

**Universidad Internacional del Ecuador**



**Escuela de Ingeniería Automotriz**

**Trabajo de Tesis para la obtención del Título de Ingeniero en Mecánica  
Automotriz**

**RENDIMIENTO Y EMISIONES DE UN VEHICULO M1, CON INYECCION  
INDIRECTA AGREGADA DE MEZCLA AGUA-METANOL EN CONDICIONES  
DE ALTITUD**

**JORGE EDUARDO GALARRAGA VINUEZA**

**Director: Ing. Santiago Orozco**

Quito, junio 2020

**UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DEL ECUADOR  
ESCUELA DE INGENIERIA AUTOMOTRIZ**

**CERTIFICACIÓN (ACUERDO DE CONFIDENCIALIDAD)**

Yo, Jorge Eduardo Galarraga Vinueza, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Universidad Internacional del Ecuador puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

Quito, junio 20 de 2020



---

**Jorge Eduardo Galarraga Vinueza**

**UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DEL ECUADOR**  
**ESCUELA DE INGENIERIA AUTOMOTRIZ**

**CERTIFICADO**

Ing. Santiago Paul Orozco Alarcón

**CERTIFICA**

Que el trabajo “RENDIMIENTO Y EMISIONES DE UN VEHICULO M1, CON INYECCION INDIRECTA AGREGADA DE MEZCLA AGUA-METANOL EN CONDICIONES DE ALTITUD” realizado por el estudiante Jorge Eduardo Galarraga Vinueza ha sido guiado y revisado periódicamente cumpliendo las normas establecidas por la Universidad Internacional del Ecuador, en el Reglamento de Estudiantes.

Debido a que constituye un trabajo de excelente contenido científico que coadyuvará a la aplicación de conocimientos y al desarrollo profesional, si recomiendo su publicación. Este trabajo consta de un empastado que contiene toda la información de este. Autoriza el señor: Jorge Eduardo Galarraga Vinueza que lo entregue a la biblioteca de la facultad, en calidad de custodia de recursos y materiales bibliográficos.

Quito, junio de 2020



---

**Ing. Santiago Orozco**

**Docente de Cátedra**

## **DEDICATORIA**

Dedicado para mi familia, especialmente a mi mama y a mi hijo quienes han sido el impulso más grande para superarme día a día y obtener un título profesional.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a todas las personas que marcaron mi vida guiándome hacia la obtención del título profesional. Para mi familia que estuvo presente especialmente en los difíciles momentos que se presentaron durante la carrera y a mis maestros quienes supieron inculcarme lo mejor de ellos.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACION (ACUERDO DE CONFIDENCIALIDAD) .....	i
CERTIFICADO .....	ii
DEDICATORIA .....	iii
AGRADECIMIENTO .....	iv
INDICE DE FIGURAS .....	viii
INDICE DE TABLAS .....	ix
LISTA DE ANEXOS .....	x
RESUMEN .....	xi
ABSTRACT .....	xi
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. PLANTEAMIENTO, FORMULACIÓN Y SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA .....	2
1.2. OBJETIVO GENERAL .....	2
1.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	2
1.4. DELIMITACIONES .....	3
1.5. HIPÓTESIS O ALCANCE .....	3
2. MARCO TEORICO .....	4
2.1. Principios químicos .....	4
2.2. Principios mecánicos .....	7
2.3. Aportaciones del sistema .....	17
3. METODOLOGÍA.....	20
3.1 Materiales .....	20
3.2 Especificaciones generales del vehículo.....	25
3.3 Integración del sistema de inyección.....	26
3.4 Delimitaciones operacionales .....	29
3.5 Factores de control.....	31
3.6 Normas y condiciones operacionales .....	32
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	34
4.1 Resultados en fase de prueba (Laboratorio UIDE).....	34
4.2 Resultados con normas NTE INEN.....	35
4.3 Análisis de costos .....	54
4.4 Desventajas .....	59
5. CONCLUSIONES.....	63
	vi

6. RECOMENDACIONES .....	64
ANEXOS .....	65
BIBLIOGRAFIA .....	65

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b>	Diagrama presión volumen Ciclo Carnot.....	8
<b>Figura 2</b>	Ciclo Otto ideal .....	9
<b>Figura 3</b>	Ciclo Otto ideal .....	9
<b>Figura 4</b>	Ciclo real del motor Otto .....	10
<b>Figura 5</b>	Operación del motor encendido por chispa de cuatro tiempos .....	11
<b>Figura 6</b>	Bomba de alimentación.....	20
<b>Figura 7</b>	Tanque de almacenamiento.....	21
<b>Figura 8</b>	Ductos de circulación.....	21
<b>Figura 9</b>	Espaciador cuerpo de aceleración .....	22
<b>Figura 10</b>	Conjunto inyector.....	22
<b>Figura 11</b>	Punta inyectora.....	23
<b>Figura 12</b>	Sensor de presión .....	23
<b>Figura 13</b>	Modulo regulador de inyección .....	24
<b>Figura 14</b>	Filtro de mezcla.....	24
<b>Figura 15</b>	Vano motor Volkswagen Gol .....	26
<b>Figura 16</b>	Conjunto de bomba, tanque de almacenamiento y base de sujeción .....	27
<b>Figura 17</b>	Base separadora con inyector agregado .....	28
<b>Figura 18</b>	Ruta de pruebas .....	31

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Variables operacionales .....	29
<b>Tabla 2</b> Análisis de emisiones en fase de calibración.....	34
<b>Tabla 3</b> Datos generales condición estándar.....	35
<b>Tabla 4</b> Análisis de emisiones condición estándar .....	37
<b>Tabla 5</b> Datos generales condición modificada (agua-metanol).....	38
<b>Tabla 6</b> Análisis de emisiones condición de inyección agregada.....	41
<b>Tabla 7</b> Datos de comportamiento de aire (comprobación teórica).....	43
<b>Tabla 8</b> Costos de materiales .....	54
<b>Tabla 9</b> Comparativa de costos y distancias recorridas .....	56
<b>Tabla 10</b> Costo promedio anual de combustibles .....	58

## LISTA DE ANEXOS

<b>Anexo 1</b> Evaluación operacional condición estándar #1.....	67
<b>Anexo 2</b> Evaluación operacional condición estándar #2.....	69
<b>Anexo 3</b> Evaluación operacional condición estándar #3.....	71
<b>Anexo 4</b> Evaluación operacional condición estándar #4.....	73
<b>Anexo 5</b> Evaluación operacional condición de inyección agregada agua-metanol # 1 .....	75
<b>Anexo 6</b> Evaluación operacional condición de inyección agregada agua-metanol # 2 .....	77
<b>Anexo 7</b> Evaluación operacional condición de inyección agregada agua-metanol # 3 .....	79
<b>Anexo 8</b> Evaluación operacional condición de inyección agregada agua-metanol # 4 .....	81
<b>Anexo 9</b> Evaluación operacional condición de inyección agregada agua-metanol # 5 .....	83
<b>Anexo 10</b> Interpretación de aceite de motores Widman International SLR.....	85
<b>Anexo 11</b> Contaminación de los lubricantes Widman International SLR .....	86
<b>Anexo 12</b> Desgaste del motor (degradación de lubricante) Widman Internatioanl SLR....	90
<b>Anexo 13</b> Degradación de lubricantes Widman International SLR .....	94

## RESUMEN

Hoy en día los vehículos son expuestos a una serie de ambientes y condiciones que varían las características operacionales del motor. La incidencia de estos factores repercute en la operación y el rendimiento de los motores de combustión interna. Es por esto por lo que, para compensar la adversidades o factores limitantes de la operación de motores, los fabricantes han recurrido hacia la implementación de sistemas y tecnologías compensadoras de rendimiento. En el Ecuador, la geografía sufre cambios terrenales y ambientales abruptos, generando una gran variedad de condiciones operacionales para los motores. Siendo los vehículos livianos del tipo compactos los que abarcan la mayor proporción del mercado, se realiza un estudio enfocado hacia la incidencia que posee un sistema de alimentación complementaria. Para la evaluación se emplea un vehículo tipo M1 en condiciones geográficas de altitud a 2500 metros sobre el nivel del mar, con fluctuación de elevación. Con el uso de equipos y herramientas, se efectúa una evaluación que permite identificar los parámetros operacionales del vehículo en su condición estándar y modificada. Los parámetros de evaluación están conformados por el torque, la potencia, emisiones contaminantes, eficiencia y comportamiento del motor. Tras efectuar una serie de pruebas, se verifica como la inyección agregada de agua y metanol afectan los valores de torque y potencia. Los niveles de eficiencia y autonomía presentan una mejora considerable para el vehículo, indicando que el sistema si afecta al rendimiento positivamente. Sin embargo, también se logra determinar que la cantidad de mezcla o dosificación que se aporta al sistema de alimentación incide directamente en el comportamiento y rendimiento del motor favoreciéndolo o perjudicándolo.

**Palabras clave:** altitud, inyección agregada, compensar, rendimiento, dosificación.

## **ABSTRACT**

Nowadays vehicles are exposed to a great variety of environments and conditions that affect the operational characteristics of the internal combustion engine. As a result, the engines suffer a repercussion over its performance. In an attempt to compensate the adverse conditions to which the engines are exposed, car manufacturers have resorted to the implementation of several performance compensating technologies. Due to its geographic location, Ecuador suffers several radical environmental and elevation changes which provide a series of different operational conditions for the engines. The compact sedan segment appears to occupy the vast majority of Ecuador's automotive yard; as a result, the research focuses in the impact an aggregate injection system has over an m1 type vehicle. The operational test conditions include high elevation at 2500 meters over sea level and altitude variation. The evaluation of the operational parameters of the engine will be recorded and analyzed with the use of several tools and measuring instruments which will allow a direct comparison of the stock version versus the modified version of the engine. Some of the operational parameters to be analyzed include, torque, power, efficiency and engine behavior. After conducting several tests, the variation of power and torque with the aggregate water-methanol injection is validated to be positively effective. Other parameters such as efficiency and range show a substantial improvement for the vehicle. However, it is also determined that water-methanol injection and its quantity of dosage, can alter both, positive and negative aspects of an engine's performance.

**Keywords:** altitude, aggregate injection, compensate, performance, dosage.

# 1. INTRODUCCIÓN

En los últimos 50 años, los diferentes fabricantes de automóviles del mundo han desarrollado un sin número de alternativas para mejorar el aprovechamiento energético de los motores de combustión. Algunas de los métodos más empleados son la incorporación de sistemas de inyección de alta presión, reducción de peso de materiales, mejora en el diseño de los motores y rediseño de los sistemas de alimentación de aire.

Con el desarrollo tecnológico no solo se ha buscado la maximización de prestaciones sino también la reducción de emisiones contaminantes. La preocupación por el calentamiento global ha tenido como resultado en un enfoque hacia la reducción de gases contaminantes como el CO el CO<sub>2</sub> los NO<sub>x</sub> y los hidrocarburos no combustionados HC.

Sin embargo, todos estos avances han sido alcanzables gracias a la mejora de los combustibles. La mejora en los combustibles ha permitido extraer los mejores valores de torque y potencia posibles para los motores; pero, a su vez, también ha limitado el aprovechamiento máximo del rendimiento de un motor cuando el combustible empleado no es el adecuado.

Existen también otros factores externos que reducen el rendimiento del motor y que también lo vuelven más ineficiente; estos son la humedad, la temperatura y la altitud. Estos factores por desgracia no pueden ser controlados puesto que vienen provistos por las propias condiciones geográficas y terrenales que se presentan en las zonas de circulación para todos los vehículos. A pesar de que no se puede mantener una condición idónea en términos geográficos y climáticos, si se puede realizar compensación del aire empleando sistemas de alimentación adicionales, los cuales permiten estabilizar el entorno de ingesta y escape del motor.

Con el fin de compensar las posibles falencias causadas por el combustible y reducir aún más las emisiones de gases contaminantes, se han desarrollado sistemas de inyección complementaria de combustible, otros fluidos como agua y mezclas como el agua-metanol. Esta tecnología ha sido ya empleada con fines de competición puesto que mejora aún más el rendimiento del motor. Sin embargo, es en estos últimos años donde se ha tomado un especial énfasis para ser aplicado a los vehículos de movilidad normal. Al incorporar la inyección añadida de estos fluidos, lo que se obtiene como resultado es una

mejora en las condiciones de combustión entre los carburantes y los comburentes. Es así como ya se planea la inclusión de estos sistemas en vehículos de producción en serie.

### **1.1. Planteamiento, formulación y sistematización del problema**

Las condiciones operacionales variables a las que se ve sometido un motor ya sea por factores externos o por el combustible en sí, reducen su desempeño, incrementan sus emisiones e incluso pueden generar daños al motor. Mediante la instalación de un sistema de inyección de agua y metanol en serie y simultaneo con la inyección de combustible, se identificará los parámetros operacionales del motor de un vehículo M1 en condiciones de altitud. Se realizarán pruebas previas y posteriores a la instalación del sistema para la identificación de dichos parámetros. Para la medición de condiciones y parámetros operacionales se emplearán herramientas como dinamómetros, analizador de gases y escáneres vehiculares.

Con el uso de las herramientas e instrumentos de medición, se analizará los diferentes parámetros operacionales del vehículo, permitiendo así, una comparación entre las condiciones iniciales (sin el sistema) y las condiciones finales (con el sistema instalado.)

### **1.2. Objetivo general**

Identificar como la inyección agregada de agua-metanol incide en la operación del motor y en el proceso de combustión de un vehículo m1 en condiciones geográficas de altitud favoreciendo el rendimiento, la protección ambiental y a la sociedad en general.

### **1.3. Objetivos específicos**

- Implementar un sistema de inyección agregada de agua-metanol en serie simultáneo en un vehículo m1.
- Demostrar los benéficos en rendimiento, protección ambiental y a la sociedad en general que aporta el sistema de inyección agregada.
- Analizar el comportamiento del motor y el proceso de combustión en condiciones normales y con inyección agregada de agua-metanol.

## **1.4. Delimitaciones**

### **Delimitación Temporal:**

Para la ejecución total del proyecto se estima un tiempo aproximado de 3 meses y medio en los cuales se destinará:

15 días para la recopilación de información inicial (pruebas previas la instalación)

1 mes para la instalación del sistema y pruebas del vehículo

1 mes y 15 días para la recopilación final de información y elaboración de informes numéricos y escritos.

### **Delimitación Geográfica:**

La investigación se llevará a cabo en la ciudad de Quito, ubicada en una zona geográfica de elevación a 2500mts sobre el nivel del mar. La implementación del sistema tiene como fin un uso total en toda región y en toda condición por lo que puede ser probada en zonas geográficas más o menos elevadas que la empleada como base.

## **1.5. Hipótesis o Alcance**

La incorporación de un sistema de inyección agregada de agua-metanol logra mejorar las condiciones operacionales del motor de un vehículo tipo m1, en condiciones de altitud en los parámetros de emisiones torque, potencia y eficiencia.

## **2. MARCO TEORICO**

### **2.1. Principios químicos**

#### **Combustión**

La combustión es un proceso químico en el cual un material es sometido a la oxidación. Como productos del proceso, se obtiene la generación de luminosidad y calor. Si bien es cierto que la combustión es un proceso de oxidación, no todo proceso de oxidación se relaciona con la combustión. Un proceso de combustión posee dos elementos fundamentales, siendo estos los carburantes y los comburentes. En condiciones ideales, todo el carburante debe reaccionar con el comburente proporcionalmente requerido. Los productos de la combustión completa sin importar el combustible empleado, deben ser agua y dióxido de carbono. Sin embargo, en el mundo real, la combustión no se efectúa de forma ideal y se obtienen subproductos dañinos como el monóxido de carbono, hidróxidos y partículas no combustionadas.

Es importante destacar que, para obtener la combustión completa, se debe poseer una relación específica entre la cantidad de aire y la cantidad de combustible. Para la aplicación específica de la ignición del combustible tipo gasolina, se requiere una relación de 14.7 gramos de aire por cada gramo de combustible. Esta relación ideal se denomina relación estequiométrica. Es importante destacar que la combustión mantener esta relación puesto que un exceso o escasez del carburante o comburente, tiene como resultado una combustión ineficiente. Según la variación de la proporción, las mezclas de aire y combustible son denominadas mezclas ricas y mezclas pobres.

#### **Ciclo termodinámico**

Un ciclo termodinámico se define como una serie de procesos que experimentan variaciones térmicas de forma repetitiva y en el cual el sistema siempre regresa a su estado inicial. Este ciclo y su repetitividad hacen referencia a su operación, las condiciones operacionales del sistema se siempre se repiten durante los diferentes termodinámicos. Es importante recalcar que un sistema termodinámico, la suma energética del calor y el trabajo aplicados, debe ser igual a la suma del calor y el trabajo resultante.

Sin embargo, para los motores de combustión interna, el ciclo termodinámico no posee los mismos valores energéticos entre la energía aplicada y la energía resultante ya que tanto el calor como el trabajo, son transferidos hacia el entorno. El trabajo resultante se distribuye al eje de salida del motor mientras que el calor se pierde como gases residuales y ruido.

### **Carburantes**

Los carburantes son todos aquellos elementos los cuales son sometidos al proceso de oxidación durante la combustión, para el caso de los motores de combustión interna, el carburante sería el combustible.

### **Comburentes**

Un comburente es todo aquel que permite la reacción de combustión, es decir el compuesto que reacciona con el carburante para generar la combustión. Para el caso particular, el aire es el elemento comburente en la combustión. El aire posee una composición de 78% de nitrógeno, 21% de oxígeno y 1% de otros gases incluyendo dióxido de carbono, argón, hidrógeno, helio entre otros.

### **Gases inertes**

Por definición, inerte es una denominación que se otorga a cualquier elemento que no está involucrado directamente en un proceso y por lo tanto su presencia no incide en el mismo. Por lo tanto, al referirse a un gas inerte, se refiere a un gas cuya presencia no afecta en la combustión como tal. Sin embargo, cabe recalcar que el nitrógeno, a pesar de estar presente como un gas inerte en la combustión, si afecta a los subproductos de esta.

### **Mezcla rica**

Una mezcla rica, sin importar la proporción del carburante o comburente, es aquella donde existe un mayor contenido de combustible en relación a la cantidad de aire. Es decir, cualquier relación donde el combustible posea mayor cantidad de combustible o menor cantidad de aire comparado con la mezcla estequiométrica, se denomina mezcla rica.

Una de las principales ventajas de emplear una mezcla rica, es la refrigeración de la cámara de combustión y una combustión más agresiva puesto que todo el comburente es empleado durante la misma. Sin embargo, la mezcla rica es altamente contaminante, libera una serie

de gases tóxicos incluyendo las partículas no combustionas y monóxidos de carbono. A su vez si la mezcla es demasiado rica, la combustión tampoco se efectúa apropiadamente ya que el mismo exceso de combustible, dificulta el encendido de la mezcla y limita el potencial de combustión.

### **Mezcla pobre**

Es una mezcla en la cual la relación de aire es superior a la relación de combustible. Los posibles escenarios para la mezcla pobre es una escasez de combustible para la cantidad de aire existente o, a su vez, un exceso de aire en relación a la de combustible. Los problemas de la combustión con mezcla pobre incluyen excesos de temperatura en la cámara de combustión, recalentamiento de las partes internas y alta formación de hidróxidos. Sin embargo, con este tipo de mezcla se logra aprovechar a todo el carburante empleado anulando su desperdicio.

### **Calor latente**

El calor latente es un término referido a la energía que absorbe o libera una sustancia durante un cambio de fase.

### **Entalpia**

La entalpia es un concepto que hace referencia a la cantidad de energía que absorbe o libera una sustancia a su entorno. Este aporte energético es medido en Julios.

### **Proceso exotérmico**

Este es un proceso relacionado con la entalpia, es un proceso usualmente relacionado con reacciones entre sustancias o cambios de fase, donde como resultado se tiene la liberación de energía hacia el entorno.

### **Proceso endotérmico**

Es otro proceso relacionado con la entalpia, es un proceso usualmente relacionado con reacciones entre sustancias o cambios de fase, donde como resultado se tiene la absorción de energía hacia el entorno. La absorción de energía esta también relacionada con la aplicación de energía.

## **Octanaje**

El octanaje es un índice de contenido tomada en función de la presencia de octanos presentes en el combustible de tipo gasolina. Entre mayor sea la cantidad de octanos, mayor será el índice de octanaje. También se puede describir como la propiedad antidetonante que posee un combustible donde un valor mayor, indica mayor resistencia a su auto detonación.

## **Ley de gases ideales**

La ley de los gases ideales también conocida como la ecuación general de los gases, es una ecuación que permite identificar de forma aproximada el comportamiento de los gases cuando son sometidos a una serie de condiciones. Se incorpora las variables de presión, el volumen, la temperatura, el número de moles y una constante universal de los gases. La ecuación permite despejar una incógnita a la vez para determinar la variable deseada. La ecuación general de los gases es:

$$PV = nRT$$

Por otra parte, la ley también establece como ley universal para los gases (mayoría) que por cada mol de un gas ocupara 22.4 litros de volumen

## **Condiciones STP**

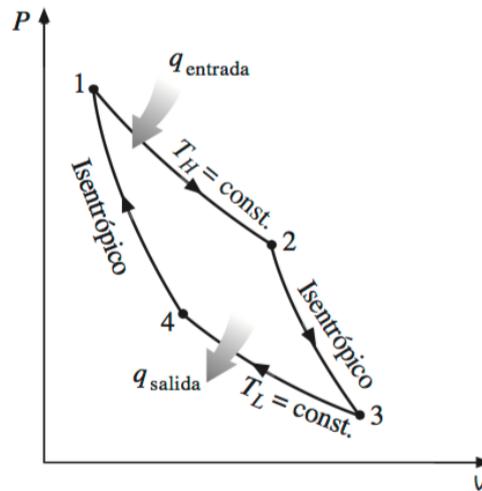
Las siglas STP hacen referencia a “standard temperature and pressure” que se traduce en condiciones estándar de presión y temperatura. Las condiciones estándar para la presión se fijan en 1 atm y para la temperatura en 293° K (20° C). La importancia de estas condiciones radica en el origen de las constantes, donde la constante es tomada a partir de condiciones STP y sirve para posteriores análisis con variación de presión y temperatura.

## **2.2. Principios mecánicos**

### **Ciclo Otto**

El ciclo Otto, es un ciclo de funcionamiento de los motores de combustión interna llamado así en honor a su fundador, el alemán Nicolás Otto. El ciclo de trabajo Otto describe el ciclo termodinámico de un motor de combustión interna de cuatro tiempos. A continuación, el grafico termodinámico:

En las etapas del ciclo Otto se tiene lo siguiente:

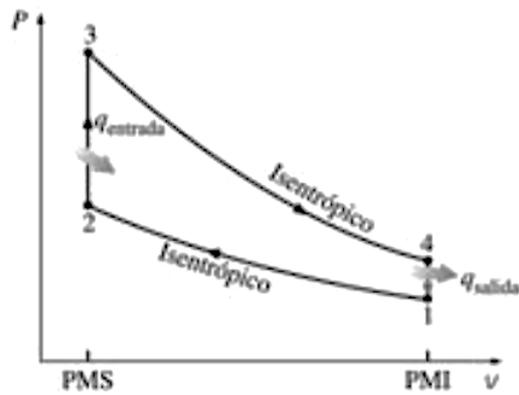


**Figura 1** Diagrama presión volumen Ciclo Carnot

**Fuente:** (Yunes A. Cengel, 2011)

La figura anterior presenta las condiciones operacionales en términos de presión y volumen para un sistema de ciclo Otto ideal. Se presenta una peculiaridad de poseer 2 procesos isotérmicos y dos procesos isentrópicos. Sin embargo, las condiciones ideales y las condiciones reales difieren por el intercambio de calor. En la condición real el gas residual si es liberado mientras en un ciclo teórico, se emplea la diferencia de temperaturas en conjunto con enfriadores para permitir la reversibilidad de las reacciones.

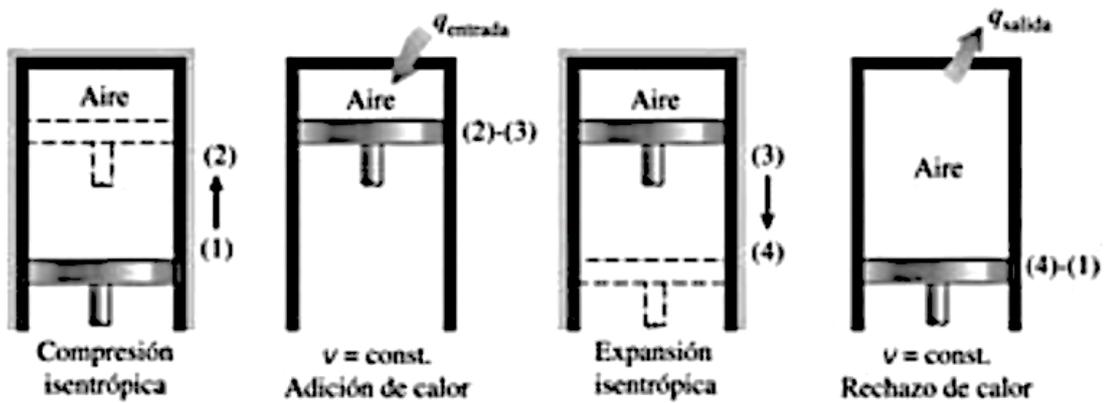
Con la figura 2, se puede comprender como opera un ciclo termodinámico en términos de la relación de presión versus volumen en condiciones ideales, sin embargo, por el diseño y funcionamiento propio del motor, el comportamiento de este se ve alterado, representándose en la figura 4.



**Figura 2** Ciclo Otto ideal

**Fuente:** (Yunes A. Cengel, 2011)

La figura dos muestra una diferencia operacional en comparación al ciclo real tanto por la repetitividad de los ciclos (4 tiempos) como por el intercambio de calor que se efectúa. En un ciclo ideal la energía no es liberada al ambiente como sucede en la vida real.



**Figura 3** Ciclo Otto ideal

**Fuente:** (Yunes A. Cengel, 2011)

De 0 a 1, admisión de aire con cambio de volumen positivo, es decir, llenado del cilindro. El llenado del cilindro ocurre a la presión existente en la admisión, para motores atmosféricos, siendo a presión atmosférica y para motores con sobrealimentación, la presión sería la definida por el propio sobrealimentador.

De 1 a 2, ocurre la compresión, donde la reducción de volumen también genera un aumento de temperatura. Este proceso se conoce como un proceso de adiabático; un

proceso donde un fluido no pierde ni gana calor con su entorno al someterse a un trabajo (compresión, consecuencia del movimiento mecánico).

De 2 a 3, se tiene la ignición de la mezcla, la cual, a volumen constante, incrementa su temperatura; como resultado de esto, se genera una presión aún más alta en el cilindro lo que resulta en la fuerza de empuje sobre pistón.

De 3 a 4, se realiza el trabajo sobre el pistón, los gases empujan el pistón a causa de la alta presión resultante de la alta temperatura. Mientras los gases empujan al pistón, se crea un aumento de volumen. Se denomina también expansión isotrópica puesto que no existe transferencia de calor o materia con el entorno (todo queda sellado en el sistema).



**Figura 4** Ciclo real del motor Otto

**Fuente:** (Yunes A. Cengel, 2011)

### Ciclo de Carnot

El ciclo de Carnot es un ciclo termodinámico que opera absorbiendo un calor inicial y cediendo un calor final mientras ejerce un trabajo al someterse al intercambio térmico. Todas las máquinas de Carnot poseen procesos reversibles, lo que les permite actuar como bombas de calor o como maquina frigorífica dependiendo si absorbe o cede calor desde una fuente al ejercer su operación. Las máquinas de Carnot presentan una vital importancia puesto que son consideradas para la comparación con otras máquinas y a determinación de su eficiencia térmica.

## Motor de cuatro tiempos

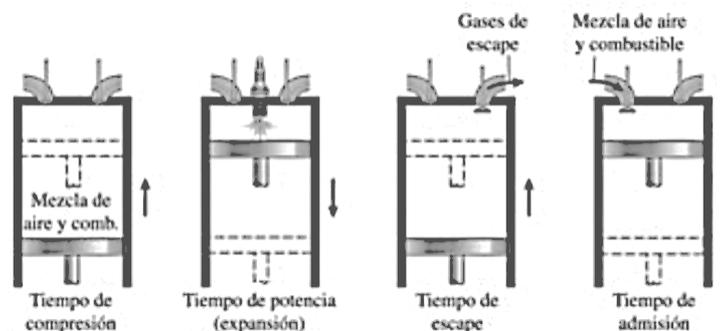
Se denomina un motor de cuatro tiempos al motor que emplea cuatro fases para su funcionamiento. Las cuatro fases o cuatro tiempos de funcionamiento son la admisión, compresión, combustión y escape. Este tipo de motores, para su operación teórica, realiza una de sus fases cada 180 grados de rotación. Por cada dos rotaciones del motor o 720 grados, se obtiene un ciclo de trabajo. Del total de 720 grados de rotación o dos vueltas del motor, solo 180 grados se destinan al trabajo del pistón.

El tiempo de admisión se efectúa cuando el pistón aspira la mezcla de aire y combustible hacia el cilindro por medio del efecto de vacío generado a causa del movimiento descendente del pistón desde P.M.S hacia P.M.I y recorriendo los primeros 180 grados de rotación.

El tiempo de compresión se efectúa cuando el pistón inicia su carrera ascendente desde P.M.I hacia P.M.S con las válvulas de admisión y escape completamente cerradas. Al alcanzar punto muerto superior, finaliza el ciclo de compresión con una rotación adicional de 180 grados para completar un total de 360 grados o 1 revolución del motor.

El tiempo de combustión se efectúa cuando el pistón inicia su carrera descendente desde P.M.S hacia P.M.I tras encender la mezcla y generar el empuje descendente; el ciclo presenta otros 180 grados de rotación para un total de 540 grados.

El tiempo de escape se efectúa cuando el pistón inicia su carrera ascendente desde P.M.I hacia P.M.S con las válvulas de escape abiertas y el pistón empuja los gases combustionados hacia el ambiente. Este ciclo aporta otros 180 grados de rotación para completar los 720 grados de funcionamiento o 2 revoluciones características del motor de 4 tiempos.



**Figura 5** Operación del motor encendido por chispa de cuatro tiempos

**Fuente:** (Yunes A. Cengel, 2011)

Aunque en el ciclo teórico todos los tiempos o fases duran 180 grados, en la práctica por términos de eficiencia y optimización de funcionamiento, las fases presentan extensiones graduales llamados avance a la apertura de admisión, retraso de cierre de admisión, avance de la apertura de escape y retraso del cierre de escape. Estas condiciones otorgan al motor mejores condiciones de ingesta y expulsión de gases, favoreciendo el llenado del cilindro. A estos efectos se los conoce como adelantos y retrasos valvulares.

### **Motor Otto**

El motor se define como una máquina que permite la transformación de energía empleando algún sistema que permita obtener dicho intercambio. En base a este concepto, el motor Otto es una máquina que permite la transformación de energía química-calorífica en energía mecánica; la energía resultante de tipo mecánica ejerce un trabajo el cual es aprovechado para permitir la marcha. Un motor de tipo Otto también se caracteriza por permitir la transformación de energía química a energía calórica a energía mecánica, todo como parte del mismo sistema de transformación energía.

Los motores de tipo Otto emplean todos unos principios de funcionamiento donde el trabajo mecánico obtenido es del tipo rotacional. Dicho movimiento rotacional a su vez tiene un origen de movimiento vertical de tipo ascendente y descendente. Para la obtención del movimiento vertical, se emplea un pistón alojado en un cilindro, el pistón a su vez se conecta con un brazo oscilante conocido como biela; a su vez la biela se conecta al cigüeñal el cual posee un eje central y una serie de muñones de apoyo céntricos y una serie de muñones desfasados; según el número de cilindros y el orden de encendido varia la cantidad de estos. La energía química proveniente del combustible, la energía calórica resultante de la combustión y la energía mecánica resultante del accionamiento mecánico de las partes del motor. La mezcla de aire-combustible se comprime y se transforma en el cilindro en energía calórica. El calor resultante ejerce una presión la cual actúa sobre la cabeza del pistón, el cual, al vencer la resistencia propia del sistema, inicia el descenso de este de forma descendente. El empuje del pistón se transmite a biela conectada al cigüeñal el cual, por posición, actúa con un efecto de palanca, generado un momento rotacional sobre el eje central. Finalmente, el movimiento rotacional se acopla a un elemento de salida solidario al eje central del cigüeñal y el cual permite transmitir el trabajo realizado por el motor.

### **Volumen del cilindro**

El volumen del cilindro es la capacidad máxima o capacidad total que posee un solo cilindro del motor. A este concepto, también se lo conoce como la cilindrada unitaria. Para determinar la capacidad total del cilindro, se debe sumar la capacidad total del cilindro como tal y la capacidad del volumen de la cámara; el resultado de la suma es el que se determina como el volumen del cilindro.

### **Volumen de la cámara**

La cámara en los motores de combustión interna es una cavidad alojada ya sea en la culata o en la cabeza del pistón. La cavidad en realidad puede llegar a cumplir una serie de funciones tales como focalizar el punto de ignición de la mezcla, permitir holguras entre el pistón y las válvulas, permitir mejores rangos operacionales para el cruce valvular, cambiar la relación de compresión, entre otros. La importancia de la cámara radica en su habilidad para alojar la mezcla de aire y combustible cuando esta es comprimida.

Es importante destacar que el volumen de la cámara quien determinara la relación de compresión. La relación entre el volumen de la cámara y la relación de compresión es inversamente proporcional; entre mayor sea el volumen de la cámara, menor será la relación de compresión.

### **Punto muerto superior**

El punto muerto superior también conocido como P.M.S, es un punto donde el pistón presenta su proximidad máxima con respecto de la culata. Esta condición ocurre cuando el pistón alcanza su recorrido máximo o carrera máxima dentro del cilindro en la condición de desplazamiento ascendente.

### **Punto muerto inferior**

El punto muerto inferior, también conocido como P.M.I, es un punto donde el pistón presenta su lejanía máxima con respecto de la culata. Esta condición ocurre cuando el pistón alcanza su recorrido máximo o carrera máxima dentro del cilindro en la condición de desplazamiento descendente.

## **Diámetro**

El diámetro es una medida de longitud que hace referencia a la distancia en línea recta que atraviesa a un círculo pasando por su punto medio. Con respecto de los motores de combustión interna, esta medida es provista por el pistón.

## **Carrera**

La carrera es un término de ingeniería automotriz que hace referencia a la longitud de desplazamiento que posee un pistón dentro del cilindro. La medida de desplazamiento se toma en referencia a la diferencia entre el P.M.I y el P.MS, siendo el punto de origen y el punto final respectivamente. La carrera también se define como el doble de la longitud del muñón cigüeñal midiéndose desde el centro del cigüeñal hacia el centro del muñón.

## **Relación de compresión**

La relación de compresión es una proporción de reducción de volumen desde una medida inicial a una medida final. Quien determina la relación de forma directa, es el volumen de la cámara, al ser un volumen fijo e invariable, es el valor mínimo de volumen que será empleado. La relación de compresión también es un factor que se mantiene fijo sin verse afectado de factores externos puesto que está sujeto a las condiciones físicas y mecánicas definidas por el diseño.

La relación de compresión está definida por la siguiente ecuación:

$$R_c = \frac{V_c + V_h}{V_c}$$

De donde:

$R_c$ : relación de compresión

$V_c$ : volumen de la cámara

$V_h$ : volumen del cilindro

Cabe recalcar que, para el cálculo de la relación de compresión, el cálculo se efectúa empleando los valores unitarios del cilindro.

## **Presión de compresión**

Si bien es cierto que la relación de compresión es un parámetro fijo inalterable, existe fluctuaciones de compresión en términos de presión. A este efecto variable, se lo conoce como la presión de compresión, un término que hace referencia a la presión ejercida en el cilindro como resultado de su trabajo.

Es importante recalcar que la presión de compresión varía en función de la presión atmosférica por lo que presenta variación en relación a la elevación en la que se encuentre el vehículo. A nivel del mar, se obtendrá una mayor presión de compresión frente a las zonas de altitud. Por ejemplo, un auto a nivel del mar puede llegar a marcar

## **Eficiencia volumétrica**

La eficiencia volumétrica o rendimiento volumétrico, es un término que hace referencia al aprovechamiento volumétrico que posee un sistema. Es decir, un contenedor que permite alojar un fluido en la totalidad de su volumen es un contenedor con alta eficiencia volumétrica. En otras palabras, la eficiencia volumétrica es la relación entre el volumen total de un contenedor y el volumen del fluido contenido en su interior.

Para los motores de combustión interna, la eficiencia volumétrica radica en el aprovechamiento de llenado de aire en sus cilindros. La teoría y la práctica dictan que, para motores de 2 válvulas por cilindro, el llenado del cilindro o aprovechamiento, está entre el 70 y 85% mientras que para los motores de 4 válvulas por cilindro o más, se alcanza un llenado entre el 90 y 95%. Este aprovechamiento porcentual, indica el llenado de aire que puede alcanzar un cilindro.

Sin embargo, el llenado del cilindro también es relativo. Factores como la temperatura y la presión atmosférica afectan la cantidad de aire que ingresará al motor. Es por esto por lo que a pesar de que el llenado del cilindro en términos de aprovechamiento (porcentaje) sea la misma en toda condición, en la realidad, existe fluctuación por la densidad del aire. Cabe recalcar que el aprovechamiento de llenado es un factor que los fabricantes analizan a nivel del mar por lo que esta es la que se conoce como la condición estándar de funcionamiento. Como ejemplo de estas condiciones se podría analizar lo siguiente:

- a) A nivel del mar:
  - 1 atm de presión
  - 95% de llenado de cilindro

$$\text{llenado real} = 1(\text{atm}) * 95\%(\text{eficiencia de llenado})$$

$$\text{llenado real} = 0.95 \text{ atm de presión de llenado en el cilindro}$$

b) 2500 metros sobre el nivel del mar

- 0.75 atm de presión
- 95% de llenado de cilindro

$$\text{llenado real} = 0.75(\text{atm}) * 95\%(\text{eficiencia de llenado})$$

$$\text{llenado real} = 0.71 \text{ atm de presión de llenado en el cilindro}$$

Es así como a pesar de que se mantenga el aprovechamiento o porcentaje de llenado, siempre estará afectado por una serie de factores externos.

### **Temperatura de aire de admisión**

La temperatura es el indicador del nivel térmico que posee un cuerpo. En referencia al aire, la temperatura del aire ambiente difiere de la temperatura de aire en el colector de admisión. La temperatura del ambiente siempre será menor a la temperatura en el múltiple de admisión. Este efecto es un resultado de la circulación del aire a través del motor donde al estar en contacto con el entorno caliente del motor, se absorbe la energía en forma de calor; por esta razón existe la diferencia de temperaturas.

La incidencia del nivel térmico que posee el aire afecta de forma directamente proporcional a la energía cinética que este posee. Como resultado, el aire caliente tiende a ocupar un mayor volumen que el frío por la dispersión molecular. La dispersión entre las moléculas afectará directamente el llenado del cilindro favoreciendo o limitando su capacidad de llenado.

### **Presión de admisión**

La presión de admisión es un término referente a la presión de aire existente en el múltiple de admisión. Aunque la presión de admisión debe ser igual a la presión atmosférica en condiciones de plena carga, las condiciones operacionales del motor pueden llegar a indicar condiciones menores causados propiamente por el diseño y operación del motor. El motor opera con condiciones de vacío durante su etapa de admisión para lograr su llenado; como resultado, en alto régimen se puede generar condiciones de vacío que reducen la presión en el múltiple y por ende inciden directamente en el llenado del cilindro.

## **Impedancia eléctrica**

La impedancia eléctrica es una condición de oposición al flujo de una corriente eléctrica en un circuito. Esta condición se presenta cuando entre dos elementos conductores, se interpone algún tipo de resistencia que limita el paso de la corriente. Para el caso particular del sistema de inyección de agua y metanol, la impedancia eléctrica muestra una vital importancia para el arco eléctrico presente en los electrodos de la bujía.

### **2.3. Aportaciones del sistema**

- Reducción de temperatura en el múltiple de admisión:

Tras efectuar la inyección del agua metanol se obtiene un aire más frío, esto como resultado brinda un aire más denso y por ende una mayor carga o volumen de aire ingresando al motor. Este efecto es también conocido como intercambiador de calor por líquido.

- Reducción de detonación indeseada:

El aire más frío a casusa de la inyección efectuada, permite al pistón realizar su fase de compresión completamente, eliminando así la pre-detonación causada por la temperatura y la alta presión existente en el cilindro. “Este encendido prematuro del combustible, denominado autoencendido, produce un ruido audible que recibe el nombre de golpeteo del motor o cascabeleo.” (Yunes A. Cengel, 2011). La mezcla más fría, aporta al cilindro un efecto refrigerante y aplaca las zonas calientes eliminando sus efectos pre-detonantes de combustible. Como resultado también se logra aprovechar el correcto encendido en términos del momento de encendido de la mezcla en el cilindro y maximiza las ventajas de los cambios de tiempo de encendido, factor crucial para el mayor rendimiento térmico y mecánico del motor. “El autoencendido en las máquinas de encendido por chispa no puede tolerarse debido a que perjudica el desempeño y puede dañar la máquina.” (Yunes A. Cengel, 2011).

- Reducción de depósitos de carbono:

El carbón es un producto causado por la variación de mezclas en los cilindros tanto ricas como pobres y resultado propio de la combustión en forma de residuos. Como efecto se acumula el carbón en los cilindros y cabeza de los pistones. Las zonas de carbón, con la temperatura, generan puntos térmicos o puntos calientes, los cuales favorecen la pre-detonación. Con la incorporación del sistema, la mezcla añadida de agua y metanol,

aportan un efecto removedor; el vapor generado por el agua en estado gaseoso genera un aumento de presión que incide en todo el cilindro y logra penetrar a la base de los carbones asentados permitiendo su remoción.

- Reducción de consumo:

Al inyectar la mezcla de agua metanol, se incrementa a su vez un combustible más a la reacción de combustión. Esto como efecto deberá reducir el pulso de inyección puesto que la mezcla, al incluir un combustible, genera una mezcla más rica cambiando relación comparado con la cantidad de aire entrando por sí solo. El consumo mejora puesto que la fuerza y la potencia mejoran por la diferencia de carga y condición operacional del motor que se refleja en una menor exigencia y menor aceleración requerida para realizar la conducción y maniobras deseadas.

- Incremento de potencia:

La potencia es un resultado del aumento de la fuerza o trabajo por unidad de tiempo. Es decir, al aumentar el par motor, se incrementará la potencia como resultado de un mayor trabajo aportado por unidad de tiempo. Este efecto puede alcanzarse tras generar una combustión más agresiva en el cilindro tras incluir más carburante (combustible y mezcla) y comburente que permite al motor mejorar sus condiciones operacionales y eficiencia.

- Incremento de octanaje:

El octanaje es una medida de anti-detonancia del combustible. Esta propiedad es única de cada combustible y define los niveles de compresión que este soportaría antes de auto encenderse por los factores de la presión y la temperatura en los cilindros. El metanol tiene un índice de octanaje de 115 por lo que, al ingresar al motor, mejora también la propiedad del combustible haciéndolo menos propenso a pre detonar. Así también un mayor índice octanaje provee una mayor fuerza de explosión lo que a su vez se vuelve a traducir en un aumento de potencia.

“Las mejoras en la eficiencia térmica de máquinas de gasolina mediante el uso de relaciones de compresión más altas (hasta aproximadamente 12) sin que se enfrenten problemas de autoencendido, ha sido posible usando mezclas de gasolina que tienen buenas características de antidetonante, como la gasolina mezclada con tetraetilo de plomo.” (Yunes A. Cengel, 2011). Sin embargo, la añadidura de algunos compuestos como

el tetraetilo de plomo puede llegar a comprometer los componentes de todos los sistemas de inyección como filtros, bombas de combustible, inyectoros, catalizadores y otros. La inyección agregada tiene como fin ampliar el rango de la calidad de combustible, es posible incluir combustibles de menor octanaje que al mezclarse con la mezcla agregada de agua-metanol, otorga una calidad equivalente o superior al de un combustible más refinado; todo esto sin el uso de compuestos añadidos al combustible que pueden resultar dañinos para el sistema de inyección.

“La eficiencia térmica de máquinas reales de encendido por chispa varía de aproximadamente 25 a 30 por ciento.” (Yunes A. Cengel, 2011). Con una eficiencia térmica del motor correspondiente a tan solo un tercio de la energía térmica total, existe mucho margen para mejorar el aprovechamiento energético. Es por esta razón también que se busca elevar ese nivel de eficiencia empleando la inyección de agua y metanol para reducir las pérdidas energéticas térmicas transfiriendo mayor aporte energético a la máquina.

### 3. METODOLOGÍA

#### 3.1 Materiales

Por términos de durabilidad, efectividad, costos y operación, se toma algunos materiales y sistemas base para efectuar la investigación; estos son los siguientes:

#### Bomba de alimentación



**Figura 6** Bomba de alimentación

**Fuente:** (AEM Electronics, 2019)

Es el elemento encargado de suministrar un caudal de alimentación y presión al sistema de inyección. Esta bomba es la encargada así mismo de variar sus parámetros operacionales (caudal) en función de la depresión generada por el motor.

## Tanque de almacenamiento



**Figura 7** Tanque de almacenamiento

**Fuente:** (AEM Electronics, 2019)

Este es un contenedor encargado de alojar toda la mezcla de agua y metanol requerida para almacenarla y alimentar al sistema de forma constante.

## Ductos de circulación



**Figura 8** Ductos de circulación

**Fuente:** (AEM Electronics, 2019)

Son un conjunto de mangueras encargadas de la circulación del fluido empleados para el circuito de alimentación de baja y alta presión.

## Espaciador del cuerpo de aceleración



**Figura 9** Espaciador cuerpo de aceleración

**Fuente:** (Galarraga, 2019)

Es un elemento que genera una separación entre el cuerpo de aceleración y el depurador de admisión que permite la colocación del inyector. Esta es una base requerida para posicionar el inyector.

## Conjunto inyector



**Figura 10** Conjunto inyector

**Fuente:** (AEM Electronics, 2019)

Es el elemento encargado de permitir la circulación de la mezcla y disiparlo como una fina niebla, cumple la función de pulverizar la mezcla para asegurar el correcto funcionamiento.

## **Punta inyectora**



**Figura 11** Punta inyectora

**Fuente:** (AEM Electronics, 2019)

Son elementos considerados aditamentos, la punta del inyector funciona en base a la aplicación y demanda de cada motor pues este varía de forma efectiva tanto la presión como el caudal y por ende la cantidad de mezcla que deberá ser inyectada.

## **Sensor barométrico**



**Figura 12** Sensor de presión

**Fuente:** (AEM Electronics, 2019)

Es un elemento electrónico que permite monitorear la presión en el múltiple. Su función es de vital importancia ya que este determina la presión requerida para accionar el sistema y la cantidad de mezcla que debe circular en función de la demanda del motor (posición del acelerador) para hacerlo operar correctamente bajo diferentes condiciones de carga.

## **Arnés principal**

Es el conjunto de cableado eléctrico que permite realizar las conexiones de todo el sistema de inyección tanto para energizar la bomba como para el sensor de presión y módulo de control. Este es un material requerido para la instalación de los diversos sistemas y circuitos.

## Módulo de inyección



**Figura 13** Modulo regulador de inyección

**Fuente:** (AEM Electronics, 2019)

Es un componente del sistema de inyección agua metanol encargado de determinar algunos parámetros de funcionamiento como la presión mínima de funcionamiento, el ajuste de flujo de mezcla en función de la presión en el múltiple entre otros.

## Filtro del sistema



**Figura 14** Filtro de mezcla

**Fuente:** (AEM Electronics, 2019)

Es un elemento que permite la depuración o filtrado de la mezcla antes de pasar al sistema, algunas partículas pueden ingresar al tanque de depósito en momentos de recargas y el filtro asegura la mezcla más pura en las líneas de salida hacia el motor.

## Válvulas

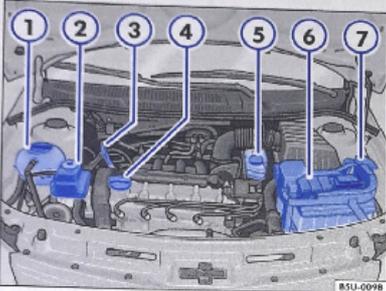
Es un elemento mecánico capaz de ejercer algunas funciones según su tipo. Las válvulas son capaces de controlar el flujo, la presión y direccionalidad. Se adicionará la una válvula reguladora de caudal para reducir aún más la cantidad dosificada de mezcla hacia el motor.

### 3.2 Especificaciones generales del vehículo

Datos técnicos 

## Datos técnicos

### Gol - motor 1.6 de 74 kW (101 cv)



- ① Depósito de expansión del líquido refrigerante
- ② Depósito del líquido de la dirección asistida
- ③ Varilla de medición del aceite del motor
- ④ Boquilla de llenado del aceite del motor
- ⑤ Depósito del líquido de frenos
- ⑥ Batería del vehículo
- ⑦ Depósito del lavador del parabrisas / luneta

El control y las reposiciones de los fluidos en los depósitos del vehículo mencionados anteriormente están descritos a partir de la → página 198.

**Fig. 200** Cuadro general del vano motor

**Cuadro general**  
Para más aclaraciones, recomendaciones y restricciones relativas a los datos técnicos, vea → página 273.

Datos generales del motor	
Potencia	74 kW (101 cv) a 5.250 rpm
Par de apriete máximo	143 Nm (14,6 kgfm) a 2.500 rpm
Número de cilindros, cilindrada	4 cilindros, 1.598 cm <sup>3</sup>
Relación de compresión	10,8:1
Bujías de encendido	101 905 610.G <sup>a)</sup> - Legislación emisiones Euro 4 101 905 609 <sup>a)</sup> o 101 905 608 <sup>a)</sup> - excepto Legislación emisiones Euro 4
Gasolina sin plomo u otros aditivos metálicos (por ejemplo: manganeso)	Super i.o. 95 Normal i.o. 91 <sup>b)</sup>
Transmisión - excepto versión I-MOTION	Manual de 5 velocidades
Transmisión - versión I-MOTION	Mecánica automatizada de 5 velocidades ASG

a) Número de pieza Volkswagen. Utilice apenas las bujías de encendido recomendadas por Volkswagen para su vehículo para no dañar el motor.

b) Con ligera reducción del desempeño y elevación del consumo de combustible, con aumento graduado del ruido del motor hasta la intervención de la regulación de detonación.

**Documento 1** Datos técnicos Volkswagen Gol 2012

**Fuente:** (Volkswagen do Brasil, 2011)

### 3.3 Integración del sistema de inyección

La instalación del sistema inicia con el paso de cableado a través de la cabina hacia el compartimento de motor. Para iniciar el paso de cableado, se debe hallar una posición de instalación para módulo de control, el cual, debe estar al alcance del conductor para poder realizar cualquier modificación de operación. Con la posición definida del módulo, el socket de conexión debe quedar libre.



**Figura 15** Vano motor Volkswagen Gol

**Fuente:** (Galárraga, 2019)

Para la instalación de todo el sistema, siempre se busca la facilidad de instalación en términos de distancia de cableado y posicionamiento de los elementos. Se debe buscar un lugar apropiado para la instalación del depósito de fluido. Para el caso en particular del vehículo Volkswagen Gol tipo M1, la instalación más propicia indica un posicionamiento al lado izquierdo del auto. Se determina esta posición por la ubicación que posee el cuerpo de aceleración (lado izquierdo) en el cual las diversas conexiones se ven favorecidas por poseer menor distancia y accesibilidad al compartimiento del motor. Considerando este posicionamiento, se elaboró una base metálica capaz de alojar el tanque y la bomba y que a su vez permita la sujeción a la carrocería. Se determinó un punto de anclaje en el punto de sujeción del cinturón puesto que es un punto extremadamente rígido conectado a la carrocería.



**Figura 16** Conjunto de bomba, tanque de almacenamiento y base de sujeción

**Fuente:** (Galárraga, 2019)

Se identificó los cables de conexión, separando los cables de alimentación de energía (positivo y negativo) de la bomba de inyección y los cables (positivo y negativo) del sensor de nivel del depósito. A su vez, se tomó el ducto de alimentación de mezcla y en conjunto con el cableado antes mencionado, se procedió a insertar el cableado por debajo de los recubrimientos del auto tomando como base el arnés original del vehículo sujeto a la carrocería. Se removió algunas partes de la tapicería y paneles protectores para poder seguir al arnés original. Este proceso se realizó hasta lograr el paso de todos los elementos hasta el portamaletas del vehículo. Se toma una medida adicional de longitud para evitar el estrés (tensión por estiramiento) en los cables y que dicha holgura permita una protección de los cables y facilidad para la instalación.

Se procedió a realizar la instalación de los cables de alimentación eléctrica con origen en el socket principal y el ducto de alimentación de fluido proveniente desde el portamaletas previamente instalado desde el habitáculo. Se requirió remover las protecciones térmicas y de insonorización ubicadas tras el tablero de instrumentos que comunican con el compartimento del motor. Se determinó un orificio para atravesar el ducto de alimentación y el cableado guiándolos hacia el motor. Al atravesar los elementos,

se tomó la precaución de medir las distancias requeridas para la conexión a la batería y al cuerpo de aceleración, con el fin de permitir una distancia adicional y liberar cualquier estrés en los elementos. Se verifica nuevamente el posicionamiento de los cables y el ducto debajo del tablero y en el compartimiento del motor para asegurar que no exista interferencia alguna con otros elementos del vehículo. Adicional se atraviesa un paso de vacío (manguera) desde el motor hacia la cabina.

La conexión final, se realizó con un relé y un interruptor de accionamiento. Un cable requiere alimentación positiva de 12 voltios (accesorios) para permitir el funcionamiento del módulo. Para esta aplicación en particular se conectó a un interruptor para no depender de una conexión a la toma de accesorios en el interruptor de la llave.

El siguiente paso consistió de la instalación del separador del cuerpo de aceleración y base del inyector. Se desmontó las abrazaderas del depurador al cuerpo de aceleración y se instaló la base del inyector. Se reajustó todo el conjunto con el uso de las mismas abrazaderas. Posterior a esta instalación, se fijó el inyector a la base. La posición del inyector siempre debe estar en posición vertical de 90° con la punta inyectora direccionada hacia abajo.



**Figura 17** Base separadora con inyector agregado

**Fuente:** (Galárraga, 2019)

Se procedió a realizar todas las conexiones eléctricas, iniciando por la conexión de la bomba de alimentación y el sensor de nivel. Se instaló el interruptor de encendido del módulo y se conectó a su respectivo terminal. Finalmente, se conectó los cables de alimentación a la batería a sus respectivos bornes. No se incluyó un elemento de protección del circuito (fusible) ya que el modulo posee uno ya instalado. Una vez realizada la conexión, se conectó el socket y la línea de vacío al módulo.

Se procedió a llenar el sistema con el fluido. El sistema funciona únicamente con agua destilada y metanol. La mezcla posee una proporción ya definida sin embargo el sistema tolera una mezcla hasta 50/50. Se presionó el botón de prueba en modulo, el cual pone a funcionar la bomba para purgar el sistema y verificar la dosificación de mezcla. Se verificó esto con la manguera aun desconectada del inyector. Una vez se validó el accionamiento del sistema, se procedió a instalar una válvula reguladora de caudal antes del inyector con el fin de reducir aún más a dosificación de mezcla, pero a su vez manteniendo la presión. Para concluir se conectó el inyector a la línea de alimentación.

### 3.4 Delimitaciones operacionales

Para mantener el estudio en condiciones estables, se fijó los parámetros para algunas variables. A continuación, la tabla de las delimitaciones operacionales:

**Tabla 1** Variables operacionales

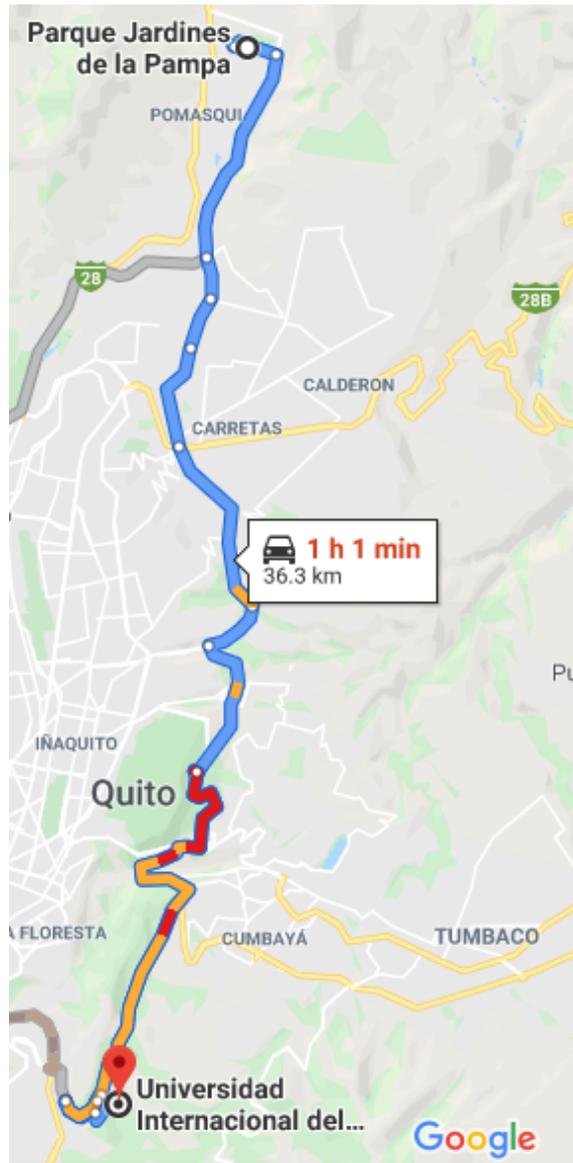
Descripción	Característica
Relación de mezcla agua/metanol	75% agua 25% metanol
Cantidad de dosificación	10ml/min
Combustible	Súper
Capacidad del depósito (agua metanol)	4l
Presión de neumáticos	32 psi neumáticos delanteros 30 psi neumáticos posteriores
Altitud de pruebas estáticas	2390 metros sobre el nivel del mar
Altitud promedio de circulación	2300 metros sobre el nivel del mar

**Fuente:** (Galárraga, 2019)

Las pruebas de ruta se efectuaron durante 2 meses con movilidad constante entre dos puntos. Se destinó la respectiva mitad del tiempo para realizar las pruebas del vehículo de

forma estándar y con la inyección agregada de agua y metanol. El vehículo circuló de lunes a jueves desde Pomasqui, dirección exacta, Jardines de la Pampa calle T y De las Dalias hasta la Universidad Internacional del Ecuador, dirección Jorge Fernández. El horario de igual forma fue fijo siendo el recorrido desde la dirección en Pomasqui hasta la Universidad Internacional del Ecuador con hora de partida 5pm; para el retorno de esos mismos puntos, con hora de partida 10pm. El recorrido tiene un tiempo de duración total promedio de 90 minutos con una distancia de 80 km. La distancia recorrida con cada condición se estableció en 1600km/mes. La ruta es una del tipo combinado, circulación urbana con circulación de perimetral. Sin embargo, la distancia recorrida en carretera fue mayor abarcando un 80% del tramo total. La circulación del vehículo se basó en las normas de tránsito definiendo una velocidad de circulación en zona urbana de 50km/h y en zona perimetral 90km/h.

Las recargas de combustible fueron realizadas en el trayecto mismo de circulación para reducir el tiempo de desvío y lograr menor alteración en los resultados. Se tomó la precaución de realizar el recorrido y repostaje de combustible hasta el último cuarto de combustible mostrado en el cuadro de instrumentos.



**Figura 18** Ruta de pruebas  
**Fuente:** (Google Maps, 2019)

### 3.5 Factores de control

Para realizar la investigación, se efectuó una puesta a punto y mantenimiento preventivo de todo el vehículo. Se realizó el cambio total de aceite, empleando un aceite sintético multigrado 5W40 de la marca Shell con certificación y especificación de mantenimiento VW 502.000 indicado por el fabricante y el cual siempre ha sido empleado en el motor. Se realizó un cambio todo el conjunto de encendido, bujías, cables de encendido y bobina para mantener al nivel más óptimo las condiciones operacionales del motor. Adicionalmente, se sustituyó los filtros de aire, combustible, y aceite para

garantizar la alimentación y buen acondicionamiento de aire y lubricante. Se reemplazó el fluido refrigerante con el fin de mejorar las condiciones de transferencia de calor en el sistema. Finalmente, se realizó una limpieza de inyectores para asegurar la dosificación de combustible. Todas estas tareas se realizaron con el fin de obtener las mejores condiciones operacionales y protectoras para el motor como también para garantizar una condición de operación estándar.

### **3.6 Normas y condiciones operacionales**

Las pruebas de laboratorio se efectuaron bajo normas NTE INEN, (Normas Técnicas Ecuatorianas e Instituto Nacional Ecuatoriano de Normalización) las cuales se rigen a normas internaciones ISO (International Standards Organization). Las normas bajo las que se evalúan los autos dictan los valores operacionales permitidos para emisiones y los parámetros operacionales para evaluar a los vehículos. La norma establece como para marcha mínima o ralentí, un valor no superior a las 1000 rpm y media carga de 2500 rpm. Estos dos parámetros de funcionamiento son los que determinan las condiciones operacionales del motor para poder efectuar los análisis de gases. Otras variables tomadas en consideración como la temperatura de aceite y temperatura del refrigerante deben ser controladas para garantizar la estandarización de las pruebas y la repetitividad de cada una de las pruebas. La temperatura base fijada para realizar cada prueba es de 96° C para la temperatura de aceite y de 90° C para la temperatura de refrigerante.

Para las pruebas de torque y potencia, se aplica las mismas normas para determinar las condiciones del vehículo, el resultado de potencia siendo provista en Hp o caballos de fuerza y el torque o fuerza siendo provisto en lb\*ft o libras pie de torque. Aunque las normas ISO tienden a otorgar parámetros de operación dictados en N\*m para el torque y kW para la potencia, la importancia radica en la evaluación del auto bajo estas normas. Otra característica de las normas ISO es que sus resultados no muestran valores con factor de corrección sino los valores reales de medición.

Con toda la información recopilada, se puede determinar algunas singularidades del sistema y su funcionamiento. Los datos provistos muestran en realidad la importancia que

posee la inyección adecuada de mezcla a la alimentación del motor. La mezcla de agua-metanol muestra cualidades favorables y limitantes para la operación del motor.

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De la investigación se obtuvo los siguientes resultados:

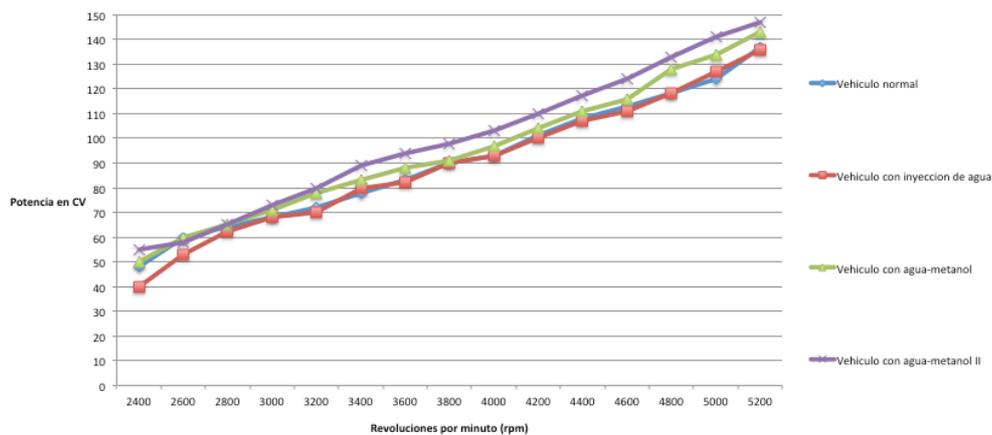
### 4.1 Resultados en fase de prueba (Laboratorio UIDE)

**Tabla 2** Análisis de emisiones en fase de calibración

Análisis de emisiones contaminantes: Fase de prueba						
Parámetros	Método de análisis: Pruebas Estáticas con procedimiento normalizado					
	Medición # 1		Medición # 2		Medición # 3	
	Condición estándar		Inyección agregada		Inyección agregada	
	Ralentí	RPM Alta	Ralentí	RPM Alta	Ralentí	RPM Alta
$CO$ [%v]	0.51	0.18	0.01	0.03	0.06	0.13
$CO_2$ [%v]	13.1	15.1	15.3	15.2	14.2	13.6
$CO_{correctado}$ [%v]	0.51	0.18	0.01	0.03	0.06	0.13
$HC$ [ppm]	43	39	7	2	0	2
$RPM$	890	2480	920	2480	910	2510

Fuente: (Galárraga, 2019)

Graficas de potencia del vehiculo



**Grafico 1** Torque y potencia en condiciones de prueba

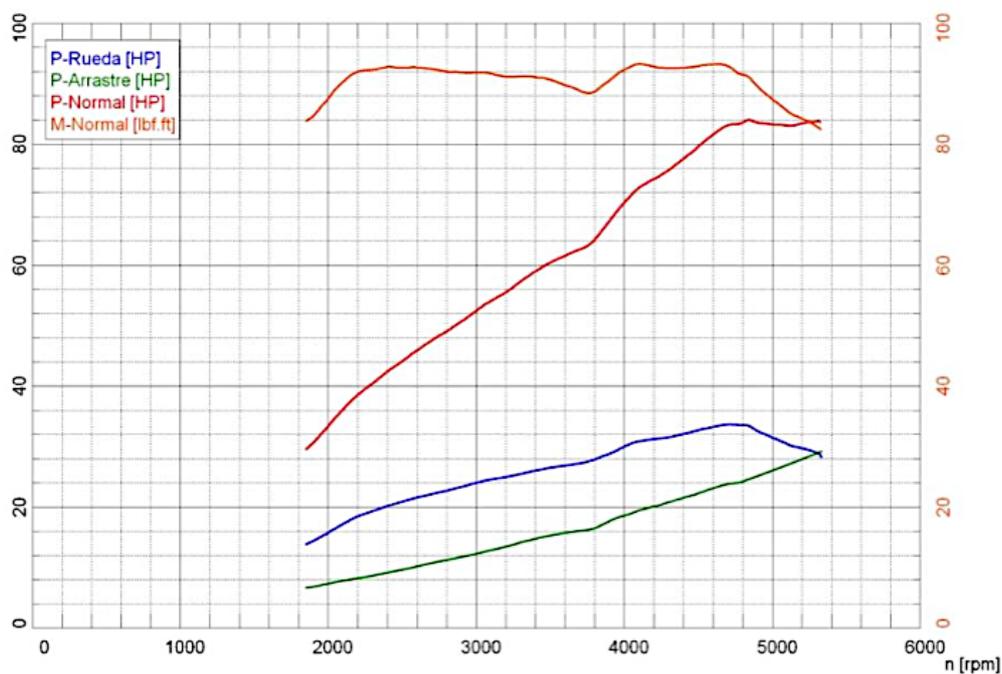
Fuente: (Galárraga, 2019)

## 4.2 Resultados con normas NTE INEN

**Tabla 3** Datos generales condición estándar

Condición: original (estándar)	
Descripción	Resultados
Potencia (máx. según dinamómetro)	88 hp
Torque (máx. según dinamómetro)	96 lb*ft
Distancia recorrida por tanque (hasta último cuarto)	520 km
Cantidad de combustible	11.25 gl
Consumo	46.22km/gl

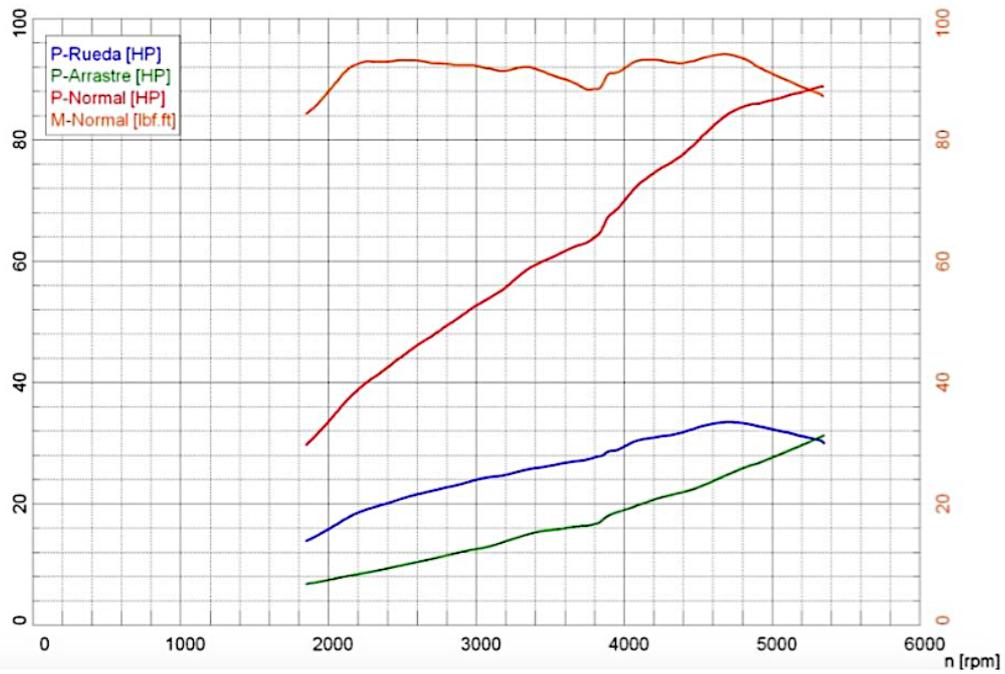
**Fuente:** (VW Group, 2012)



**Gráfico 2** Torque y potencia condición estándar # 1

**Fuente:** (CICCEC, 2019)

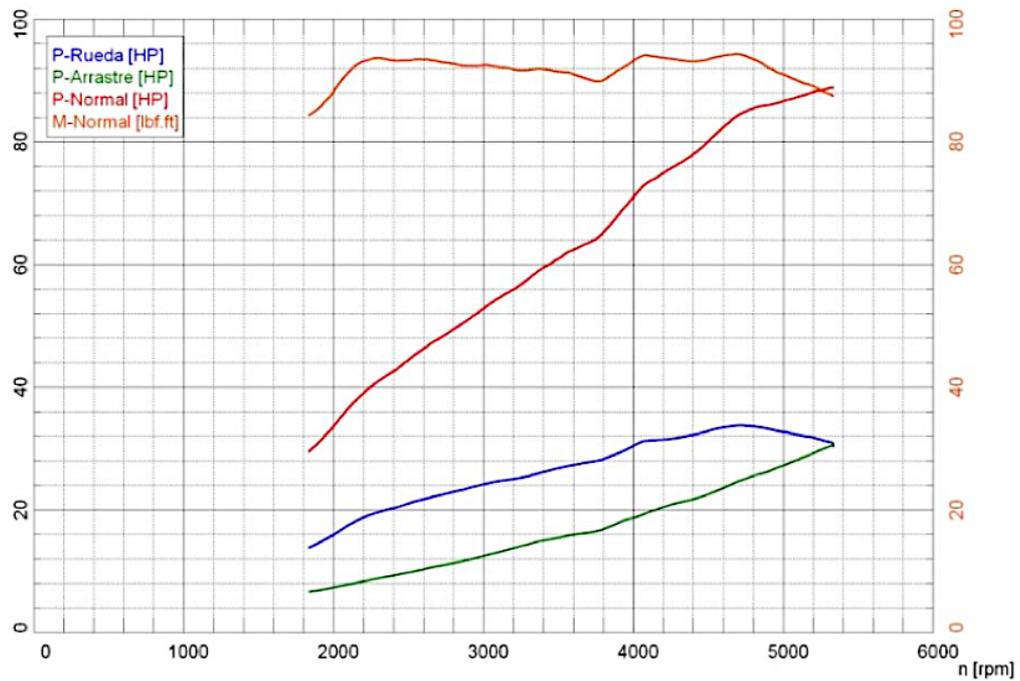
Ver Anexo 1.



**Grafico 3** Torque y potencia condición estándar # 2

**Fuente:** (CICCEC, 2019)

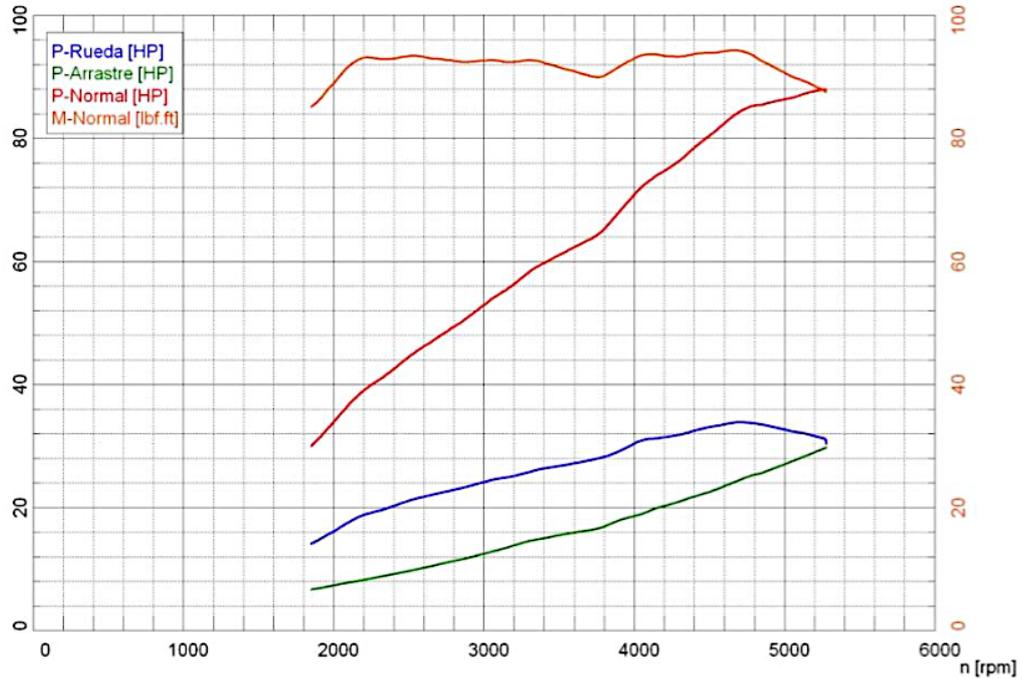
Ver Anexo 2.



**Grafico 4** Torque y potencia condición estándar # 3

**Fuente:** (CICCEC, 2019)

Ver Anexo 3.



**Grafico 5** Torque y potencia condición estándar # 4

**Fuente:** (CICCEC, 2019)

**Tabla 4** Análisis de emisiones condición estándar

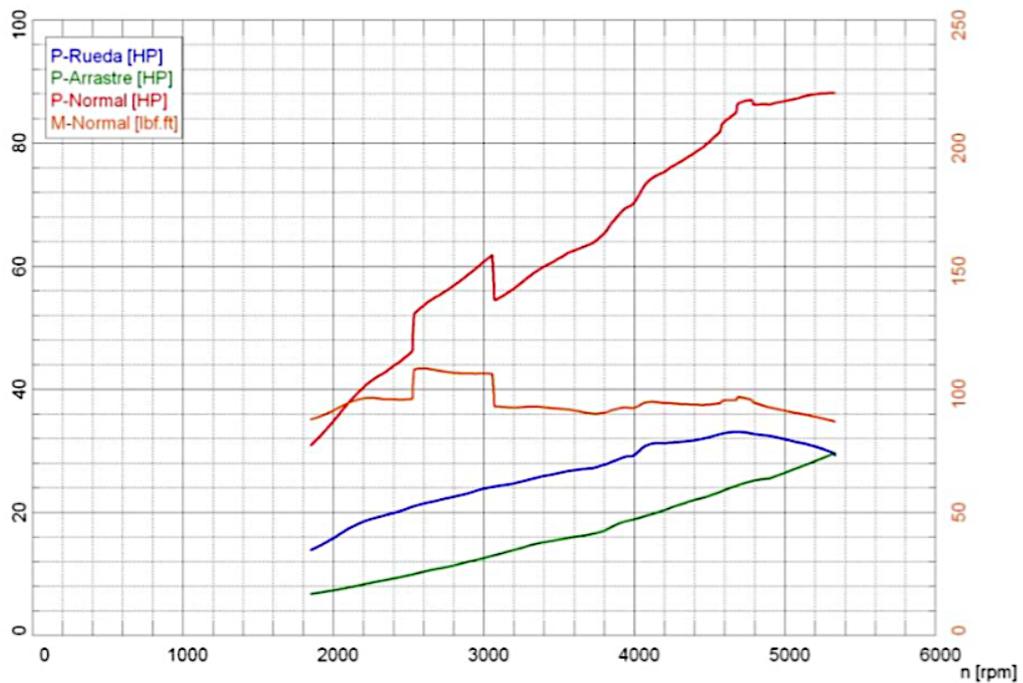
Análisis de emisiones contaminantes: Condición Estándar						
Parámetros	Método de análisis: Pruebas Estáticas NTE INEN 2204					
	Medición # 1		Medición # 2		Medición # 3	
	Ralentí	RPM Alta	Ralentí	RPM Alta	Ralentí	RPM Alta
$CO$ [%v]	0.31	0.24	0.12	0.17	0.06	0.13
$CO_2$ [%v]	14	14.1	14.2	14.2	14.2	13.6
$CO_{\text{corregido}}$ [%v]	0.31	0.24	0.12	0.17	0.06	0.13
$HC$ [ppm]	38	19	22	11	23	15
$O_2$ [%v]	0.2	0.26	0.17	0.19	0.35	1.14
$\lambda$ [Lambda]	0.998	1.002	1.003	1.003	1.014	1.053
RPM	910	2500	890	2530	900	2470

**Fuente:** (CICCEC, 2019)

**Tabla 5** Datos generales condición modificada (agua-metanol)

Condición: inyección agregada agua-metanol	
Descripción	Resultados
Potencia (según dinamómetro)	88
Torque (según dinamómetro)	108 lb*ft
Distancia recorrida por tanque (hasta último cuarto)	739 km
Cantidad de combustible	11.25 gl
Consumo	65.69km/gl

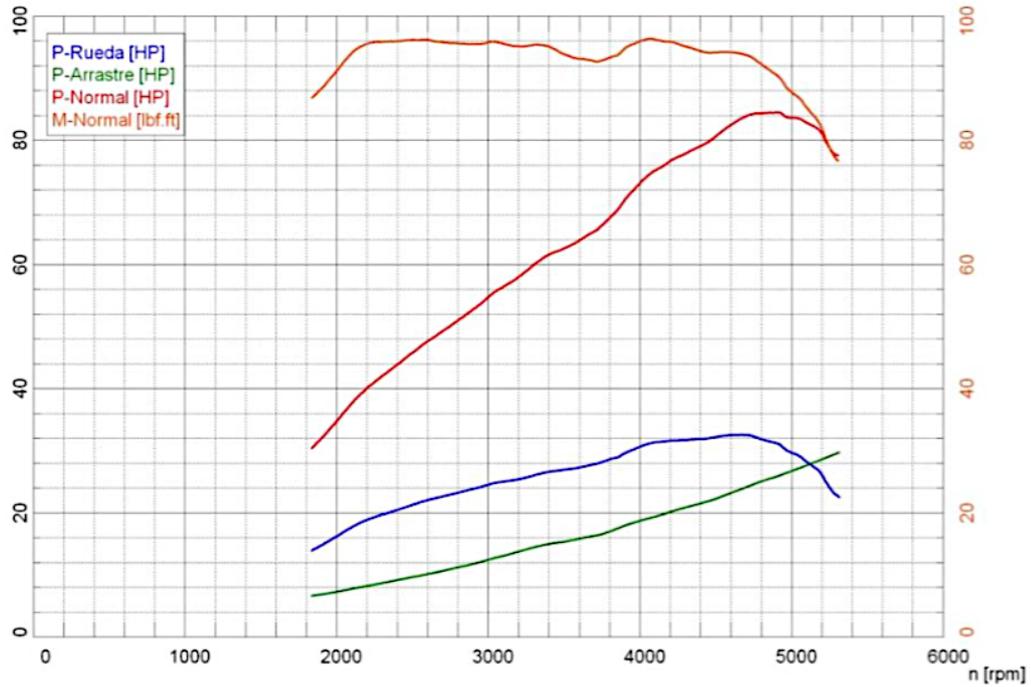
**Fuente:** (CICCEC, 2019)



**Gráfico 6** Torque y potencia condición de inyección de agua-metanol # 1

**Fuente:** (CICCEC, 2019)

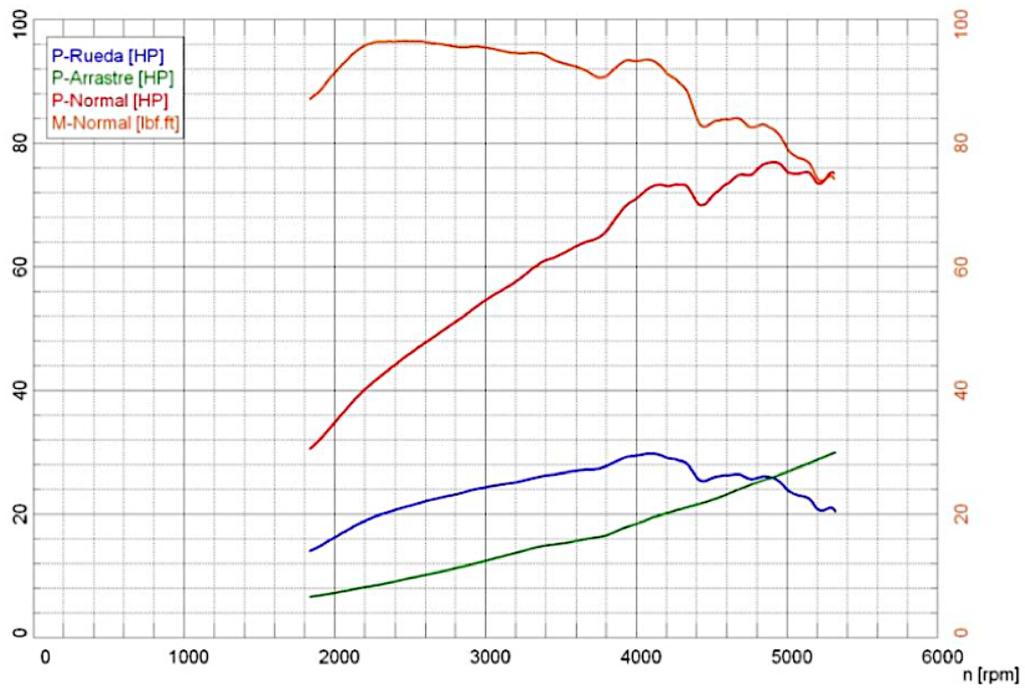
Ver Anexo 4.



**Grafico 7** Torque y potencia condición de inyección agua-metanol # 2

**Fuente:** (CICCEC, 2019)

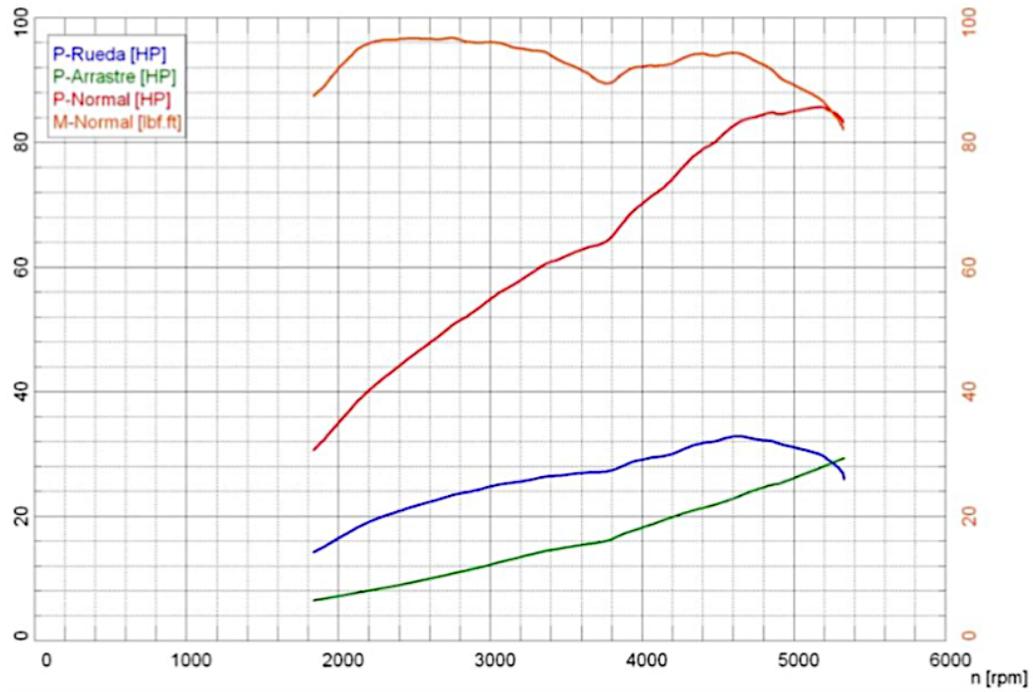
Ver Anexo 5.



**Grafico 8** Torque y potencia condición de inyección agua-metanol # 3

**Fuente:** (CICCEC, 2019)

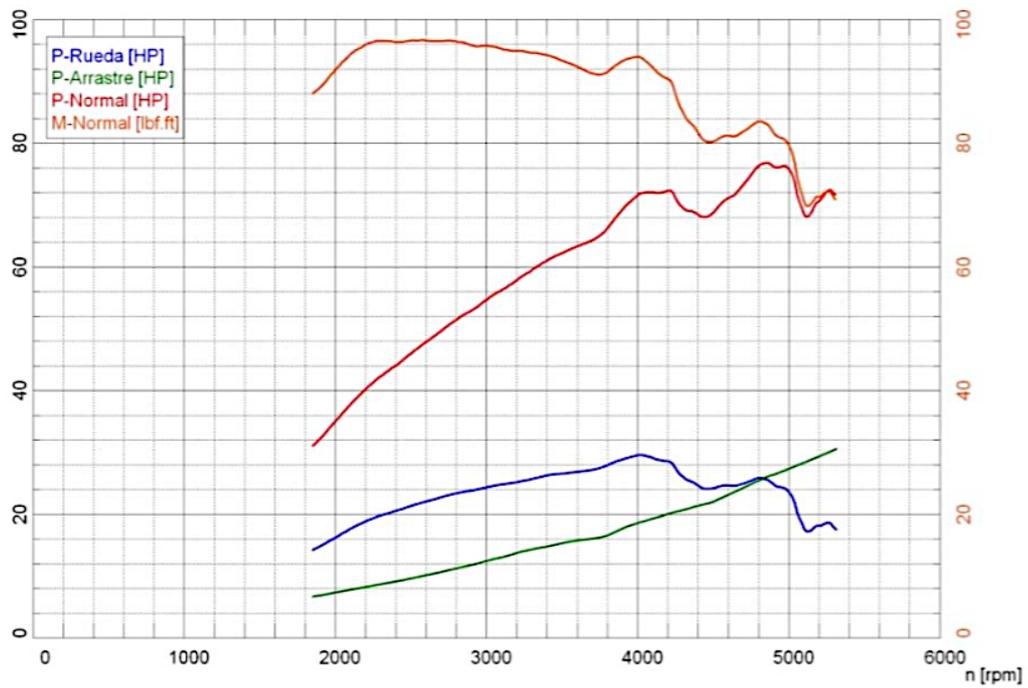
Ver Anexo 6.



**Grafico 9** Torque y potencia condición de inyección agua-metanol # 4

**Fuente:** (CICCEC, 2019)

Ver Anexo 7.



**Grafico 10** Torque y potencia condición de inyección agua-metanol # 5

**Fuente:** (CICCEC, 2019)

Ver Anexo 8.

**Tabla 6** Análisis de emisiones condición de inyección agregada

Análisis de emisiones contaminantes: Condición Inyección Agregada agua-metanol						
Parámetros	Método de análisis: Pruebas Estáticas NTE INEN 2204					
	Medición # 1		Medición # 2		Medición # 3	
	Ralentí	RPM Alta	Ralentí	RPM Alta	Ralentí	RPM Alta
$CO$ [%v]	0.8	0.17	0.75	0.17	0.68	0.15
$CO_2$ [%v]	14.03	13.99	13.98	14.05	13.96	14.08
$CO_{corregido}$ [%v]	0.8	0.17	0.75	0.17	0.68	0.15
$HC$ [ppm]	92	27	84	28	80	25
$O_2$ [%v]	0.42	0.89	0.37	0.64	0.34	0.63
$\lambda$ [Lambda]	1.006	1.036	1.005	1.024	1.005	1.025
$RPM$	800	2520	800	2460	900	2540

Fuente: (CICCEC, 2019)

El metanol como combustible, presenta algunas particularidades que inciden el comportamiento del motor. Sus propiedades benéficas, buscan ser aprovechadas por los sistemas de inyección de combustible existentes y futuros. El metanol presenta un índice de octanaje de 116 lo que muestra una superior propiedad antidetonante comparado con la gasolina y el bio-etanol cuyo índice fluctúa entre los 85 y 96 octanos. La miscibilidad que presenta este combustible es otro de sus mayores beneficios. Este compuesto es miscible tanto en el agua como en la gasolina, al mezclar el metanol con el combustible, la mezcla resultante adquiere nuevas propiedades. La característica antes mencionada, facilita la integración de la mezcla con el combustible y es así como se logra incrementar el índice de octanaje. Es importante recalcar que, en países con baja calidad de combustible, se tiende a añadir plomo, un compuesto que ayuda a elevar la propiedad antidetonante del combustible pero que a su vez este presenta una toxicidad alta al liberarse a la atmosfera; también este elemento tiende a taponar sistemas catalíticos de los vehículos. La relación de costo fue un factor crucial en la decisión de adopción del plomo para los vehículos, sin embargo, por las razones antes mencionadas está en proceso de desaparición. Existe una mayor viabilidad de usar el metanol como antidetonante por las razones antes explicadas.

Para comenzar, se analizará un caso de comportamiento del aire según una variación de parámetros. La variación podrá mostrar como incide teóricamente la inyección agregada de agua-metanol en el comportamiento del fluido (aire).

A continuación, se analizará la fórmula de relación entre la presión el volumen y la temperatura:

$$\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2}$$

Los valores de P para 1 y 2 se refieren a la presión inicial y a la final respectivamente.

Los valores de V para 1 y 2 se refieren al volumen inicial y al volumen final respectivamente.

Los valores de T para 1 y 2 se refieren a la temperatura inicial y final respectivamente.

La ecuación permite demostrar que existen relaciones directamente proporcionales entre las presiones y los volúmenes mientras que estos son inversamente proporcionales a los valores de temperatura.

Es aquí donde se despeja la ecuación:

$$\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2}$$

$$\frac{T_2P_1V_1}{T_1P_2} = V_2$$

$$V_2 = \frac{T_2P_1V_1}{T_1P_2}$$

Los motores durante su funcionamiento generan cambios térmicos que tienen como resultado cambios operacionales en el sistema. Un ejemplo de esto ocurre durante la admisión, donde a temperatura operacional del motor, el aire a temperatura ambiente se calienta hasta un rango de 45 grados Celsius; como resultado la ingesta de aire se ve reducida. Esto puede ser comprobado a través de la fórmula siguiente.

Como un ejemplo de esta ecuación se puede realizar la siguiente ecuación con los siguientes datos:

Motor 4 cilindros 1600cc

Motor al tope de aceleración

Rendimiento de llenado de 100%

Vehículo a nivel del mar y presión constante

298 grados Kelvin temperatura ambiente

$$V_2 = \frac{(298)(1)(.4)}{(318)(1)}$$

$$V_2 = 0.374l$$

Las unidades de presión siendo atmosferas (Atm), temperatura en grados Kelvin (K) y volumen en litros (l).

Como resultado se puede ver en la siguiente tabla:

**Tabla 7** Datos de comportamiento de aire (comprobación teórica)

Unidad de medida	Valor 1 o inicial	Valor 2 o final
Presión (atmosferas) atm	1	1
Volumen (litros) l	0.4	0.37
Temperatura (Kelvin) K	318	298

**Fuente:** (Galárraga, 2019)

Se puede observar que bajo las mismas condiciones de presión (constante) y efectuando una variación de temperatura, se presenta una variación de volumen. Como resultado se debe insertar más aire a la misma presión para obtener el mismo volumen favoreciendo así la eficiencia volumétrica del sistema, esto para condiciones donde la temperatura es reducida.

Se puede también verificar este comportamiento empleando la ecuación de los gases ideales para determinar la cantidad de masa de aire. A continuación, la ecuación para determinar la diferencia molar:

$$PV = nRT$$

Donde:

P es la presión (atm)

V es el volumen (l)

n es el número de moles

R la relación del gas ideal (en l\*atm/k\*mol)

T la temperatura (en grados Kelvin)

El aire tiene una masa molar de 28,97g/mol y asumiremos una temperatura estándar de 298 °k (25° C) y 1 atm de presión.

Por ende, tenemos que la ecuación puede ser analizada de dos formas:

$$PV = nRT$$

$$(1)(.400) = \frac{N}{28,97} (0.0821)(318)$$

$$N = 0,444g$$

De este resultado se puede determinar que a una temperatura de 318 °k o 45°C ingresa al motor 0,444 gramos de aire por cilindro.

Por el contrario, con una variación de temperatura:

$$PV = nRT$$

$$(1)(.400l) = \frac{N}{28,97} (0.0821)(298)$$

$$N = 0.474g$$

Método de comprobación:

$$N = 0.474g$$

$$\text{Cantidad de masa} = 0.474g * \frac{1}{0.400l}$$

$$\text{Cantidad de masa} = 1.185 \text{ g/l} * 22.4\text{l}$$

$$\text{Cantidad de masa} = 1.185 \text{ g/l} * 22.4\text{l}$$

$$\text{Cantidad de masa} = 26,54\text{g aire}$$

Valor a condiciones STP: 28.97 gramos/ mol de aire

Valor a condiciones reales: 26,54 gramos/mol de aire

Como resultado de la comprobación, se refleja que la masa de aire real presenta a un valor cercano a la masa de aire en condiciones STP por lo que comprueba la coherencia de los valores resultantes.

La presencia de un exceso de mezcla limita la capacidad de detonación del combustible. Esto se determinó tras constatar un incremento de emisiones contaminantes al inyectar la mezcla en ambas condiciones, ralenti y altas revoluciones. El motor mostro una marcha mínima más baja de lo usual cuando se inyectó la mezcla, lo que indica que el exceso de mezcla no favorece al funcionamiento del motor. Por otra parte, si se inyecta una cantidad acorde a la demanda del motor, la ingesta de la mezcla, el aire y el combustible si favorecen el proceso de combustión y permiten reducir las emisiones. Ambos casos son presentados en los gráficos 4 y 7. (Anexo 3 y 6)

La impedancia eléctrica también se muestra como un factor determinante, al existir un exceso de agua-metanol, se dificulta el salto de chispa e incluso llega a suprimirse causando fallas en el motor. Esta condición se presentó durante la fase de pruebas en dinamómetro donde el motor tuvo falla de encendido en altas revoluciones por un exceso de ingesta de mezcla. “La eficiencia térmica de un ciclo de Otto ideal, disminuye cuando las moléculas del fluido de trabajo son más grandes” (Yunes A. Cengel, 2011), lo que podría explicar posibles fallos y pérdidas del sistema.

Referente a la impedancia eléctrica, esta es descrita como la oposición al flujo de una corriente. En las bujías de encendido, las holguras entre la punta de la bujía y su electrodo ya vienen calibrados según el fabricante. La compresión es el factor determinante para la

incorporación de la holgura. Al incrementar la compresión, se tiende a incrementar la impedancia eléctrica dificultando el salto de arco; es por esto por lo que, al incrementar la compresión, como resultado de la mezcla agregada, se dificulta el salto de chispa y por ende el encendido de mezcla. Puede requerirse una holgura menor entre la punta de la bujía y su electrodo para compensar esta oposición al salto de corriente.

En las pruebas de torque y potencia, también se evidencia el momento de aprovechamiento máximo de la mezcla. En el grafico 6 se puede ver el momento exacto donde se genera los mayores valores de torque a 2600 rpm y la oscilación al cortar la inyección. Durante la fase de prueba en dinamómetro, se presentaron fallas de operación del sistema. Sin embargo, en otras pruebas realizadas previamente, se pudo identificar claramente las ganancias de torque y potencia del motor.

En efecto, para todas las condiciones de pruebas tanto en las condiciones originales como en las de inyección agregada de agua y metanol, los valores de torque máximo se presentan a 2600 rpm. Según el fabricante, el par máximo ocurre a 2500 rpm, lo que muestra una validación de la información provista en relación a los resultados reales.

Es importante definir que el comportamiento del torque y la potencia en términos generales no puede ser alterado. El comportamiento del motor ya viene dictado por sus parámetros de diseño en cuanto al diámetro del pistón, carrera del pistón su relación de compresión; por lo tanto, su comportamiento esta ya definido. Adicionalmente, el diseño específico de la cabeza del pistón, el diámetro de las válvulas, el ángulo de inclinación de las válvulas, el diámetro de las toberas y el diseño mismo del colector admisión, afectan todos los parámetros de ingesta de aire del motor. Otro sistema que preestablece el comportamiento del motor es la inyección electrónica. La inyección electrónica no es solamente la inyección de combustible como tal, sino que está conformado por toda una serie de sensores y actuadores que permiten alterar los parámetros del motor. La inyección electrónica ha llegado a tener tal impacto que incluso el acelerador es electrónico con el fin de controlar la mariposa de aceleración de forma independiente. Con esto se define una carga requerida del motor independiente de su apertura de la mariposa. Estudios han demostrado que, aunque la respuesta de aceleración se reduce con el uso de aceleradores electrónicos, el comportamiento del motor se ve beneficiado dosificando mejor la ingesta

de aire. Como resultado, se obtiene comportamiento del motor más estable, más lineal y con un mejor desarrollo del motor a pesar de perder algo de respuesta.

Es importante tener en cuenta estos aportes del sistema de inyección y del motor puesto que indican el comportamiento que poseerá el motor sin importar su condición operacional. Es decir que el comportamiento lineal dentro de un gráfico de torque y potencia poseerá la misma reacción o variable de incremento ya sea a nivel del mar o en condiciones de altitud. A pesar de no poder alterar estos parámetros de entrega del motor en cuanto a su comportamiento, se puede modificar los valores de aportación dentro de la misma curva de desarrollo del motor. En otras palabras, no se puede cambiar la forma de la curva, pero si se puede incidir en los valores desplazando hacia arriba o hacia abajo a la curva, todo esto mientras se mantiene su misma relación de desarrollo.

El comportamiento de las curvas de torque y potencia para todas las condiciones de prueba, muestran ser consistentes y muestra un mismo patrón de comportamiento. El vehículo muestra una curva de torque muy estable a lo largo de todas las revoluciones, una condición muy favorable e ideal. Una curva estable es un indicador de entrega constante de fuerza a toda revolución. Este es el comportamiento del que se habló previamente el cual es inalterable, sin embargo, como se observa el grafico 5, la curva si se puede desplazar positivamente. Durante el periodo de inyección de mezcla agua-metanol, se logra un incremento de 12 lb\*pie. La condición ideal se presenta al mantener este incremento de torque a lo largo de toda la banda de revoluciones. Este incremento, ocurre sin distorsionar la entrega lineal de torque comparado con las otras pruebas realizadas. Un aumento de esta magnitud representa un incremento de 13% en fuerza del motor.

Torque real estándar: 96 lb\*pie

Torque real modificado: 108 lb\*pie

Valor especificado por fabrica 143 N\*m

$$\text{Torque real estandar} = 96 \text{ lb} * \text{ft} * \frac{1 \text{ kg}}{2.2 \text{ lb}} * \frac{9.81 \text{ N}}{1 \text{ kg}} * \frac{30.48 \text{ cm}}{1 \text{ ft}} * \frac{1 \text{ m}}{100 \text{ cm}}$$

$$\text{Torque real estandar} = \frac{28704.84}{220}$$

$$\text{Torque real estandar} = 130.5 \text{ N} * \text{m}$$

$$\text{Torque real modificado} = 108 \text{ lb} * \text{ft} * \frac{1\text{kg}}{2.2\text{lb}} * \frac{9.81\text{N}}{1\text{kg}} * \frac{30.48\text{cm}}{1\text{ft}} * \frac{1\text{m}}{100\text{cm}}$$

$$\text{Torque real modificado} = \frac{32292.95}{220}$$

$$\text{Torque real modificado} = 146.79 \text{ N} * \text{m}$$

Se presenta una ganancia de 16.29 N\*m de torque. El torque ganado, se aproxima al valor de torque indicado por el fabricante. Sin embargo, hay que considerar que los valores de prueba ya poseen la perdida generada por factores de altitud y, por lo tanto, el sistema muestra tener un valor poco superior indicado al de fábrica y en condiciones estándar. Cabe recalcar que las condiciones estándar de pruebas se efectúan al nivel del mar con 1 atm de presión atmosférica y temperatura de 25° grados centígrados. Es decir, el sistema logra una condición operacional ligeramente superior en condiciones de altitud comparada a la establecida por el fabricante en condiciones estándar. La inyección agregada de agua metanol muestra una compensación considerable para el torque en condiciones de altitud.

Otro parámetro de análisis es la potencia. La potencia es una medida directamente relacionado a la fuerza del motor. La potencia se describe como trabajo por unidad de tiempo. Tomando esto en cuenta, a mayor revolución mayor trabajo por ciclo o unidad de tiempo. Con la fluctuación mayor de trabajo a una misma revolución, la potencia igual se ve incrementada. En el grafico 1 con condición estándar, se puede evidenciar que el rango de 2500 a 3000 rpm muestra una potencia oscilando entre los 44 y los 52 hp. Por otra parte, el grafico 5 muestra que en el rango de 2500 a 3000 rpm entre 53 y 60 hp respectivamente.

Este incremento, como se mencionó, fue a causa del salto en torque, un mayor trabajo a una misma unidad de tiempo resulta en una mayor potencia. Existe una diferencia rondando los 10hp de potencia del motor con inyección agregada de agua-metanol en relación a su condición estándar. En términos de potencia, se puede decir que se alcanza un rendimiento equivalente al de las condiciones estándar (1 atm y 25°C) pero en condiciones de altitud, incluso superándola levemente.

Desafortunadamente la calibración constante del sistema y su condición de estado experimental, no otorgaron la fiabilidad necesaria. Solamente el grafico 5 muestra la ventaja del sistema. Para pruebas posteriores el sistema presento irregularidades de funcionamiento. La falla radico en un exceso de inyección de mezcla al sistema de alimentación del motor. Como resultado de esta irregularidad, se perdió la curva de comportamiento constante de torque que se había presentado previamente. El exceso de mezcla, llevo a limitar la capacidad de encendido de la mezcla limitando así tanto al torque como a la potencia.

Sin embargo, toda investigación del tipo experimental posee la ventaja de conocer todos los aspectos de funcionamiento de un sistema. Esto permite analizar no solo las ventajas que aporta un sistema sino también sus desventajas.

Considerando la falla del sistema y la constancia de las pruebas, se logró identificar que una falla del sistema y una falla de inyección no alteran los factores de torque otorgados por el motor. Es decir, un exceso de inyección de mezcla no reduce el torque de condición original del motor. Sin embargo, la potencia si se ve afectada. La falla de encendido que puede llegar a ocurrir en el cilindro dificulta el desplazamiento del pistón y el desplazamiento de los gases dentro del mismo. Un retraso de este tipo genera un efecto similar al de una carga y reduce la facilidad de rotación del motor. Como resultado de esta condición operacional deficiente, se presenta una caída de potencia.

El aspecto que se ve más desfavorecido como resultado de una falla en el sistema de inyección agregada, es el comportamiento no lineal que tiene en la fuerza del vehículo.

Con respecto de otros principios físicos, la operación del ciclo termodinámico presenta cambios en relación a su forma original. La cantidad de energía aportada al sistema aumenta y por ende genera también un aumento de trabajo. Una diferencia considerable también ocurre en la temperatura, esta se ve alterada puesto que es reducida. El grafico presenta principalmente alteraciones en estas condiciones del ciclo puesto que la temperatura en ingesta se reduce mientras que la temperatura de salida se mantiene indicando que, se logra extraer más energía del tipo cinética.

Por otra parte, está la entalpia, a continuación, la tabla de entalpia del agua.

Pres., P kPa	Temp. sat., $T_{sat}$ °C	Volumen específico, $m^3/kg$		Energía interna, $kJ/kg$			Entalpía, $kJ/kg$			Entropía, $kJ/kg \cdot K$		
		Liq. sat., $v_f$	Vapor sat., $v_g$	Liq. sat., $u_f$	Evap., $u_{fg}$	Vapor sat., $u_g$	Liq. sat., $h_f$	Evap., $h_{fg}$	Vapor sat., $h_g$	Liq. sat., $s_f$	Evap., $s_{fg}$	Vapor sat., $s_g$
1.0	6.97	0.001000	129.19	29.302	2355.2	2384.5	29.303	2484.4	2513.7	0.1059	8.8690	8.9749
1.5	13.02	0.001001	87.964	54.686	2338.1	2392.8	54.688	2470.1	2524.7	0.1956	8.6314	8.8270
2.0	17.50	0.001001	66.990	73.431	2325.5	2398.9	73.433	2459.5	2532.9	0.2606	8.4621	8.7227
2.5	21.08	0.001002	54.242	88.422	2315.4	2403.8	88.424	2451.0	2539.4	0.3118	8.3302	8.6421
3.0	24.08	0.001003	45.654	100.98	2306.9	2407.9	100.98	2443.9	2544.8	0.3543	8.2222	8.5765
4.0	28.96	0.001004	34.791	121.39	2293.1	2414.5	121.39	2432.3	2553.7	0.4224	8.0510	8.4734
5.0	32.87	0.001005	28.185	137.75	2282.1	2419.8	137.75	2423.0	2560.7	0.4762	7.9176	8.3938
7.5	40.29	0.001008	19.233	168.74	2261.1	2429.8	168.75	2405.3	2574.0	0.5763	7.6738	8.2501
10	45.81	0.001010	14.670	191.79	2245.4	2437.2	191.81	2392.1	2583.9	0.6492	7.4996	8.1488
15	53.97	0.001014	10.020	225.93	2222.1	2448.0	225.94	2372.3	2598.3	0.7549	7.2522	8.0071
20	60.06	0.001017	7.6481	251.40	2204.6	2456.0	251.42	2357.5	2608.9	0.8320	7.0752	7.9073
25	64.96	0.001020	6.2034	271.93	2190.4	2462.4	271.96	2345.5	2617.5	0.8932	6.9370	7.8302
30	69.09	0.001022	5.2287	289.24	2178.5	2467.7	289.27	2335.3	2624.6	0.9441	6.8234	7.7675
40	75.86	0.001026	3.9933	317.58	2158.8	2476.3	317.62	2318.4	2636.1	1.0261	6.6430	7.6691
50	81.32	0.001030	3.2403	340.49	2142.7	2483.2	340.54	2304.7	2645.2	1.0912	6.5019	7.5931
75	91.76	0.001037	2.2172	384.36	2111.8	2496.1	384.44	2278.0	2662.4	1.2132	6.2426	7.4558
100	99.61	0.001043	1.6941	417.40	2088.2	2505.6	417.51	2257.5	2675.0	1.3028	6.0562	7.3589
101.325	99.97	0.001043	1.6734	418.95	2087.0	2506.0	419.06	2256.5	2675.6	1.3069	6.0476	7.3545
125	105.97	0.001048	1.3750	444.23	2068.8	2513.0	444.36	2240.6	2684.9	1.3741	5.9100	7.2841
150	111.35	0.001053	1.1594	466.97	2052.3	2519.2	467.13	2226.0	2693.1	1.4337	5.7894	7.2231
175	116.04	0.001057	1.0037	486.82	2037.7	2524.5	487.01	2213.1	2700.2	1.4850	5.6865	7.1716
200	120.21	0.001061	0.88578	504.50	2024.6	2529.1	504.71	2201.6	2706.3	1.5302	5.5968	7.1270
225	123.97	0.001064	0.79329	520.47	2012.7	2533.2	520.71	2191.0	2711.7	1.5706	5.5171	7.0877
250	127.41	0.001067	0.71873	535.08	2001.8	2536.8	535.35	2181.2	2716.5	1.6072	5.4453	7.0525
275	130.58	0.001070	0.65732	548.57	1991.6	2540.1	548.86	2172.0	2720.9	1.6408	5.3800	7.0207
300	133.52	0.001073	0.60582	561.11	1982.1	2543.2	561.43	2163.5	2724.9	1.6717	5.3200	6.9917
325	136.27	0.001076	0.56199	572.84	1973.1	2545.9	573.19	2155.4	2728.6	1.7005	5.2645	6.9650
350	138.86	0.001079	0.52422	583.89	1964.6	2548.5	584.26	2147.7	2732.0	1.7274	5.2128	6.9402
375	141.30	0.001081	0.49133	594.32	1956.6	2550.9	594.73	2140.4	2735.1	1.7526	5.1645	6.9171
400	143.61	0.001084	0.46242	604.22	1948.9	2553.1	604.66	2133.4	2738.1	1.7765	5.1191	6.8955
450	147.90	0.001088	0.41392	622.65	1934.5	2557.1	623.14	2120.3	2743.4	1.8205	5.0356	6.8561
500	151.83	0.001093	0.37483	639.54	1921.2	2560.7	640.09	2108.0	2748.1	1.8604	4.9603	6.8207
550	155.46	0.001097	0.34261	655.16	1908.8	2563.9	655.77	2096.6	2752.4	1.8970	4.8916	6.7886
600	158.83	0.001101	0.31560	669.72	1897.1	2566.8	670.38	2085.8	2756.2	1.9308	4.8285	6.7593
650	161.98	0.001104	0.29260	683.37	1886.1	2569.4	684.08	2075.5	2759.6	1.9623	4.7699	6.7322
700	164.95	0.001108	0.27278	696.23	1875.6	2571.8	697.00	2065.8	2762.8	1.9918	4.7153	6.7071
750	167.75	0.001111	0.25552	708.40	1865.6	2574.0	709.24	2056.4	2765.7	2.0195	4.6642	6.6837

**Tabla 8** Entalpía del agua  
**Fuente:** (Yunes A. Cengel, 2011)

Pres., P kPa	Temp., T <sub>sat</sub> °C	Volumen específico, m <sup>3</sup> /kg		Energía interna, kJ/kg			Entalpía, kJ/kg			Entropía, kJ/kg · K		
		Liq. sat., v <sub>f</sub>	Vapor sat., v <sub>g</sub>	Liq. sat., u <sub>f</sub>	Evap., u <sub>fg</sub>	Vapor sat., u <sub>g</sub>	Liq. sat., h <sub>f</sub>	Evap., h <sub>fg</sub>	Vapor sat., h <sub>g</sub>	Liq. sat., s <sub>f</sub>	Evap., s <sub>fg</sub>	Vapor sat., s <sub>g</sub>
800	170.41	0.001115	0.24035	719.97	1856.1	2576.0	720.87	2047.5	2768.3	2.0457	4.6160	6.6616
850	172.94	0.001118	0.22690	731.00	1846.9	2577.9	731.95	2038.8	2770.8	2.0705	4.5705	6.6409
900	175.35	0.001121	0.21489	741.55	1838.1	2579.6	742.56	2030.5	2773.0	2.0941	4.5273	6.6213
950	177.66	0.001124	0.20411	751.67	1829.6	2581.3	752.74	2022.4	2775.2	2.1166	4.4862	6.6027
1000	179.88	0.001127	0.19436	761.39	1821.4	2582.8	762.51	2014.6	2777.1	2.1381	4.4470	6.5850
1100	184.06	0.001133	0.17745	779.78	1805.7	2585.5	781.03	1999.6	2780.7	2.1785	4.3735	6.5520
1200	187.96	0.001138	0.16326	796.96	1790.9	2587.8	798.33	1985.4	2783.8	2.2159	4.3058	6.5217
1300	191.60	0.001144	0.15119	813.10	1776.8	2589.9	814.59	1971.9	2786.5	2.2508	4.2428	6.4936
1400	195.04	0.001149	0.14078	828.35	1763.4	2591.8	829.96	1958.9	2788.9	2.2835	4.1840	6.4675
1500	198.29	0.001154	0.13171	842.82	1750.6	2593.4	844.55	1946.4	2791.0	2.3143	4.1287	6.4430
1750	205.72	0.001166	0.11344	876.12	1720.6	2596.7	878.16	1917.1	2795.2	2.3844	4.0033	6.3877
2000	212.38	0.001177	0.099587	906.12	1693.0	2599.1	908.47	1889.8	2798.3	2.4467	3.8923	6.3390
2250	218.41	0.001187	0.088717	933.54	1667.3	2600.9	936.21	1864.3	2800.5	2.5029	3.7926	6.2954
2500	223.95	0.001197	0.079952	958.87	1643.2	2602.1	961.87	1840.1	2801.9	2.5542	3.7016	6.2558
3000	233.85	0.001217	0.066667	1004.6	1598.5	2603.2	1008.3	1794.9	2803.2	2.6454	3.5402	6.1856
3500	242.56	0.001235	0.057061	1045.4	1557.6	2603.0	1049.7	1753.0	2802.7	2.7253	3.3991	6.1244
4000	250.35	0.001252	0.049779	1082.4	1519.3	2601.7	1087.4	1713.5	2800.8	2.7966	3.2731	6.0696
5000	263.94	0.001286	0.039448	1148.1	1448.9	2597.0	1154.5	1639.7	2794.2	2.9207	3.0530	5.9737
6000	275.59	0.001319	0.032449	1205.8	1384.1	2589.9	1213.8	1570.9	2784.6	3.0275	2.8627	5.8902
7000	285.83	0.001352	0.027378	1258.0	1323.0	2581.0	1267.5	1505.2	2772.6	3.1220	2.6927	5.8148
8000	295.01	0.001384	0.023525	1306.0	1264.5	2570.5	1317.1	1441.6	2758.7	3.2077	2.5373	5.7450
9000	303.35	0.001418	0.020489	1350.9	1207.6	2558.5	1363.7	1379.3	2742.9	3.2866	2.3925	5.6791
10,000	311.00	0.001452	0.018028	1393.3	1151.8	2545.2	1407.8	1317.6	2725.5	3.3603	2.2556	5.6159
11,000	318.08	0.001488	0.015988	1433.9	1096.6	2530.4	1450.2	1256.1	2706.3	3.4299	2.1245	5.5544
12,000	324.68	0.001526	0.014264	1473.0	1041.3	2514.3	1491.3	1194.1	2685.4	3.4964	1.9975	5.4939
13,000	330.85	0.001566	0.012781	1511.0	985.5	2496.6	1531.4	1131.3	2662.7	3.5606	1.8730	5.4336
14,000	336.67	0.001610	0.011487	1548.4	928.7	2477.1	1571.0	1067.0	2637.9	3.6232	1.7497	5.3728
15,000	342.16	0.001657	0.010341	1585.5	870.3	2455.7	1610.3	1000.5	2610.8	3.6848	1.6261	5.3108
16,000	347.36	0.001710	0.009312	1622.6	809.4	2432.0	1649.9	931.1	2581.0	3.7461	1.5005	5.2466
17,000	352.29	0.001770	0.008374	1660.2	745.1	2405.4	1690.3	857.4	2547.7	3.8082	1.3709	5.1791
18,000	356.99	0.001840	0.007504	1699.1	675.9	2375.0	1732.2	777.8	2510.0	3.8720	1.2343	5.1064
19,000	361.47	0.001926	0.006677	1740.3	598.9	2339.2	1776.8	689.2	2466.0	3.9396	1.0860	5.0256
20,000	365.75	0.002038	0.005862	1785.8	509.0	2294.8	1826.6	585.5	2412.1	4.0146	0.9164	4.9310
21,000	369.83	0.002207	0.004994	1841.6	391.9	2233.5	1888.0	450.4	2338.4	4.1071	0.7005	4.8076
22,000	373.71	0.002703	0.003644	1951.7	140.8	2092.4	2011.1	161.5	2172.6	4.2942	0.2496	4.5439
22,064	373.95	0.003106	0.003106	2015.7	0	2015.7	2084.3	0	2084.3	4.4070	0	4.4070

**Tabla 9** Entalpía del agua (continuación)

**Fuente:** (Yunes A. Cengel, 2011)

Se debe considerar lo siguiente:

- Presión de compresión del motor a (2390 msnm): 125 psi

Con esta información, se puede efectuar el siguiente análisis:

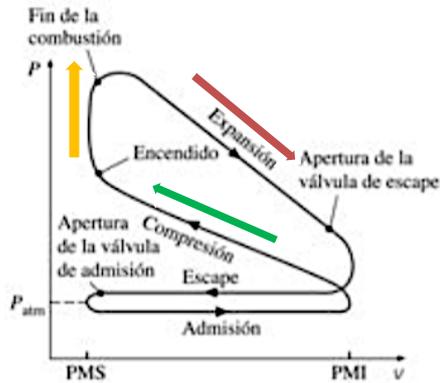
$$101.3 \text{ kPa} = 14.7 \text{ psi}$$

$$\text{presion de compresion} = 125 \text{ psi} * \frac{101.3 \text{ kPa}}{14.7 \text{ psi}}$$

$$\text{presion de compresion} = 861.85 \text{ kpa}$$

Este valor de presión de compresión puede ser analizado en la tabla, tomando el valor más cercano de 850 kPa. La entalpia muestra ser un concepto que debe ser considerado en el aporte energético que llega a poseer el sistema. La cantidad de energía requerida para someter al agua a un cambio de fase, de estado líquido a gaseoso, muestra ser menor a la cantidad de energía aportada por el gas. Bajo esta condición de presión, la entalpia de vaporización es de 2038.8 kJ/Kg mientras que la entalpia de vapor saturado es de 2770.8 kJ/kg. Por principios de transformación de estado, el pasar un líquido a un gas requiere la una reacción endotérmica, es decir se debe aplicar energía; por otra parte, para pasar de estado gaseoso a estado líquido, ocurre una reacción exotérmica o una liberación de energía al ambiente. Con esto se determina que se liberan 732 kJ/kg de energía por una relación directa entre la energía requerida y la energía liberada durante los cambios de fase. Por otra parte, también se puede analizar que la temperatura de combustión oscila entre los 2000 a 2500 grados Celsius (Martinez, 2000) por lo que al elevar la temperatura la presión a la que somete el sistema es mayor, dicha presión ejercida por la mezcla ayuda al empuje de la biela y permite las ganancias de torque y potencia.

Para resumir, en términos energéticos, la entalpia permite establecer que la cantidad de energía requerida es menor a la cantidad de energía aportada; todo esto referente a la energía cinética que posee una sustancia. Para esta aplicación en particular, tomando en cuenta la temperatura de combustión y la alta presión ejercida por el cilindro, la diferencia energética supera los 700kJ por kg de masa. Este efecto en combinación con los efectos propios de la combustión y movimiento del pistón en el cilindro, muestran un aporte positivo al ciclo termodinámico de operación del cilindro. La energía aportada por el sistema muestra ser mayor a la energía requerida. Como resultado se indica que existen un mayor aprovechamiento energético de todo el sistema favoreciendo el trabajo realizado dentro de un mismo ciclo. Esto también se ve reflejado en los resultados obtenidos con las ganancias en torque, potencia y autonomía puesto que un mayor aporte energético afecta directamente a estos parámetros operacionales.



**Figura 19** Ciclo real del motor Otto

**Fuente:** (Yunes A. Cengel, 2011)

La figura 4 mostrada en la parte superior se emplea para comprender los puntos o momentos exactos en los cuales se favorece la inyección de mezcla agua-metanol. Para la admisión, no se posee un cambio puesto que el volumen del cilindro no es variable, el volumen de llenado será el mismo. Sin embargo, la cantidad de aire debería verse influenciado positivamente, es decir la masa de aire debe ser mayor como efecto de la temperatura reducida. Por otra parte, compresión si se vería afecta recibiendo un incremento de compresión tanto por la mayor masa de aire circulando al sistema como por la masa añadida de la mezcla. Entre los puntos del cierre de admisión y encendido, se registraría un incremento lineal similar al presente en el gráfico. Entre el punto de encendido y el punto del fin de combustión, se registraría un alargamiento vertical puesto que no se registra un cambio de volumen, pero si se obtiene un cambio de presión como resultado de la combustión y la presión de los gases calientes. La mezcla añadida y el vapor en teoría sobrecalentado por la temperatura de combustión incrementan el empuje sobre el pistón. Durante la expansión, entre los puntos de fin de combustión y a apertura de válvula de escape, se registraría un aumento a lo largo del segmento. Esto ocurriría como resultado de poseer un punto de fin de combustión con una condición de mayor presión. El comportamiento de la gráfica mientras aumenta el volumen se mantendría con la misma forma, pero con un nivel resultante superior. Finalmente, desde la apertura de la válvula de escape se registraría se registraría un comportamiento similar al original, pero con una posible reducción de presión más brusca; al igual que en las condiciones anteriores, se debería al aumento de presión que aumentaría el flujo de gases de escape. Las líneas mostradas sobre el grafico representan las posibles condiciones operacionales el ciclo Otto

que serían resultantes de la inyección agregada del agua-metanol comparado con el comportamiento normal ya descrito en la tabla.

### 4.3 Análisis de costos

Para un análisis más profundo que permite establecer la viabilidad de implementación, se puede analizar los factores económicos. El aspecto económico muestra ser un factor crucial para la implementación del proyecto ya que fuera del ámbito ambiental, factores como el costo de operación del vehículo pueden llegar a ser decisivos en la implementación de un sistema como este.

**Tabla 10** Costos de materiales

Descripción	Cantidad	Costo
Metanol	1 gl	\$ 11.40
Agua destilada	1 gl	\$ 2.35
Sistema de inyección	1	\$ 750
Tanque lleno de combustible	15gl	\$ 28.50

**Fuente:** (Galárraga, 2019)

En el Ecuador, los combustibles diésel y extra o regular, poseen un subsidio que reduce el costo real del combustible. Sin embargo, el combustible del tipo súper o premium no posee un subsidio haciendo que este tipo de combustible se encarezca. Es aquí donde también se puede aprovechar una de las ventajas del sistema de inyección de agua y metanol puesto que mejora el índice de octanaje del combustible. Como resultado, es posible el uso de combustible regular en todos vehículos, incluso en aquellos que requieran combustible súper, permitiendo así la operación normal del motor.

Con el vehículo en condiciones operacionales normales (sin el sistema de inyección agregada), la autonomía del vehículo se fija en los 520km de recorrido por cada  $\frac{3}{4}$  de tanque. Por otra parte, la autonomía obtenida con el sistema de inyección agregada de agua y metanol, la autonomía se fija en 739km por cada  $\frac{3}{4}$  de tanque combustible y 1 galón de mezcla agregada. La diferencia entre las condiciones operacionales es la siguiente:

$$diferencia\ de\ autonomia = autonomía_{final(inyección\ agregada)} - autonomía_{inicial(estandar)}$$

$$d a = 739km - 520km$$

$$d a = 219km$$

En cuanto al rango, también conocido como consumo de combustible, se especifica en km/gl, se obtiene lo siguiente:

$$\text{diferencia de consumo} = \text{consumo}_{\text{final}(\text{inyeccion agregada})} - \text{consumo}_{\text{inicial}(\text{estandar})}$$

$$\text{diferencia de consumo} = 65.69 \frac{\text{km}}{\text{gl}} - 46.22 \frac{\text{km}}{\text{gl}}$$

$$\text{diferencia de consumo} = 19.47 \frac{\text{km}}{\text{gl}}$$

Para los cálculos individuales de material empleado, se obtiene lo siguiente:

$$\text{costo de metanol} = \frac{1\text{gl}}{3.785\text{l}} * \frac{\$11.40}{1\text{gl}}$$

$$\text{costo de metanol} = \$3.01/\text{l}$$

$$\text{costo de agua destilada} = \frac{1\text{gl}}{3.785\text{l}} * \frac{\$2.35}{1\text{gl}}$$

$$\text{costo de agua destilada} = \$0.62/\text{l}$$

$$\text{costo de combustible} = \frac{1\text{gl}}{3.785\text{l}} * \frac{\$1.90}{1\text{gl}}$$

$$\text{costo de combustible} = \$0.50/\text{l}$$

Para la mezcla ya definida con una concentración de metanol al 25%, se emplea una relación de 1 litro de metanol por cada 3 litros de agua destilada. Con esto se define lo siguiente:

Para el combustible:

$$\text{costo de combustible}_{\frac{3}{4}\text{de capacidad}} = \text{capacidad del tanque} * \frac{3}{4} * \text{costo de combustible}$$

$$\text{costo de combustible}_{\frac{3}{4}\text{de capacidad}} = 15\text{gl} * \frac{3}{4} * \frac{3.785\text{l}}{1\text{gl}} * \$0.50/\text{l}$$

$$\text{costo de combustible}_{3/4 \text{ de capacidad}} = 15 \text{ gl} * \frac{3}{4} * \frac{3.785 \text{ l}}{1 \text{ gl}} * \$0.50/\text{l}$$

$$\text{costo de combustible}_{3/4 \text{ de capacidad}} = \$21.29$$

Para la mezcla requerida por tanque de combustible:

$$\text{costo de mezcla}_{25\% \text{ concentracion}} = 3 \text{ l} * \text{costo de agua}/\text{l} + 1 \text{ l} * \text{costo de metanol}/\text{l}$$

$$\text{costo de mezcla}_{25\% \text{ concentracion}} = 3 \text{ l} * \$0.62/\text{l} + 1 \text{ l} * \$3.01/\text{l}$$

$$\text{costo de mezcla}_{25\% \text{ concentracion}} = \$4.87$$

Para la combinación del combustible y la mezcla:

$$\text{Costo combinado} = \text{costo de la mezcla} + \text{costo de combustible}$$

$$\text{Costo combinado} = \$4.87 + \$21.29$$

$$\text{Costo combinado} = \$26.16$$

Al obtener estos resultados en términos de costo de combustibles, se puede determinar el costo de operación por kilómetro recorrido, a continuación, la comparativa:

**Tabla 11** Comparativa de costos y distancias recorridas

Distancia recorrida	Costo de combustibles (considerado a $\frac{3}{4}$ de capacidad del tanque)
520km	\$21.29
739km	\$26.16

**Fuente:** (Galárraga, 2019)

$$\text{costo de operacion}_{(\text{condicion establecida})} = \frac{\text{Costo de combustible}}{\text{Distancia recorrida}}$$

Para la operación con el vehículo estándar:

$$\text{costo de operacion}_{(\text{condicion estandar})} = \frac{\$21.29}{520\text{km}}$$

$$\text{costo de operacion}_{(\text{condicion estandar})} = \frac{\$0.041}{\text{km}}$$

Para la operación del vehículo con inyección agregada:

$$\text{costo de operacion}_{(\text{inyeccion agregada})} = \frac{\$26.16}{739\text{km}}$$

$$\text{costo de operacion}_{(\text{inyeccion agregada})} = \frac{\$0.035}{\text{km}}$$

Con estos resultados, se puede establecer que la operación con inyección agregada de agua y metanol muestra ser más económica comparada con los costos de operación con el vehículo en condición estándar.

Por otra parte, también se puede determinar la relación de distancia en relación al costo. Esto se establece con la siguiente ecuación:

$$\text{relacion de circulacion}_{(\text{condicion})} = \frac{\text{distancia}}{\text{costo}}$$

Para la condición estándar:

$$\text{relacion de circulacion}_{(\text{estandar})} = \frac{\text{distancia}}{\text{costo de combustible}}$$

$$\text{relacion de circulacion}_{(\text{estandar})} = \frac{520\text{km}}{\$21.29}$$

$$\text{relacion de circulacion}_{(\text{estandar})} = \frac{24.42\text{km}}{\$1}$$

Para la condición de inyección agregada de mezcla:

$$relacion\ de\ circulacion_{(inyeccion\ agregada)} = \frac{distancia}{costo\ de\ combustible}$$

$$relacion\ de\ circulacion_{(estandar)} = \frac{739km}{\$26.16}$$

$$relacion\ de\ circulacion_{(inyeccion\ agregada)} = \frac{28.14km}{\$1}$$

Con los cálculos empleados, se puede determinar que existe una diferencia de recorrido de 3.72km por cada dólar empleado para circular.

Tomando como una referencia, una circulación promedio de 25000km para los vehículos en la ciudad de Quito, se puede determinar lo siguiente:

Para la circulación en condición estándar:

$$costo\ de\ operacion\ anual\ promedio_{(condicion\ estandar)} = \frac{\$0.041}{km} * 25000km$$

$$costo\ de\ operacion\ anual\ promedio_{(condicion\ estandar)} = \$1025$$

Para la circulación en condición de mezcla agregada:

$$costo\ de\ operacion\ anual\ promedio_{(inyeccion\ agregada)} = \frac{\$0.041}{km} * 25000km$$

$$costo\ de\ operacion\ anual\ promedio_{(inyeccion\ agregada)} = \$875$$

**Tabla 12** Costo promedio anual de combustibles

Condición	Costo
Estándar	\$1025
Inyección agregada	\$875

**Fuente:** (Galárraga, 2019)

Los resultados muestran que existe una diferencia de \$150 entre la circulación en condición normal y la condición de inyección agregada mostrando que existe un beneficio económico en términos operacionales circulando bajo la condición modificada.

Tomando en cuenta un excedente de \$150 entre la condición estándar y la condición modificada, la distancia que se puede recorrer con la misma cantidad de dinero es la siguiente:

$$\text{relacion de circulacion}_{(\text{inyeccion agregada})} = \frac{28.14\text{km}}{\$1}$$

$$\text{distancia excedente} = \frac{28.14\text{km}}{\$1} * \$150$$

$$\text{distancia excedente} = 4221\text{km}$$

Los resultados establecen que la condición agregada de agua metanol permite circular 4221 km más basado en el costo bajo condición normal y comparado con el costo bajo condición modificada.

#### **4.4 Desventajas**

El sistema de inyección agregada de agua metanol también muestra algunos factores perjudiciales para el motor. Como todo sistema, lo más importante para garantizar el correcto estado y operación, recae sobre el mantenimiento. El uso correcto de materiales tales como los repuestos y los lubricantes son cruciales para mantener el buen estado del motor ya que son estos los que están diseñados para soportar las diferentes condiciones operacionales del motor. Algunos de los factores más importantes que inciden sobre la operación del motor son la herrumbre, los ácidos, los lodos y la contaminación.

La herrumbre es un efecto obtenido cuando los metales son sometidos al agua o humedad. Este efecto está directamente relacionado con la oxidación donde un elemento se degrada por la interacción con el oxígeno. Al agregar la mezcla de agua-metanol, las condiciones operacionales varían puesto que en términos de humedad esta aumenta. La herrumbre por ejemplo degrada el aceite tras degradar las bases constitutivas del mismo alterando así la viscosidad de este. Al cambiar la viscosidad, el aceite deja de ocupar las holguras del motor permitiendo mayor interacción entre los elementos, es decir aumenta la fricción entre los mismos. De igual forma se inserta en el aceite partículas del motor que son contaminantes del lubricante y que favorecen el desgaste prematuro de los elementos. Ver Anexo 11)

Los ácidos son sustancias que poseen una alta concentración de iones de hidrogeno. La basicidad o acidez que posee una sustancia se mide en pH. El pH es el indicador de contenido de cationes de hidronio donde un valor más alto indica el nivel de basicidad mientras un valor más bajo indica en nivel de acidez. Las sustancias acidas poseen propiedades corrosivas, es decir pueden llegar a desintegrar a otros materiales. El metanol con su fórmula química  $CH_3OH$  posee un contenido alto de hidrógeno en su molécula. Esto como resultado puede llegar a incrementar la cantidad total de ácidos a los que se somete el motor. Los ácidos también son capaces de romper la estructura molecular de los aceites volviéndolos ms acuosos, es decir alteran la viscosidad. Existe la posibilidad de tener un lubricante acido el cual lejos de proteger al motor, comienza a corroerlo. Cabe recalcar que los aceites de motor tienden a tener un pH con tendencia a la basicidad; es así como se logra proteger al motor de los agentes corrosivos. Los detergentes y dispersantes también pueden ser saturados ante un exceso de partículas provenientes de la corrosión limitando la capacidad limpiadora del aceite y favoreciendo la acumulación de residuos y depósitos. Ver Anexo 13.

Los disolventes son sustancias que como su nombre indica, disuelven o rompen los compuestos alterando sus propiedades. El metanol está constituido también por un alcohol OH el cual, por composición propia, tiene la tendencia a ser altamente miscible con otros compuestos. La miscibilidad del alcohol incrementa el potencial disolvente actuando sobre el motor. Los disolventes actúan directamente sobre el lubricante alterando sus propiedades.

Los lodos son partículas relativamente grandes provenientes de los residuos de combustión y el ambiente en general. Algunos elementos como el polvo y el hollín constituyen a los lodos. Estos residuos son altamente peligrosos puesto que llegan a bloquear los pasajes de lubricación limitando la acción de los lubricantes. Estas partículas también pueden generar ralladuras a los componentes de contacto generando desgaste prematuro. Aunque el aceite tiene un paquete de aditivos con agentes detergentes y dispersantes, los lodos pueden llegar a saturar esa capacidad. En caso de un fallo en el sistema de inyección del agua y metanol, o con un exceso de mezcla, se generará un fallo de encendido el cual tendrá como resultado un nivel más alto de hollín. El hollín son

partículas de combustible no combustionadas, solidas que se filtraran al sistema de lubricación con el movimiento del pistón y la compresión. El lubricante removerá dichas partículas y las alojará en si para proteger al motor; sin embargo, el hollín también contribuye a un incremento en la acidez del lubricante y a la acumulación de sedimentos dentro del motor. Ver Anexo 13.

La contaminación en general son partículas que están presentes en los compuestos de forma indeseada. Los contaminantes también pueden actuar como elementos que dañinos que degradan tanto a los lubricantes como a los componentes internos del motor. La degradación de los elementos reduce la vida útil del motor y compromete el funcionamiento de este. Los cortes, rayaduras, picaduras entre otros son todos efectos que pueden ser causados por la circulación de partículas dentro del motor.

El lubricante es el agente más importante del motor puesto que tiene la función de limpiar, remover, eliminar, lubricar, refrigerar y sellar. La composición el aceite en cuanto a su viscosidad, aditivos, detergentes y dispersantes tiene un rol vital para mantener el óptimo funcionamiento del motor. Sin embargo, con el uso, el aceite se degrada. Su función es la de recibir todos los elementos dañinos para el motor con el fin de protegerlo. En la práctica, cada uno de los factores muestran una relación directa entre sí. Todos los factores se favorecen unos a otros para comprometer el buen funcionamiento del motor y degradarlo. Ver Anexo 12.

Existen también otros elementos que deben ser considerados de reemplazar con mayor periodicidad por las condiciones operacionales más agresivas a las que se someten. Las bujías, por ejemplo, deben poseer menor holgura para un correcto funcionamiento. La compresión aumentada y la densidad misma del aire impiden el salto de chispa a la vez que se vuelve más agresivo. La humedad (con la herrumbre) favorece la picadura de las bujías afectan el desempeño del motor; esto implica que el reemplazo de estos elementos debe ser más frecuente.

Las bobinas de encendido y cables de bujía también mostrarán un desgaste prematuro puesto que la tensión a la que trabajarán será alterada por el cambio en la holgura de la bujía, la compresión y la mezcla como tal. El paso de corriente será más agresivo y podría generarse algún tipo de falla en el conjunto.

La mezcla también aportara una limpieza de las partículas de carbón acumuladas en el cilindro por lo que algunas holguras selladas por las partículas acumuladas pueden llegar a abrirse causando consumo de aceite, pérdida de compresión e influyendo directamente en el torque y la potencia del motor. Existe también la posibilidad de consumo de aceite de motor el cual fugaría por las holguras removidas.

## **5. CONCLUSIONES**

Se determinó que la inyección de agua-metanol favorece el rendimiento del combustible se observó un incremento de 42% en la autonomía en las pruebas de ruta realizadas.

Con las diversas pruebas realizadas se constató las condiciones operacionales mejoradas que aporta un sistema de inyección agregada de agua-metanol presentando una mejora de un 13% en torque y potencia como también de reducción de emisiones contaminantes en todas las condiciones operacionales.

Se concluyó que la inyección de agua-metanol, al igual que cualquier combustible, requiere una dosificación precisa puesto que un exceso de mezcla desfavorece el rendimiento del motor y las emisiones como se vio en los resultados previamente presentados.

Se observó que el sistema posee poca fidelidad de funcionamiento ya que en el tiempo que se tuvo operando el sistema, el monitoreo constante de todos los componentes fue necesario; a su vez se evidencia esto con la falla percibida durante los momentos de prueba donde se requería consistencia de resultados.

## 6. RECOMENDACIONES

- La inyección agregada de agua metanol, mejora las características antidetonantes de los combustibles, es decir mejora su índice de octanaje. Tomando esto en cuenta, se podría analizar el efecto de una inyección agregada de agua-metanol en conjunto con combustibles menos refinados (con un menor índice de octanos) para comprobar como incide en el comportamiento final del motor. La teoría dicta que la mezcla agregada, debería mejorar las condiciones operacionales y contrarrestar el cascabeleo producido por el combustible menos refinado y permitiendo la marcha normal del motor.
- Para futuros estudios, se podría analizar el factor económico, donde se podría usar un combustible más económico en combinación con la inyección del agua-metanol. Así se podría determinar sus beneficios y viabilidad en cuestión de costos operacionales; esto serviría por ejemplo para una empresa con flota de autos.
- Como un estudio subsecuente, se debería realizar pruebas de aceite, inspección y valoración mecánica del motor. La inyección agregada y los aumentos en torque y potencia, así como también la alteración del proceso de combustión, podrían generar danos al motor y sus componentes móviles. Como todo combustible, la degradación del aceite es inevitable y se debería considerar un análisis de este para cuantificar la degradación del aceite y de las partes del motor tras operar con la mezcla agregada.

## BIBLIOGRAFIA

- AEM Electronics. (2 de Diciembre de 2019). *AEM Performace Electronics*. Fonte: AEM Performace Electronics: <https://www.aemelectronics.com/products/water-methanol-injection-systems/water-methanol-injection-kit-for-high-compression-na-engines>
- Alonso, J. M. (2001). *Técnicas del automóvil: sistemas de inyección de combustible en los motores*.
- Bosch. (2013). *Manual de la tecnica del automovil*. Barcelona: Editorial Reverte S.A.
- Bosch, R. (2002). *Sistemas de inyeccion de gasolina*. Barcelona, Espana : Grupo Editorial CEAC.
- Gil, H. (2002). *Sistemas de inyeccion de gasolina*. Barcelona, Espana: Grupo Editorial CEAC.
- Google Maps. (2 de 12 de 2019). *Google Maps*. Fonte: Map Data 2019: [https://www.google.com/maps/dir/Parque+Jardines+de+la+Pampa,+Quito/Universidad+Internacional+del+Ecuador+\(UIDE\)+-+Quito,+Av.+Jorge+Fernández+s%2Fn+y+Av.+Simón+Bo1%C3%ADvar,+Quito/@-0.1184827,-78.4844604,11.32z/data=!4m14!4m13!1m5!1m1!1s0x91d58844c2208e19:](https://www.google.com/maps/dir/Parque+Jardines+de+la+Pampa,+Quito/Universidad+Internacional+del+Ecuador+(UIDE)+-+Quito,+Av.+Jorge+Fernández+s%2Fn+y+Av.+Simón+Bo1%C3%ADvar,+Quito/@-0.1184827,-78.4844604,11.32z/data=!4m14!4m13!1m5!1m1!1s0x91d58844c2208e19:)
- Hofacker, A. (2008). *Rapid lean construction - quality rating model*. Manchester: s.n.
- Martinez, G. (2000). *Manual del Automovil*. Madrid, Espana.
- Muñoz Gaspari, E. M. (2015). *Sistema de inyección electrónica para motor de combustión interna* (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de Mar del Plata. Facultad de Ingeniería. Argentina).
- Paredes Echeverría, F. X. (2014). *Implementación de un banco simulador de follas de un sistema de inyección electrónica de combustible (gasolina) en un motor corsa de cuatro cilindros 1.6 L MPFI* (Bachelor's thesis, QUITO/UIDE/2013).
- Rivera, N., Chica, J., Zambrano, I., & García, C. (2017). Estudio del comportamiento de un motor ciclo otto de inyección electrónica respecto de la estequiometría de la mezcla y del adelanto al encendido para la ciudad de Cuenca. *Revista Politécnica*, 40(1), 59-67.
- Sánchez, C., & Delgado, S. (2012). *Implementación de un tablero didáctico del sistema de inyección electrónica multipunto multtec iefi-6 para la escuela de ingeniería automotriz*.

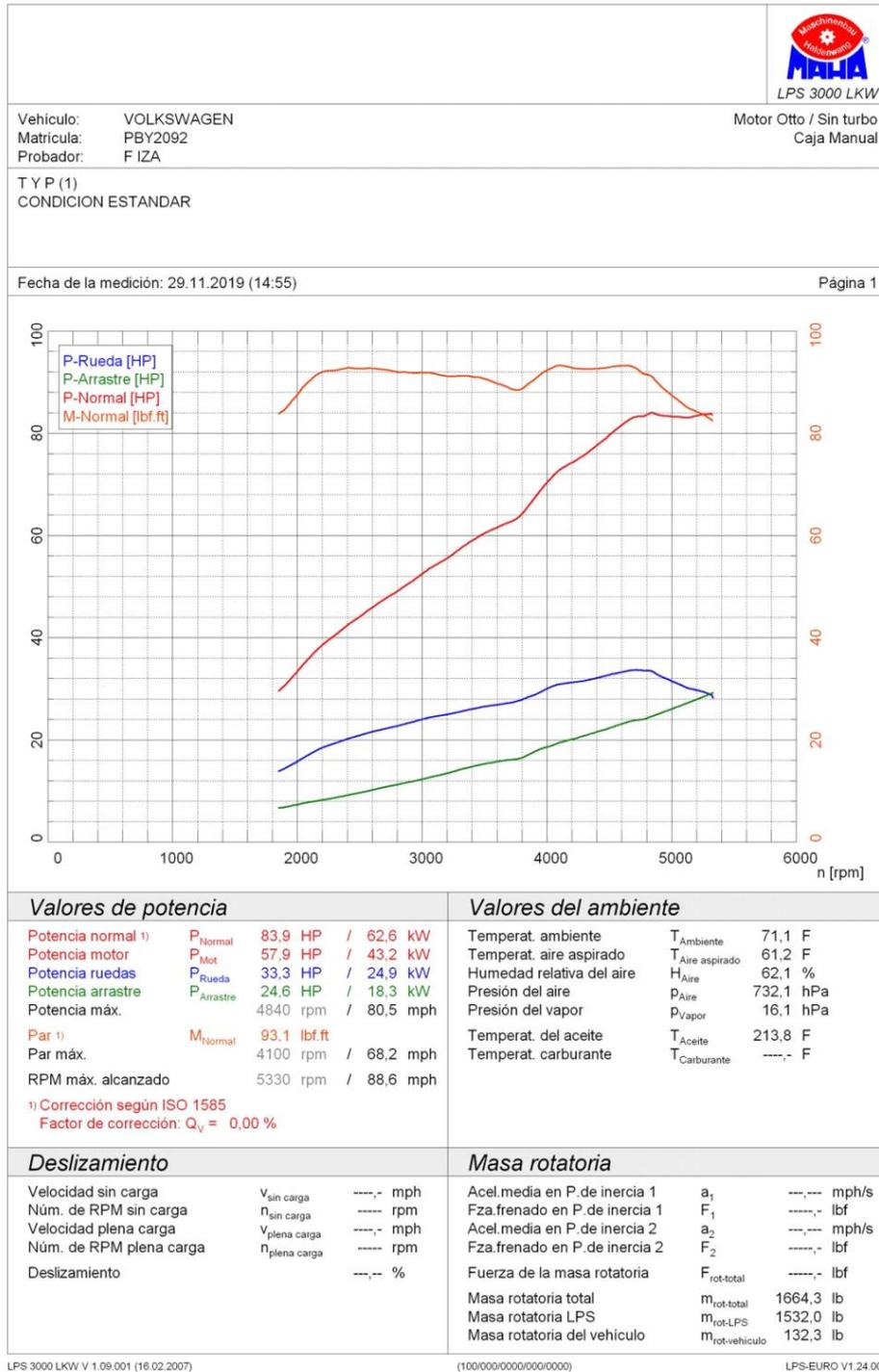
Volkswagen do Brasil. (2011). *Manual de instrucciones Gol*. Brasil: Log&Print Grafica e Logistica S.A.

WIDMAN INTERNATIONAL SLR. (15 de 1 de 2020). *WIDMAN INTERNATIONAL SLR*. Fonte: WIDMAN INTERNATIONAL SLR Web site: <https://www.widman.biz/Analisis/motores.html>

Yunes A. Cengel, M. A. (2011). *Termodinamica*. Mexico DF, Mexico: Mc Graw Hill.

# ANEXOS

## Anexo 1 Evaluación operacional condición estándar #1





Vehículo: VOLKSWAGEN  
 Matricula: PBY2092  
 Probador: F IZA

Motor Otto / Sin turbo  
 Caja Manual

T Y P (1)  
 CONDICION ESTANDAR

Fecha de la medición: 29.11.2019 (14:55)

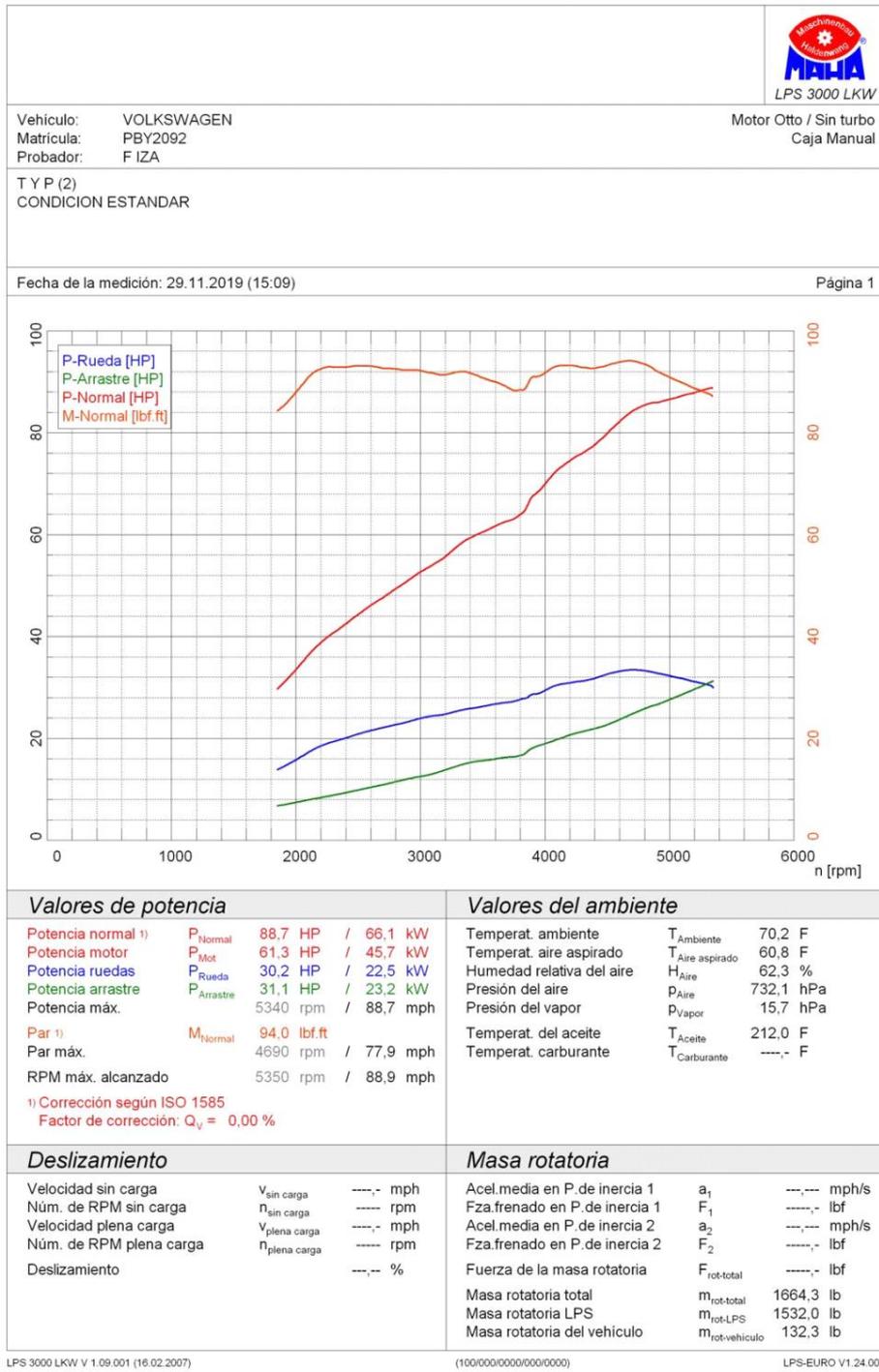
Página 2

**Tabla de datos**

n [rpm]	v [mph]	P <sub>Rueda</sub> [HP]	P <sub>Mot</sub> [HP]	P <sub>Normal</sub> [HP]	M <sub>Normal</sub> [lbf.ft]
1900	31,6	14,4	21,1	30,6	84,6
2000	33,2	15,7	23,0	33,3	87,5
2100	34,9	17,1	24,9	36,1	90,2
2200	36,6	18,4	26,6	38,5	91,9
2300	38,2	19,3	27,9	40,4	92,2
2400	39,9	20,1	29,2	42,3	92,6
2500	41,6	20,8	30,4	44,0	92,5
2600	43,2	21,5	31,6	45,8	92,5
2700	44,9	22,1	32,8	47,5	92,3
2800	46,5	22,6	33,8	49,0	91,9
2900	48,2	23,3	35,0	50,7	91,8
3000	49,9	23,9	36,2	52,4	91,7
3100	51,5	24,5	37,3	54,0	91,5
3200	53,2	24,9	38,3	55,5	91,1
3300	54,9	25,4	39,5	57,2	91,1
3400	56,5	26,0	40,6	58,9	91,0
3500	58,2	26,4	41,7	60,3	90,6
3600	59,8	26,8	42,4	61,5	89,7
3700	61,5	27,1	43,1	62,5	88,7
3800	63,2	27,8	44,2	64,1	88,6
3900	64,8	28,7	46,4	67,1	90,4
4000	66,5	29,9	48,5	70,2	92,2
4100	68,2	30,8	50,2	72,7	93,1
4200	69,8	31,1	51,2	74,1	92,7
4300	71,5	31,5	52,2	75,7	92,4
4400	73,1	32,0	53,5	77,5	92,5
4500	74,8	32,7	54,9	79,5	92,8
4600	76,5	33,2	56,3	81,5	93,1
4700	78,1	33,6	57,3	83,0	92,8
4800	79,8	33,4	57,6	83,5	91,4
4900	81,5	32,5	57,6	83,4	89,4
5000	83,1	31,4	57,4	83,2	87,3
5100	84,8	30,4	57,3	83,0	85,4
5200	86,4	29,6	57,5	83,3	84,1
5300	88,1	28,9	57,7	83,6	82,9

Valor mínimo      Valor máximo

## Anexo 2 Evaluación operacional condición estándar #2





Vehículo: VOLKSWAGEN  
 Matricula: PBY2092  
 Probador: F IZA

Motor Otto / Sin turbo  
 Caja Manual

T Y P (2)  
 CONDICION ESTANDAR

Fecha de la medición: 29.11.2019 (15:09)

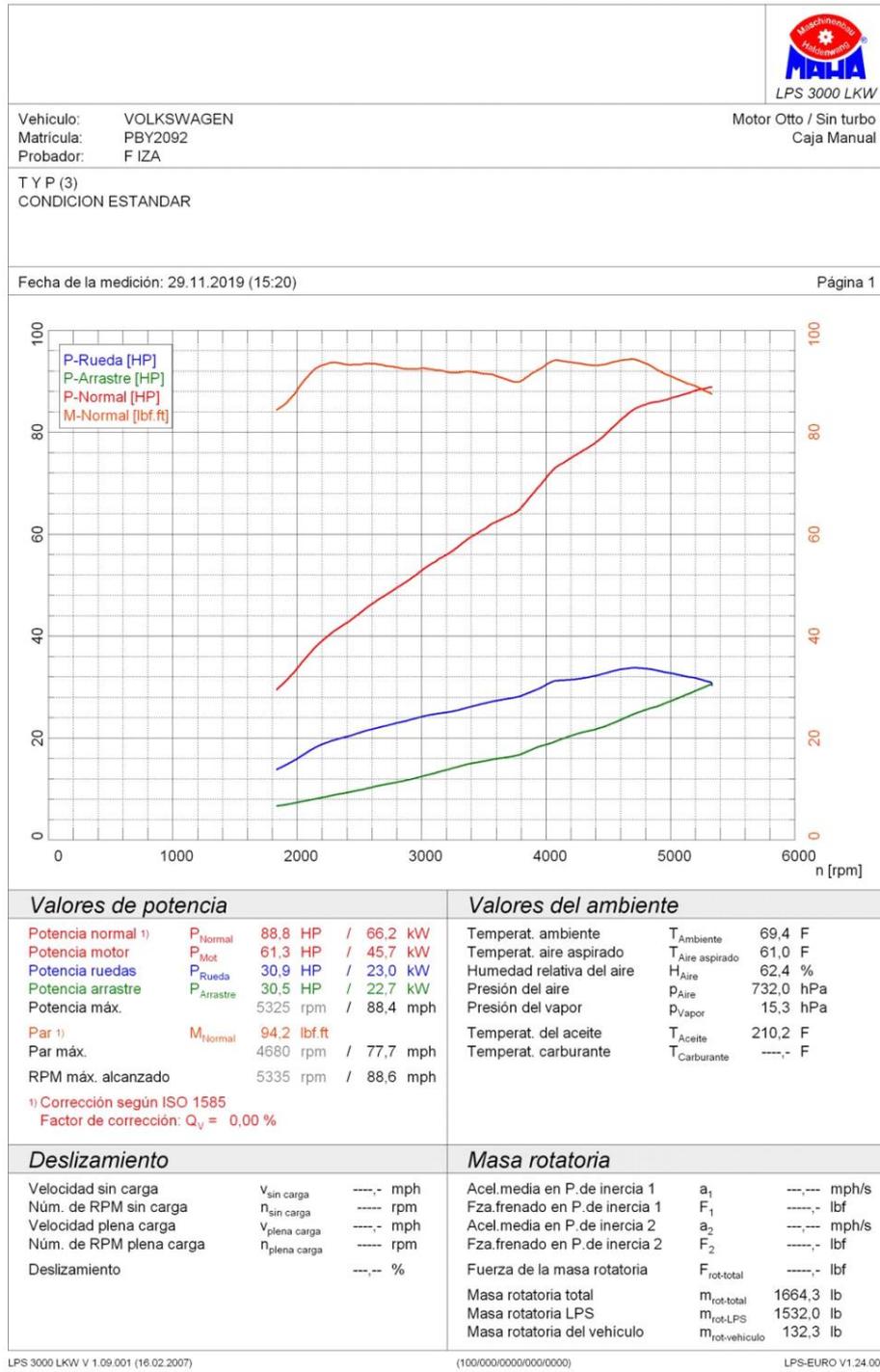
Página 2

**Tabla de datos**

n [rpm]	v [mph]	P <sub>Rueda</sub> [HP]	P <sub>Mot</sub> [HP]	P <sub>Normal</sub> [HP]	M <sub>Normal</sub> [lbf.ft]
1900	31.7	14.4	21.3	30.8	85.2
2000	33.3	15.7	23.1	33.5	87.8
2100	35.0	17.2	25.1	36.3	90.8
2200	36.7	18.4	26.8	38.7	92.4
2300	38.3	19.3	28.1	40.6	92.8
2400	40.0	20.0	29.3	42.4	92.8
2500	41.7	20.8	30.6	44.3	93.0
2600	43.3	21.5	31.8	46.0	93.0
2700	45.0	22.0	32.9	47.6	92.5
2800	46.7	22.6	34.0	49.3	92.4
2900	48.3	23.2	35.2	50.9	92.2
3000	50.0	23.9	36.3	52.6	92.1
3100	51.6	24.4	37.4	54.1	91.6
3200	53.3	24.7	38.4	55.6	91.3
3300	55.0	25.3	39.9	57.7	91.8
3400	56.6	25.8	41.0	59.3	91.6
3500	58.3	26.2	41.7	60.4	90.7
3600	60.0	26.7	42.6	61.6	89.9
3700	61.6	27.0	43.2	62.6	88.8
3800	63.3	27.6	44.1	63.9	88.3
3900	65.0	28.6	46.6	67.5	90.9
4000	66.6	29.3	48.2	69.8	91.7
4100	68.3	30.4	50.1	72.6	93.0
4200	70.0	30.8	51.4	74.4	93.1
4300	71.6	31.2	52.4	75.9	92.7
4400	73.3	31.7	53.6	77.6	92.6
4500	75.0	32.5	55.1	79.8	93.1
4600	76.6	33.1	56.7	82.1	93.8
4700	78.3	33.4	58.1	84.1	94.0
4800	80.0	33.2	59.0	85.3	93.4
4900	81.6	32.7	59.3	85.8	92.0
5000	83.3	32.2	59.7	86.5	90.8
5100	85.0	31.7	60.2	87.2	89.7
5200	86.6	31.1	60.6	87.8	88.6
5300	88.3	30.5	61.1	88.5	87.7

Valor mínimo      Valor máximo

### Anexo 3 Evaluación operacional condición estándar #3





Vehículo: VOLKSWAGEN  
 Matricula: PBY2092  
 Probador: F IZA

Motor Otto / Sin turbo  
 Caja Manual

T Y P (3)  
 CONDICION ESTANDAR

Fecha de la medición: 29.11.2019 (15:20)

Página 2

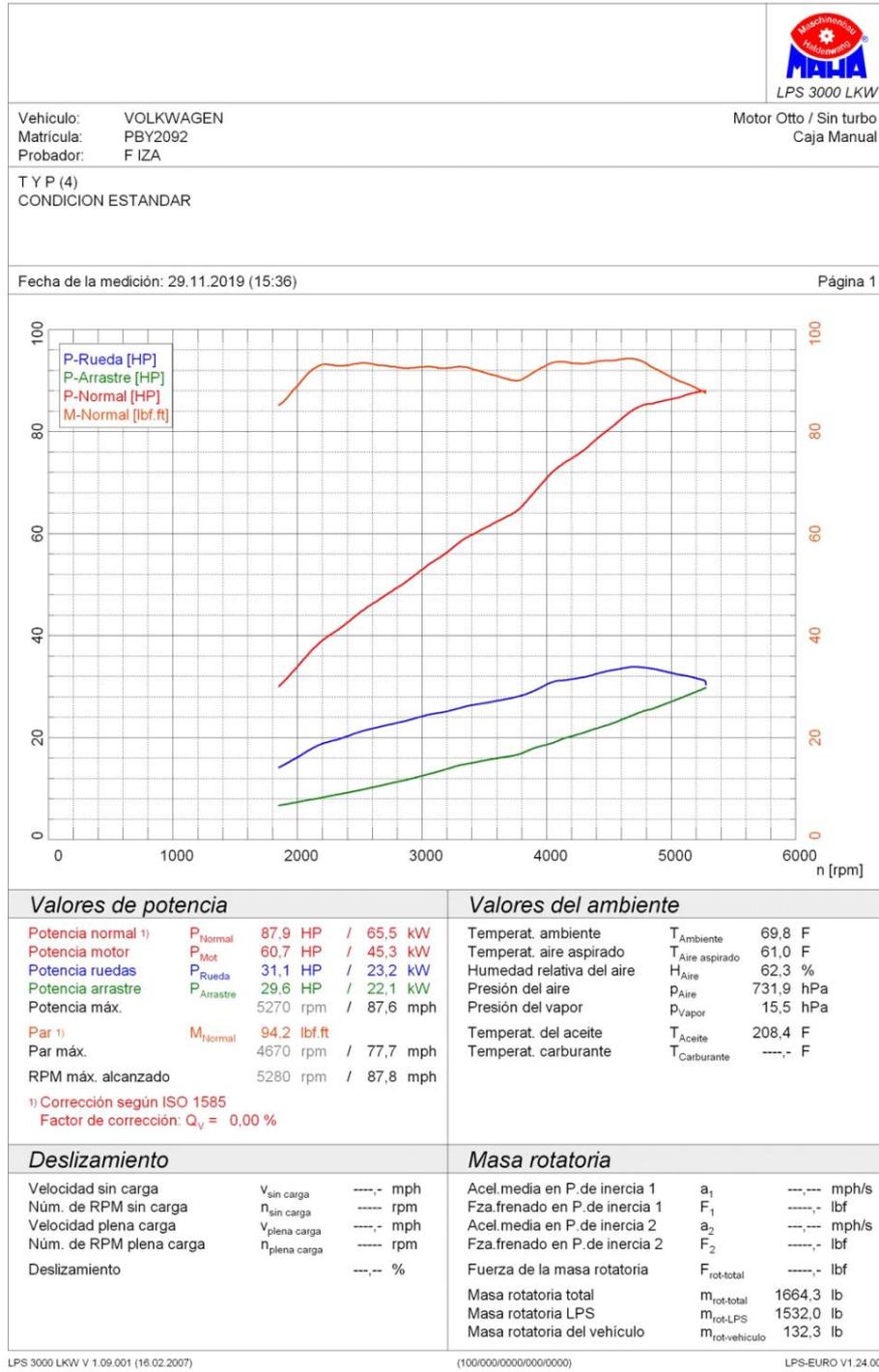
**Tabla de datos**

n [rpm]	v [mph]	P <sub>Rueda</sub> [HP]	P <sub>Mot</sub> [HP]	P <sub>Normal</sub> [HP]	M <sub>Normal</sub> [lbf.ft]
1900	31,8	14,5	21,3	30,9	85,4
2000	33,5	15,9	23,2	33,6	88,2
2100	35,1	17,4	25,2	36,5	91,3
2200	36,8	18,7	26,9	39,0	93,0
2300	38,5	19,6	28,3	41,0	93,6
2400	40,2	20,2	29,4	42,6	93,2
2500	41,8	21,0	30,7	44,3	93,2
2600	43,5	21,7	31,9	46,2	93,3
2700	45,2	22,2	33,0	47,8	93,0
2800	46,9	22,9	34,1	49,4	92,6
2900	48,5	23,5	35,2	51,0	92,3
3000	50,2	24,1	36,5	52,8	92,4
3100	51,9	24,6	37,6	54,4	92,2
3200	53,6	25,0	38,6	55,9	91,7
3300	55,2	25,4	39,8	57,6	91,6
3400	56,9	26,1	41,0	59,4	91,7
3500	58,6	26,7	42,1	60,9	91,3
3600	60,3	27,2	43,1	62,3	90,9
3700	61,9	27,7	43,9	63,5	90,1
3800	63,6	28,2	45,0	65,1	90,0
3900	65,3	29,2	47,0	68,0	91,6
4000	66,9	30,4	49,0	70,9	93,1
4100	68,6	31,2	50,7	73,4	94,0
4200	70,3	31,4	51,7	74,9	93,6
4300	72,0	31,7	52,8	76,4	93,3
4400	73,6	32,2	53,8	77,9	93,0
4500	75,3	32,8	55,3	80,0	93,4
4600	77,0	33,4	56,9	82,3	94,0
4700	78,7	33,7	58,3	84,3	94,2
4800	80,3	33,5	59,0	85,4	93,4
4900	82,0	33,1	59,3	85,9	92,1
5000	83,7	32,7	59,8	86,6	90,9
5100	85,4	32,1	60,3	87,3	89,9
5200	87,0	31,7	60,9	88,1	89,0
5300	88,7	31,0	61,2	88,6	87,8

Valor mínimo

Valor máximo

## Anexo 4 Evaluación operacional condición estándar #4





Vehículo: VOLKSWAGEN  
 Matrícula: PBY2092  
 Probador: F IZA

Motor Otto / Sin turbo  
 Caja Manual

T Y P (4)  
 CONDICION ESTANDAR

Fecha de la medición: 29.11.2019 (15:36)

Página 2

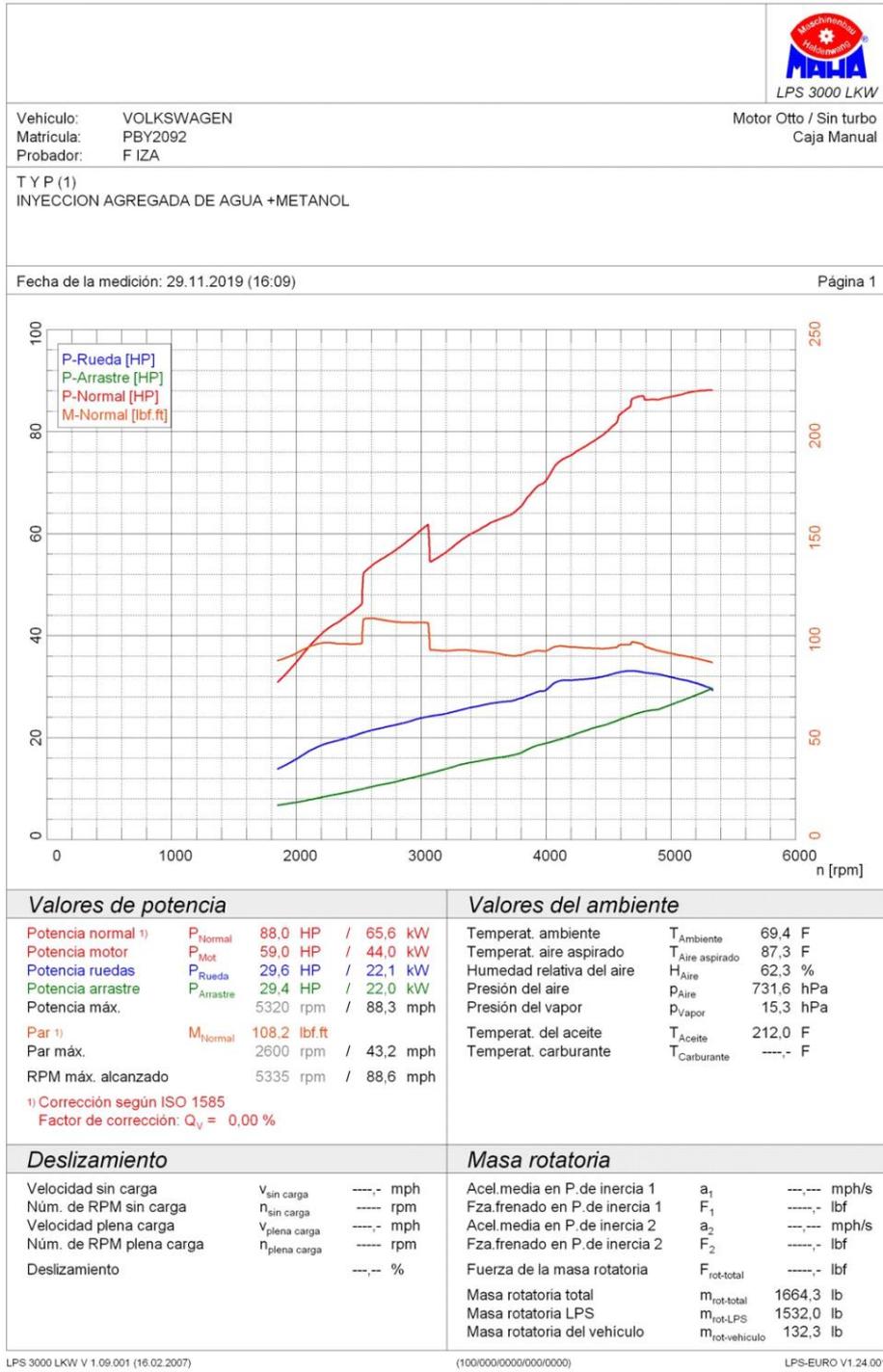
**Tabla de datos**

n [rpm]	v [mph]	P <sub>Rueda</sub> [HP]	P <sub>Mot</sub> [HP]	P <sub>Normal</sub> [HP]	M <sub>Normal</sub> [lbf.ft]
1900	31,6	14,7	21,5	31,1	86,1
2000	33,3	16,1	23,4	33,8	88,9
2100	35,0	17,6	25,3	36,6	91,6
2200	36,6	18,7	26,9	39,0	93,0
2300	38,3	19,4	28,1	40,7	92,8
2400	39,9	20,2	29,3	42,4	92,9
2500	41,6	21,0	30,7	44,4	93,3
2600	43,3	21,7	31,8	46,1	93,1
2700	44,9	22,3	33,0	47,7	92,8
2800	46,6	22,8	34,1	49,3	92,5
2900	48,3	23,4	35,2	51,0	92,3
3000	49,9	24,1	36,5	52,8	92,5
3100	51,6	24,6	37,7	54,6	92,5
3200	53,3	25,1	38,9	56,3	92,3
3300	54,9	25,7	40,2	58,2	92,6
3400	56,6	26,3	41,2	59,7	92,2
3500	58,3	26,7	42,1	61,0	91,5
3600	59,9	27,1	43,0	62,2	90,8
3700	61,6	27,6	43,8	63,5	90,1
3800	63,3	28,2	45,0	65,2	90,1
3900	64,9	29,1	47,0	68,0	91,6
4000	66,6	30,3	48,9	70,8	92,9
4100	68,2	31,1	50,4	73,0	93,6
4200	69,9	31,3	51,5	74,6	93,3
4300	71,6	31,8	52,7	76,3	93,2
4400	73,2	32,4	54,1	78,4	93,6
4500	74,9	33,0	55,5	80,3	93,8
4600	76,6	33,4	56,9	82,4	94,0
4700	78,2	33,8	58,2	84,2	94,1
4800	79,9	33,6	58,9	85,2	93,3
4900	81,6	33,2	59,2	85,7	91,9
5000	83,2	32,6	59,6	86,3	90,6
5100	84,9	32,1	60,0	86,9	89,5
5200	86,6	31,6	60,5	87,6	88,4

Valor mínimo

Valor máximo

# Anexo 5 Evaluación operacional condición de inyección agregada agua-metanol # 1





Vehículo: VOLKSWAGEN  
 Matricula: PBY2092  
 Probador: F IZA

Motor Otto / Sin turbo  
 Caja Manual

T Y P (1)  
 INYECCION AGREGADA DE AGUA +METANOL

Fecha de la medición: 29.11.2019 (16:09)

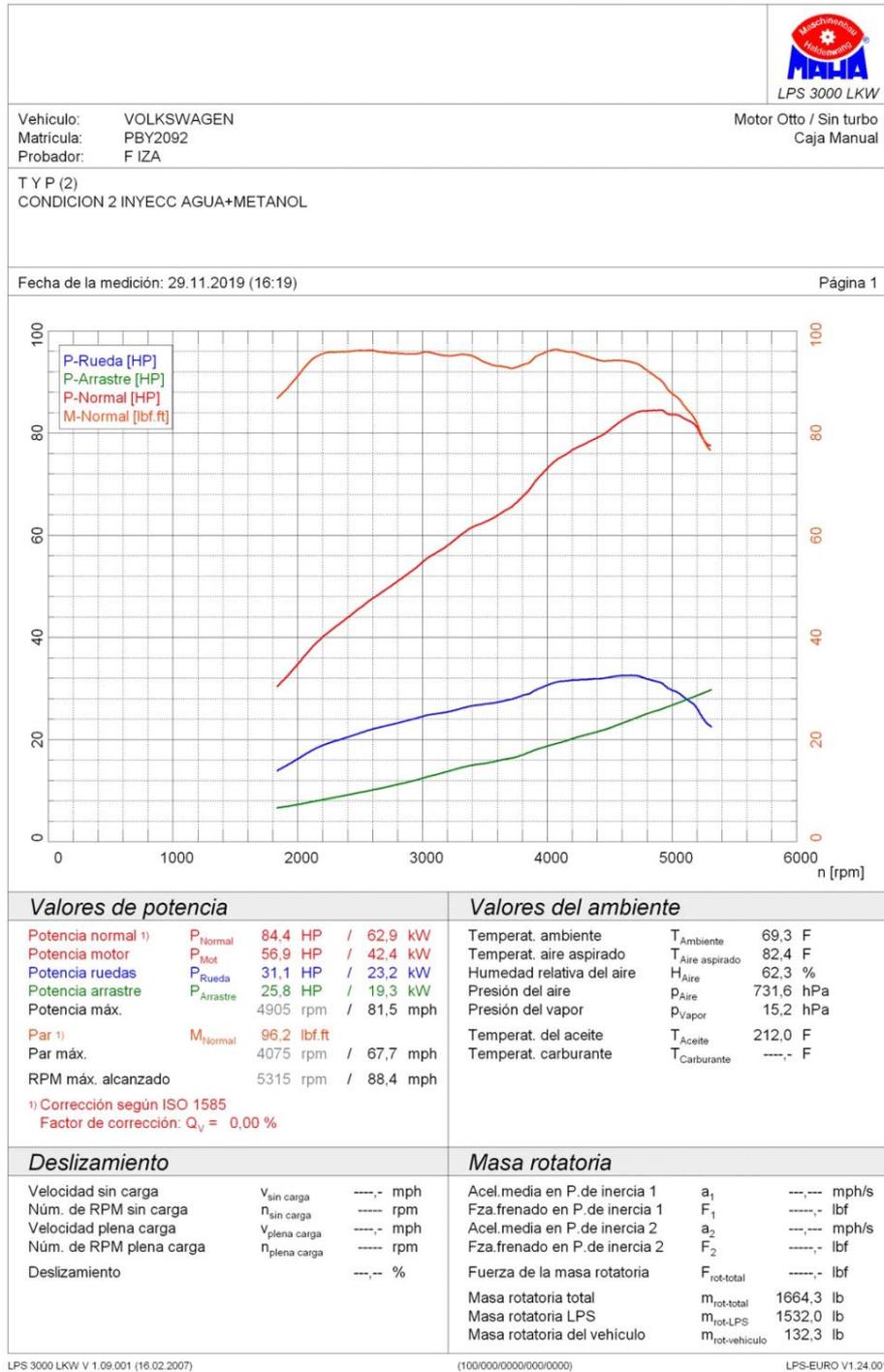
Página 2

**Tabla de datos**

n [rpm]	v [mph]	P <sub>Rueda</sub> [HP]	P <sub>Mot</sub> [HP]	P <sub>Normal</sub> [HP]	M <sub>Normal</sub> [lbf.ft]
1900	31,6	14,4	21,2	32,0	88,6
2000	33,3	15,8	23,0	34,7	91,1
2100	34,9	17,3	25,0	37,7	94,3
2200	36,6	18,4	26,7	40,2	96,1
2300	38,2	19,2	27,9	42,1	96,1
2400	39,9	19,8	29,0	43,7	95,7
2500	41,6	20,6	30,3	45,6	95,7
2600	43,2	21,4	31,7	53,6	108,2
2700	44,9	21,9	32,7	55,2	107,3
2800	46,6	22,5	33,8	56,8	106,5
2900	48,2	23,1	35,0	58,6	106,2
3000	49,9	23,8	36,3	60,6	106,1
3100	51,5	24,2	37,4	54,7	92,7
3200	53,2	24,6	38,5	56,3	92,4
3300	54,9	25,2	39,8	58,3	92,7
3400	56,5	25,8	40,9	59,9	92,5
3500	58,2	26,3	41,8	61,2	91,9
3600	59,9	26,7	42,7	62,5	91,1
3700	61,5	27,0	43,4	63,4	90,0
3800	63,2	27,7	44,6	65,3	90,2
3900	64,8	28,6	46,7	68,4	92,1
4000	66,5	29,2	48,1	70,3	92,3
4100	68,2	31,0	50,5	73,8	94,6
4200	69,8	31,2	51,5	75,3	94,1
4300	71,5	31,4	52,5	76,8	93,8
4400	73,2	31,6	53,6	78,3	93,5
4500	74,8	32,2	54,8	80,2	93,6
4600	76,5	32,8	56,4	83,4	95,2
4700	78,1	33,0	57,4	86,5	96,6
4800	79,8	32,6	57,7	86,1	94,2
4900	81,5	32,3	57,8	86,2	92,3
5000	83,1	31,8	58,2	86,7	91,1
5100	84,8	31,2	58,5	87,3	89,9
5200	86,5	30,6	58,9	87,8	88,7
5300	88,1	29,8	59,0	88,0	87,2

Valor mínimo      Valor máximo

## Anexo 6 Evaluación operacional condición de inyección agregada agua-metanol # 2





Vehículo: VOLKSWAGEN  
 Matricula: PBY2092  
 Probador: F IZA

Motor Otto / Sin turbo  
 Caja Manual

T Y P (2)  
 CONDICION 2 INYECC AGUA+METANOL

Fecha de la medición: 29.11.2019 (16:19)

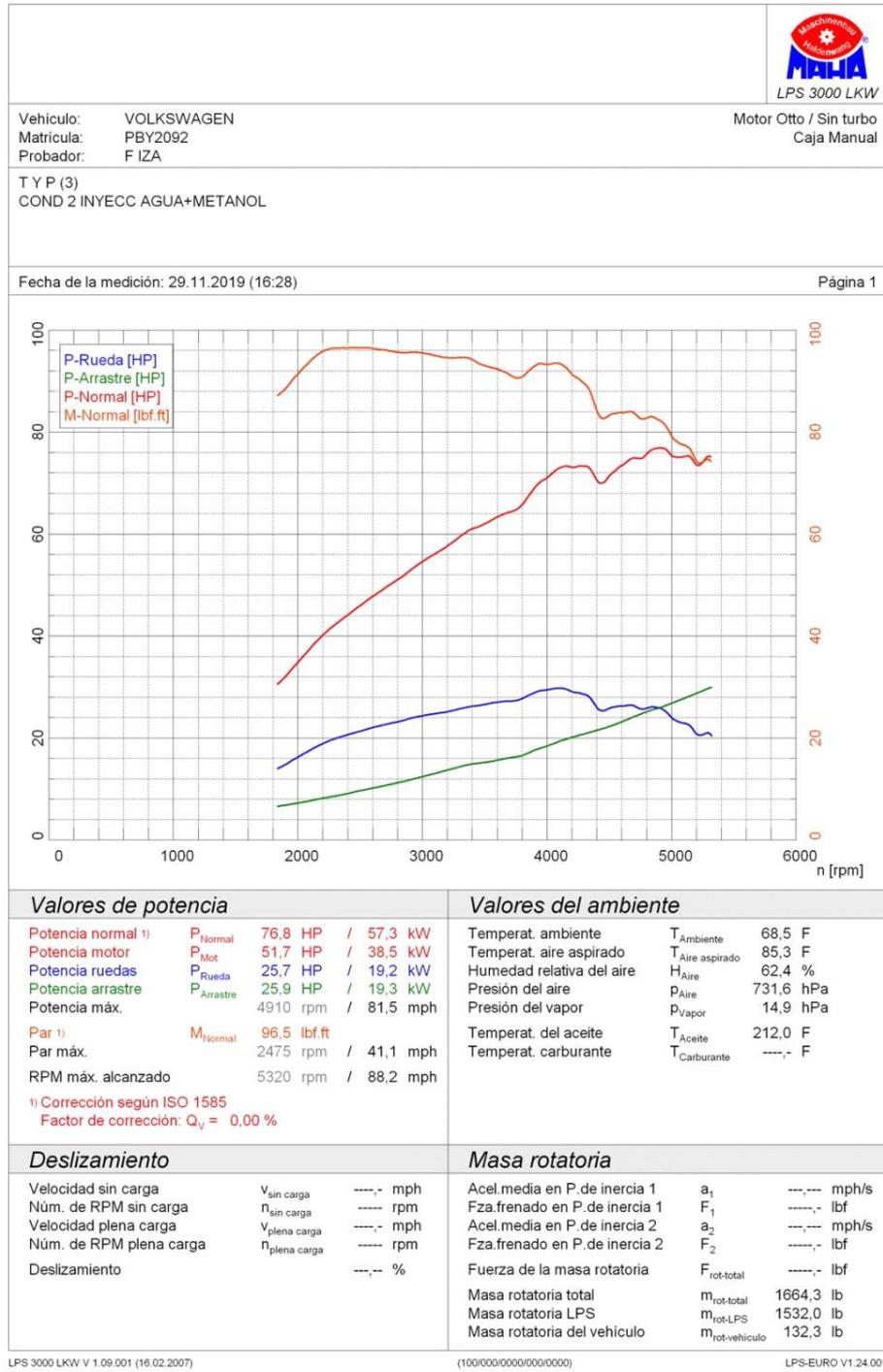
Página 2

**Tabla de datos**

n [rpm]	v [mph]	P <sub>Rueda</sub> [HP]	P <sub>Mot</sub> [HP]	P <sub>Normal</sub> [HP]	M <sub>Normal</sub> [lbf.ft]
1900	31.6	14.7	21.5	31.9	88.2
2000	33.3	16.2	23.4	34.7	91.1
2100	34.9	17.6	25.3	37.6	93.9
2200	36.6	18.8	26.9	40.0	95.4
2300	38.2	19.6	28.3	41.9	95.7
2400	39.9	20.4	29.5	43.8	95.9
2500	41.6	21.2	30.8	45.7	96.1
2600	43.2	22.0	32.0	47.6	96.1
2700	44.9	22.6	33.1	49.2	95.7
2800	46.6	23.2	34.3	50.9	95.5
2900	48.2	23.8	35.5	52.7	95.4
3000	49.9	24.5	36.8	54.6	95.7
3100	51.5	24.9	37.9	56.3	95.4
3200	53.2	25.3	39.0	57.9	95.0
3300	54.9	26.0	40.3	59.8	95.2
3400	56.5	26.5	41.4	61.5	95.0
3500	58.2	26.9	42.1	62.5	93.8
3600	59.9	27.2	43.0	63.8	93.0
3700	61.5	27.7	44.0	65.3	92.6
3800	63.2	28.5	45.4	67.4	93.2
3900	64.9	29.5	47.4	70.3	94.7
4000	66.5	30.6	49.2	73.0	95.8
4100	68.2	31.3	50.6	75.1	96.1
4200	69.8	31.5	51.6	76.6	95.8
4300	71.5	31.6	52.4	77.8	95.0
4400	73.2	31.8	53.2	79.0	94.3
4500	74.8	32.1	54.3	80.5	94.0
4600	76.5	32.4	55.5	82.4	94.0
4700	78.2	32.4	56.5	83.8	93.6
4800	79.8	31.8	56.8	84.2	92.2
4900	81.5	31.1	56.9	84.4	90.5
5000	83.1	29.6	56.3	83.5	87.7
5100	84.8	28.2	55.8	82.7	85.2
5200	86.5	26.1	54.6	81.0	81.8
5300	88.1	22.7	52.3	77.5	76.8

Valor mínimo      Valor máximo

## Anexo 7 Evaluación operacional condición de inyección agregada agua-metanol # 3





Vehículo: VOLKSWAGEN  
 Matricula: PBY2092  
 Probador: F IZA

Motor Otto / Sin turbo  
 Caja Manual

T Y P (3)  
 COND 2 INYECC AGUA+METANOL

Fecha de la medición: 29.11.2019 (16:28)

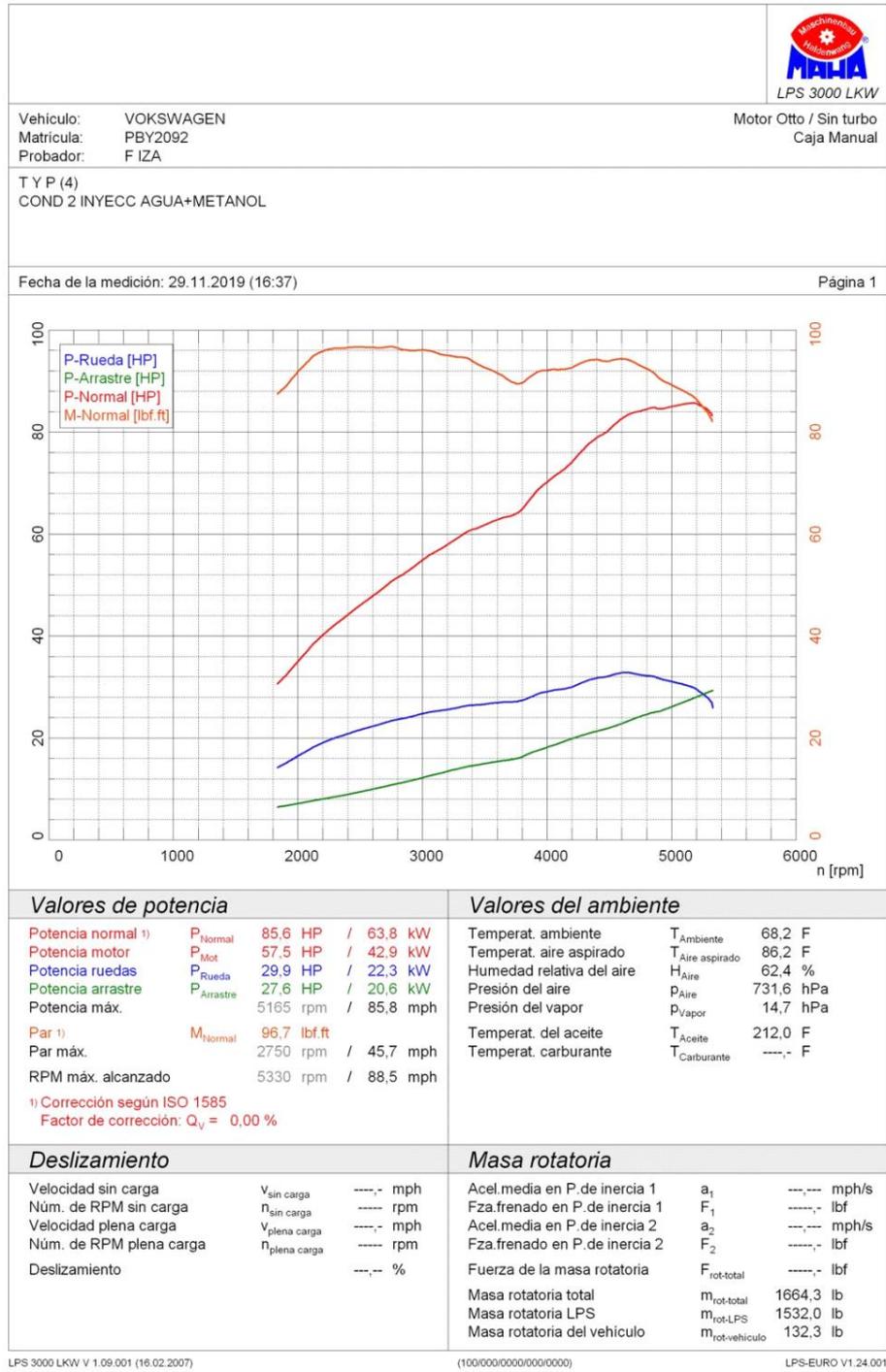
Página 2

**Tabla de datos**

n [rpm]	v [mph]	P <sub>Rueda</sub> [HP]	P <sub>Mot</sub> [HP]	P <sub>Normal</sub> [HP]	M <sub>Normal</sub> [lbf.ft]
1900	31,6	14,7	21,5	32,0	88,4
2000	33,2	16,2	23,4	34,8	91,3
2100	34,9	17,6	25,2	37,5	93,8
2200	36,6	18,8	26,9	40,1	95,7
2300	38,2	19,8	28,3	42,2	96,3
2400	39,9	20,6	29,6	44,0	96,4
2500	41,5	21,2	30,8	45,9	96,4
2600	43,2	22,0	32,0	47,7	96,3
2700	44,9	22,6	33,1	49,3	96,0
2800	46,5	23,1	34,2	50,9	95,5
2900	48,2	23,7	35,4	52,7	95,5
3000	49,9	24,3	36,6	54,5	95,4
3100	51,5	24,7	37,6	56,0	94,9
3200	53,2	25,1	38,7	57,6	94,5
3300	54,8	25,6	39,9	59,4	94,5
3400	56,5	26,1	41,0	60,9	94,1
3500	58,2	26,5	41,6	61,9	92,9
3600	59,8	26,9	42,5	63,2	92,2
3700	61,5	27,1	43,1	64,2	91,1
3800	63,1	27,6	44,1	65,6	90,7
3900	64,8	28,8	46,3	68,9	92,8
4000	66,5	29,3	47,7	70,9	93,1
4100	68,1	29,7	49,0	72,8	93,3
4200	69,8	29,0	49,0	73,0	91,3
4300	71,5	28,5	49,2	73,2	89,4
4400	73,1	26,0	47,4	70,5	84,1
4500	74,8	25,8	47,9	71,3	83,2
4600	76,4	26,2	49,3	73,3	83,7
4700	78,1	26,2	50,3	74,8	83,6
4800	79,8	25,7	50,8	75,5	82,7
4900	81,4	25,8	51,6	76,8	82,3
5000	83,1	23,9	50,7	75,4	79,1
5100	84,8	22,8	50,5	75,1	77,3
5200	86,4	20,8	49,4	73,5	74,3
5300	88,1	20,9	50,6	75,2	74,5

Valor mínimo      Valor máximo

## Anexo 8 Evaluación operacional condición de inyección agregada agua-metanol # 4





Vehículo: VOKSWAGEN  
 Matricula: PBY2092  
 Probador: F IZA

Motor Otto / Sin turbo  
 Caja Manual

T Y P (4)  
 COND 2 INYECC AGUA+METANOL

Fecha de la medición: 29.11.2019 (16:37)

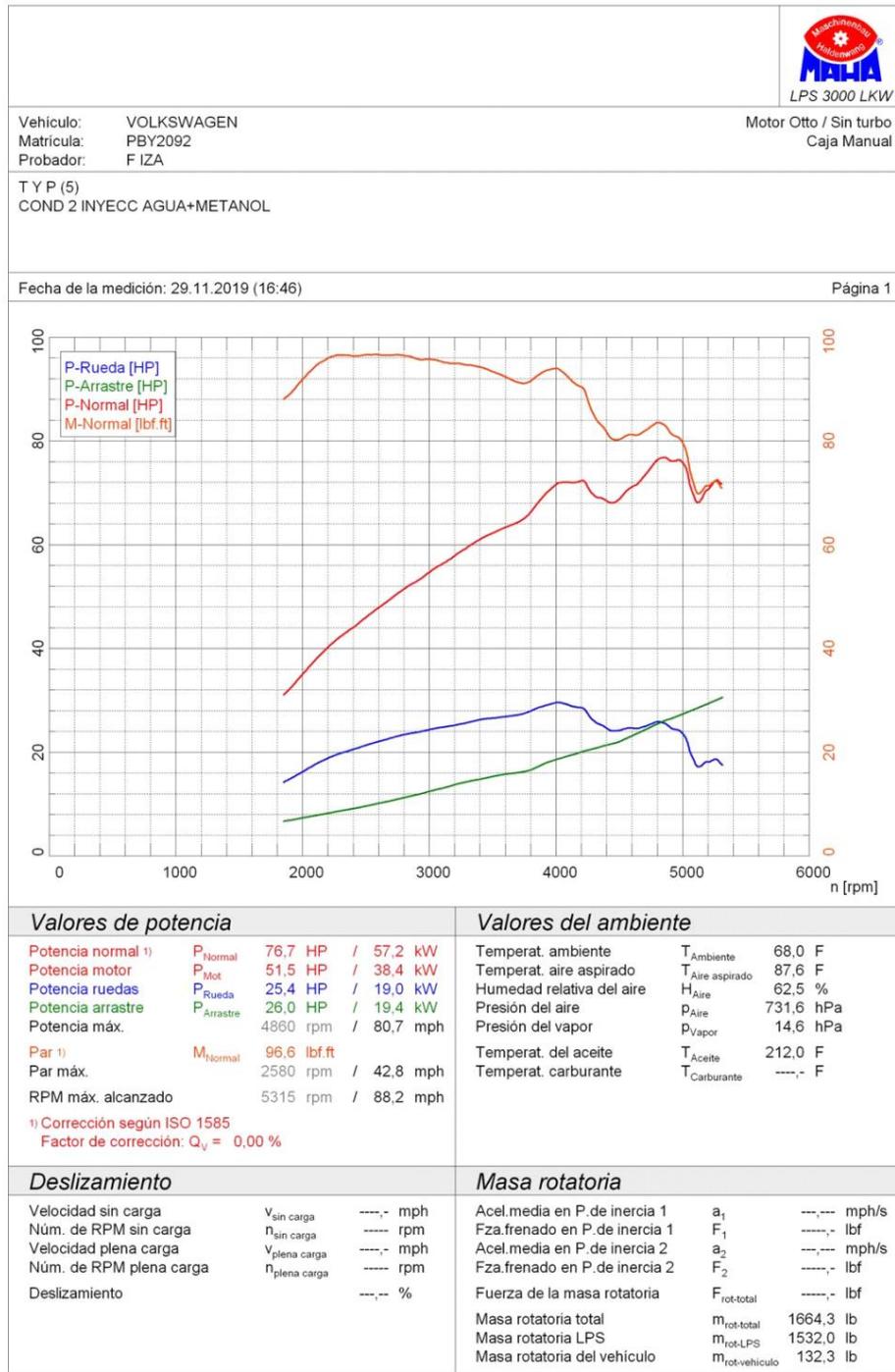
Página 2

**Tabla de datos**

n [rpm]	v [mph]	P <sub>Rueda</sub> [HP]	P <sub>Mot</sub> [HP]	P <sub>Normal</sub> [HP]	M <sub>Normal</sub> [lbf.ft]
1900	31,6	15,0	21,6	32,1	88,8
2000	33,3	16,4	23,5	34,9	91,7
2100	34,9	17,8	25,3	37,7	94,3
2200	36,6	19,0	27,0	40,1	95,8
2300	38,3	20,0	28,3	42,2	96,3
2400	39,9	20,7	29,6	44,1	96,4
2500	41,6	21,5	30,9	46,0	96,5
2600	43,2	22,2	32,1	47,8	96,5
2700	44,9	22,9	33,3	49,6	96,5
2800	46,6	23,6	34,5	51,4	96,4
2900	48,2	24,0	35,6	52,9	95,9
3000	49,9	24,7	36,8	54,8	96,0
3100	51,6	25,1	37,9	56,4	95,5
3200	53,2	25,5	38,9	57,8	94,9
3300	54,9	26,0	39,9	59,4	94,6
3400	56,6	26,4	40,8	60,8	93,9
3500	58,2	26,5	41,4	61,7	92,6
3600	59,9	26,8	42,1	62,7	91,5
3700	61,5	26,9	42,6	63,4	90,0
3800	63,2	27,3	43,5	64,8	89,6
3900	64,9	28,3	45,6	67,8	91,3
4000	66,5	29,0	47,1	70,1	92,0
4100	68,2	29,4	48,3	71,9	92,2
4200	69,9	29,9	49,7	74,0	92,6
4300	71,5	31,0	51,5	76,7	93,7
4400	73,2	31,7	52,9	78,8	94,1
4500	74,9	32,1	54,0	80,4	93,8
4600	76,5	32,7	55,5	82,5	94,2
4700	78,2	32,5	56,3	83,7	93,6
4800	79,8	32,1	56,7	84,4	92,3
4900	81,5	31,6	56,7	84,4	90,5
5000	83,2	31,0	57,0	84,9	89,2
5100	84,8	30,4	57,4	85,4	87,9
5200	86,5	29,5	57,4	85,5	86,3
5300	88,2	27,6	56,5	84,1	83,3

Valor mínimo      Valor máximo

## Anexo 9 Evaluación operacional condición de inyección agregada agua-metanol # 5



LPS 3000 LKW V 1.09.001 (16.02.2007)

(100/000/0000/000/0000)

LPS-EURO V1.24.001



Vehículo: VOLKSWAGEN  
 Matrícula: PBY2092  
 Probador: F IZA

Motor Otto / Sin turbo  
 Caja Manual

T Y P (5)  
 COND 2 INYECC AGUA+METANOL

Fecha de la medición: 29.11.2019 (16:46)

Página 2

**Tabla de datos**

n [rpm]	v [mph]	P <sub>Rueda</sub> [HP]	P <sub>Mot</sub> [HP]	P <sub>Normal</sub> [HP]	M <sub>Normal</sub> [lb.ft]
1900	31,6	14,8	21,6	32,2	88,9
2000	33,3	16,2	23,5	34,9	91,8
2100	34,9	17,6	25,3	37,7	94,3
2200	36,6	18,8	27,0	40,2	95,9
2300	38,3	19,7	28,3	42,2	96,4
2400	39,9	20,5	29,5	44,0	96,2
2500	41,6	21,3	30,8	45,9	96,5
2600	43,3	22,0	32,1	47,8	96,5
2700	44,9	22,7	33,3	49,6	96,4
2800	46,6	23,3	34,5	51,4	96,4
2900	48,2	23,7	35,5	52,9	95,7
3000	49,9	24,3	36,7	54,6	95,6
3100	51,6	24,7	37,7	56,2	95,1
3200	53,2	25,1	38,8	57,8	94,8
3300	54,9	25,6	39,9	59,4	94,5
3400	56,6	26,2	40,9	60,9	94,1
3500	58,2	26,5	41,7	62,1	93,3
3600	59,9	26,8	42,4	63,2	92,3
3700	61,5	27,1	43,1	64,2	91,2
3800	63,2	27,9	44,4	66,2	91,4
3900	64,9	28,8	46,4	69,2	93,2
4000	66,5	29,5	48,0	71,5	93,9
4100	68,2	29,0	48,3	71,9	92,1
4200	69,9	28,5	48,5	72,2	90,3
4300	71,5	26,0	46,6	69,4	84,8
4400	73,2	24,6	45,9	68,4	81,6
4500	74,9	24,1	46,1	68,7	80,2
4600	76,5	24,6	47,7	71,0	81,1
4700	78,2	24,9	49,1	73,2	81,8
4800	79,8	25,8	51,2	76,3	83,4
4900	81,5	24,8	51,1	76,1	81,6
5000	83,2	23,5	50,8	75,7	79,6
5100	84,8	17,7	46,0	68,5	70,6
5200	86,5	18,0	47,3	70,5	71,2
5300	88,2	17,8	48,1	71,7	71,0

Valor mínimo

Valor máximo

## Anexo 10 Interpretación de aceite de motores Widman International SLR

### Interpretación de Aceite de Motores de Combustión Interna

Cuando revisamos los análisis de aceite de motores tenemos que tomar en cuenta varios factores:

#### El combustible utilizado:

- Diesel: Combustible "sucio", motor de alta compresión, problemas frecuentes con inyectores y bombas inyectoras.
- Gasolina: Combustible relativamente limpio, compresión variable entre modelos, pero menor que los motores a diesel.
- GNC (Gas Natural Comprimido): Combustible limpio, problemas de nitración y oxidación en los aceites, especialmente si son formulados con aceite básico API grupo I ( por la alta cantidad de moléculas saturadas que absorben nitrógeno del aire quemado en la combustión).

#### El uso del motor:

- Camión: Alta carga, normalmente rutas largas.
- Auto Particular: Todo rango de velocidad, cargas y tipo de viaje.
- Taxi: Mucho uso en la ciudad utilizando primera y segunda marcha. Pocos kilómetros para muchas horas de trabajo.
- Auto de carrera: Altas velocidades, revoluciones y fuerzas.
- Tractor o implemento agrícola: Una sola velocidad, alta carga, alta contaminación por tierra, frecuentemente estacionado 4 o 5 meses entre usos.
- Generador o bomba estacionaria: Una sola velocidad, pocos arranques, menos variables.
- El tamaño del cárter (capacidad de aceite) relacionado al tamaño del motor.
- El aceite utilizado y sus valores originales.
- Las horas o kilómetros que el aceite fue utilizado.
- Uso en carretera o caminos de tierra.

Esta muestra indica problemas serios con el aceite y su nivel de protección.

<b>Company:</b> WIDMAN INTERNATIONAL SRL AVENIDA ALEMANIA CALLE MAJO 2400 SANTA CRUZ BOLIVIA	<b>Comp. Descr.:</b> ENGINE <b>Make:</b> TOYOTA <b>Model:</b>	<b>Fuel Type:</b> Diesel <b>Oil Brand:</b> <b>Oil Type:</b>	<b>CTC Lab:</b> 3319 WEST EARLL DRIVE PHOENIX, AZ 85017 (800)445-7930, FAX(602)262-4639
<b>Customer No:</b> 20245082	<b>Equip. Make:</b>	<b>Fluid Grade:</b> 15W40	<b>End User:</b> EMAT TARUA
<b>Unit No:</b> CT-03	<b>Equip. Model:</b>	<b>Ser.No:</b> YFFB OIL	<b>End Loc:</b>

SPECTROCHEMICAL ANALYSIS (ppm)			
Lab No	Date Taken	Time on Oil	
Condition	Tested	Time on Unit	
202006	19-OCT-01	611	
Abnormal	01-NOV-01		
			Iron 86 Chromium 7 Lead 6 Copper 3 Tin 0 Aluminum 2 Manganese 0 Silver 0 Silicon 1 Barren 0 Sodium 3 Magnesium 30 Calcium 88 Barium 0 Phosphorus 80 Zinc 74 Molybdenum 1 Titanium 0 Vanadium 0 Potassium 0

LabNo	Physical Properties						Additional Tests	
	Fuel	Visc40	Visc100	Water	Soot/Solids	Glycol	SAE	TBN
202006	<1	N/A	11.64 A	0	0.2	NEG	30	<0.5 A

Analysis Recommendations	
202006	NO ABNORMAL WEAR DETECTED. NOTE: VISCOSITY DATA DOES NOT MATCH INFORMATION PROVIDED. TOTAL BASE NUMBER APPEARS LOW. NOTE: ADDITIVE LEVELS APPEAR TO BE LOW. RECOMMEND CHANGE LUBE OIL AND LUBE OIL FILTER. RECOMMEND RESAMPLE.

Viscosidad Baja	Alto Desgaste	Bajos niveles de Calcio, Zinc y Fósforo	TBN Bajo
-----------------	---------------	---	----------

## Anexo 11 Contaminación de los lubricantes Widman International SLR

### Contaminación

Hay varios contaminantes que pueden aparecer en el aceite usado. Todos estos son dañinos y causarán desgaste. El análisis de aceite demuestra esta contaminación en partes por millón (ppm). Es importante tomar en cuenta que el análisis de aceite indica los contaminantes más pequeños a 5 micrones (actualmente varía entre 3 y 8 micrones, dependiendo del equipo utilizado), mientras en un alto porcentaje los filtros de aceite solamente retienen las partículas mayores de 20 micrones\*. Las partículas grandes causan el daño al entrar, rayando o lijando las camisas o el bloque. Después quedan atrapadas en el filtro de aceite. Las partículas menores continúan circulando y dañando cojinetes, bujes, válvulas con sus guías y asientos, anillos y camisas en cada paso por el motor.

\*Actualmente la mayoría de los filtros de motor retienen 50% de las partículas de 15 a 30 micrones (dependiendo de la marca) en cada paso por el filtro, puliendo la limpieza más en cada pasada, llegando a retener 99% solamente de las partículas de 30 a 40 micrones.

Una de las contaminaciones más común es el residuo del aceite en el motor al hacer el cambio de aceite. Frecuentemente queda cerca de 20% del aceite viejo en el motor cuando se cambia. Este aceite tiene residuos de cualquier contaminante, residuos de desgaste, etc. Si el aceite está sucio, contaminará el nuevo aceite y continuar gastando el motor. Cuando se encuentra alto hollín, tierra, combustible o otro contaminante, hay que hacer un segundo cambio después de pocos kilómetros para enjuagarlo.

**Silicio (Tierra):** La cantidad de Silicio ("Silicon" en inglés) leída por la computadora combina todos los elementos parecidos. Por eso es normal encontrar Silicio en un motor nuevo o recién rectificado porque la computadora lee como "silicio" la Silicona que sale de nuevos retenes y selladores. También puede haber Silicona en los aditivos del aceite como antiespumante. Por eso se requiere una muestra del aceite virgen para comparar los resultados. Si el aceite nuevo tiene 3 ppm de silicio y el usado tiene 10 ppm, 7 ppm entraron del medio ambiente. Tenemos que preocuparnos del silicio que viene de la tierra. Nota: Hay aceites bolivianos en el mercado con 6 ppm de silicio, que no provienen del antiespumante, sino son contaminantes (tierra) de la planta, lo que indica un deficiente control de proceso de elaboración o envasado.

Este es un aceite nuevo que llegó contaminado desde la planta con 6 ppm de tierra y 3 ppm de hierro

			SPECTROCHEMICAL ANALYSIS (ppm)																			
Lab No	Date Taken	Time on Oil	Iron	Chromium	Lead	Copper	Tin	Aluminum	Nickel	Silver	Silicon	Boron	Sodium	Magnesium	Calcium	Barium	Phosphorus	Zinc	Molybdenum	Titanium	Vanadium	Potassium
180881	01-OCT-01	.	3	0	0	0	0	1	0	0	6	1	0	481	2442	0	1126	1249	0	0	0	0
Normal	01-OCT-01																					

Aquí tenemos otro contaminado antes de usar:

Unit No: ARBOR M FX			Equip. Model:										Ser.No:		End Loc:					
			WEAR METALS (ppm)										ADDITIVES							
Lab No	Date Taken	Time on Oil	IRON	CHROMIUM	LEAD	COPPER	TIN	ALUMINUM	NICKEL	SILVER	TITANIUM	VANADIUM	SODIUM	MAGNESIUM	CALCIUM	BARIUM	PHOSPHORUS	ZINC	MOLYBDENUM	BORON
44200003943	09/20/10		1	<1	6	1	<1	1	<1	<1	<1	<1	2	41	2625	<1	1100	1289	1	<5
Normal	10/06/10																			
			CONTAMINATION										PHYSICAL PROPERTIES							
Lab No	Aluminum	Silicon	Sodium	Potassium	Water	Coolant	Fuel *	Solids/Soot	Visc100	Visc40	Oxidation	TAN								
44200003943	1	11	2	<5				<0.1	10.6		N/A	1.40								

Si el motor no es nuevo, el silicio es tierra que entró por el filtro de aire o alguna parte del sistema de alimentación del aire. La tierra que ingresa actúa como lija y destroza las camisas, los anillos y todo donde existe fricción y entra en contacto con el aceite.

Por cada litro de gasolina que consume el motor, precisa de 8,000 litros de aire para su combustión. Este aire debe ser totalmente puro y libre de contaminantes. Para eso el filtro de aire debe estar bien sellado y ser eficiente. Los filtros de aire varían entre 96% y 99.99% de eficiencia (el porcentaje del polvo retenido del total que ingresó).

Si podemos mantener el nivel de silicio debajo de 10 ppm en un auto o camión en 6,000 kilómetros de recorrido, entonces el motor tendrá poco desgaste y seguramente alcanzara una vida útil larga, ya que el desgaste de cilindros es directamente proporcional a la cantidad de silicio que ingresa.

Un alto contenido de silicio requiere una revisión completa del sistema de entrada de aire. La causa principal de desgaste en los motores en Bolivia es el inadecuado soplado de filtros de aire, ya sea cuando no es necesario o con alta presión de aire comprimido. Un filtro sencillo nunca debería ser soplado ni golpeado para limpiarlo, debería ser cambiado.

Cuando el vehículo tiene un filtro doble (algunos camiones, tractores y vehículos pequeños), el filtro exterior puede ser soplado hasta 3 veces con 30 psi de aire comprimido, de adentro hacia afuera. Si alguna vez se ve tierra en el filtro interior hay que cambiar ambos filtros. El filtro interior, llamado "filtro de seguridad" es menos eficiente y debería ser cambiado con cada 2 o 3 filtros primarios.

Este aceite se contaminó por un filtro limpiado con alta presión de aire comprimido.

			SPECTROCHEMICAL ANALYSIS (ppm)																			
Lab No	Date Taken	Time on Oil	Iron	Chromium	Lead	Copper	Tin	Aluminum	Nickel	Silver	Silicon	Boron	Sodium	Magnesium	Calcium	Barium	Phosphorus	Zinc	Molybdenum	Titanium	Vanadium	Potassium
24161b	24-OCT-03	300	991	72	3	21	0	459	7	0	325	119	19	52	2720	0	1103	1295	109	0	0	0
Critical	10-NOV-03		C	C				C			C											

También hay que cuidar la limpieza del aceite al introducir del envase al motor. Muchas veces los embudos o bombas están sucios y contaminan el aceite durante el llenado. Además hay que cuidar de la contaminación por el medio ambiente. No hay que dejar abiertos los tapones por más tiempo que lo necesario porque el viento lleva polvo.

**Agua:** El agua causa herrumbre y aumenta el potencial corrosivo de los ácidos. También reacciona con ciertos aditivos para formar productos agresivos. El agua también actúa como catalizador para promover oxidación en la presencia de metales como hierro, cobre y plomo. Cuando hay agua libre en el cárter, pueden crearse micro-organismos que se comen el aceite, formando ácidos que causan oxidación y obstruyen el filtro.

El agua reduce la película lubricante e interfiere con la lubricación dejando las piezas susceptibles al desgaste abrasivo y adhesivo además de la fatiga. En áreas de presión las gotas de agua colapsan causando cavitación. Esta cavitación se ve como corrosión o picado de la superficie donde hay diferencias de presiones. Las burbujas de agua (o aire en caso de espuma por exceso de aceite en el cárter) llegan al punto de presión e implosión, causando grietas pequeñas o puntos microscópicos en la superficie. Cada vez que implosiona otra burbuja en el mismo lugar se agranda este punto.



El agua ingresa por los respiraderos, retenes y el sistema de enfriamiento. También se acumula mediante la condensación (humedad en el motor cuando se enfría).

**Sodio:** Si la muestra fue tomada con el motor caliente, cualquier ingreso de agua normalmente debería haberse evaporado y solo dejar residuos de sus minerales. En algunos casos el sodio puede entrar con la humedad del aire al motor, pero generalmente es un residuo de agua. Esta agua puede haber entrado por una empaquetadura de culata "soplada", camisa o bloque perforado o simplemente por lavado del motor con agua a alta presión. De todas maneras, siempre hay que controlar este contaminante.

En consulta con el operador se puede saber si baja el nivel de agua en el radiador. Si el operador estaba aumentando agua, hay que detectar las pérdidas mediante:

1. La presurización del sistema de refrigeración con una bomba portátil para verificar la pérdida de presión.
2. Verificación de la compresión de los cilindros. El cilindro con baja compresión debe tener fuga por su culata.

Si el sodio no está entrando por el sistema de refrigeración, hay que revisar los procedimientos de mantenimiento y lavado. Muchas veces encontramos el uso de agua a presión para lavar el motor y una tapa sin arandela de sello. A veces entra por donde se mide el aceite.

El sodio también puede estar presente en la gasolina. Algunas de los nuevos aceites que cumplen con el API SN utilizan un nuevo detergente de *sulfonato de sodio*. Esto también aparecerá en el análisis como "sodio"

**Potasio:** La contaminación por potasio es similar a lo que ocurre con el sodio, pero en menor cantidad.

**Aluminio:** El aluminio aparece en el análisis por varias causas. Una parte de esto puede ser desgaste (analizaremos en el sector de materiales de desgaste). La otra parte viene del aire contaminado con tierra que se introduce en el motor. La tierra y polvo que respira el motor contiene un porcentaje de aluminio que varía entre 0.29% a 0.33%. Esto quiere decir que por cada 10 ppm de tierra que observamos en el análisis deberíamos tener cerca de 3 ppm de aluminio por la tierra. Si la muestra tiene 10 ppm de silicio y 5 ppm de aluminio, 2 ppm serán provenientes del desgaste. La contaminación de aluminio se evita controlando el ingreso de silicio.

Esta muestra indica contaminación por agua del sistema de refrigeración.

			SPECTROCHEMICAL ANALYSIS (ppm)																				
Lab No	Date Taken	Time on Oil	Iron	Chromium	Lead	Copper	Tin	Aluminum	Nickel	Silver	Silicon	Boron	Sodium	Magnesium	Calcium	Barium	Phosphorus	Zinc	Molybdenum	Titanium	Vanadium	Potassium	
218020	25-OCT-02	6557	35	3	11	2	1	18	0	0	13	3	51	18	2085	1	1215	1374	10	0	0	0	74
Abnormal	01-NOV-02	115085											A										A
166435	20-AUG-02	6000	34	1	5	3	0	13	0	0	6	5	85	27	1739	0	884	972	3	0	0	0	186
Abnormal	23-AUG-02	108412											A										A

Esta muestra indica contaminación por agua y glicol del sistema de refrigeración.

			SPECTROCHEMICAL ANALYSIS (ppm)																				
Lab No	Date Taken	Time on Oil	Iron	Chromium	Lead	Copper	Tin	Aluminum	Nickel	Silver	Silicon	Boron	Sodium	Magnesium	Calcium	Barium	Phosphorus	Zinc	Molybdenum	Titanium	Vanadium	Potassium	
241598	30-OCT-03	1502	7	0	0	0	0	2	0	0	3	0	0	19	3275	0	1281	1316	0	0	0	0	0
Normal	10-NOV-03	41547																					
224604	20-SEP-03	7982	22	1	12	7	0	4	0	0	29	3	1804	19	3605	0	1309	1443	1	0	0	0	2130
Critical	17-OCT-03	32393											C										C
153249	10-JUN-03	7058	38	2	1	3	0	8	0	0	20	8	0	32	3326	0	1128	1487	7	0	0	0	0
Normal	18-JUL-03	17058																					

LabNo	Physical Properties						Additional Tests	
	Fuel	Visc40	Visc100	Water	Soot/Solids	Glycol	SAE	TBN
241598	<1	N/A	15.50	0	0.5	NEG	40	11.8
224604	<1	N/A	15.60	0	1.4	POS C	40	9.5
153249	<1	N/A	15.62	0	0.6	NEG	40	9.0

## Anexo 12 Desgaste del motor (degradación de lubricante) Widman Internatioanl SLR

### Desgaste

Todos los análisis de aceite de motor usado reportarán elementos de materiales de desgaste. Lo importante es minimizar ese desgaste a través un programa de mantenimiento proactivo.

Para reducir el desgaste utilizando el análisis de aceite, tenemos que entender de qué partes del motor provienen esas partículas de desgaste. Existen muchos diseños de motores, utilizando variados materiales.

En general, los bujes y cojinetes de árbol de levas, martillo, pasadores y pistones son de bronce, mientras los cojinetes de bielas y bancada que reciben mayores fuerzas son de dos o tres metales. La última capa normalmente es de plomo para gastarse en el asentado del motor y dejar mejor circulación del aceite sin turbulencia.



Para estos ejemplos, tomaremos un motor "normal".

**Hierro:** El primer elemento que miramos es el hierro. Normalmente el hierro viene de la fricción entre las paredes de los cilindros (sean camisas o el bloque mismo) y los anillos. Pero también puede ser del árbol de levas, el cigüeñal, las válvulas, los cojinetes, la bomba de aceite, los engranajes de la cadencia, el turbo, las guías de válvulas, o las bielas.

El hierro puede provenir del desgaste o herrumbre. Un motor que tiene aceite contaminado por tierra, falta de viscosidad, o alto hollín (entre otros) tendrá desgaste por contacto o falta de lubricación hidrodinámica. Si el aceite está con agua, todas las piezas de hierro son sujetas a herrumbrarse. Si la herrumbre es severa, puede continuar después de corregir el problema hasta que el aceite logre a controlarla.

- **Desgaste de anillos y cilindros:** Cada minuto que el motor está encendido, los pistones suben y bajan, raspando los anillos contra las paredes de los cilindros. En un viaje de 10 minutos en un auto normal, cada anillo de cada pistón viajó 6 kilómetros raspando las paredes. Si el aceite pierde su viscosidad, el desgaste es severo. Si el aceite está contaminado, los contaminantes rayan las paredes. Mucha de ésta lubricación es hidrodinámica, dependiendo de la viscosidad para evitar desgaste. Cuando falla la lubricación hidrodinámica los anillos dependen de los aditivos anti-desgaste que proveen lubricación límite. El trabajo del anillo superior es "barrer" el aceite al bajar en el cilindro, dejando las paredes secas para la combustión. Este anillo depende 100% de la lubricación límite.
- **Desgaste de la bomba de aceite:** La bomba de aceite solamente puede gastarse si existe contaminación del aceite, nivel bajo de aceite (falta de lubricación), o nivel demasiado alto de aceite (causa espuma que se rompe en la bomba provocando cavitación y falta de lubricación).
- **Otras piezas:** El desgaste del cigüeñal, árbol de levas, válvulas y otras piezas similares no depende tanto de la carga o las presiones, sino la lubricación hidrodinámica y la contaminación. Alto contenido de hollín o tierra causa desgaste severo de estas piezas.

**Cobre:** El cobre normalmente viene de cojinetes, bujes, enfriador de aceite, arandela de empuje, guías de válvulas y bujes de bielas.

Los cojinetes y bujes normalmente son aleaciones y capas de diferentes metales blandos diseñados para absorber impacto y desgaste en lugar del cigüeñal y las bielas. El residuo de estos elementos viene de desgaste o corrosión.

**Desgaste de cojinetes y bujes:** Cuando falta lubricación hidrodinámica por falta de viscosidad o velocidad el motor depende de los aditivos anti-desgaste en el aceite para proveer lubricación límite (también llamado marginal o estática). Si el aceite no puede cumplir con este requerimiento por falta de aditivos, al existir degradación o sobrecarga, el cojinete roza contra su contraparte (el cigüeñal, biela, etc.) y desgasta.



**Desgaste de arandelas de empuje (cojinetes axiales):** Las arandelas de empuje siempre están en contacto con el bloque cuando exigimos la máxima fuerza del motor o lo sobrecargamos tratando de acelerar rápidamente o subir las montañas. Este desgaste normalmente aparece como cobre.



**Desgaste de guías de válvulas:** Las guías de válvulas deberían durar muchos años. Sin embargo, cuando el aceite es de baja calidad y empieza a carbonizarse en los vástagos, este carbón desgasta las guías, causando cobre en los análisis y alto consumo de aceite.



**Corrosión:** El enfriador de aceite (si tiene) es sujeto a corrosión por los ácidos y la humedad en el aceite. Esto es mayor cuando el motor es utilizado en viajes cortos (3 a 5 km) o no tiene termostato, y el motor no tiene tiempo para calentarse. También ocurre cuando el motor queda estacionado varios meses sin usar (invierno, entre cosechas, etc.)

**Plomo:** El plomo viene de cojinetes, volandas de empuje, bujes de bielas. También puede llegar en la gasolina.

La causa más común del plomo en el aceite es la corrosión de los cojinetes en motores que son guardados un mes o más con aceite semi-usado o sucio. Los contaminantes y los ácidos que se forman en el aceite causan corrosión cuando no está circulando para refrescar los aditivos en contacto con los cojinetes. Observamos mucha corrosión de cojinetes en equipo agrícola y equipo de construcción que se utilizan en ciertos periodos del año y se guardan meses sin usar.



Aquí podemos ver los resultados de una Toyota 4Runner que quedo 6 semanas sin usar después de 7 meses y 4000 kilómetros en el aceite, y la próxima vez quedo 4 semanas parada con 6 meses y 5000 kilómetros en el aceite.

			SPECTROCHEMICAL ANALYSIS (ppm)																			
Lab.No	Date Taken	Time on Oil	Iron	Chromium	Lead	Copper	Tin	Aluminum	Nickel	Silver	Silicon	Boron	Sodium	Magnesium	Calcium	Barium	Phosphorus	Zinc	Molybdenum	Titanium	Vanadium	Potassium
241613	04-NOV-03	5400	18	1	24	3	0	7	0	0	19	0	10	12	3251	0	1288	1311	0	0	0	0
Normal	10-NOV-03	45481																				
16895	28-NOV-02	4050	20	2	52	4	0	8	0	0	17	1	2	20	3163	0	1009	1102	0	0	0	0
Abnormal	21-JAN-03	34080			A																	
73966	20-MAR-02	6000	15	2	4	3	0	6	0	0	12	0	1	16	3431	0	1310	1448	0	0	0	0
Normal	16-APR-02	27600																				
148322	09-AUG-01	6000	23	1	11	10	0	7	0	0	19	1	6	15	2792	0	1204	1297	1	0	0	0
Normal	14-AUG-01	16500																				

**Aluminio:** Las partículas de desgaste de aluminio (después de eliminar lo que ingresa como tierra) viene de los cojinetes, bujes (varios), pistones o sus faldas, arandelas de empuje y el turbo. Normalmente los cojinetes y bujes trabajan 100% en lubricación hidrodinámica. Solamente cuando falla esta lubricación o se contamina el aceite ocurre contacto entre las piezas y desgaste adhesivo. Desgaste de aluminio de los pistones ocurre cuando hay falla de lubricación hidrodinámica o se abre mayor espacio entre las paredes de los cilindros y los pistones permitiendo el movimiento lateral de la falda del pistón.

**Cromo:** El cromo viene de la camisa, las válvulas de escape, los anillos, y algunos cojinetes. El desgaste de cromo normalmente se origina con la contaminación del aceite.

**Cromo:** El cromo viene de la camisa, las válvulas de escape, los anillos, y algunos cojinetes. El desgaste de cromo normalmente se origina con la contaminación del aceite.

**Estaño:** El estaño viene de las aleaciones de metales en los cojinetes y bujes (varios) y volandas de empuje. Estos dependen 100% de la lubricación hidrodinámica.

**Plata:** La mayoría de los motores no tienen piezas de plata, pero en los que tienen (EMD) el uso de lubricantes con Zinc causará corrosión de plata.

**Molibdeno:** El molibdeno puede ser un aditivo anti-desgaste y anti-oxidante, pero puede ser desgaste de anillos en ciertos motores.

#### Límites de desgaste normal

La tabla siguiente demuestra unos valores típicos o límites de silicio y desgaste. Niveles por encima de éstos deberían ser investigados y tomar acciones para evitar acortar la vida útil del motor. Mientras se puede decir que estos límites son aceptables, hay que reconocer que entre más bajo el desgaste, mayor la vida útil del motor.

Estos valores son para el momento del cambio de aceite. Si tenemos 50 ppm de partículas de hierro en 250 horas de trabajo y podemos mejorar el mantenimiento o el aceite para llegar a 40 ppm en 500 horas de trabajo, tenemos un doble ahorro.

## Límites de Desgaste Normal

Elemento ppm	Comentarios
Silicio (Tierra) <i>Silicon</i>	2-10 Niveles encima de 10 ppm empiezan a mostrarse con un desgaste significativo.
Hierro <i>Iron</i>	2-50 Un motor pequeño debería ser entre 2 y 15 ppm, mientras un motor grande puede ser entre 10 y 50 ppm.
Cromo <i>Chromium</i>	1-8 Depende mucho de la cantidad de piezas cromadas en el motor.
Aluminio <i>Aluminum</i>	2-15 Después de descartar lo que entró con la tierra, dependerá mucho del diseño del motor. Un bloque de aluminio mostrará más desgaste de aluminio y menos partículas de hierro.
Cobre <i>Copper</i>	2-5 Aceleración fuerte o enfriador de aceite mostrará valores más altos. Muchos motores pueden quedar cerca de 5 ppm.
Sodio <i>Sodium</i>	0-10 Depende del combustible y medio ambiente. Valores mayores son contaminaciones por agua.
Plomo <i>Lead</i>	2-10 Aceleración fuerte o largos periodos sin utilizar el motor, falta de viscosidad del aceite o motor sin usar varios meses.
Estaño <i>Tin</i>	1-2 Aceleración fuerte en algunos motores, falta de viscosidad en el aceite.

Aquí mostramos algunos ejemplos de muestras con buenos resultados. En estos reportes de análisis podemos ver niveles muy bajos en desgaste de cojinetes y anillos, mientras el desgaste de hierro también está controlado.

			SPECTROCHEMICAL ANALYSIS (ppm)																			
Lab No	Date Taken	Time on Oil	Iron	Chromium	Lead	Copper	Tin	Aluminum	Nickel	Silver	Silicon	Boron	Sodium	Magnesium	Calcium	Barium	Phosphorus	Zinc	Molybdenum	Titanium	Vanadium	Potassium
224546	01-OCT-03	10000	20	1	3	3	0	2	0	0	5	168	14	235	2535	3	1213	1390	128	0	0	0
Normal	17-OCT-03																					
			SPECTROCHEMICAL ANALYSIS (ppm)																			
Lab No	Date Taken	Time on Oil	Iron	Chromium	Lead	Copper	Tin	Aluminum	Nickel	Silver	Silicon	Boron	Sodium	Magnesium	Calcium	Barium	Phosphorus	Zinc	Molybdenum	Titanium	Vanadium	Potassium
224552	08-OCT-03	6700	16	1	2	0	2	0	0	3	140	3	197	2290	3	1205	1398	106	0	0	0	0
Normal	17-OCT-03																					
203461	29-AUG-03	6400	25	2	4	3	0	3	0	0	5	23	4	38	2782	0	1077	1137	15	0	0	0
Normal	22-SEP-03																					

## Anexo 13 Degradación de lubricantes Widman International SLR

La degradación del aceite empieza cuando se abre el envase y permite la entrada de aire. El aire oxida el aceite. Un balde o tambor de aceite abierto y utilizado durante el curso de varios meses será más oscuro al final que al principio. Este nivel de oxidación afecta la apariencia del aceite, pero no afecta su comportamiento.

En el momento del cambio de aceite, siempre el nuevo aceite se mezclará con un residuo de aceite viejo. Esta mezcla no causará ningún daño en sí (químicamente), pero la muestra acusará residuos de ese aceite y puede parecer degradado.

- Si el aceite anterior era un aceite nacional con 2000 ppm de calcio, 900 ppm de zinc, 800 ppm de fósforo, y colocamos aceite American Supreme 15W-40 con 2900 ppm de calcio, 1300 ppm de zinc, 1200 ppm de fósforo, la primera muestra del American Supreme parecerá degradado por lo que terminará cerca de 2400 de calcio, 1100 de zinc y 1000 de fósforo al final del uso. Cuando lleguemos al tercer cambio estos valores después de 6,000 kilómetros serán cerca de 2800 calcio, 12000 zinc, 1100 fósforo. En este caso los valores del nuevo aceite bajan más del simple porcentaje, por lo que el calcio del American Supreme tiene que "comer" los ácidos y el lodo dejado por el aceite nacional. Notamos que los valores varían con cada marca de aceite de acuerdo a su formulación y certificación. Un aceite formulado con aceite básico API grupo II puede lograr la misma protección con 10% menos aditivos que un aceite con base ordinaria.
- El contenido de magnesio en el aceite normalmente es un detergente/dispersante, pero puede ser contaminación del agua del radiador si tiene fugas y si el agua es de pozo o un río. El calcio y el magnesio son compatibles.
- No se debe usar productos de lavado en el momento del cambio. Estos productos y hábitos tradicionales de lavar con diesel, kerosén, gasolina o detergente, ocasionan alto desgaste al motor y dejan residuos dañinos que degradan el nuevo aceite.
- Cuando el motor está con lodo o barniz, causando alta temperatura o tecteo de vástagos de válvulas hidráulicos, se puede limpiarlo utilizando AMERICAN Supreme Engine Cleaner (y un filtro nuevo) para los últimos 2,000 kilómetros antes de hacer el cambio de aceite. No vale la pena analizar la muestra con el limpiador.
- Mientras la mezcla de aceites no degrada el nuevo aceite, un porcentaje de cualquier contaminación o residuo de desgaste pasará a contaminar el nuevo aceite. Cuando el aceite tiene mucha contaminación se tiene que corregir el problema y hacer un segundo cambio para reducir el nivel de contaminación. Vea la sección de [contaminación](#) para mayores detalles.

Una vez colocado el aceite en el motor, los aditivos empiezan a disolver el lodo y barniz residuo del aceite viejo. Esta limpieza no es total, pero a lo largo absorberá mucho de los residuos dejados por aceites de inferior calidad. El calcio, la mezcla de calcio y magnesio o la mezcla de estos con el nuevo *sulfonato de sodio* tratarán de limpiar, mientras el compuesto de zinc y fósforo (ZDDP) irá colocándose en los lugares críticos para ser gastado en lubricación límite. Si la formulación tiene molibdeno, cubrirá las superficies donde existen mayores presiones y temperaturas.

Un aceite nuevo colocado en un motor que no tiene termostato empezará su limpieza de lodo (creado por la falta de termostato) y se espesará rápidamente, mientras se consume su calcio, magnesio o *sulfonato de sodio*.

Hay que considerar que entre más partículas de desgaste metálicas hay, mayor degradación de aditivos sufrirá. Las partículas metálicas como cobre, hierro y plomo aumentan la velocidad de oxidación del aceite. También quitan del aceite sus aditivos polares, incluyendo los de anti-desgaste, extrema presión, inhibidores de herrumbre y dispersantes.

## Degradación de los aditivos

**Calcio, Magnesio y Sulfonato de Sodio:** Estos dos aditivos son detergentes/dispersantes. Son utilizados para combatir el hollín, neutralizar los ácidos formados por la humedad en la combustión, mantener los contaminantes y lodos en suspensión hasta llegar al filtro, sin dejar que se aglomeren y formen grumos, ni que se adhieran a las superficies metálicas. Como cualquier antiácido, estos se consumen. Entre más ácido se forma por la calidad de combustible, falta de temperatura en el motor o combustión incompleta, más rápido se degradan los detergentes/dispersantes. Estos aditivos trabajan bien para este propósito, pero el magnesio deja 45% más cenizas sulfatadas al quemarse, causando problemas de válvulas y depósitos en el motor. Por esta razón normalmente se encuentra solamente calcio o una mezcla con un máximo de 30% del detergente/dispersante en forma de magnesio.

Hay que saber el valor inicial de cada aditivo para poder determinar su degradación. Un buen aceite (API CI-4) para motores a diesel tendrá cerca de 3300 ppm de detergente/dispersante si está formulado con aceite básico API grupo I. El aceite SN es formulado con una mezcla de aceites que incluye sintéticos y contiene cerca de 2000 ppm de detergentes (calcio y/o calcio con sulfonato de sodio)

En el recorrido de los kilómetros estos aditivos se consumen. Es normal que en el curso de 6,000 kilómetros estos aditivos bajan un 5% a 10%. Cuando bajan más de 15%, deberíamos buscar la causa o acortar el intervalo entre cambios para esa marca de aceite. Hay aceites en el mercado boliviano que pierden más de 30% de su detergente/dispersante en 6,000 kilómetros en el mismo uso o motor que otros donde sus aceites solamente pierden 8.5% con el mismo recorrido y combustible. La quema o evaporación de fósforo envenena el catalizador de gases de escape.

¿Cuáles son las causas de pérdida de detergente/dispersante?

- **Aditivos de mala calidad.** Hay presiones en las fábricas de aceites de bajar costos de producción. La manera escogida por algunas es de formular productos con lo más barato.
- **Combustible de mala calidad** o adulterado.
- **Mala combustión.**
  - La temperatura del motor debería estar siempre encima de 80°C. Si está operando sin termostato, no llega a esta temperatura y entonces la humedad forma lodo en vez de evaporarse.
  - Presiones excesivas en la bomba inyectora.
  - Inyectores sucios, gastados o mal colocados en la cámara de combustión.
  - Válvulas mal reguladas.
  - Desgaste de anillos, camisas o bloque.
  - Mala sincronización de la chispa o inyección de combustible.
- **Limpieza de lodos** dejados por el aceite anterior.
- **Contaminación** por otros aceites inferiores en el relleno.

**Zinc y Fósforo (ZDDP):** El zinc y el fósforo trabajan en conjunto para proveer lubricación límite cuando la lubricación hidrodinámica no alcanza las necesidades de presiones y fricción. Esta protección se llama antidesgaste.

ZDDP (Dialquil ditiofosfato de zinc) es una sal organometálica, compuesta de zinc, azufre y fósforo. Forma una capa de sulfato de hierro en la superficie de las piezas, donde el azufre puede actuar para atraer el zinc, dejando tres capas suaves para evitar contacto acero-acero.

Un buen aceite para un motor a diesel (API CI-4) (Basico API grupo I) tendrá cerca de 1450 ppm de zinc y 1350 ppm de fósforo. Aceites formulados solamente para motores a gasolina (API SL) normalmente tienen menos, cerca de 1000 ppm de zinc y 900 ppm de fósforo. Esta reducción es por lo que las compresiones en la cámara de combustión en el motor a gasolina varían entre 8:1 a 12:1, mientras las compresiones en el motor a diesel varían entre 13:1 y 20:1, causando mucho más estrés en las piezas. Un aceite formulado para ambos combustibles (API CI-4/SL) tiene toda la protección necesaria para el motor a diesel más los aditivos especiales para el motor a gasolina. Los aceites API SM y SN son limitados a 800 ppm de fósforo para cuidar el catalizador. El fósforo utilizado en el API SN tiene que pasar pruebas de evaporación.

Los valores de ZDDP no varían mucho con el uso dentro del motor pudiendo llegar al fin de su vida útil sin haber sido adheridos a las superficies, en esos casos el laboratorio lo reporta.

La mayoría de la variación que se ve en el aceite usado es lo quemado o evaporado. Muchas veces la baja en el nivel de zinc o fósforo es por la volatilidad (calidad) del aditivo utilizado. Esta evaporación o quema del ZDDP es dañina al medio ambiente, contamina el catalizador del auto y reduce la protección a las piezas del motor.

Otra parte es absorbida por el hollín y forma parte del lodo extraído por el filtro o adherido a las piezas metálicas. Mientras menos hollín, menos deterioro del zinc y fósforo.

Aquí tenemos un ejemplo de un aceite que no aguantó el recorrido esperado.

<b>Company:</b> WIDMAN INTERNATIONAL SRL AVENIDA ALEMANIA CALLE MAJO 2400 SANTA CRUZ BOLIVIA	<b>Comp. Descr:</b> ENGINE <b>Make:</b> SCANIA <b>Model:</b> <b>Equip. Make:</b> <b>Equip. Model:</b>	<b>Fuel Type:</b> Diesel <b>Oil Brand:</b> LUBRAX <b>Oil Type:</b> <b>Fluid Grade:</b> 15W40 <b>Ser.No:</b> MODEL 113H	<b>CTC Lab:</b> 3319 WEST EARLL DRIVE PHOENIX, AZ 85017 (800)445-7930, FAX(602)252-4639 <b>End User:</b> FINO <b>End Loc:</b>
<b>Customer No:</b> 20245082 <b>Unit No:</b> 711-00N			

SPECTROCHEMICAL ANALYSIS (ppm)																							
Lab No	Date Taken	Time on Oil	Iron	Chromium	Lead	Copper	Ti	Aluminum	Nickel	Silver	Silicon	Barium	Sodium	Magnesium	Calcium	Barium	Phosphorus	Zinc	Molybdenum	Titanium	Vanadium	Potassium	
180137	01-AUG-02	21850	25	4	0	3	0	1	0	0	2	40	0	236	2020	0	896	859	0	0	0	0	0
Normal	11-SEP-02																						

LabNo	Physical Properties							Additional Tests	
	Fuel	Visc40	Visc100	Water	Soot/Solids	Glycol	SAE	TBN	
180137	<1	N/A	12.19	0	0.7	NEG	30	4.6	

Viscosidad Baja

Bajos niveles de Calcio, Zinc y Fósforo

TBN Bajo

**Molibdeno:** Algunos aceites para motores contienen disulfuro de molibdeno para reducir el desgaste en altas temperaturas y presiones. En estas formulaciones el molibdeno actúa con el ZDDP para proveer la máxima protección posible. Hay formulaciones sin molibdeno y otros con 40 ppm, 100 ppm, etc. Los mejores aceites para motores estacionarios a gas natural comprimido (GNC) contienen más de 300 ppm.

- La primera muestra de aceite con molibdeno puede tener hasta unos 20% menos molibdeno que el valor inicial. Esto es el molibdeno que quedo pegado en las piezas del motor. Un aceite con 100 ppm puede aparecer con solamente 80 ppm después de 6,000 kilómetros. La segunda muestra (después de otros 6,000 kilómetros) mostrará cerca de 100 ppm.
- Si cambia de un aceite con molibdeno a uno que no lo tiene, las primeras muestras del aceite sin molibdeno tendrán residuos del mismo por lo que comienza a gastar de las superficies cubiertas y queda en el aceite.

**Boro:** El Boro utilizado en algunas formulaciones es un aceite sintético grupo V que actúa como aditivo antidesgaste y modificador de fricción. Existen varias formas de boro y cada una tiene sus ventajas y desventajas. También existen formulaciones de aceites sin boro. Frecuentemente el boro es utilizado para mejorar el aceite básico para cumplir con las normas cuando el aceite básico no logra sus objetivos.

En este motor Perkins se usaba una formulación de aceite con Molibdeno y Boro. Cuando cambiaron por una formulación sin esos aditivos, la siguiente muestra todavía tenía 18% del valor original de molibdeno y 20% del boro. El tercer análisis tenía ya pocos residuos de ambos.

Se puede notar que no había problemas de desgaste con cualquiera de los dos aceites, en más de 400 horas entre cambios.

			SPECTROCHEMICAL ANALYSIS (ppm)																				
Lab No	Date Taken	Time on Oil	Iron	Chromium	Lead	Copper	Tin	Aluminum	Nickel	Silver	Silicon	Boron	Sodium	Magnesium	Calcium	Barium	Phosphorus	Zinc	Molybdenum	Titanium	Vanadium	Potassium	
Condition	Tested	Time on Unit																					
241596	23-OCT-03	406	7	0	3	0	0	1	0	0	2	1	0	14	3283	0	1276	1391	1	0	0	0	0
Normal	10-NOV-03	10185																					
224610	30-SEP-03	494	9	0	4	1	0	2	0	0	4	2	0	20	3153	0	1182	1299	3	0	0	0	0
Normal	17-OCT-03	9779																					
203440	31-AUG-03	431	8	1	2	1	0	1	0	0	3	20	4	60	2323	0	1288	1418	18	0	0	0	0
Normal	22-SEP-03	9295																					
186391	01-AUG-03	408	9	1	1	1	0	2	0	0	5	101	3	198	2404	0	1079	1252	104	0	0	0	0
Normal	28-AUG-03	8864																					

## Resumen

El análisis de aceite es una herramienta para mejorar el mantenimiento y extender la vida útil del motor. Un solo análisis para un motor normal no ayuda mucho para ver resultados, es la secuencia de los análisis lo que genera una tendencia. Al saber los valores originales del aceite y compararlos con los valores del aceite usado, relacionando los resultados con el programa de mantenimiento (concluido e inconcluido), llevará al camino de la reducción de costos de mantenimiento y aumento de productividad.

