número de octano (-)	80 -95	130
Relación de compresión (-)	8.5:1	12:1
Relación aire-combustible (kg aire/kg combustible)	14.7:1	17,2:1
Velocidad de llama (m/s)	0.83	0.29
Poder calorífico(MJ/Kg)	44	38,75
Temperatura de ebullición (°C)	27	-161
Presión de almacenaje (BAR)	1	200
Rango mezcla explosiva (%)	1-16	4-14
Equivalencia energética	1,10lt	1,0m ³

Fuente: Alexander Ali R. G. (2007) Estudio de factibilidad para la creación de una empresa que preste servicios de conversión a gnv. Bogota. Colombia. Repository.

2.1.5. Comportamiento de los Vehículos a G.N.V. en grandes altitudes

Existe un problema con el carburador mecánico estándar de gasolina cuando se conduce a grandes alturas, donde la densidad del aire es más baja, y es que el motor opera con una mezcla progresivamente más rica. La potencia disminuye tanto porque el motor está aspirando menos oxígeno (debido a la densidad decreciente del aire con la altura) como también porque un carburador actuado por venturí proporcionará una mezcla más rica, a medida que disminuye la densidad del aire. Una conversión a gas natural, usando un carburador mecánico típico con un dosificador tipo venturí tendrá el mismo problema, de modo que en este sentido la situación no será ni mejor ni peor, pero es importante recordar que la potencia de un motor a gas natural también decrecerá alrededor de 4 a 12 %⁴ porque el gas ocupa alrededor del 12 % del volumen de la admisión y, por lo tanto, se tendrá menos aire u oxígeno.

Como se observó anteriormente este combustible nos da muchos beneficios, además de que el gas natural vehicular aporta considerables beneficios medioambientales respecto al uso de combustibles tradicionales como la gasolina, porque reduce las emisiones de diversos gases contaminantes.

Debido a estos procesos la adaptación de un compresor eléctrico del tipo eléctrico para un motor dual en la ciudad de La Paz es muy necesario ya que los beneficios de tener un vehículo con motor dual que cuando funcione a gas natural no disminuya su rendimiento, ya que el costo de este combustible es mucho más bajo los beneficiarios serán principalmente las personas que tienen como herramienta de trabajo a sus vehículos ya que gastan un alto porcentaje de sus ganancias en el combustible, el ahorro que realizarían sería considerable.

⁴ Fenalco. (2016). Expomotor. Colombia.

2.2 Ciclo teórico de los motores de explosión (Ciclo Otto).

El diagrama correspondiente a este ciclo se cumple así según la fig.1

1ro. Aspiración de mezcla gaseosa aire/combustible La línea (1) (2) es una transformación a presión constante (isobárico), por lo tanto:

p_a = presión al final de admisión (bar)

$T_k = 273,15 + T_a$ = temperatura ambiente (K)

V_c = volumen de la cámara de compresión (cm^3)

V_h = volumen de cilindrada (cm^3)

$V_f = V_c + V_h$ = volumen final (cm^3)

2do. Compresión de la mezcla. La línea (2) (3) es una compresión adiabática.

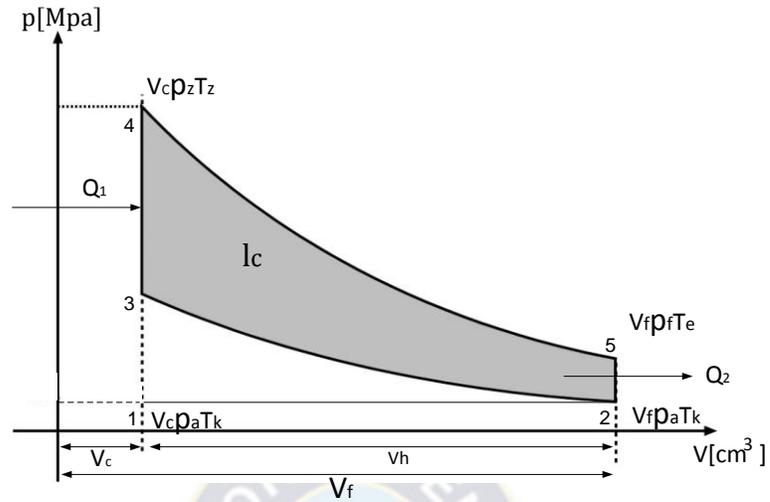
Para el punto (3) se tiene:

V_c = Volumen de la cámara de compresión (cm^3)

T_c = Temperatura absoluta alcanzada después de la compresión (K)

p_c = Presión de compresión (Mpa)

Figura 1 Ciclo teórico de los motores de explosión



Fuente: M.S. Jovaj, Motores del Automóvil

Como es una transformación adiabática en la que el aire entra en proporción preponderante, rige la ecuación:

$$p_c (V_c)^k = p_a (V_f)^k \quad (4)$$

De la presión de compresión resulta la fórmula:

$$p_c = p_a \left(\frac{V_f}{V_c} \right)^k \quad [\text{Mpa}] \quad (5)$$

y la temperatura de compresión, fórmula

$$T_c = T_k \left(\frac{V_f}{V_c} \right)^{k-1} \quad [\text{K}] \quad (6)$$

Donde: $k=1,30$ a $1,37 \cong$

k : Exponente adiabático de la mezcla aire-combustible

3ro. Encendido, explosión. La explosión es sólo una combustión rapidísima y la transformación es a volumen constante. Durante ella la presión sube hasta p_z ; del mismo modo la temperatura, hasta T_z .

Durante esta fase, la combustión aporta calor, según la fórmula:

$$Q_1 = C_v(T_z - T_c)[kJ] \quad (7)$$

4to. Expansión de los gases de combustión. La curva (4) (5) es una expansión adiabática que parte de un estado inicial (4) con V_c p_z T_z y alcanza los valores V_f , p_e , T_e por lo tanto, según la fórmula

$$p_z(V_c)^{k_1} = p_f(V_f)^{k_1} \quad (8)$$

Donde

$$p_f = p_z \left(\frac{V_c}{V_f}\right)^{k_1} \text{ [Mpa]} \quad (9)$$

$$\lambda = \frac{p_z}{p_c} \text{ Grado de elevación de la presión al suministrar el calor}$$

La temperatura final resulta, por analogía con la ecuación

$$T_e = T_z \left(\frac{V_c}{V_f}\right)^{k_1-1} \text{ [K]} \quad (10)$$

Donde $k_1 = 1,23$ a $1.30 \sim$

k_1 : Exponente adiabático de la mezcla de gases residuales

5to. Escape (a volumen constante). En esta fase la presión p_e desciende hasta la presión atmosférica p_a y la temperatura desde T_e hasta T_k por lo tanto, existe una pérdida de calor desde el interior del cilindro al ambiente externo.

El punto (2) vuelve a tener: p_a , V_f , T_k

6to. Escape (a presión constante). En esta fase se supone que la presión y la temperatura son constantes; solamente varía el volumen, con lo que se llega desde (2) a (1) al estado inicial del ciclo.

2.2.1 Rendimiento térmico del ciclo a volumen constante.⁵

En concordancia con la segunda ley de la termodinámica el rendimiento térmico para un ciclo teórico, que se realiza con 1kg de fluido operante es:

$$\eta_t = 1 - \frac{|q_2|}{q_1} = \frac{q_1 - |q_2|}{q_1} \quad (11)$$

Donde $|q_2|$ es la magnitud absoluta de la cantidad de calor desprendida a la fuente fría durante el ciclo, en J/kg; q_1 , la cantidad de calor suministrada durante el ciclo en J/Kg.

La cantidad de calor suministrada al ciclo (J/Kg) para el caso en que el trabajo lo efectúa 1Kg del fluido operante

$$q_1 = c_v(T_{z'} - T_c) + c_p(T_z - T_{z'}) \text{ [J/kg]} \quad (12)$$

La cantidad absoluta de calor desprendido es

$$|q_2| = c_v(T_b - T_f) + c_p(T_f - T_a) \quad (13)$$

Entonces el rendimiento térmico del ciclo resulta

$$\eta_t = 1 - \frac{|q_2|}{q_1} = 1 - \frac{c_v[(T_b - T_f) + k(T_f - T_a)]}{c_v[(T_{z'} - T_c) + k(T_z - T_{z'})]} \quad (14)$$

Donde

$$\eta_t = 1 - \frac{f_{a'afbb'}}{f_{a'acz'zbb'}} \quad (15)$$

⁵ M.S. Jóvaj, Motores del Automóvil

Entonces, después de las correspondientes transformaciones, tomando en consideración las magnitudes adimensionales y reemplazando en la ecuación (14) obtendremos

$$\eta_t = 1 - \frac{\lambda \rho \left(\frac{\rho}{\rho'}\right)^{k-1} - \rho' + k(\rho' - 1)}{\varepsilon^{k-1} [\lambda - 1 + k\lambda(\rho - 1)]} \quad (16)$$

O bien

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}} \frac{\rho' \left[\lambda \left(\frac{\rho}{\rho'}\right)^k - 1 \right] + k(\rho' - 1)}{\lambda - 1 + k\lambda(\rho - 1)} \quad (17)$$

2.2.2 La presión media del ciclo

La presión media del ciclo generalizado es:

$$p_{mc} = \frac{p_a}{k-1} \frac{\varepsilon^k}{\varepsilon-1} \eta_t (\lambda - 1) \text{ [Mpa]} \quad (18)$$

2.2.3 Reacciones químicas del combustible

La cantidad teórica de aire necesaria para la combustión de 1kg de combustible

$$l_0 = \frac{1}{0,23} \left(\frac{8}{3} C + 8H - O_c \right) \text{ [kg]} \quad (19)$$

$$L_0 = \frac{1}{0,21} \left(\frac{C}{12} + \frac{H}{4} + \frac{O_c}{32} \right) \text{ [kmol]} \quad (20)$$

La cantidad real de aire que participara en la combustión de 1kg de combustible

$$l = \alpha \cdot l_0 \text{ [kg]} \quad (21)$$

$$L = \alpha \cdot L_0 \text{ [kmol]} \quad (22)$$

La cantidad total de mezcla fresca

$$G_1 = 1 + \alpha \cdot l_0 \text{ [kg]} \quad (23)$$

$$M_1 = \alpha \cdot L_0 + \frac{1}{\mu_c} \text{ [kmol]} \quad (24)$$

La cantidad total de los productos de combustible

$$M_2 = \frac{C}{12} + \frac{H}{2} + 0,79\alpha L_0 \quad \text{Para } \alpha < 1 \quad (25)$$

El incremento de volumen

$$\Delta M = M_2 - M_1 \text{ [kmol]} \quad (26)$$

Coefficiente teórico de variación molecular

$$\mu_0 = \frac{M_2}{M_1} [-] \quad (27)$$

Densidad de la carga de admisión

$$R = \frac{8314}{\mu_a} \quad (28)$$

$$\rho_0 = \frac{p_k}{R \cdot T_k} \cdot 10^6 \text{ [k/m}^3\text{]} \quad (29)$$

2.2.4 Ciclo real en motores de explosión

El ciclo real difiere del diagrama teórico por distintas causas:

Proceso de admisión

Para realizar el ciclo de trabajo en un motor de combustión interna a pistón, es preciso expulsar del cilindro los productos de la combustión formados en el ciclo anterior e introducir en él la carga fresca del aire o de mezcla aire-combustible. Estos procesos (admisión y escape) están vinculados entre sí y en función del

número de tiempos del motor, así como del procedimiento de admisión, en mayor o menor medida, transcurren simultáneamente.

Parámetros del proceso de admisión

La cantidad de carga fresca que ingresa en el proceso de admisión, es decir el llenado del cilindro, depende de los siguientes factores:

- De la resistencia hidráulica en el sistema admisión, que hace disminuir la presión de la carga suministrada en la magnitud Δp .
- Del calentamiento de la carga por las superficies de las paredes del sistema de admisión y del espacio interior del cilindro en la magnitud ΔT , como consecuencia del cual disminuye la densidad de la carga introducida.

La existencia de resistencia en el sistema de admisión conduce a que la cantidad de carga fresca que entra en el cilindro del motor, disminuye debido al decrecimiento de la densidad de carga. La influencia de las pérdidas hidráulicas sobre el llenado puede determinarse si se conocen las pérdidas de presión Δp en el sistema de admisión o la presión en el cilindro p_a en el instante en que se supone finalizado el proceso de admisión. Se puede determinar aproximadamente la presión dentro del cilindro durante la admisión, considerando este proceso como estacionario. Utilizando la ecuación:

$$p_a = p_k - (\beta^2 + \xi_{ad}) \cdot \frac{(\omega_{ad})^2}{2} \cdot \rho_k \cdot 10^{-6} \text{ [Mpa]} \quad (30)$$

Al examinar el escape puede admitirse que el proceso en el motor de cuatro tiempos termina en el P.M.S., entonces el coeficiente de los gases residuales se puede determinar por la siguiente fórmula

$$\gamma_r = \frac{T_k + \Delta T}{T_r} \cdot \frac{p_r}{\varepsilon \cdot p_a - p_r} \quad (31)$$

Para determinar la temperatura al final de admisión (T_a), se puede determinar por la siguiente fórmula

$$T_a = \frac{T_k + \Delta T + \gamma_r \cdot T_r}{1 + \gamma_r} \text{ [K]} \quad (32)$$

La magnitud de M_1 puede ser en el caso general mayor M_{1a} , ya que desde el P.M.I. hasta que se cierran los órganos de admisión es posible un llenado adicional, considerado por el coeficiente de recarga:

$$\varphi_1 = \frac{M_1 + M_r}{M_{1a} + M_r} \quad (33)$$

Para determinar el rendimiento volumétrico se podrá calcular con la siguiente fórmula asumiendo que $\varphi_1 = 1$

$$\eta_v = \varphi_1 \cdot \frac{\varepsilon}{\varepsilon - 1} \cdot \frac{p_a}{p_k} \cdot \frac{T_k}{T_a(1 + \gamma_r)} \quad (34)$$

Proceso de compresión

En el proceso de compresión se elevan la temperatura y la presión de la mezcla. Los valores de estos parámetros al finalizar el proceso dependen fundamentalmente de los parámetros termodinámicos del ambiente al comenzar la compresión, de la relación de compresión ε y del carácter que tenga el intercambio de calor.

Parámetros al final de la compresión

En este punto es un proceso politrópico variable. Se ha adoptado calcular la temperatura y la presión al final de la compresión a partir del valor medio de la politrópica, considerándolo constante para todo el proceso. Asumiendo que el comienzo de la compresión coincide con el P.M.I., obtenemos

$$p_c = p_a \cdot \varepsilon^{n_1} \text{ [Mpa]} \quad (35)$$

$$T_c = T_a \cdot \varepsilon^{n_1 - 1} \text{ [K]} \quad (36)$$

Proceso de combustión

La combustión es un proceso físico-químico complejo; su surgimiento, desarrollo y plenitud quedan definidos por las particularidades y las velocidades de las reacciones químicas, por las condiciones de transferencia de calor y masa en la zona de la llama, así como por el traspaso de calor a las paredes.

Los parámetros al final del proceso de combustión. El coeficiente real de variación molecular es

$$\mu_r = \frac{\mu_0 + \gamma_r}{1 + \gamma_r} \quad (37)$$

Se puede calcular la fracción sumaria del calor que no se desprendió

$$(\Delta H_u)_{\text{quim}} = A(1 - \alpha) \cdot L_0 \quad (38)$$

Donde $(\Delta H_u)_{\text{quim}}$ se expresa en J/kg, para $A = 116 \cdot 10^6$

Para determinar la combustión para los motores a explosión se utilizara la siguiente fórmula

$$\mu_c''_v = r_{\text{CO}} + r_{\text{CO}_2} + r_{\text{H}_2} + r_{\text{H}_2\text{O}} + r_{\text{N}_2} \quad (39)$$

La energía interna de 1 mol de productos de combustión al final del proceso de compresión es

$$U''_c = (\mu_{cv})''_c \cdot t_c \text{ [KJ/kmol]} \quad (40)$$

$$t_c = T_c - 273 \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (41)$$

$$t_z = \frac{\mu_z}{\mu_{cv}} \text{ [}^\circ\text{C]}^7 \quad (42)$$

La presión calculada para el final de la combustión p_z se determina mediante la ecuación

$$p_z = \mu_r \cdot \frac{T_z}{T_c} \cdot p_c \text{ [Mpa]} \quad (43)$$

La presión redondeada

$$p''_z = 0,85 \cdot p_z \text{ [Mpa]} \quad (44)$$

Parámetros del proceso de expansión. Asumimos el exponente politrópico de expansión $n_2 = 1,24$ según datos obtenidos de laboratorio del libro motores del automóvil M.S. Jóvaj. La presión al final de la expansión p_b se halla mediante la ecuación

$$p_b = \frac{p_z}{\varepsilon^{n_2}} \text{ [Mpa]} \quad (45)$$

⁶ Anexo 3

⁷ Anexo 4

La temperatura al final de la expansión según la ecuación

$$T_b = \frac{T_z}{\varepsilon^{n_2-1}} \text{ [K]} \quad (46)$$

La presión media indicada del ciclo calculado según la ecuación

$$(p_i)_{an} = p_a \cdot \frac{\varepsilon^{n_1}}{\varepsilon-1} \left[\frac{\lambda}{n_2-1} \left(1 - \frac{1}{\varepsilon^{n_2-1}} \right) - \frac{1}{n_1-1} \left(1 - \frac{1}{\varepsilon^{n_1-1}} \right) \right] \text{ [Mpa]} \quad (47)$$

Presión media indicada real

$$p_i = 0,97 \cdot (p_i)_{an} \quad (48)$$

Parámetros principales del ciclo

Velocidad media del pistón

$$v_p = \frac{S \cdot n}{30} \left[\frac{\text{m}}{\text{min}} \right] \quad (49)$$

Pérdidas mecánicas

$$p_m = A + B \cdot v_p \text{ [Mpa]}^8 \quad (50)$$

Rendimiento mecánico

$$\eta_m = \frac{p_e}{p_i} \quad (51)$$

Presión media efectiva

$$p_e = p_i - p_m \text{ [Mpa]} \quad (52)$$

Consumo específico indicado del combustible

$$g_i = 3600 \cdot \frac{\eta_v \cdot \rho_0}{(p_i)_{an} \cdot \alpha \cdot l_0} \text{ [g/kWh]} \quad (53)$$

Consumo específico efectivo del combustible

$$g_e = \frac{g_i}{\eta_m} \text{ [kWh]} \quad (54)$$

El rendimiento indicado del ciclo

$$\eta_i = \frac{3600}{g_i \cdot H_u} \quad (55)$$

El rendimiento efectivo del ciclo

⁸ Anexo 5

$$\eta_e = \eta_i \cdot \eta_m \quad (56)$$

Potencia del motor

$$N_e = \frac{p_e \cdot V_H \cdot \text{rpm}}{120} \text{ [kW]} \quad (57)$$

2.3 Sobrealimentación de motores.

2.3.1. Generalidades

Últimamente, debido al incremento de la capacidad de carga y de la velocidad de los vehículos, es necesaria la elevación de la potencia nominal de sus motores sin aumentar considerablemente las dimensiones máximas ni la masa.

La explotación de los vehículos en condiciones montañosas, a diferentes alturas sobre el nivel del mar, conduce a la necesidad de buscar vías para conservar la potencia del motor a pesar del descenso de la densidad del aire atmosférico. La especialización del equipo e instrumentos de medición de la producción en serie permiten organizar la producción de motores con potencias nominales a base de una serie unificada, cuando en todos los modelos. Las dimensiones de los cilindros; la carrera del pistón se mantienen constantes. La solución de estos problemas se reduce a la búsqueda de procedimientos para elevar considerablemente la potencia por unidad de cilindrada.

La potencia efectiva por unidad de cilindrada del motor queda definida por la ecuación:

$$N_1 = \left(\frac{n}{30\tau} \cdot \frac{H_u}{l_0} \cdot \frac{\eta_i}{\alpha} \right) \eta_v \cdot \eta_m \cdot \rho_k \quad (58)$$

Para la cilindrada dada del motor la potencia puede elevarse incrementando la frecuencia de rotación no la presión media efectiva P_e . Las posibilidades del primer procedimiento quedan limitadas por la velocidad media límite del pistón (partiendo de la condición de durabilidad de la estructura).

Examinemos las posibilidades que existen para elevar la presión media efectiva.

$$P_e = \left(\frac{H_u}{l_0} \cdot \frac{\eta_i}{\alpha} \right) \eta_v \cdot \eta_m \cdot \rho_k \quad (59)$$

La magnitud de la relación $\frac{\eta_i}{\alpha}$ se determina por el proceso indicado en el cilindro.

Para el nivel actual de perfección del proceso esta magnitud puede seguir creciendo solamente en un pequeño porcentaje y no puede ejercer gran influencia sobre P_e

La magnitud de η_v también ha alcanzado elevados valores. Se sigue trabajando con el fin de disminuir las pérdidas mecánicas, pero también el perfeccionamiento de este parámetro no puede dar un considerable incremento de P_e .

La densidad de la carga ρ_k , puede considerablemente incrementarse elevando P_k del aire o mezcla que ingresa al cilindro. Este procedimiento se denomina sobrealimentación del motor. Proporcionalmente a P_k , crece P_e y, por consiguiente, la potencia cilindrada del motor.

Al emplear la sobrealimentación, las pérdidas por fricción son mayores en comparación con los valores de las mismas que se obtienen cuando el motor funciona sin sobrealimentación, pero a consecuencia de la elevación de la potencia efectiva el rendimiento mecánico, del motor sobrealimentado aumenta.

La elevación de la presión del aire se realiza en un compresor, que puede accionarse por el motor. A pesar del consumo de potencia se gasta en hacer trabajar el compresor, la sobrealimentación considerablemente incrementa la potencia efectiva del motor, lo que puede explicarse de la manera siguiente. Se sabe que el trabajo que se gasta en la compresión o se obtiene de la expansión del gas, es proporcional a su temperatura inicial. En el compresor el aire se comprime siendo relativamente baja la temperatura, mientras que en el cilindro del motor el mismo expande a alta temperatura y, por lo tanto, produce mayor trabajo que aquella que se gastó en la compresión.

La elevación de la potencia del motor como consecuencia de la sobrealimentación se evalúa por el grado de sobrealimentación.

$$\bar{P}_e = \frac{P_{es}}{P_e} \quad (60)$$

Donde P_{es} es la presión media efectiva obtenida en el motor sobrealimentado.

En caso de la sobrealimentación se elevan la presión y la temperatura del aire al final de la compresión. Esto limita el grado de sobrealimentación en los motores de carburador debido a la aparición de la detonación. La sobrealimentación puede utilizarse en los motores de automóviles de encendido por chispa al funcionar estos en condiciones montañosas, con el fin de conservar la potencia nominal.

La potencia nominal del motor de encendido por chispa, al aplicar la sobrealimentación, puede elevarse combinando la relación de compresión, la presión de sobrealimentación y el coeficiente de exceso de aire, de manera que sea posible alcanzar una elevada potencia al utilizar un combustible de cierto número de octano asignado, sin que aparezca la combustión detonante.

2.4 Características técnicas del dinamómetro portátil TM 900

2.4.1 Presentación

El TM 900 es un dispositivo que mide diversos parámetros de rendimiento de un vehículo a través de su movimiento. Se utiliza un acelerómetro interno y un sensor de velocidad externa para calcular el tiempo, aceleración, velocidad y distancia recorrida.

El TM 900 también utiliza sensores de temperatura (interna y externa para el dispositivo en el colector de admisión) y un sensor de presión barométrica para ajustar la cantidad de potencia del motor sobre la base de las normas DIN70020 y SAEJ1349.

DIN70020: Ha sido el procedimiento tradicionalmente utilizado por los motores para definir la potencia neta en utilización continua. A partir de ella fue elaborada la norma ISO 2288, ya anulada.

SAE J1349: Esta norma americana es prácticamente equivalente a la ECE R24, ya que incluye todos los elementos necesarios en el motor, como el ventilador y el radiador, ofreciendo por tanto un valor de potencia neta.⁹

El TM 900 donde de una pantalla gráfica de color azul que permite la configuración del dispositivo y la pantalla gráfica de los resultados. También tiene

un teclado con 11 teclas de navegación y un botón externo (trigger) que ayuda a hacer algunas pruebas. En la parte superior hay tres LEDs que indican de izquierda a derecha: equipo encendido, la actividad del sensor de rotación, la actividad del sensor de velocidad. Toda la información se guarda en una tarjeta de memoria SD Card que se puede acceder de cualquier computadora en el sistema operativo Windows.

⁹Márquez L. (2005) La potencia de los motores. España. Agro técnica.

El equipo incluye un propio software para ver los resultados detallados de la computadora. Los resultados de las pruebas se pueden transferir a la computadora a través de la tarjeta SD o de la comunicación por el USB. Este software también permite el registro del vehículo y de los clientes, permitiendo la comparación de las cuatro pruebas de forma simultánea.

2.4.2 Funcionalidades del TM 900

- Funciones disponibles en el aparato
- Potencia del motor
- Potencia en la rueda
- Aceleración (tiempo y distancia)
- Enfreno (tiempo, distancia y nivel de desaceleración)
- Recuperación de velocidad
- Prueba de potencia libre
- Calibración de velocímetro.

2.4.3 Especificaciones técnicas

TABLA 8 Especificaciones técnicas

PROPIEDAD	VALOR	UNIDAD
Tensión de alimentación externa mínima	12	V
Tensión de alimentación externa máxima	30	V
Alimentación interna (baterías)	6,5	V
Consumo	250	mA
Peso del TM 900 sin accesorios (con soporte)	1,2	Kg
Peso del TM 900 con accesorio	5	Kg
Dimensiones externas del TM 900 (sin soporte)	215(c)x135(a)x50(p)	Mm
Dimensiones externas de la maleta	475(c)x375(a)x145(p)	Mm
Temperatura mínima de uso	5	°C
Temperatura máxima de uso	50	°C

Velocidad máxima medida	200	Km/h
Aceleración máxima medida	1,5	G
Rotación máxima	15000	RPM
Temperatura máxima en el sensor de temperatura externo	100	°C
Temperatura mínima en el sensor de temperatura externo	0	°C

Fuente: Manual TM900

2.5 Instalación del TM 900 en el vehículo

En esta parte vamos a mostrar como el aparato y sus accesorios deben ser instalados en el vehículo para a realización de las pruebas.

2.5.1 La fijación en los vidrios del vehículo

El TM 900 debe fijarse en el parabrisas del vehículo, utilizando el soporte de ventosa que viene con el dispositivo. Para ello, siga estos pasos:

- Limpie la ventosa de goma y la región del vidrio en el que se establece el dispositivo usando la franela con el producto. Si se hace necesario, puede utilizar alcohol para mejorar la limpieza. Las superficies deben ser lo más claro posible para permitir una buena succión y la ventosa para asegurarse de que el dispositivo no se caiga durante la prueba.

Figura 2 Limpieza del área de fijación



2.5.2 Directrices para colocar el dispositivo en el parabrisas

El TM 900 está diseñado para trabajar fijado en el parabrisas del vehículo, el compartimiento de baterías debe estar apuntando para la parte delantera del vehículo. El aparato debe ser lo más vertical posible para asegurar los mejores resultados. Sin embargo, pequeñas desalineaciones son permitidas, sobre todo si se realizan las pruebas con el sensor de velocidad y no con el acelerómetro interno.

En las pruebas de frenado, sin embargo, la orientación vertical del dispositivo es de fundamental importancia. Por ello, recomendamos que la unidad se instale siempre en el centro del parabrisas, lo más derecho posible y con un giro mínimo.

Figura 3 Alineación del dispositivo



2.5.3 Instalación del sensor de velocidad

El TM 900 permite que la mayoría de los ensayos se realicen utilizando el acelerómetro interno o externo del sensor de velocidad. Algunas pruebas, sin embargo, solo se pueden realizar con sensor de velocidad, tales como la calibración del velocímetro y el ensayo de alimentación con la desaceleración. El sensor de velocidad externo proporciona resultados más precisos. A continuación se presentan las directrices para la instalación del sensor de velocidad externo.

- El sensor debe ser instalado en una rueda. Preferiblemente una que no haya tracción en su rueda y que no se tira. Recomendamos el uso de la rueda trasera derecha.
- De la misma manera que se hizo en la instalación del TM 900 en el vehículo, limpie el soporte de ventosa y la superficie del vehículo en el que se fija, con la franela y con el producto. Si se hace necesario, se puede usar alcohol para mejorar la limpieza. La fijación se puede hacer en el guardabarros, en el centro de la puerta o en el vidrio. Elija siempre la superficie más plana posible. Evite las superficies irregulares y curvas, ya que esto puede causar una fijación no confiable.
- Una vez elegida la posición, presione la ventosa contra la superficie y gire la palanca. Usted debe sentir bastante resistencia en este procedimiento. Si esto no ocurre, desconfíe de la fijación y rehaga el procedimiento. La firme fijación

del sensor es de fundamental importancia, para evitar que se caiga, puede ocasionar accidentes.

Figura 4 Fijación del sensor



- Conecte el cable de acero bien con el aparato de seguridad en el soporte de la sonda. Al otro lado del cable debe ser fijado en una parte fija en el interior del vehículo, tales como los rieles que sostienen los asientos, el reposacabezas del asiento o incluso un cinturón de seguridad. Asegúrese de que este cable es muy seguro. Su objetivo no es permitir que el sensor se pierda o sea lanzado por el neumático en caso de un posible accidente con el vehículo en movimiento.

Figura 5 Asegurado del soporte del sensor con cable de acero



- Inserte el brazo telescópico del tubo de apoyo en soporte de la ventosa. Coloque el extremo del brazo en la línea donde estará pegado el espejo reflexivo utilizando las agarraderas.

Figura 6 Ubicación del brazo telescópico en el tubo de apoyo



- Inserte el sensor en el soporte en el extremo del brazo telescópico. La lente del sensor debe quedarse apuntada para espejo reflectivo. Utilice la tuerca del sensor para apretarlo en este soporte. Inserte el sensor en el soporte en el extremo del brazo telescópico. El lente del sensor debe ser señalado en el reflejo del espejo. Use la tuerca del sensor para apretarlo en este soporte.



Figura 7 Sensor en el soporte del brazo telescópico

- Ajuste el brazo telescópico para la alineación con el espejo pegado a la rueda para ser lo más preciso posible, de lo contrario la velocidad de flujo se verá comprometida.

Figura 8 Alineación del brazo telescópico con el espejo



- Dentro del vehículo, conecte el cable de sensor en el dispositivo.

Figura 9 Dispositivo fijado en el parabrisas



2.5.4 Instalación de la cinta reflectante en la rueda del vehículo

La cinta reflectante debe estar pegado a la rueda del vehículo lo más próximo a la llanta, con la longitud del radio en la dirección de la rueda. Si se hace necesario, se puede pegarlo en el propio neumático. El sensor debe estar muy bien alineado con el adhesivo para asegurar la medición de la velocidad del vehículo.

Figura 10 Cinta reflectante



2.5.5 Instalación del disparador manual (Trigger)

Un botón disparador manual (trigger) es proporcionado con el TM 900 para permitir al usuario mantener la visión en la pista y las manos en el guion mientras realiza las pruebas. El disparador es conectado en la parte trasera del dispositivo.

Figura 11 Conexión del disparador manual



Figura 12 Botón disparador



El botón disparador es redundante con la tecla F4 del dispositivo durante las pruebas, puede o no ser utilizado, pero se recomienda siempre que posible su utilización, pues además de facilitar el manoseo del dispositivo, hace las pruebas más seguros. Él podrá ser utilizado en los siguientes Pruebas:

- Potencia del motor (cuando el inicio de la prueba es el procedimiento en marcha y deceleración).
- Potencia rápida del motor (cuando el inicio de la prueba es en movimiento).
- Prueba libre (para terminar la prueba).
- La calibración del velocímetro (se activa siempre que la velocidad en el velocímetro pasar por los puntos de referencia).

2.5.6 Ajuste de la sensibilidad del acelerómetro

La sensibilidad del acelerómetro es un parámetro relacionado con la facilidad del arranque del vehículo en movimiento en las pruebas donde se encuentra el acelerómetro interno que se lo utiliza. Cuanto más alto es el valor, más difíciles de detectar el movimiento del dispositivo. Cuanto menor, más fácil.

Para modificar el valor de la sensibilidad, siga estos pasos:

- Seleccione la opción "Sens. Acelerom", en el menú de configuración del dispositivo. Presione "arriba" y "abajo" para seleccionar los valores de la sensibilidad de disparo del acelerómetro y confirme con "Enter".
- Si el valor es demasiado alto, el disparo en el inicio de la prueba puede no suceder. Si es demasiado baja, la prueba puede comenzar antes de que el vehículo se mueva.

Figura 13 Ajuste de la sensibilidad



2.5.7 Pruebas de potencia realizados por el TM 900

El TM 900 puede realizar cuatro tipos de prueba de potencia: potencia en la rueda, Potencia del motor, Potencia rápida del motor y Potencia Libre. En cualquiera de las pruebas, los parámetros dimensionales (masas y dimensiones) del vehículo son muy importantes. Errores en esta información puede proporcionar resultados incorrectos.

La prueba de potencia en la rueda tiene como resultado el valor de potencia en la rueda sin ningún ajuste de corrección, o sea, para un mismo vehículo estos valores pueden cambiar de acuerdo a las condiciones de la prueba como altitud, temperatura, lluvia, etc.

2.5.8 Importancia de la medición de RPM en las pruebas de potencia y definición de la marcha para la realización de la prueba

En general, una prueba de potencia tiene como objetivo aumentar la curva de potencia y de torque del motor en un cierto rango de velocidad del motor. Por lo tanto, es importante pasar por el mayor número posible de rotación durante la prueba en una marcha determinada. El torque sólo se puede calcular si hay captura de rotación durante los ensayos.

Tanto la prueba de la eficiencia del motor y la prueba rápida debe llevarse a cabo en la segunda marcha. La segunda marcha fue elegida porque se libera toda la potencia del motor del vehículo en términos de aceleración, velocidad y espacio que se pueden controlar. Normalmente, la velocidad máxima en la segunda marcha no excede los 120 km/h en los vehículos normales. Si la prueba se llevó a

cabo en la marcha más, avanzada, la velocidad podría ser muy alta, lo que provocaría incertidumbre en los ensayos.

Además, como parte del cálculo de la eficiencia del motor se basa en la teoría (sobre todo la prueba rápida), algunos índices que se utilizan son tabulados y cambian en relación a la marcha de realización de la prueba. Cuando la prueba se realiza con la captura de las RPM del motor, la teoría puede establecer estos índices relacionando la velocidad del motor con la rotación de la rueda. De lo contrario, los índices se tabulan y se consideran de segunda marcha.

Por lo tanto, cuando no hay captura de RPM, la prueba se hará en la segunda marcha y cuando la RPM está presente, es posible realizar la prueba en otros tipos de marcha también.

En pocas palabras:

- En los vehículos livianos (automóviles, camiones, etc.) siempre tienen la prueba en segunda velocidad, con o sin medición de RPM. Cuando hay RPM, los resultados son más precisos.

En este caso, se le debe exigir la captura del RPM del motor. Si no hay RPM, los resultados pueden ser contradictorios.

En la configuración del vehículo elegido, tiene un elemento denominado "Performance" en el que se debe informar la máxima potencia nominal, torque y los respectivos valores de RPM en la potencia y torque máximos. Estas informaciones servirán como parámetro de comparación para el valor medido de potencia y torque durante la prueba.

Sin embargo, la información de RPM máxima, tiene una importancia mayor. También se utiliza en los cálculos teóricos del valor de la potencia del motor.

Así que siempre compare el valor real del RPM de potencia máxima (medida durante la prueba) con el valor establecido en la configuración.

Si la diferencia es demasiado grande, cambie el valor en el registro para mejorar la precisión de los cálculos. Este detalle será recordado por el

dispositivo cuando, al final de los procedimientos, el valor de RPM medido es muy distinto del definido en las configuraciones.

2.5.9 Sistemas empleados en la sobrealimentación

Como los cilindros en su fase de admisión no pueden solicitar más aire que lo que admite su capacidad volumétrica, es necesario acoplar un dispositivo que introduzca en el cilindro este aire adicional.

Existen tres sistemas de alimentación forzada:

- Sobrealimentación por compresor de aire.
- Sobrealimentación por turbocompresor.
- Compresor eléctrico

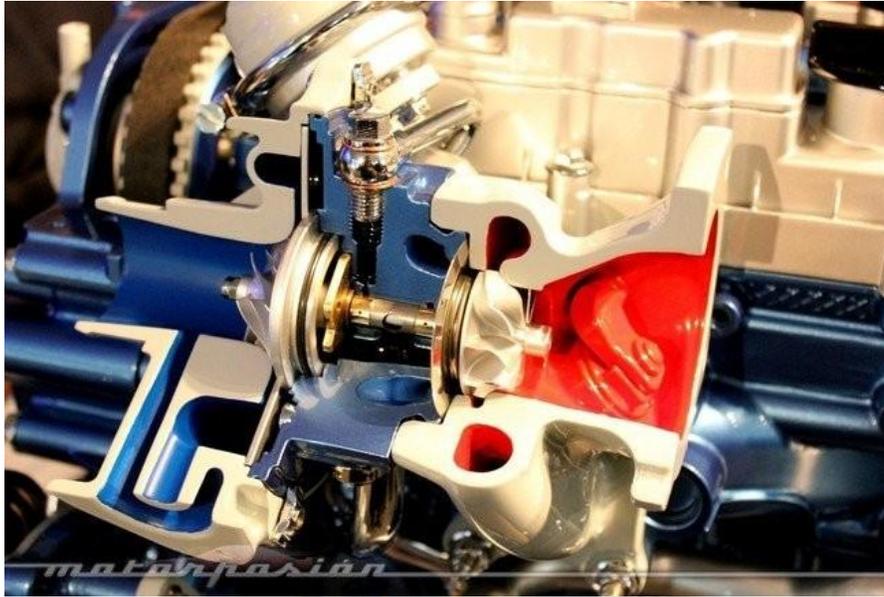
a. Sobrealimentación por compresor de aire.

Este sistema consiste en un compresor movido por el propio motor que inyecta aire dentro del cilindro al abrirse la válvula de admisión. Con este aire, comprimido a 1,5 atmósferas¹⁰, se consigue obtener una sobrealimentación de hasta un 50% de aire para una misma cilindrada obteniendo así una combustión completa a plena carga y sin producir humos.

Tiene el inconveniente de que se necesita absorber una parte de potencia del motor para mover el compresor, disminuyendo por tanto el rendimiento útil del mismo, ya que parte de la ganancia en rendimiento térmico se pierde en rendimiento mecánico. Por esta razón este sistema es poco empleado en la actualidad para los motores diésel.

Figura 14 Compresor de aire

¹⁰ Reyes L.(2016). Autonoción. España.



b. Sobrealimentación por turbocompresor

La sobrealimentación por turbo compresor es un sistema generalizado en la actualidad, ya que ofrece grandes ventajas. Consiste en una turbina acoplada a la salida de los gases de escape, la cual mueve un soplador o compresor que inyecta aire en la admisión. La sobrealimentación por este sistema es algo inferior a la del sistema por compresor, pero al no absorber potencia alguna del motor para imprimirle el movimiento necesario para su funcionamiento, se aprovecha totalmente la ganancia de rendimiento obtenida.

El dispositivo consiste en una turbina acoplada a la salida de los gases del escape del motor. Al abrirse la válvula de escape la presión de salida de los gases hace que estos choquen contra las paletas de la turbina, produciendo el movimiento giratorio de la misma, y después salen hacia el exterior por el tubo de escape. El soplador o turbocompresor, al ser movido por el árbol de la turbina, al cual va acoplado, toma aire del exterior, debidamente filtrado, y lo introduce a presión por el colector de admisión al interior de los cilindros cuando se abre la válvula correspondiente.

Durante el cruce de válvulas, el aire que entra a presión facilita el barrido de gases residuales, refrigerando al mismo tiempo la válvula de escape y la cabeza del pistón. Al cerrarse la válvula de escape y durante el resto de la admisión, el cilindro se llena de aire a presión suministrado por el turbo, que sigue funcionando por inercia, impulsado en parte por el aire de admisión.

Ventajas de la sobrealimentación

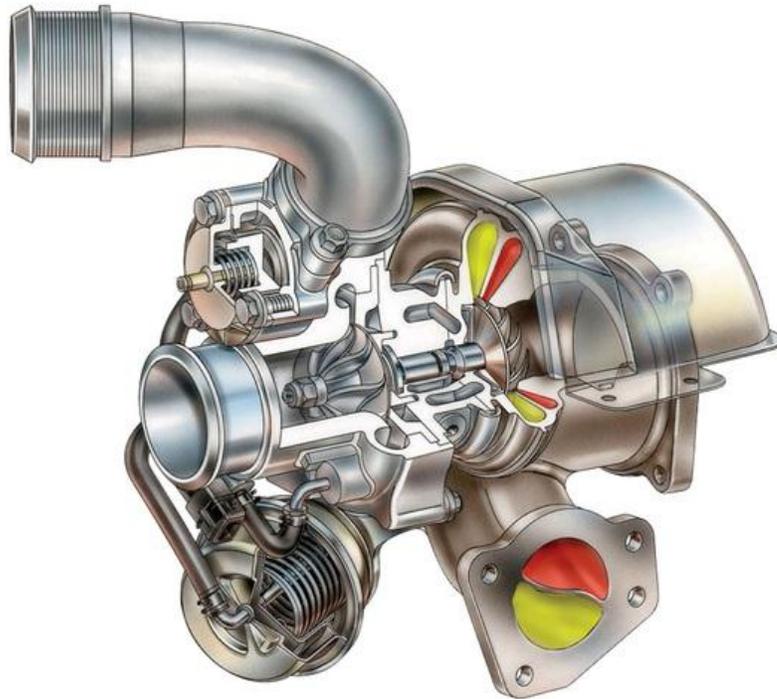
Una de las grandes ventajas de la sobrealimentación en los motores es que se consigue una mayor potencia manteniendo el mismo peso constructivo, o lo que es el mismo, se reduce el peso para una misma potencia. Esto hace que aumente el campo de aplicación de estos motores, sobre todo en vehículos de transporte.

Las ventajas de la sobrealimentación en los motores son:

- Mayor rendimiento térmico con un mayor trabajo útil conseguido en el ciclo; esto significa mayor potencia para un mismo consumo de combustible.
- Menor consumo de combustible para una potencia determinada, al aprovechar mejor la energía térmica del mismo, debido a que se realiza una combustión más perfecta porque la mezcla contiene mayor cantidad de aire y es más rica en oxígeno al no existir restos de la combustión anterior.
- Mayor duración y vida útil del motor debido a que las mejores condiciones de la mezcla aceleran la combustión, con lo que acortan el retraso en la misma y consigue una expansión más suave, que evita el clásico golpeteo de estos motores.
- Permite una eficaz refrigeración en la cabeza del pistón, válvula y segmentos, haciendo que el desgaste en los mismos sea menor.

Como lo que se consigue con la sobrealimentación es aumentar la presión media del ciclo, manteniendo sensiblemente constante la presión máxima, los esfuerzos transmitidos sobre los elementos móviles no sufren variación y se evita, por tanto, un mayor desgaste por rozamiento al aumentar la potencia del motor.

Figura 15 Turbocompresor



c. Compresor eléctrico

Es el futuro de los actuales motores de combustión interna. La empresa Controlled Power Technologies ha conseguido desarrollar un pequeño turbo, que se mueve gracias al impulso de un motor eléctrico y sería capaz de funcionar tanto en motores gasolina como diésel.

Una solución muy útil para motores de baja cilindrada. Este sistema permitiría ahorrar bastante combustible y podría llegar a ser completamente compatible con otro turbocompresor convencional.

Una de las ventajas de este pequeño turbo eléctrico, es que, es capaz de alcanzar 70.000 rpm en menos de medio segundo, y todo ello unido a su funcionamiento en la parte baja del cuenta revoluciones, podría ayudar a aumentar considerablemente las prestaciones de vehículos de baja cilindrada y reducir por supuesto el consumo.

Figura 16 Compresor Eléctrico



CAPÍTULO 3

METODOLOGÍA

3.1 Tipo de Investigación

El presente estudio de acuerdo a su alcance es “descriptivo”, porque especifica las propiedades, las características y los perfiles importantes de la adaptación de un compresor eléctrico para un motor a GNV en la ciudad de La Paz. Se maneja un enfoque cuantitativo, siendo que las variables del estudio serán validadas numéricamente, a través de una encuesta.

Estos datos se obtendrán de los resultados del prototipo experimental, creado para dar confiabilidad y validez a la implementación de este compresor eléctrico adaptado para vehículos en ciudades que se encuentran en alturas de 3.600 m.s.n.m., y que tengan acceso a este recurso energético: “Gas Natural”.

3.2 Población y Muestreo

La población asociada al presente estudio son los vehículos a gas aspirados, siendo que la ubicación del proyecto se encuentra dentro la ciudad de la Paz, se hará un muestreo en los talleres para conocer las necesidades de la adaptación de un compresor eléctrico para un motor GNV.

3.3 Instrumentos de relevamiento de información

Entrevista: Consiste en la aplicación de un determinado cuestionario, con preguntas (cerradas) dirigidas a conductores, este instrumento ayuda a recolectar datos informativos.

Observación: La observación tiene por finalidad la recolección de datos mediante los diversos métodos. También consiste en la percepción atenta, planificada y racional de la realidad, utilizando los órganos sensoriales del

investigador. Para la presente investigación se utilizara la técnica de observación directa simple, con ayuda de filmaciones y fotografías para dar validez.

TABLA 9 Resumen de los datos de 20 encuestados del anexo 6

La muestra de la encuesta se definió según la afluencia de conductores que acuden a estos talleres para la conversión de un motor a gasolina por el GNV, que está ubicado en la avenida Landaeta de la ciudad de La Paz.

DESCRIPCION DE LA ENCUESTA	SI	NO
¿Los clientes se sienten satisfechos al convertir su vehículo a gas natural?	6	14
¿Usted conoce los problemas de los vehículos que han sido transformados a Gas Natural?	16	4
¿Cree que es necesario adaptar de un sistema para recuperar la fuerza perdida de su vehículo?	18	2
¿Conoce otro método que mejore el rendimiento de un automóvil que ha sido transformado a gas natural?	17	3

La encuesta a los conductores se realizó en las inmediaciones de la pasarela-autopista altura de la 16 de Julio

DESCRIPCION DE LA ENCUESTA	GASOLINA Y GAS NATURAL	
	GASOLINA	GAS NATURAL
¿Su automóvil que tipo de combustible utiliza?	6	12

DESCRIPCION DE LA ENCUESTA	SI	NO
¿Cuando su vehículo está funcionando con Gas Natural Vehicular siente que ha perdido fuerza?	16	4
¿Usted cree que es necesario la adaptación de un sistema a su automóvil para mejorar su rendimiento?	15	5
¿Usted estaría dispuesto invertir dinero en caso de que existiera un sistema que mejore el rendimiento de su automóvil?	14	6

DESCRIPCION DE LA ENCUESTA	600 Bs.	80 Bs.	1000 Bs.
¿Cuánto está dispuesto a pagar?	18	1	1

3.4 Metodología para determinar la economía del gasto de combustible mediante el método de repostaje

El método de repostaje consiste en:

PASO 1 Acudimos a la gasolina habitual, antes de comenzar a repostar anotamos los kilómetros que tiene nuestro coche.

PASO 2 Llenamos el tanque de combustible hasta que no entre más sin forzar o cuando el surtidor corte el suministro de forma automática.

PASO 3 Luego se hará un recorrido predeterminado para ver su consumo de combustible (en este caso se hizo un recorrido del surtidor San Sebastián hasta la tranca de Achica Arriba de ida y vuelta haciendo una distancia de 26km)

PASO 4 De la misma forme se hizo para gas natural sin compresor eléctrico y gas natural con compresor eléctrico.

También se puede utilizar la siguiente fórmula para el cálculo de recorrido a 100km

$$X = \frac{100 \cdot Cc}{26} \quad (61)$$

CAPÍTULO 4

INGENIERÍA DE PROYECTO

4.1 Instalación del compresor eléctrico y modificación al vehículo

Para realizar la adaptación del compresor eléctrico al motor Toyota 7K convertido a G.N.V. se hicieron los siguientes cambios:

- Instalación mecánica del compresor eléctrico
- Instalación eléctrica

4.1.1 Instalación mecánica del compresor eléctrico

La instalación mecánica consistió en anular el filtro de aire original porque cuenta con su propio filtro como se observa en la figura 18, también se anuló el compartimiento donde va alojado por motivos de espacio que son necesarios para el compresor eléctrico.

Se tuvo que adaptar una manguera tipo codo con una medida de $2\frac{1}{2}$ plg, que por un lado vaya acoplado al cuerpo de la mariposa de obturación, y por otro lado de la manguera se acople a la salida de aire del compresor eléctrico.

El mezclador del kit de conversión a gas natural se dispuso a la entrada de aire del compresor eléctrico, donde viene alojado el filtro de aire.

Figura 17 Instalación mecánica del compresor eléctrico

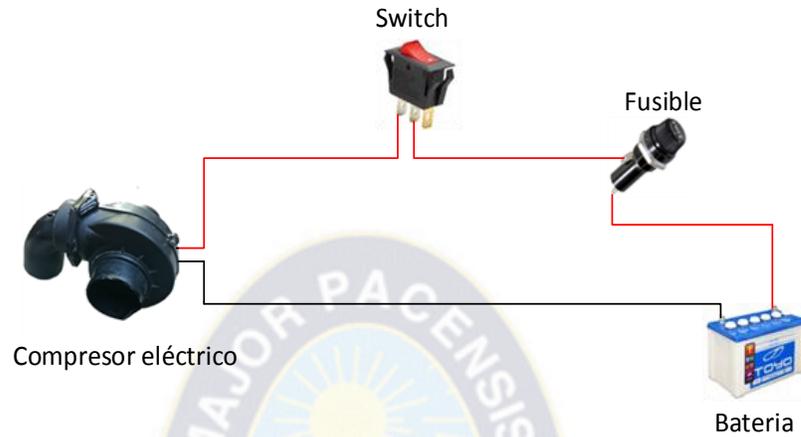


Figura 18 Filtro del compresor eléctrico



4.1.2 Instalación eléctrica

Figura 19 Circuito real para el funcionamiento del compresor eléctrico



4.2 Datos técnicos del motor Toyota 7K

4.2.1 Descripción

TABLA 10 Datos técnicos del motor 7k

Número de cilindros	4 en línea
Modelo	7K
Válvulas por cilindro	2
Año de fabricación	1998
Cilindrada	1800 cc
Potencia máxima en HP	80 HP (59kW) a 4600 rpm
Torque máximo	139 Nm a 2800 rpm
Diámetro del cilindro	80,5 mm
Carrera del pistón	87,5 mm
Relación de compresión	9,5 : 1
Sistema de alimentación	Carburador
Tipo de encendido	Convencional

Fuente: Toyota 7K Engine Repair Manual

4.3 Datos técnicos del compresor eléctrico

4.3.1 Descripción

TABLA 11 Datos técnicos del compresor eléctrico

Procedencia	Canadiense
Tensión	12 V (Voltios)
Consumo de corriente	2,3 A (Amperios)
Capacidad de giro	4800 rpm (revoluciones por minuto)
Inducción de aire	125 cfm (pies cúbicos por minuto) constante
Presión de salida	2 PSI (libras por pulgada cuadrada)

Fuente: Costas j. (2014). Motor pasión. Brasil.

4.3.2 Funcionamiento

- La función de este compresor eléctrico, no es la de comprimir el aire como en los turbos convencionales, si no la de introducir mayor caudal de aire y lo más frío posible en el menor tiempo posible.
- Con lo que se consigue una mejor respuesta del motor.
- Por eso se instala en el lugar del filtro de origen y siempre por delante del caudalímetro, ya que este va a ser el encargado de regular la cantidad de gasolina a inyectar, respecto a la nueva admisión que hemos instalado.

4.4 Cálculo de la potencia consumida por el compresor eléctrico

$$P = I \cdot E \quad (62)$$

Datos: $I=2,3 \text{ A}$

$$E=12 \text{ v}$$

$$P = I \cdot E = (2,3 \text{ A})(12\text{V}) = 27,6 \text{ Watts}$$

4.5 Cálculos de componentes porcentuales de Carbono e Hidrógeno

TABLA 12 Componentes porcentuales del Gas Natural

COMPONENTE	%
Metano (CH ₄)	92,54
Etano (C ₂ H ₆)	5,22
Propano (C ₃ H ₈)	0,78
Butano (C ₄ H ₁₀)	0,04
Pentano (C ₅ H ₁₂)	0
Nitrógeno (N ₂)	1,42
Anhídrido Carbónico (CO ₂)	0
Azufre (S)	0

Fuete: Agencia Nacional de Hidrocarburos

Asumimos que tenemos 100g de Gas Natural

Peso molecular del Metano

1C	12g · 1	12g	$92,54 \text{ g Metano} \cdot \frac{12\text{g Carbono}}{16\text{g Metano}}$	69,405g Carbono
4H	1g · 4	4g	$92,54 \text{ g Metano} \cdot \frac{4\text{g Carbono}}{16\text{g Metano}}$	23,135g Hidrógeno
Total		16g		

Peso molecular del Etano

2C	12g · 2	24g	$5,22 \text{ g Etano} \cdot \frac{24\text{g Carbono}}{30\text{g Etano}}$	4,176g Carbono
6H	1g · 6	6g	$5,22 \text{ g Etano} \cdot \frac{6\text{g Carbono}}{30\text{g Etano}}$	1,044g Hidrógeno
Total		30g		

Peso molecular del Propano

3C	$12g \cdot 3$	36g	$0,78 \text{ g Propano} \cdot \frac{36g \text{ Carbono}}{44g \text{ Propano}}$	0,638g Carbono
8H	$1g \cdot 8$	8g	$0,78 \text{ g Propano} \cdot \frac{8g \text{ Carbono}}{44g \text{ Propano}}$	0,141g Hidrógeno
Total		44g		

Peso molecular del Butano

4C	$12g \cdot 4$	48g	$0,04 \text{ g Butano} \cdot \frac{48g \text{ Carbono}}{58g \text{ Butano}}$	0,033g Carbono
10H	$1g \cdot 10$	10g	$0,04 \text{ g Butano} \cdot \frac{10g \text{ Carbono}}{58g \text{ Butano}}$	0,006g Hidrógeno
Total		58g		

TABLA 13 Componentes porcentuales de Carbono e Hidrógeno

MASA TOTAL	CARBONO	HIDRÓGENO
Metano	69,405g	23,135g
Etano	4,176g	1,044g
Propano	0,638g	0,141g
Butano	0,033g	0,006g
Pentano	0g	0g
Total	74,252g	24,326g
%	74,252	24,326

4.6 Cálculo termodinámico de potencia

4.6.1 Datos para el cálculo

DETALLE	SÍMB.	UNID.	GASOLINA Y SIN C.E.	G.N.V. Y SIN C.E.	G.N.V. Y C.E.
Revoluciones del motor	n	rpm	6000	6000	6000
Relación de compresión	ε	(-)	9,800	9,800	9,8
Coefficiente de exceso de aire	α	(-)	0,850	0,850	0,70
Poder calorífico del combustible	H_u	kJ/kg	42150	64023	64023
Cantidad de masa de Carbono	C	g	0,855	0,755	0,755
Cantidad de masa de Hidrógeno	H	g	0,145	0,245	0,245
Cantidad de masa de Oxígeno del combustible	O_c	g	0	0	0
Masa molecular aparente del aire	μ_a	(-)	28,960	28,960	28,96 0
Presión atmosférica	P_0	MPa	0,06	0,06	0,06
Presión a la salida del C.E.	P_k	MPa	0,06	0,06	0,075
Temperatura ambiente	T_0	K	278	278	278
Temperatura a la salida del C.E.	T_k	K	278	278	285
Coefficiente sumario de amortiguación de la velocidad y la resistencia del sistema de admisión	$\beta^2 + \xi_{ad}$	(-)	2,5	4	3
Velocidad de la carga en la sección de la válvula	ω_{ad}	m/s	90	90	50
Incremento de temperatura de la carga fresca	ΔT	°C	15	15	22

Temperatura de los gases residuales	T_r	K	800	700	800
Presión de los gases residuales	P_r	MPa	0,07	0,06	0,07
Coefficiente de recarga durante el cierre de los órganos de admisión	ϕ_1	(-)	1	1	1
Coefficiente politrópico de compresión	n_1	(-)	1,32	1,32	1,32
Constante de relación Hidrógeno-Carbono	A	(-)	$114 \cdot 10^6$	$114 \cdot 10^6$	$114 \cdot 10^6$
Exponente politrópico de expansión	n_2	(-)	1,24	1,24	1,24
Carrera	s	cm	0,09	0,09	0,09

4.6.2 Resultados obtenidos

Las fórmulas utilizadas son de la parte de la ingeniería del proyecto

TABLA 14 Cálculo teórico de la potencia del motor a Gasolina, G.N.V. sin C.E. y G.N.V. con C.E.

DETALLE	SÍMBOLO	UNIDAD	GASOLINA Y SIN C.E.	G.N.V. Y SIN C.E.	G.N.V. Y C.E.
Cantidad teórica de aire necesaria para la combustión	l_0	kg	14,957	17,275	17,275
	L_0	kmol	0,512	0,591	0,591
Cantidad real de aire necesaria para la combustión	l	kg	13,461	14,684	12,093
	L	kmol	0,461	0,503	0,414
Cantidad total de mezcla fresca	G_1	kg	14,461	15,684	13,093
	M_1	kmol	0,469	0,511	0,423
Cantidad total de los productos de	M_2	kmol	0,508	0,582	0,512

combustión					
Incremento de volumen	ΔM	kmol	0,038	0,071	0,090
Cantidad teórica de variación molecular	μ_0	(-)	1,081	1,139	1,212
Densidad de la carga de admisión	ρ_0	kg/m ³	0,802	0,802	0,917
Presión al final de admisión	p_a	MPa	0,056	0,051	0,072
Coefficiente de gases residuales	γ_r	(-)	0,054	0,057	0,042
Temperatura al final de admisión	T_a	K	318,828	314,982	319,960
Coef. De recarga durante el cierre de los órganos de admisión	φ_1	(-)	1,000	1,000	1,000
Rendimiento volumétrico	η_v	(-)	0,805	0,741	0,909
Presión de compresión	p_c	MPa	1,137	1,038	1,456
Temperatura absoluta después de la compresión	T_c	K	661,833	653,849	679,049
Coefficiente real de variación molecular	μ_r	(-)	1,077	1,131	1,203
La combustión para los motores a gasolina	$(\mu_{cv})''_c$	kJ/(kmol °C)	23,393	23,355	23,359
Temperatura al final de la compresión	t_c	°C	388,833	380,849	391,184
Energía interna al final del proceso de compresión	U''_c	kJ/kmol	9095,928	8894,714	9137,705
Presión al final de la combustión	p_z	MPa	4,533	3,841	5,022
Presión máxima del ciclo	p'_z	MPa	3,853	3,265	4,268
Grado de elevación de la presión	λ	(-)	3,987	3,702	3,449
Presión al final de	p_b	MPa	0,271	0,227	0,296

la expansión					
Temperatura al final de la expansión	T_b	K	1416,472	1237,263	1100,941
Presión media indicada calculada	$(p_i)_{an}$	MPa	0,710	0,576	0,735
Presión media indicada real	$p_{i_{real}}$	MPa	0,688	0,559	0,713
Velocidad media del pistón	V_p	m/s	12,000	12,000	12,000
Perdidas mecánicas	p_m	MPa	0,236	0,236	0,236
Presión media efectiva	p_e	MPa	0,439	0,323	0,477
Rendimiento mecánico	η_m	(-)	0,657	0,578	0,669
Rendimiento indicado del motor	η_i	(-)	0,322	0,321	0,330
Rendimiento efectivo del motor	η_e	(-)	0,217	0,185	0,161
Potencia efectiva del motor	N_e	kW	39,518	29,077	41,023

Como se puede ver en la tabla 14 obtenida teóricamente¹¹ se tiene una diferencia dentro los rangos aceptables con respecto a las pruebas que se hizo con el dinamómetro TM900, la potencia calculada con gasolina y G.N.V. sin C.E. estaría dentro de los valores aceptable, pero la potencia calculada con G.N.V. y C.E. se eleva con respecto a la potencia obtenida en pruebas, y la potencia obtenida con C.E. alcanza a superar la potencia efectiva del fabricante.

4.7 Pruebas de potencia realizadas mediante el dinamómetro TM900 en 2da. Marcha

¹¹ Anexo 8

Figura 20 Potencia en el motor utilizando Gasolina sin C.E.

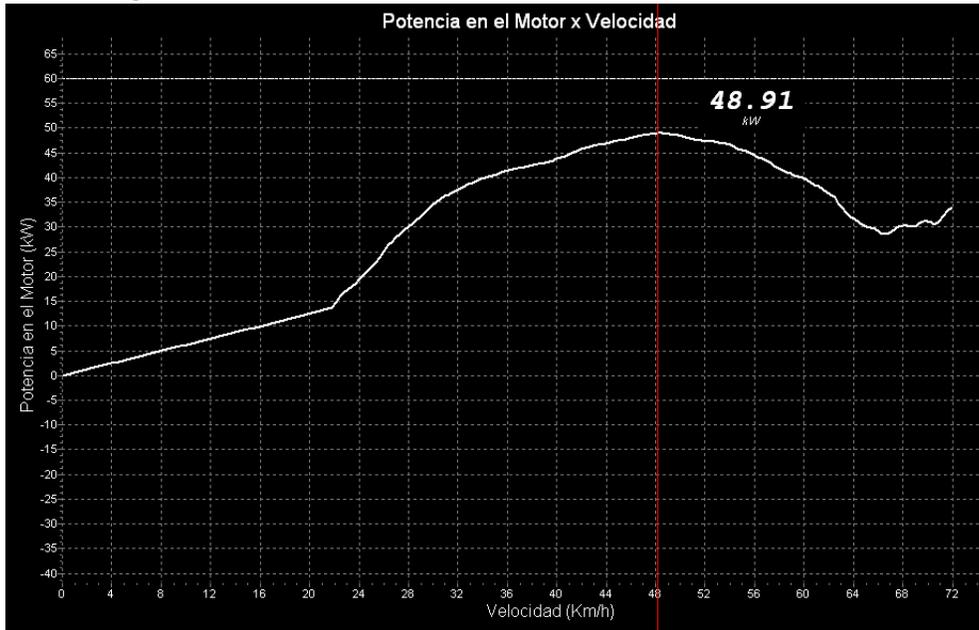


Figura 21 Torque en el motor utilizando Gasolina sin C.E.

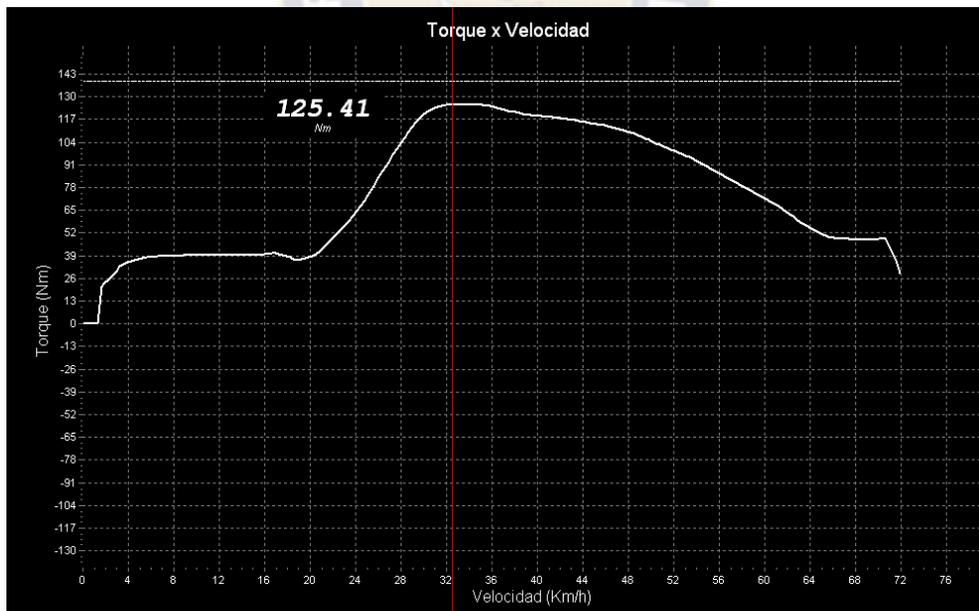


Figura 22 Potencia en el motor utilizando Gas Natural sin C.E.

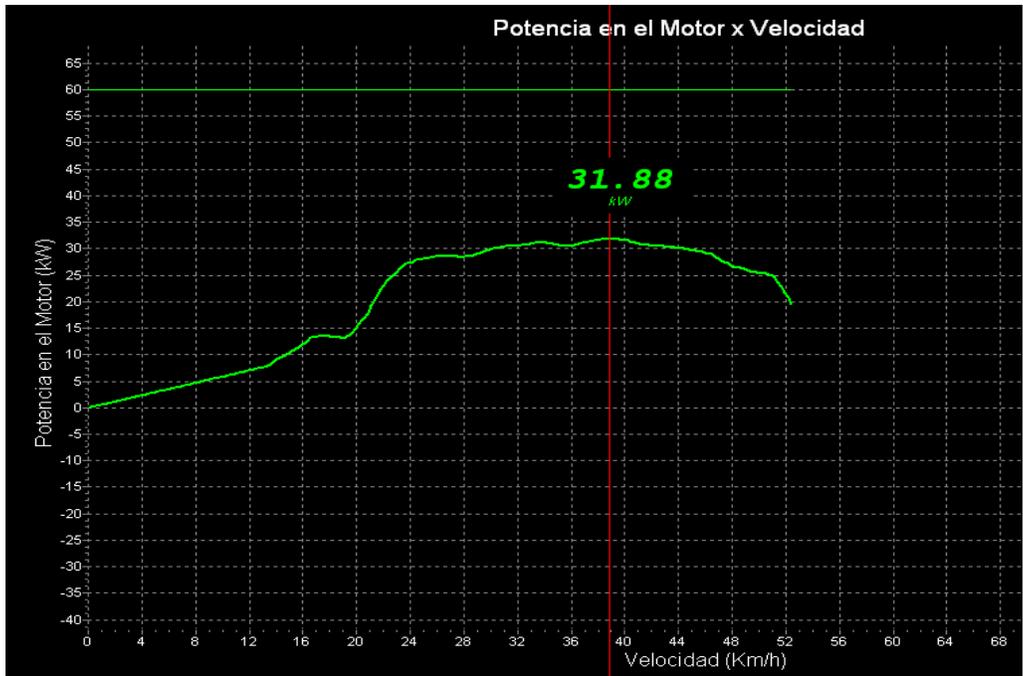


Figura 23 Torque en el motor utilizando Gas Natural sin C.E.

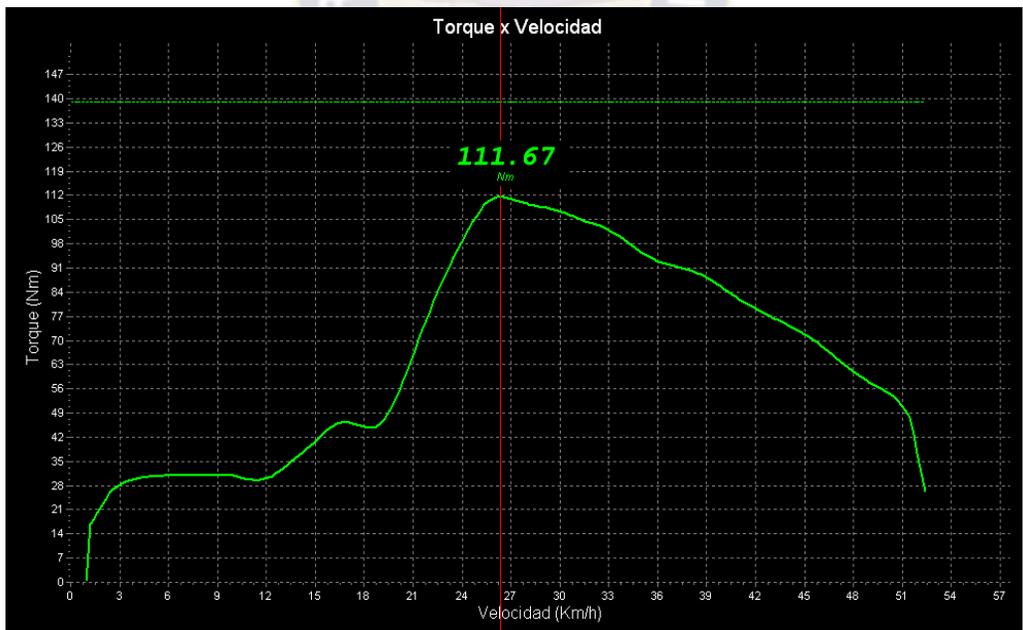


Figura 24 Potencia en el motor utilizando Gas Natural y C.E.

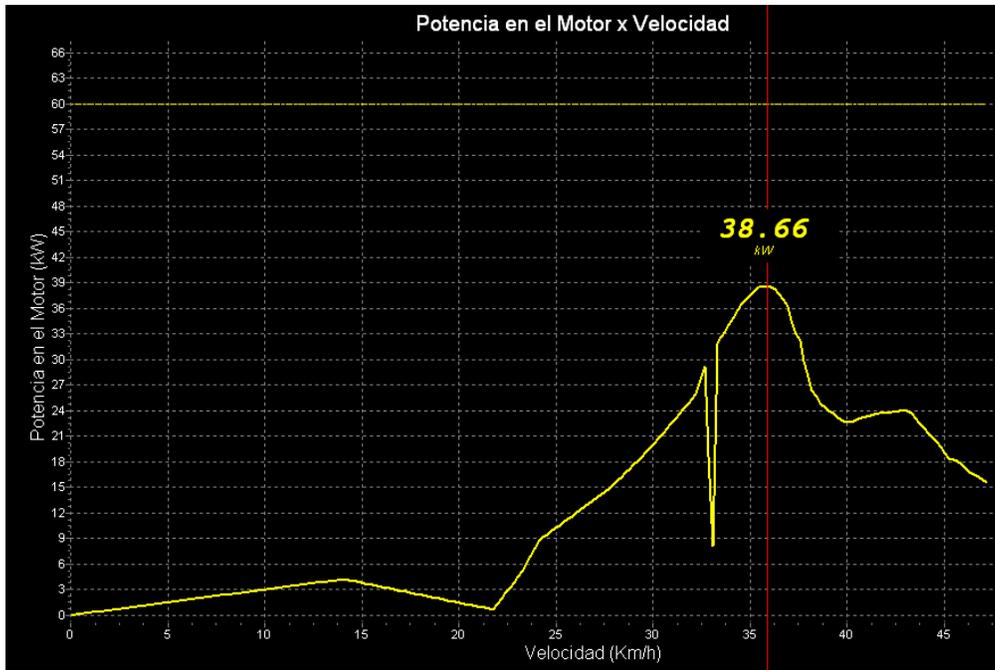
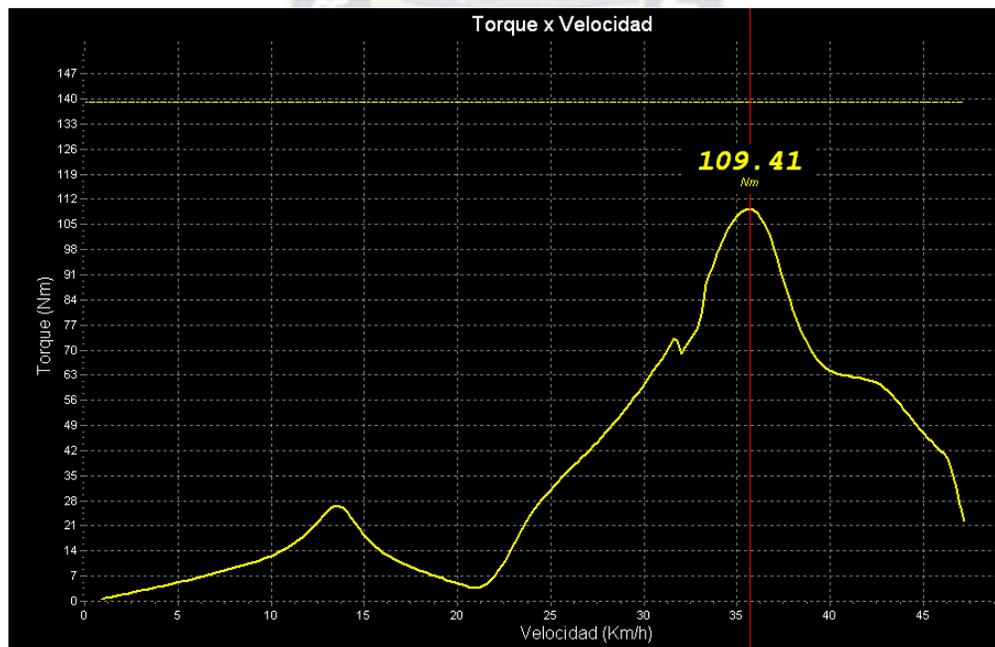


Figura 25 Torque en el motor utilizando Gas Natural y C.E.



4.7.1 Tabla de comparación de potencia obtenido por el TM 900

TABLA 15 Datos de prueba

DATOS DE PRUEBA	UNID.	GASOLINA	GNV	GNV-C.E.
SENSOR DE VELOCIDAD		SENSOR IR	SENSOR IR	SENSOR IR
CANTIDAD DE ADHESIVO		1	1	1
TRANSMISION		MANUAL	MANUAL	MANUAL
TRACCION		TRASERA	TRASERA	TRASERA
TIPO DE IGNICION		CONV.	CONV.	CONV.
TEMPERATURA EN EL COLECTOR	°C	28	26	32
ROTACION		SI	SI	SI
VELOCIDAD DE REFERENCIA	Km/h	---	---	---
TIPO DE VEHICULO		AUTOBUS	AUTOBUS	AUTOBUS
TIPO DE COMBUSTIBLE		GASOLINA	GNV	GNV-C.E.
MASA DEL VEHICULO	Kg	1360	1360	1360
PESO DE LOS OCUPANTES	Kg	210	210	210
DIAMETRO DE NEUMATICO	mm	600	600	600
ALTURA DEL VEHICULO	mm	1820	1820	1820
ANCHO DEL VEHICULO	mm	1630	1630	1630
ALTURA DESDE EL SUELO	mm	270	270	270
COEFICIENTE DE ARRASTRE	Cx	0,35	0,35	0,35

TABLA 16 Identificación

TIPO DE COMBUSTIBLE	GASOLINA	GNV	GNV-C.E.
FECHA DE LA PRUEBA	02/04/2016	02/04/2016	02/04/2016
HORA DE LA PRUEBA	12:17	13:13	13:25

TABLA 17 Resultados

RESULTADOS	UNID.	GASOLINA	GNV	GNV-C.E.
POTENCIA MÁXIMA	KW	48,9	31,9	38,66
POTENCIA EN LA RUEDA	KW	20,28	10,62	16,03
ROTACIÓN Pmax	rpm	4273,463	3422,26	3263,91
VELOCIDAD Pmax	Km/h	48,48	38,89	35,86
TORQUE MÁXIMO	Nm	125,7	111,67	109,41
ROTACIÓN Tmax	rpm	2968,448	2373,848	3261,809
VELOCIDAD Tmax	Km/h	33,52	26,32	35,65

TABLA 18 Valores nominales

VALORES NOMINALES (DESVIACION %)	UNID.	GASOLINA	GNV	GNV-C.E.
POTENCIA NOMINAL	KW	60 (-18,48)	60 (-46,86)	60 (-35,56)
RPM POTENCIA NOMINAL	rpm	4209 (1,53)	4209 (-18,69)	3246 (0,55)
TORQUE NOMINAL	Nm	139 (-9,57)	139 (-19,66)	139 (-21,29)
RPM TORQUE NOMINAL	rpm	2800 (6,02)	2800 (-15,22)	2800 (16,49)

4.8 Consumo de combustible en carretera

Por consumo de combustible en carretera se entiende el producido en un tramo largo de carretera normal y circulación normal.

Para la determinación del consumo de combustible en carretera se utilizó el método del repostaje, donde se recorrió una ruta desde el surtidor San Sebastián ubicado en la zona de Salarios Senkata hasta la tranca de Achica arriba girando en "U" retornando al mismo surtidor, y para esta prueba se hizo a una velocidad promedio de 60 km/h realizando la prueba a hrs 22:00 para tener una velocidad constante.

$$\text{Consumo en carretera} = \frac{\text{Combustible consumido} \cdot 100}{\text{Trayecto de medición}} \left[\frac{1}{100\text{km}} \right] \quad (63)$$

4.9 Costos del proyecto

TABLA 19 Costo del proyecto

DESCRIPCION	PRECIO UNIT. (BS)	CANT.	UNIDAD	COSTO TOTAL (BS)
Compresor eléctrico	500.00.-	1	Pza.	500.00.-
Manguera tipo codo de aire de 2,5 plg de diámetro	60.00.-	1	Pza.	60.00.-
Porta fusibles	10.00.-	1	Pza.	60.00.-
Fusible de 10 A	3.00.-	1	Pza.	3.00.-
Abrazaderas	10.00.-	3	Pza.	30.00.-
TOTAL				653.00.-

4.10 Ciclo de conducción

Un ciclo de conducción es un patrón típico de velocidad que siguen los vehículos de una ciudad en el tiempo, bajo diferentes condiciones de circulación de algún lugar específico, y se utiliza para estimar las emisiones contaminantes y consumo de combustible.

4.10.1 Metodología

El ciclo de conducción y la metodología planteada para su determinación se ha desarrollado a partir de estudios anteriores. La metodología aborda cuatro campos principales:

- Instrumentación requerida
- Selección de rutas
- Recopilación de datos
- Medición de consumo de combustible

La instrumentación jugó un papel muy importante que se compone del GPS y un cronómetro.

La selección de las rutas se basó en el conocimiento empírico del tráfico diario en la red vial, que fue de El alto-Achocalla.

Para las mediciones en vía y recolección de datos se realizó mediante un sistema de posicionamiento global-GPS.

La recolección de datos fue de 3 pruebas de cada uno y los recorridos fue en un horario de gran flujo vehicular y pendientes pronunciados.

La medición de consumo de combustible fue por el método de repostaje, donde se recorrió una ruta desde el surtidor "ZURSIL" ubicado en la zona Villa Bolívar E hasta Achocalla girando en "U" retornando al mismo surtidor.

Figura 26 Ruta realiza en el ciclo de conducción

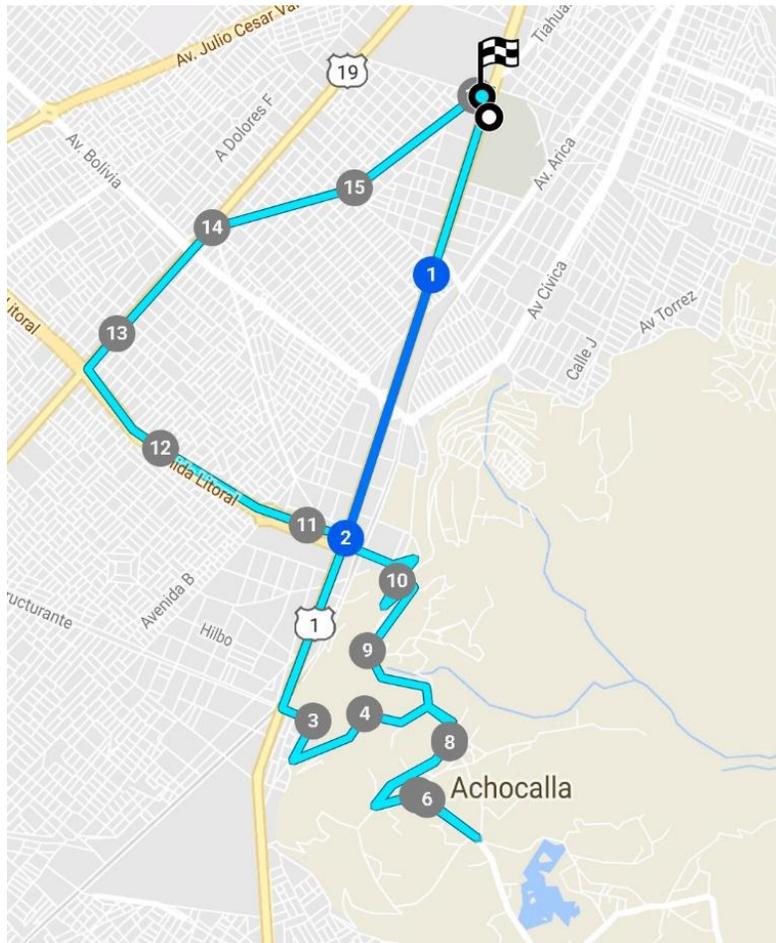


TABLA 20 Resultado del ciclo de conducción

COMBUSTIBLE	DISTANCIA (km)	COSTO (BS.)	CONSUMO DE COMBUSTIBLE (lt.)	CONSUMO EN CIUDAD
Gasolina	20,65	17,5	4,7	22,8 (lt/100km)
G.N.V. sin C.E.	20,65	8	4,8	23,2(m ³ /100km)
G.N.V. y C.E.	20,65	13	7,8	37,8(m ³ /100km)

Se puede observar en la tabla 20 claramente que el gasto económico al utilizar gas natural vehicular con respecto a la gasolina el ahorro económico es de Bs. 9,50 por cada 100km de recorrido, pero cuando este funciona con el C.E. se puede ahorra Bs. 4,50 por el mismo recorrido, esto significa un ahorro hasta el 47%.

TABLA 21 Cálculo de consumo de combustible en carretera

COMBUSTIBLE	DISTANCIA (km)	COSTO (BS.)	CONSUMO DE COMBUSTIBLE (lt.)	CONSUMO EN CARRETERA
Gasolina	26	12,16	3,25	12,5(lt/100km)
G.N.V. sin C.E.	26	4,31	2,6	10(m ³ /100km)
G.N.V. y C.E.	26	6,30	3,8	14,6(m ³ /100km)

La tabla 21 puede aparentar ser contradictorio con la tabla 20 ya que estas pruebas se hicieron en distas condiciones y lugares como ser pendientes pronunciadas y tráficos vehiculares y peatones la cual nos genera esta diferencia.

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Dentro las conclusiones a las que se ha llegado con la realización del presente proyecto, se tiene lo siguiente:

- Se hizo la recolección de datos necesarios acerca del G.N.V. ya que en La Paz hace pocos años se está utilizando con frecuencia, por la razón justa de esta pérdida de potencia, pero ahora con este proyecto se podrá subsanar dicho problema y el costo esta accesible a la sociedad que cuentan con este problema al transformar su vehículo con esta nueva combustión.
- Los compresores eléctricos son de poco consumo eléctrico, como podemos ver en la tabla 11 no tiene un alto consumo de corriente, por lo tanto no es necesario reemplazar la batería.
- Gracias a la implementación del compresor eléctrico se pudo recuperar una potencia considerable, que se pierde por la topografía de la ciudad de La Paz, por eso es conveniente utilizar un accesorio externo, que desde diferentes puntos de vista sus ventajas son:
 - a) Es fácil de activarlo, mediante un switch como muestra la Fig. 19, esta figura nos muestra la instalación real en un vehículo, donde el conductor desee incrementar la potencia y desactivarlo cuando ya no se requiera el incremento de la misma.
 - b) Se demuestra teóricamente que se incrementa la potencia utilizando el C.E. como se muestra en la tabla 14, optimizando la potencia efectiva.

- La adaptación del compresor eléctrico resulta económica y accesible en nuestro medio. En comparación de los beneficios que este representa, donde muchos ciudadanos que cuentan con un vehículo con gas natural, para compensar esta pérdida tienen que cambiar del tipo de combustible. Pero la fácil manipulación del compresor eléctrico le hace menos peligroso y tener alta confiabilidad en el momento de querer incrementar la potencia.
- El procedimiento para el montaje del compresor eléctrico en el motor, es sencillo y no requiere de mucho tiempo. Porque solo consiste en retirarlo el filtro de aire ya que el compresor eléctrico cuenta con su propio filtro, luego el compresor eléctrico se dispone en la boca del obturador ajustándolo con una abrazadera y el ingreso del gas natural se dispone después del filtro. Sin embargo, es necesario que una persona capacitada sea la que lleve a cabo la adaptación.
- Se evidencia que con el C.E. se obtiene una mayor potencia que utilizando solo el Gas Natural pero esta potencia es menor que cuando se utiliza gasolina lo que demuestra experimentalmente que no se puede recuperar el 100% de potencia perdida al transformar el vehículo a Gas Natural.
- Con la implementación del C.E. se puede vencer cualquier pendiente que cuando un vehículo utiliza solamente Gas Natural.

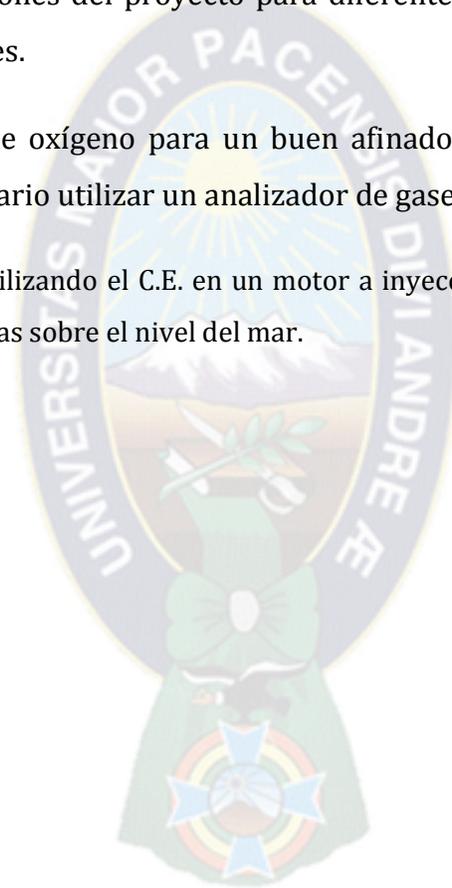
Por lo que el proyecto es recomendable a la sociedad por los varios aspectos positivos.

- Al mejorar el rendimiento de un motor que funcione con G.N.V. se consiguió que al compararlo con uno que funcione a gasolina que reúna las mismas características la diferencia que exista respecto al rendimiento sea mínima o nula, pero con grandes ventajas en otro aspecto como ser:

- Por lo tanto económicamente se tiene un ahorro significativo en combustible del 47% con respecto a la gasolina.

5.2 Recomendaciones

- Ampliar las condiciones del proyecto para diferentes tipos de motores y otros tipos de compresores.
- Utilizar el sensor de oxígeno para un buen afinado del motor en caso que lo tengan o de lo contrario utilizar un analizador de gases.
- Realizar el análisis utilizando el C.E. en un motor a inyección para la compensación de aire a diferentes alturas sobre el nivel del mar.



BIBLIOGRAFÍA

- Alonso, J.M.(2001) Técnicas del automóvil. Madrid, España: Paraninfo.
- Bosch,(2002) Manual de la técnica del automóvil, Ed. ROBERT BOSCH,
- Jóvaj M. S. (1982) Motores de Automóvil, Ed. MIR.
- Kirillin V.A.(1986) Termodinámica Aplicada, Ed. MIR MOSCU
- Lukanin, V.N. (1985) Motores del Automóvil, MIR.
- Sala J.M. (2011) Termodinámica fundamental. Logroño, Unrioja
- Fend, (1989) Nuevas tecnológicas para el medio ambiente
- Obert E. F. (1996) Motor de combustión interna, México, Continental.
- Crouse W.H. (1965) Mecánica del automóvil, Marcombo
- Muñoz M. (2011) Máquinas térmicas, Uned
- Toyota Motor Corporation (1995) Engine repair manual, Japon.
- Rodas Gonzales D.R. (2007). Taller de conversión de motores a gnv. Oruro, Bolivia.: <http://dpicuto.edu.bo>
- Fenalco.(2016). Expomotor. Colombia: <http://www.expomotor.com.co>
- Yacimientos Petrolíferos Fiscales Bolivianos. (2013). Reservas certificadas de gas en Bolivia. www.ypfb.gob.bo
- Mantilla Gonzales J.M.(2008). Ingeniería e investigación. Bogotá, Colombia. <http://www.scielo.org.co>
- Alexander Ali R. G. (2007) Estudio de factibilidad para la creación de una empresa que preste servicios de conversión a gnv. Bogota. Colombia. Repository. <http://repository.lasalle.edu.co>
- **Fenalco. (2016). Expomotor. Colombia. www.expomotor.com.co**
- Márquez L. (2005) La potencia de los motores. España. Agro técnica. www.mapama.gob.es
- Reyes L.(2016). Autonoción. España. www.autonoción.com
- Toyota 7K Engine Repair Manual
- Costas j. (2014). Motor pasión. Brasil. www.electricsupercharger.com

ANEXOS

ANEXO 1

DECRETO SUPREMO N° 1598

EVO MORALES AYMA

PRESIDENTE CONSTITUCIONAL DEL ESTADO PLURINACIONAL DE BOLIVIA

CONSIDERANDO:

Que el Artículo 360 de la Constitución Política del Estado, determina que el Estado definirá la política de hidrocarburos, promoverá su desarrollo integral, sustentable y equitativo, y garantizará la soberanía energética.

Que el Parágrafo I del Artículo 378 del Texto Constitucional, establece que las diferentes formas de energía y sus fuentes constituyen un recurso estratégico, su acceso es un derecho fundamental y esencial para el desarrollo integral y social del país, y se regirá por los principios de eficiencia, continuidad, adaptabilidad y preservación del medio ambiente.

Que el inciso a) del Artículo 11 de la Ley N° 3058, de 17 de mayo de 2005, de Hidrocarburos dispone que se constituyen objetivos generales de la Política Nacional de Hidrocarburos, el utilizar los hidrocarburos como factor del desarrollo nacional e integral de forma sostenible y sustentable en todas las actividades económicas y servicios, tanto públicos como privados.

Que el inciso e) del Artículo 60 de la Ley N° 3058, señala que las importaciones de bienes, equipos y materiales para el cambio de la Matriz Energética del parque automotor a Gas Natural Comprimido – GNC, estarán liberados del pago del gravamen arancelario y del Impuesto al Valor Agregado – IVA.

Que el Decreto Supremo N° 28560, de 22 de diciembre de 2005, tiene por objeto reglamentar el Artículo 60 de la Ley de Hidrocarburos en lo concerniente a los incentivos previstos en el inciso e) referido a la importación de bienes, equipos y materiales para el cambio de la Matriz Energética del parque automotor a Gas Natural Comprimido – GNC para uso vehicular.

Que el numeral 1 del Artículo 1 del Decreto Supremo N° 0675, de 20 de octubre de 2010, establece la creación de la Entidad Ejecutora de Conversión a Gas Natural Vehicular – EEC-GNV, como institución pública desconcentrada dependiente del Ministerio de Hidrocarburos y Energía.

Que el Decreto Supremo N° 1344, de 10 de septiembre de 2012, crea el Programa Nacional de Transformación de Vehículos de Diesel Oil a Gas Natural Vehicular – GNV.

Que entre los objetivos de la política de masificación del uso de Gas Natural en el mercado interno, se encuentra la conversión del parque automotor a GNV, generando para este efecto las condiciones necesarias de adecuación tecnológica correspondiente y en observancia a que el precio del Gas Natural usado como combustible vehicular, es más competitivo que el precio de los combustibles líquidos, lo cual beneficia a los consumidores finales.

Que una cantidad importante del parque automotor del transporte público utiliza como combustible el Diesel Oil, por lo que a objeto de cumplir con la política de masificación del uso del Gas Natural, dentro del cual está el cambio de la Matriz Energética del parque automotor a GNV, se requiere transformar los motores que funcionan a Diesel Oil a motores dedicados a GNV o transformarlos mediante el uso de otras tecnologías.

Que es necesario modificar el Decreto Supremo N° 1344, incorporando la posibilidad de aplicar otras tecnologías en el Programa Nacional de Transformación de Vehículos de Diesel Oil a GNV; asimismo es necesario liberar del Gravamen Arancelario – GA y del IVA para la importación de Bienes, Equipos y Materiales para la implementación del Programa Nacional de Transformación de Vehículos de Diesel Oil a GNV, ampliando el alcance del Decreto Supremo N° 28560, al igual de crear mecanismos para el efectivo cumplimiento del programa mencionado.

EN CONSEJO DE MINISTROS,

D E C R E T A:

ARTÍCULO 1.- (OBJETO). El presente Decreto Supremo tiene por objeto complementar y modificar el Decreto Supremo N° 28560, de 22 de diciembre de 2005 y el Decreto Supremo N° 1344, de 10 de septiembre de 2012.

ARTÍCULO 2.- (MODIFICACIONES).

I. Se incorpora las siguientes definiciones en el Artículo 4 del Decreto Supremo N° 28560, de 22 de diciembre de 2005, con el siguiente texto:

“Accesorios para Motor Dedicado a GNV.- Son componentes para la instalación del motor dedicado a GNV consistente en: transmisión, campana tanque, bomba, cerebro ecu, conjunto de filtro de aire, conducto de aire, carburador, motor de arranque, alternador, volante de inercia, soporte de motor y caja, colector de admisión y escape, tubo de escape, mazo para cable de motor y tablero, pedal del acelerador, sensor de flujo de aire, palanca de caja, prensa y disco de embrague, horquilla de embrague, cilindro auxiliar de embrague, rodamiento desplazador, reforzador de freno, cilindro maestro de freno, soportes de tanque, filtro de combustible, radiador, mangueras de radiador de entrada y salida, aspa de radiador, toma de aire, tubo de escape central y trasero, protector de tubo de escape, correa trapezoidal, cables de bujía, bujías, distribuidor, inyectores, regulador de presión, amortiguador de pulsaciones, mangueras de inyección y polea del aspa.

Motor Dedicado a GNV.- Se refiere a un motor que tiene un sistema de combustión de metano por lo que funciona en su totalidad a Gas Natural Vehicular.

Kit de Transformación Diesel Oil a GNV.- Es el conjunto de diferentes partes o elementos a instalarse en un vehículo, para el reemplazo de Diesel Oil a GNV, compuesto según el tipo de motor por: medidor, filtro y manguera de combustible, conector de puerto, regulador, modulo inyector, piezas de acople, recipiente, indicador de GNC, sensores de presión, temperatura y oxígeno, cañerías, cerebro ecu, cables de accesorios eléctricos y bujías, relay, módulos de ensamble, caja de fusibles, disparador de rueda, bobina y bujía de encendido, cuerpo del acelerador, bases del acelerador, calentador de aire,

piezas de ignición, válvulas de admisión solenoide, variador de avance y ensamble de mezclador.”

II. Se modifica la denominación de la definición de “**Equipo para GNV (Kit de Conversión)**” establecida en el Artículo 4 del Decreto Supremo N° 28560, de 22 de diciembre de 2005, por “**Equipo para Gasolina a GNV (Kit de Conversión)**”.

III. Se incorporan los incisos d), e) y f) en el Artículo 9 del Decreto Supremo N° 28560, de 22 de diciembre de 2005, con el siguiente texto:

“d) Accesorios para Motor Dedicado a GNV.

e) Motor Dedicado a GNV.

f) Kit de Transformación Diesel Oil a GNV.”

IV. Se modifica el Parágrafo III del Artículo 2 del Decreto Supremo N° 1344, de 10 de septiembre de 2012, con el siguiente texto:

“**III.** La compra e instalación de los motores dedicados a GNV o la aplicación de otras tecnologías certificadas para la transformación de vehículos de Diesel Oil a GNV, se efectivizará una vez instalado y en operación el servicio del Sistema Unificado de Información Conjunta para Gas Natural Vehicular – SUIC-GNV, el cual consiste en un sistema interconectado a las Estaciones de Servicio de GNV, que permitirá la amortización del financiamiento adquirido por los beneficiarios.”

V. Se modifica el Parágrafo I del Artículo 3 del Decreto Supremo N° 1344, de 10 de septiembre de 2012, con el siguiente texto:

“**I.** La devolución de los recursos que correspondan por la compra e instalación de los motores a GNV u otras tecnologías certificadas para la transformación de vehículos de Diesel Oil a GNV, se realizará a través de un sistema de cuotas aplicadas al consumo regular de GNV de los beneficiarios en las Estaciones de Servicio, las cuales estarán

interconectadas a un módulo central de gestión, mediante el SUIC-GNV.”

DISPOSICIONES ADICIONALES

DISPOSICIÓN ADICIONAL PRIMERA.- Con el objeto de amortizar la deuda de los beneficiarios del Programa Nacional de Transformación de Vehículos de Diesel Óil a GNV, se crea el Fondo de Transformación de Vehículos de Diesel Óil a Gas Natural Vehicular “FTD_{GNV}”, a cargo de la EEC-GNV a través del SUIC-GNV, el cual está compuesto por los siguientes recursos:

- a. Recursos generados por la amortización de la deuda por parte de los beneficiarios del Programa Nacional de Transformación de Vehículos de Diesel Óil a GNV, de acuerdo al modelo financiero establecido en Reglamento;
- b. Los recursos provenientes del Fondo de Recalificación y Reposición de Cilindros correspondientes a cada beneficiario del Programa Nacional de Transformación de Vehículos de Diesel Óil a GNV, a partir de su transformación hasta la amortización correspondiente de su deuda;
- c. Los recursos provenientes del Fondo de Conversión de Vehículos a GNV, correspondientes a cada beneficiario del Programa Nacional de Transformación de Vehículos de Diesel Óil a GNV, a partir de su transformación hasta la amortización correspondiente de su deuda.

DISPOSICIÓN ADICIONAL SEGUNDA.-

- I. Se amplía el Plan Piloto de Transformación de Vehículos de Diesel Óil a GNV, establecido en la Disposición Transitoria Única del Decreto Supremo N° 1344, hasta cien (100) transformaciones de vehículos de Diesel Óil a GNV, mediante otras tecnologías certificadas.
- II. Se autoriza a la EEC-GNV, la utilización de los recursos disponibles de los Fondos de Conversión de Vehículos a GNV – FCV_{GNV} y de Recalificación y

Reposición de Cilindros de GNV – FRC_{GNV}, para la compra por única vez de hasta cien (100) transformaciones de vehículos de Diesel Oil a GNV, mediante otras tecnologías certificadas.

DISPOSICIONES ABROGATORIAS Y DEROGATORIAS

Se abrogan y derogan todas las disposiciones contrarias al presente Decreto Supremo.

El señor Ministro de Estado en el Despacho de Hidrocarburos y Energía, queda encargado de la ejecución y cumplimiento del presente Decreto Supremo.

Es dado en el Palacio de Gobierno de la ciudad de La Paz, a los cinco días del mes de junio del año dos mil trece.

FDO. EVO MORALES AYMA, Juan Ramón Quintana Taborga MINISTRO DE LA PRESIDENCIA E INTERINO DE RELACIONES EXTERIORES, Carlos Gustavo Romero Bonifaz, Rubén Aldo Saavedra Soto, Elba Viviana Caro Hinojosa, Luis Alberto Arce Catacora, Juan José Hernando Sosa Soruco, Ana Teresa Morales Olivera, Arturo Vladimir Sánchez Escobar, Mario Virreira Iporre, Cecilia Luisa Ayllon Quinteros, Daniel Santalla Torrez, Juan Carlos Calvimontes Camargo, José Antonio Zamora Gutiérrez, Roberto Iván Aguilar Gómez, Nemesia Achacollo Tola, Claudia Stacy Peña Claros, Nardy Suxo Iturry, Pablo Cesar Groux Canedo, Amanda Dávila Torres.

ANEXO 2

LEY No. 1333

LEY DEL 27 DE ABRIL DE 1992

JAIME PAZ ZAMORA

PRESIDENTE CONSTITUCIONAL DE LA REPUBLICA

LEY DE MEDIO AMBIENTE.

Por cuanto, el Honorable Congreso Nacional, ha sancionado la siguiente Ley:

EL HONORABLE CONGRESO NACIONAL,

D E C R E T A :

TITULO I

DISPOSICIONES GENERALES

CAPITULO I

OBJETO DE LA LEY

ARTICULO 1.- La presente Ley tiene por objeto la proteccin y conservacin del medio ambiente y los recursos naturales, regulando las acciones del hombre con relacin a la naturaleza y promoviendo el desarrollo sostenible con la finalidad de mejorar la calidad de vida de la poblacin.

ARTICULO 2.- Para los fines de la presente Ley, se entiende por desarrollo sostenible el proceso mediante el cual se satisfacen las necesidades de la actual generacin, sin poner en riesgo la satisfaccin de necesidades de las generaciones futuras. La concepcin de desarrollo sostenible implica una tarea global de carcter permanente.

ARTICULO 3.- El medio ambiente y los recursos naturales constituyen patrimonio de la Nacin, su proteccin y aprovechamiento se encuentran regidos por Ley y son de orden pblico.

ARTICULO 4.- La presente Ley es de orden pblico, inters social, econmico y cultural.

TITULO II

DE LA GESTION AMBIENTAL

CAPITULO I

DE LA POLITICA AMBIENTAL

ARTICULO 5.- La poltica nacional del medio ambiente debe contribuir a mejorar la calidad de vida de la poblacin, sobre las siguientes bases:

1.- Definicin de acciones gubernamentales que garanticen la preservacin, conservacin, mejoramiento y restauracin de la calidad ambiental urbana y rural.

- 2.- Promocin del desarrollo sostenible con equidad y justicia social tomando en cuenta la diversidad cultural del pas.
- 3.- Promocin de la conservacin de la diversidad biolgica garantizando el mantenimiento y la permanencia de los diversos ecosistemas del pas.
- 4.- Optimizacin y racionalizacin el uso e aguas, aire suelos y otros recursos naturales renovables garantizando su disponibilidad a largo plazo.
- 5.- Incorporacin de la dimensin ambiental en los procesos del desarrollo nacional.
- 6.- Incorporacin de la educacin ambiental para beneficio de la poblacin en su conjunto.
- 7.- Promocin y fomento de la investigacin cientfica y tecnolgica relacionada con el medio ambiente y los recursos naturales.
- 8.- Establecimiento del ordenamiento territorial, a travs de la zonificacin ecolgica, econmica, social y cultural. El ordenamiento territorial no implica una alteracin de la divisin poltica nacional establecida.
- 9.- Creacin y fortalecimiento de los medios, instrumentos y metodologas necesarias para el desarrollo de planes y estrategias ambientales del pas priorizando la elaboracin y mantenimiento de cuentas patrimoniales con la finalidad de medir las variaciones del patrimonio natural nacional,
- 10.- Compatibilizacin de las polticas nacionales con las tendencias de la poltica internacional en los temas relacionados con el medio ambiente precautelando la soberana y los intereses nacionales.

CAPITULO II

DEL MARCO INSTITUCIONAL

ARTICULO 6.- Crase la Secretara Nacional del Medio Ambiente (SENMA) dependiente de la Presidencia de la Repblica como organismo encargado de la gestin ambiental. El Secretario Nacional del Medio Ambiente tendr el Rango de Ministro de Estado, ser designado por el Presidente de la Repblica y concurrir al Consejo de Ministros,

ARTICULO 7.- La Secretara Nacional del Medio Ambiente, tiene las siguientes funciones bsicas:

- 1.- Formular y dirigir la poltica nacional del Medio Ambiente en concordancia con la poltica general y los planes nacionales de desarrollo y cultural.
- 2.- Incorporar la dimensin ambiental al Sistema Nacional de Planificacin. Al efecto, el Secretario Nacional del Medio ambiente participar como miembro titular del Consejo Nacional de Economa y Planificacin (CONEPLAN).
- 3.- Planificar, coordinar, evaluar y controlar las actividades de la gestin ambiental.
- 4.- Promover el desarrollo sostenible en el pas.
- 5.- Normar, regular y fiscalizar las actividades de su competencia en coordinacin con las entidades pblicas sectoriales y departamentales.
- 6.- Aprobar o rechazar y supervisar los Estudios de Evaluacin de Impacto Ambiental e carcter nacional, en coordinacin con los Ministerios Sectoriales respectivos y las Secretaras Departamentales del Medio

Ambiente.

7.- Promover el establecimiento del ordenamiento territorial, en coordinacin con las entidades pblicas y privadas, sectoriales y departamentales.

8.- Cumplir y hacer cumplir las disposiciones emanadas de la presente Ley.

ARTICULO 8.- Cranse los Consejos Departamentales del Medio Ambiente (CODEMA) en cada uno de los Departamentos del pas como organismos de mxima decisin y consulta a nivel departamental, en el marco de la poltica nacional del medio ambiente establecida con las siguientes funciones y atribuciones:

a) Definir la poltica departamental del medio ambiente.

b) Priorizar y aprobar los planes, programas y proyectos de carcter ambiental elevados a su consideracin a travs de las Secretaras Departamentales.

c) Aprobar normas y reglamentos de mbito departamental relacionados con el medio ambiente.

d) Supervisar y controlar las actividades encargadas a las Secretaras Departamentales.

e) Elevar temas ante el Secretario Nacional del Medio Ambiente para la designacin del Secretario Departamental del Medio Ambiente.

f) Cumplir y hacer cumplir la presente Ley y las resoluciones emitidas por los mismos.

Corresponde a los Gobiernos Departamentales convocar a las Instituciones regionales pblicas privadas, cvicas, empresariales, laborales y otras para la conformacin de los Consejos Departamentales del Medio Ambiente, estarn compuestos por siete representantes de acuerdo a lo dispuesto por la reglamentacin respectiva.

ARTICULO 9.- Cranse las Secretaras Departamentales del Medio Ambiente como entidades descentralizadas de la Secretara Nacional del Medio Ambiente, cuyas atribuciones principales, sem las de ejecutar las polticas departamentales emanadas de los Consejos Departamentales del Medio Ambiente, velando porque las mismas se encuentren enmarcadas en la poltica nacional del medio ambiente.

Asimismo, tendrn las funciones encargadas a la Secretara Nacional que correspondan al mbito departamental, de acuerdo a reglamentacin.

ARTICULO 10.- Los Ministerios, organismos e instituciones pblicas de carcter nacional, departamental, municipal y local, relacionados con la problemtica ambiental, deben adecuar sus estructuras de organizacin a fin de disponer de una instancia para los asuntos referidos al medio ambiente.

Asimismo, en coordinacin con la Secretara del Medio Ambiente correspondiente apoyarn la ejecucin de programas y proyectos que tengan el propsito de preservar y conservar el medio ambiente y los recursos naturales.

CAPITULO III

DE LA PLANIFICACION AMBIENTAL

ARTICULO 11.- La planificacin del desarrollo nacional y regional del pas deber incorporar la dimensin ambiental a travs de un proceso dinmico permanente y concertado entre las diferentes entidades involucradas en la problemtica ambiental.

ARTICULO 12.- Son instrumentos bsicos de la planificacin ambiental.

a) La formulacin de planes, programas y proyectos a corto, mediano y largo plazo, a nivel nacional, departamental y local.

b) El ordenamiento territorial sobre la base de la capacidad de uso de los ecosistemas, la localizacin de asentamientos humanos y las necesidades de la conservacin del medio ambiente y los recursos naturales. c) El manejo integral y sostenible de los recursos a nivel de cuenca y otra unidad geogrfica.

d) Los Estudios de Evaluacin de Impacto Ambiental.

e) Los mecanismos de coordinacin y concertacin intersectorial interinstitucional e interregional.

f) Los inventarios, diagnsticos, estudios y otras fuentes de informacin.

g) Los medios de evaluacin, control y seguimiento de la calidad ambiental.

ARTICULO 13.- La Secretara Nacional del Medio Ambiente queda encargada de la conformacin de la Comisin para el Ordenamiento Territorial, responsable de su establecimiento en el pas.

ARTICULO 14.- El Ministerio de Planeamiento y Coordinacin con el apoyo del Ministerio de Finanzas, la Secretara Nacional del Medio Ambiente y los organismos competentes, son responsables de la elaboracin y mantenimiento de las cuentas patrimoniales con la finalidad de disponer de un adecuado sistema de evaluacin del patrimonio natural nacional.

ANEXO 3 Calor especfico molar medio de los gases μ_{CV} a $V=\text{constante}$ [en kJ/kmol °C]

Temperatura. °C	Aire	O ₂	N ₂ (atmosférico)	CO ₂	H ₂ O	CO	H ₂
0 1)	20,758	20,959	20,704	27,545	25,184	20,808	20,302
100	20,838	21,223	20,733	29,797	25,426	20,863	20,620
200	20,984	21,616	20,800	31,744	25,803	20,988	20,758
300	21,206	22,085	20,972	33,440	26,260	21,202	20,808
400	21,474	22,563	21,185	34,935	26,775	21,474	20,871
500	21,780	23,019	21,449	36,258	27,315	21,784	20,934
600	22,090	23,446	21,729	37,438	27,880	22,110	21,001
700	22,408	23,834	22,027	38,498	28,474	22,437	21,093
800	22,713	24,187	22,320	39,448	29,077	22,755	21,202
900	23,006	24,510	22,609	40,302	29,693	23,061	21,332
1000	23,283	24,803	22,881	41,077	30,304	23,350	21,474
1100	23,547	25,071	23,140	41,784	30,901	23,622	21,629
1200	23,794	25,318	23,392	42,425	31,510	23,877	21,792
1300	24,018	25,548	23,626	43,007	32,092	24,112	21,972
1400	24,250	25,761	23,848	43,543	32,661	24,338	22,152
1500	24,459	25,967	24,057	44,033	33,210	24,543	22,332
1600	24,652	26,159	24,250	44,485	33,741	24,736	22,517
1700	24,863	26,343	24,434	44,903	34,261	24,916	22,697
1800	25,003	26,519	24,602	45,299	34,755	25,087	22,877
1900	25,167	26,691	24,765	45,644	35,224	25,246	23,057
2000	25,326	26,854	24,916	45,975	35,680	25,393	23,233
2100	25,474	27,013	25,062	46,281	36,120	25,535	23,408
2200	25,611	27,168	25,200	46,566	36,538	25,665	23,576
2300	25,745	27,319	25,326	46,829	36,940	25,791	23,743
2400	25,870	27,470	25,447	47,076	37,330	25,908	23,907
2500	25,992	27,612	25,560	47,302	37,702	26,021	24,070

1) Para $t \rightarrow 0$ se exponen los valores del calor especfico verdadero.

ANEXO 4 Energía interna de los productos de combustión U (en MJ/kmol)

Temperatura, °C	Gasolina, siendo α igual a				Aceite Diesel $\alpha = 1$
	1,0	0,9	0,8	0,7	
0	0	0	0	0	0
100	2,2530	2,2045	2,1881	2,1685	2,252
200	4,5766	4,5352	4,4867	4,4285	4,580
300	6,3969	6,3165	6,2337	6,1344	6,992
400	8,4881	8,3842	8,2584	8,1123	9,483
500	12,0740	11,9386	11,7688	11,5713	12,100
600	14,7500	14,5759	14,3590	14,1057	14,779
700	17,5130	17,2989	17,0422	16,7202	17,585
800	20,3090	20,0938	19,7753	19,4024	20,390
900	23,2600	22,9688	22,5870	22,1510	23,237
1000	26,2262	25,8806	25,4548	24,9534	26,203
1100	29,2490	28,8569	28,3743	27,7968	29,308
1200	32,3250	31,8871	31,3476	30,7140	32,406
1300	35,4430	34,9505	34,3598	33,6586	35,504
1400	38,6010	38,0531	37,4129	36,6433	38,686
1500	41,6760	41,1969	40,4990	39,6603	41,868
1600	45,0140	44,3680	43,6125	42,7048	45,008
1700	48,2680	47,5716	46,7580	45,7802	48,358
1800	51,5370	50,7924	49,9207	48,8732	51,498
1900	54,8350	55,0398	53,1101	51,9929	54,931
2000	58,1500	57,3052	56,3174	55,1298	58,197
2100	61,4910	60,5947	59,5484	58,2851	61,546
2200	64,8460	63,9001	62,7955	61,4671	64,979
2300	68,2680	67,2127	66,0498	64,6528	68,287
2400	71,5880	70,5432	69,3228	67,8557	71,594
2500	74,9760	73,8820	72,6038	71,0678	75,027

ANEXO 5 Valores de los coeficientes A y B para diferentes tipos de motores

Tipo de motor	A	B	Tipo de motor	A	B
De encendido por chispa:			Diesel:		
$S/D \geq 1$	0,05	0,0155	con cámara de combustión separada	0,105	0,0138
$S/D < 1$	0,04	0,0135	con cámaras de combustión semiseparada y no separada	0,105	0,012

ANEXO 6

CUESTIONARIO N° 1

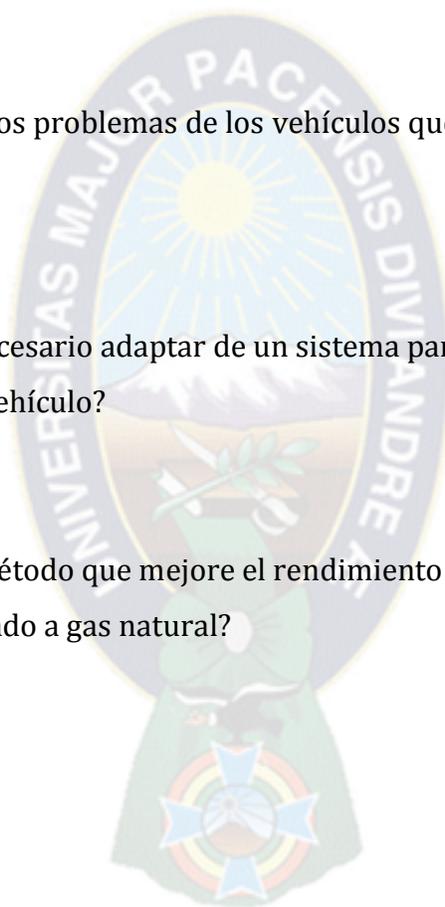
NOMBRE DEL TALLER.....

1. ¿Los clientes se sienten satisfechos al convertir su vehículo a gas natural?
 - Si
 - No

2. ¿Usted conoce los problemas de los vehículos que han sido transformado a Gas Natural?
 - Si
 - No

3. ¿Cree que es necesario adaptar de un sistema para recuperar la fuerza perdida de su vehículo?
 - Si
 - No

4. ¿Conoce otro método que mejore el rendimiento de un automóvil que ha sido transformado a gas natural?
 - Si
 - No



ANEXO 7

CUESTIONARIO N° 2

PLACA	
TIPO	
AÑO DE FABRICACIÓN	

1. ¿Su automóvil que tipo de combustible utiliza?
 - Gasolina
 - Gas Natural Vehicular
 - Gasolina y Gas Natural Vehicular

2. ¿Cuando su vehículo está funcionando con Gas Natural Vehicular siente que ha perdido fuerza?
 - Si
 - No

3. ¿Usted cree que es necesario la adaptación de un sistema a su automóvil para mejorar su rendimiento?
 - Si
 - No

4. ¿Usted estaría dispuesto invertir dinero en caso de que existiera un sistema que mejore el rendimiento de su automóvil?
 - Si
 - No

5. ¿Cuánto está dispuesto a pagar?

A) Bs. 600

B) Bs. 800

C) Bs. 1000



ANEXO 8

CALCULO PARA GASOLINA SIN CE

Reacciones químicas del combustible

La cantidad teórica de aire necesaria para la combustión de 1kg de combustible

$$l_0 = \frac{1}{0,23} \left(\frac{8}{3} C + 8H - O_c \right) = \frac{1}{0,23} \left(\frac{8}{3} \cdot 0,855 + 8 \cdot 0,145 - 0 \right) = 14,957 \text{ [kg]}$$

$$L_0 = \frac{1}{0,21} \left(\frac{C}{12} + \frac{H}{4} + \frac{O_c}{32} \right) = \frac{1}{0,21} \left(\frac{0,855}{12} + \frac{0,145}{4} + \frac{0}{32} \right) = 0,512 \text{ [kmol]}$$

La cantidad real de aire que participara en la combustión de 1kg de combustible

$$l = \alpha \cdot l_0 = 0,9 \cdot 14,957 = 13,461 \text{ [kg]}$$

$$L = \alpha \cdot L_0 = 0,9 \cdot 0,512 = 0,461 \text{ [kmol]}$$

La cantidad total de mezcla fresca

$$G_1 = 1 + \alpha \cdot l_0 = 1 + 0,9 \cdot 14,957 = 14,461 \text{ [kg]}$$

$$M_1 = \alpha \cdot L_0 + \frac{1}{\mu_c} = 0,9 \cdot 0,512 + \frac{1}{114} = 0,469 \text{ [kmol]}$$

La cantidad total de los productos de combustible

$$M_2 = \frac{C}{12} + \frac{H}{2} + 0,79\alpha L_0 = \frac{0,855}{12} + \frac{0,145}{2} + 0,79 \cdot 0,9 \cdot 0,512 = 0,508 \text{ [kmol]}$$

Para $\alpha < 1$

El incremento de volumen

$$\Delta M = M_2 - M_1 = 0,508 - 0,469 = 0,038 \text{ [kmol]}$$

Coefficiente teórico de variación molecular

$$\mu_0 = \frac{M_2}{M_1} = \frac{0,508}{0,469} = 1,083 \text{ [-]}$$

Densidad de la carga de admisión

$$R = \frac{8314}{\mu_a} = \frac{8314}{28,96} = 287,085$$

$$\rho_0 = \frac{p_k}{R \cdot T_k} \cdot 10^6 = \frac{0,064}{287,085 \cdot 278} \cdot 10^6 = 0,802 \text{ [k/m}^3\text{]}$$

$$p_a = p_k - (\beta^2 + \xi_{ad}) \cdot \frac{(\omega_{ad})^2}{2} \cdot \rho_0 \cdot 10^{-6} = 0,064 - 2,5 \cdot \frac{90^2}{2} \cdot 0,802 \cdot 10^{-6} = 0,056 \text{ [Mpa]}$$

$$\gamma_r = \frac{T_k + \Delta T}{T_r} \cdot \frac{p_r}{\varepsilon \cdot p_a - p_r} = \frac{278 + 15}{800} \cdot \frac{0,07}{9,8 \cdot 0,056 - 0,07} = 0,054$$

$$T_a = \frac{T_k + \Delta T + \gamma_r \cdot T_r}{1 + \gamma_r} = \frac{278 + 15 + 0,054 \cdot 800}{1 + 0,054} = 318,975 [\text{K}]$$

$$\varphi_1 = \frac{M_1 + M_r}{M_{1a} + M_r} = 1$$

$$\eta_v = \varphi_1 \cdot \frac{\varepsilon}{\varepsilon - 1} \cdot \frac{p_a}{p_k} \cdot \frac{T_k}{T_a(1 + \gamma_r)} = 1 \cdot \frac{9,8}{9,8 - 1} \cdot \frac{0,056}{0,064} \cdot \frac{278}{318,975(1 + 0,054)} = 0,805$$

Proceso de compresión

$$p_c = p_a \cdot \varepsilon^{n_1} = 0,056 \cdot 9,8^{1,32} = 1,139 [\text{Mpa}]$$

$$T_c = T_a \cdot \varepsilon^{n_1 - 1} = 318,975 \cdot 9,8^{1,32 - 1} = 662,138 [\text{K}]$$

Proceso de combustión

$$\mu_r = \frac{\mu_o + \gamma_r}{1 + \gamma_r} = \frac{1,081 + 0,054}{1 + 0,054} = 1,077$$

$$(\Delta H_u)_{\text{quim}} = A(1 - \alpha) \cdot L_o = 114 \cdot 10^6 (1 - 0,9) \cdot 0,519 = 5,916$$

Donde $(\Delta H_u)_{\text{quim}}$ se expresa en MJ/kg, para $A = 114 \cdot 10^6$

$$\mu_c''_v = r_{\text{CO}} \cdot 0,028 + r_{\text{CO}_2} \cdot 0,111 + r_{\text{H}_2} \cdot 0,014 + r_{\text{H}_2\text{O}} \cdot 0,128 + r_{\text{N}_2} \cdot 0,719 = 21,48 \cdot$$

$$0,028 + 34,79 \cdot 0,111 + 20,865 \cdot 0,014 + 26,726 \cdot 0,128 + 21,165 \cdot 0,719 = 23,393$$

$$U''_c = (\mu_{cv})''_c \cdot t_c = 23,393 \cdot 389,138 = 9103,105 [\text{KJ/kmol}]$$

$$t_c = T_c - 273 = 662,138 - 273 = 389,138 [^\circ\text{C}]$$

$$t_z = 2448,14 [^\circ\text{C}] \text{ (Obtenido por interpolación)}$$

$$p_z = \mu_r \cdot \frac{T_z}{T_c} \cdot p_c = 1,077 \cdot \frac{2448,14}{662,138} \cdot 1,139 = 4,535 [\text{Mpa}]$$

La presión redondeada

$$p''_z = 0,85 \cdot p_z = 0,85 \cdot 4,535 = 3,854 [\text{Mpa}]$$

$$p_b = \frac{p_z}{\varepsilon^{n_2}} = \frac{4,535}{9,8^{1,24}} = 0,268 [\text{Mpa}]$$

La temperatura al final de la expansión según la ecuación

$$T_b = \frac{T_z}{\varepsilon^{n_2 - 1}} = \frac{2448,14}{9,8^{1,24 - 1}} = 1415,604 [\text{K}]$$

La presión media indicada del ciclo calculado según la ecuación

$$\begin{aligned} (p_i)_{\text{an}} &= p_a \cdot \frac{\varepsilon^{n_1}}{\varepsilon - 1} \left[\frac{\lambda}{\ln_2 - 1} \left(1 - \frac{1}{\varepsilon^{n_2 - 1}} \right) - \frac{1}{n_1 - 1} \left(1 - \frac{1}{\varepsilon^{n_1 - 1}} \right) \right] \\ &= 0,056 \cdot \frac{9,8^{1,32}}{9,8 - 1} \left[\frac{3,97}{1,24 - 1} \left(1 - \frac{1}{9,8^{1,32 - 1}} \right) - \frac{1}{1,32 - 1} \left(1 - \frac{1}{9,8^{1,32 - 1}} \right) \right] = 0,675 [\text{Mpa}] \end{aligned}$$

Donde

$$\lambda = \frac{P_z}{P_c} = \frac{4,535}{1,139} = 3,97$$

Presión media indicada real

$$p_i = 0,97 \cdot (p_i)_{an} = 0,97 \cdot 0,675 = 0,654$$

Velocidad media del pistón

$$v_p = 12 \left[\frac{\text{m}}{\text{min}} \right]$$

Pérdidas mecánicas

$$p_m = A + B \cdot v_p = 0,05 + 0,016 \cdot 12 = 0,242 [\text{Mpa}]$$

Rendimiento mecánico

$$\eta_m = \frac{p_e}{p_i} = \frac{0,412}{0,654} = 0,629$$

Presión media efectiva

$$p_e = p_i - p_m = 0,654 - 0,242 = 0,412 [\text{Mpa}]$$

Consumo específico indicado del combustible

$$g_i = 3600 \cdot \frac{\eta_v \cdot p_o}{(p_i)_{an} \cdot \alpha \cdot l_o} = 3600 \cdot \frac{0,741 \cdot 0,802}{0,56 \cdot 0,9 \cdot 17,275} = 245,723 [\text{g/kWh}]$$

Consumo específico efectivo del combustible

$$g_e = \frac{g_i}{\eta_m} = \frac{245,723}{0,629} = 390,656 [\text{kWh}]$$

El rendimiento indicado del ciclo

$$\eta_i = \frac{3600}{g_i \cdot H_u} = \frac{3600}{245,723 \cdot 42,15} = 0,347$$

El rendimiento efectivo del ciclo

$$\eta_e = \eta_i \cdot \eta_m = 0,347 \cdot 0,629 = 0,218$$

Potencia del motor

$$N_e = \frac{p_e \cdot V_H \cdot \text{rpm}}{120} = \frac{0,412 \cdot 1,8 \cdot 6000}{120} = 37,08 [\text{kW}]$$

CALCULO PARA GNV SIN CE

Reacciones químicas del combustible

La cantidad teórica de aire necesaria para la combustión de 1kg de combustible

$$l_0 = \frac{1}{0,23} \left(\frac{8}{3} C + 8H - O_c \right) = \frac{1}{0,23} \left(\frac{8}{3} \cdot 0,755 + 8 \cdot 0,245 - 0 \right) = 17,275 \text{ [kg]}$$

$$L_0 = \frac{1}{0,21} \left(\frac{C}{12} + \frac{H}{4} + \frac{O_c}{32} \right) = \frac{1}{0,21} \left(\frac{0,755}{12} + \frac{0,245}{4} + \frac{0}{32} \right) = 0,591 \text{ [kmol]}$$

La cantidad real de aire que participara en la combustión de 1kg de combustible

$$l = \alpha \cdot l_0 = 0,85 \cdot 17,275 = 14,684 \text{ [kg]}$$

$$L = \alpha \cdot L_0 = 0,85 \cdot 0,591 = 0,504 \text{ [kmol]}$$

La cantidad total de mezcla fresca

$$G_1 = 1 + \alpha \cdot l_0 = 1 + 0,85 \cdot 17,275 = 15,684 \text{ [kg]}$$

$$M_1 = \alpha \cdot L_0 + \frac{1}{\mu_c} = 0,85 \cdot 0,591 + \frac{1}{114} = 0,511 \text{ [kmol]}$$

La cantidad total de los productos de combustible

$$M_2 = \frac{C}{12} + \frac{H}{2} + 0,79\alpha L_0 = \frac{0,755}{12} + \frac{0,245}{2} + 0,79 \cdot 0,85 \cdot 0,591 = 0,582 \text{ [kmol]}$$

Para $\alpha < 1$

El incremento de volumen

$$\Delta M = M_2 - M_1 = 0,582 - 0,511 = 0,071 \text{ [kmol]}$$

Coefficiente teórico de variación molecular

$$\mu_0 = \frac{M_2}{M_1} = \frac{0,582}{0,511} = 1,139 \text{ [-]}$$

Densidad de la carga de admisión

$$R = \frac{8314}{\mu_a} = \frac{8314}{28,96} = 287,085$$

$$\rho_0 = \frac{p_k}{R \cdot T_k} \cdot 10^6 = \frac{0,064}{287,085 \cdot 278} \cdot 10^6 = 0,802 \text{ [k/m}^3\text{]}$$

$$p_a = p_k - (\beta^2 + \xi_{ad}) \cdot \frac{(\omega_{ad})^2}{2} \cdot \rho_0 \cdot 10^{-6} = 0,064 - 4 \cdot \frac{90^2}{2} \cdot 0,802 \cdot 10^{-6} = 0,051 \text{ [Mpa]}$$

$$\gamma_r = \frac{T_k + \Delta T}{T_r} \cdot \frac{p_r}{\varepsilon \cdot p_a - p_r} = \frac{278 + 15}{700} \cdot \frac{0,06}{9,8 \cdot 0,051 - 0,06} = 0,057$$

$$T_a = \frac{T_k + \Delta T + \gamma_r \cdot T_r}{1 + \gamma_r} = \frac{278 + 15 + 0,057 \cdot 700}{1 + 0,057} = 314,947 \text{ [K]}$$

$$\varphi_1 = \frac{M_1 + M_r}{M_{1a} + M_r} = 1$$

Para determinar el rendimiento volumétrico se podrá calcular con la siguiente fórmula asumiendo que $\varphi_1 = 1$

$$\eta_v = \varphi_1 \cdot \frac{\varepsilon}{\varepsilon - 1} \cdot \frac{p_a}{P_k} \cdot \frac{T_k}{T_a(1 + \gamma_r)} = 1 \cdot \frac{9,8}{9,8 - 1} \cdot \frac{0,051}{0,064} \cdot \frac{278}{314,947(1 + 0,057)} = 0,741$$

Proceso de compresión

$$p_c = p_a \cdot \varepsilon^{n_1} = 0,051 \cdot 9,8^{1,32} = 1,038 \text{ [Mpa]}$$

$$T_c = T_a \cdot \varepsilon^{n_1 - 1} = 314,947 \cdot 9,8^{1,32 - 1} = 653,777 \text{ [K]}$$

Proceso de combustión

$$\mu_r = \frac{\mu_0 + \gamma_r}{1 + \gamma_r} = \frac{1,139 + 0,057}{1 + 0,057} = 1,131$$

Se puede calcular la fracción sumaria del calor que no se desprendió

$$(\Delta H_u)_{\text{quim}} = A(1 - \alpha) \cdot L_0 = 114 \cdot 10^6 (1 - 0,9) \cdot 0,591 = 6,737$$

Donde $(\Delta H_u)_{\text{quim}}$ se expresa en M J/kg, para $A = 114 \cdot 10^6$

$$\mu_c''_v = r_{\text{CO}} + r_{\text{CO}_2} + r_{\text{H}_2} + r_{\text{H}_2\text{O}} + r_{\text{N}_2} = 21,442 \cdot 0,028 + 34,649 \cdot 0,111 + 20,860 \cdot 0,014 + 26,626 \cdot 0,128 + 21,144 \cdot 0,719 = 23,349$$

$$U''_c = (\mu_{cv})''_c \cdot t_c = 23,349 \cdot 381,804 = 8914,741 \text{ [KJ/kmol]}$$

$$t_c = T_c - 273 = 653,777 - 273 = 380,777 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

$$t_z = 2139,72 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

$$p_z = \mu_r \cdot \frac{T_z}{T_c} \cdot p_c = 1,131 \cdot \frac{2139,72}{653,777} \cdot 1,038 = 3,842 \text{ [Mpa]}$$

La presión redondeada

$$p''_z = 0,85 \cdot p_z = 0,85 \cdot 3,842 = 2,266 \text{ [Mpa]}$$

$$p_b = \frac{p_z}{\varepsilon^{n_2}} = \frac{3,842}{9,8^{1,24}} = 0,227 \text{ [Mpa]}$$

La temperatura al final de la expansión según la ecuación

$$T_b = \frac{T_z}{\varepsilon^{n_2 - 1}} = \frac{2139,72}{9,8^{1,24 - 1}} = 1237,264 \text{ [K]}$$

La presión media indicada del ciclo calculado según la ecuación

$$(p_i)_{\text{an}} = p_a \cdot \frac{\varepsilon^{n_1}}{\varepsilon - 1} \left[\frac{\lambda}{\ln_2 - 1} \left(1 - \frac{1}{\varepsilon^{n_2 - 1}} \right) - \frac{1}{n_1 - 1} \left(1 - \frac{1}{\varepsilon^{n_1 - 1}} \right) \right]$$

$$= 0,051 \cdot \frac{9,8^{1,32}}{9,8-1} \left[\frac{3,701}{1,24-1} \left(1 - \frac{1}{9,8^{1,32-1}} \right) - \frac{1}{1,32-1} \left(1 - \frac{1}{9,8^{1,32-1}} \right) \right] = 0,576 [\text{Mpa}]$$

Donde:

$$\lambda = \frac{P_z}{P_c} = \frac{3,842}{1,038} = 3,701$$

Presión media indicada real

$$p_i = 0,97 \cdot (p_i)_{an} = 0,97 \cdot 0,576 = 0,559$$

Velocidad media del pistón

$$v_p = 12 \left[\frac{\text{m}}{\text{min}} \right]$$

Pérdidas mecánicas

$$p_m = A + B \cdot v_p = 0,05 + 0,016 \cdot 12 = 0,242 [\text{Mpa}]$$

Rendimiento mecánico

$$\eta_m = \frac{p_e}{p_i} = \frac{0,424}{0,666} = 0,636$$

Presión media efectiva

$$p_e = p_i - p_m = 0,559 - 0,242 = 0,317 [\text{Mpa}]$$

Consumo específico indicado del combustible

$$g_i = 3600 \cdot \frac{\eta_v \cdot p_0}{(p_i)_{an} \cdot \alpha \cdot l_0} = 3600 \cdot \frac{0,741 \cdot 0,802}{0,576 \cdot 0,9 \cdot 17,275} = 238,897 [\text{g/kWh}]$$

Consumo específico efectivo del combustible

$$g_e = \frac{g_i}{\eta_m} = \frac{238,897}{0,636} = 375,624 [\text{kWh}]$$

El rendimiento indicado del ciclo

$$\eta_i = \frac{3600}{g_i \cdot H_u} = \frac{3600}{238,897 \cdot 38,75} = 0,388$$

El rendimiento efectivo del ciclo

$$\eta_e = \eta_i \cdot \eta_m = 0,388 \cdot 0,636 = 0,246$$

Potencia del motor

$$N_e = \frac{p_e \cdot V_H \cdot \text{rpm}}{120} = \frac{0,317 \cdot 1,8 \cdot 6000}{120} = 28,53 [\text{kW}]$$

CALCULO PARA GNV Y CE

Reacciones químicas del combustible

La cantidad teórica de aire necesaria para la combustión de 1kg de combustible

$$l_0 = \frac{1}{0,23} \left(\frac{8}{3} C + 8H - O_c \right) = \frac{1}{0,23} \left(\frac{8}{3} \cdot 0,755 + 8 \cdot 0,245 - 0 \right) = 17,275 \text{ [kg]}$$

$$L_0 = \frac{1}{0,21} \left(\frac{C}{12} + \frac{H}{4} + \frac{O_c}{32} \right) = \frac{1}{0,21} \left(\frac{0,755}{12} + \frac{0,245}{4} + \frac{0}{32} \right) = 0,591 \text{ [kmol]}$$

La cantidad real de aire que participara en la combustión de 1kg de combustible

$$l = \alpha \cdot l_0 = 0,70 \cdot 17,275 = 12,093 \text{ [kg]}$$

$$L = \alpha \cdot L_0 = 0,70 \cdot 0,591 = 0,414 \text{ [kmol]}$$

La cantidad total de mezcla fresca

$$G_1 = 1 + \alpha \cdot l_0 = 1 + 0,70 \cdot 17,275 = 13,093 \text{ [kg]}$$

$$M_1 = \alpha \cdot L_0 + \frac{1}{\mu_c} = 0,7 \cdot 0,591 + \frac{1}{114} = 0,423 \text{ [kmol]}$$

La cantidad total de los productos de combustible

$$M_2 = \frac{C}{12} + \frac{H}{2} + 0,79\alpha L_0 = \frac{0,755}{12} + \frac{0,245}{2} + 0,79 \cdot 0,70 \cdot 0,591 = 0,512 \text{ [kmol]}$$

Para $\alpha < 1$

El incremento de volumen

$$\Delta M = M_2 - M_1 = 0,512 - 0,422 = 0,090 \text{ [kmol]}$$

Coefficiente teórico de variación molecular

$$\mu_0 = \frac{M_2}{M_1} = \frac{0,512}{0,422} = 1,212 \text{ [-]}$$

Densidad de la carga de admisión

$$R = \frac{8314}{\mu_a} = \frac{8314}{28,96} = 287,085$$

$$\rho_0 = \frac{p_k}{R \cdot T_k} \cdot 10^6 = \frac{0,075}{287,085 \cdot 285} \cdot 10^6 = 0,917 \text{ [k/m}^3\text{]}$$

$$p_a = p_k - (\beta^2 + \xi_{ad}) \cdot \frac{(\omega_{ad})^2}{2} \cdot \rho_0 \cdot 10^{-6} = 0,075 - 3 \cdot \frac{50^2}{2} \cdot 0,916 \cdot 10^{-6} = 0,072 \text{ [Mpa]}$$

$$\gamma_r = \frac{T_k + \Delta T}{T_r} \cdot \frac{p_r}{\varepsilon \cdot p_a - p_r} = \frac{285 + 22}{800} \cdot \frac{0,07}{9,8 \cdot 0,072 - 0,07} = 0,042$$

$$T_a = \frac{T_k + \Delta T + \gamma_r \cdot T_r}{1 + \gamma_r} = \frac{285 + 22 + 0,042 \cdot 800}{1 + 0,042} = 326,871 \text{ [K]}$$

$$\varphi_1 = \frac{M_1 + M_r}{M_{1a} + M_r} = 1$$

Para determinar el rendimiento volumétrico se podrá calcular con la siguiente fórmula asumiendo que $\varphi_1 = 1$

$$\eta_v = \varphi_1 \cdot \frac{\varepsilon}{\varepsilon - 1} \cdot \frac{p_a}{P_k} \cdot \frac{T_k}{T_a(1 + \gamma_r)} = 1 \cdot \frac{9,8}{9,8 - 1} \cdot \frac{0,072}{0,075} \cdot \frac{285}{326,871(1 + 0,042)} = 0,894$$

Proceso de compresión

$$p_c = p_a \cdot \varepsilon^{n_1} = 0,071 \cdot 9,8^{1,32} = 1,454 \text{ [Mpa]}$$

$$T_c = T_a \cdot \varepsilon^{n_1 - 1} = 326,871 \cdot 9,8^{1,32 - 1} = 678,529 \text{ [K]}$$

Proceso de combustión

$$\mu_r = \frac{\mu_0 + \gamma_r}{1 + \gamma_r} = \frac{1,213 + 0,042}{1 + 0,042} = 1,204$$

$$(\Delta H_u)_{\text{quim}} = A(1 - \alpha) \cdot L_0 = 114 \cdot 10^6 (1 - 0,9) \cdot 0,591 = 6,737$$

Donde $(\Delta H_u)_{\text{quim}}$ se expresa en MJ/kg, para $A = 114 \cdot 10^6$

$$\mu_{c''v} = r_{\text{CO}} + r_{\text{CO}_2} + r_{\text{H}_2} + r_{\text{H}_2\text{O}} + r_{\text{N}_2} = 21,425 \cdot 0,028 + 34,666 \cdot 0,111 + 20,859 \cdot 0,014 + 26,682 \cdot 0,128 + 21,146 \cdot 0,719 = 23,359$$

$$U''_c = (\mu_{c''v})''_c \cdot t_c = 23,359 \cdot 405,529 = 9472,751 \text{ [KJ/kmol]}$$

$$t_c = T_c - 273 = 678,529 - 273 = 405,529 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

$$t_z = \frac{\mu_z}{\mu_{c''v}} = 1903,96 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

$$p_z = \mu_r \cdot \frac{T_z}{T_c} \cdot p_c = 1,204 \cdot \frac{1945,96}{678,529} \cdot 1,464 = 5,055 \text{ [Mpa]}$$

La presión redondeada

$$p''_z = 0,85 \cdot p_z = 0,85 \cdot 5,055 = 4,296 \text{ [Mpa]}$$

$$p_b = \frac{5,055}{\varepsilon^{n_2}} = \frac{4,946}{9,8^{1,24}} = 0,297 \text{ [Mpa]}$$

La temperatura al final de la expansión según la ecuación

$$T_b = \frac{T_z}{\varepsilon^{n_2 - 1}} = \frac{1903,96}{9,8^{1,24 - 1}} = 1125,225 \text{ [K]}$$

La presión media indicada del ciclo calculado según la ecuación

$$(p_i)_{\text{an}} = p_a \cdot \frac{\varepsilon^{n_1}}{\varepsilon - 1} \left[\frac{\lambda}{n_2 - 1} \left(1 - \frac{1}{\varepsilon^{n_2 - 1}} \right) - \frac{1}{n_1 - 1} \left(1 - \frac{1}{\varepsilon^{n_1 - 1}} \right) \right]$$

$$= 0,072 \cdot \frac{9,8^{1,32}}{9,8 - 1} \left[\frac{3,45}{1,24 - 1} \left(1 - \frac{1}{9,8^{1,24 - 1}} \right) - \frac{1}{1,32 - 1} \left(1 - \frac{1}{9,8^{1,32 - 1}} \right) \right] = 0,73 \text{ [Mpa]}$$

Donde:

$$\lambda = \frac{P_z}{P_c} = \frac{5,055}{1.476} = 3,45$$

Presión media indicada real

$$p_i = 0,97 \cdot (p_i)_{an} = 0,97 \cdot 0,73 = 0,708$$

Velocidad media del pistón

$$v_p = 12 \left[\frac{m}{min} \right]$$

Pérdidas mecánicas

$$p_m = A + B \cdot v_p = 0,05 + 0,016 \cdot 12 = 0,242 [\text{Mpa}]$$

Rendimiento mecánico

$$\eta_m = \frac{p_e}{p_i} = \frac{0,466}{0,708} = 0,658$$

Presión media efectiva

$$p_e = p_i - p_m = 0,708 - 0,242 = 0,466 [\text{Mpa}]$$

Consumo específico indicado del combustible

$$g_i = 3600 \cdot \frac{\eta_v \cdot \rho_0}{(p_i)_{an} \cdot \alpha \cdot l_0} = 3600 \cdot \frac{0,894 \cdot 0,916}{0,73 \cdot 0,9 \cdot 17,275} = 259,747 [\text{g/kWh}]$$

Consumo específico efectivo del combustible

$$g_e = \frac{g_i}{\eta_m} = \frac{259,747}{0,658} = 394,752 [\text{kWh}]$$

El rendimiento indicado del ciclo

$$\eta_i = \frac{3600}{g_i \cdot H_u} = \frac{3600}{259,74 \cdot 64,02} = 0,216$$

El rendimiento efectivo del ciclo

$$\eta_e = \eta_i \cdot \eta_m = 0,216 \cdot 0,636 = 0,137$$

Potencia del motor

$$N_e = \frac{p_e \cdot V_H \cdot \text{rpm}}{120} = \frac{0,466 \cdot 1,8 \cdot 6000}{120} = 41,94 [\text{kW}]$$

