



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción

“Pruebas de Rendimiento y Comparación de las Curvas
Características y de Emisión de Gases de Combustión de Un
Motor Nissan A12 Utilizando los Combustibles E0, E5 y E10”

TESIS DE GRADO

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO MECÁNICO

Presentada por:

Luis Enrique Maldonado Sarmiento

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2013

AGRADECIMIENTO

A Dios por sobre todas las cosas, a mis padres, mi hermano y mi esposa quienes siempre han estado a mi lado apoyándome, a mis amigos quienes de una u otra manera colaboraron en mi proceso de graduación, en especial al Ing. Gonzalo Zabala O. por su tiempo en la realización de este trabajo.

DEDICATORIA

A mis queridos padres Jorge E.
Maldonado Jara y Ma. Elena
Sarmiento Gómez.

A mi querido hermano Douglas
Maldonado – Morenex.

A mi amada esposa Mariela
Belén Díaz Balladares.

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

Dr. Kleber Barcia V., Ph. D.
DECANO DE LA FIMCP
PRESIDENTE

Ing. Gonzalo Zabala O.
DIRECTOR

Ing. Jorge Félix Navarrete
VOCAL

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponden exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL).

Luis Enrique Maldonado Sarmiento

RESUMEN

Se han fabricado mezclas de combustibles usando la gasolina tradicional con diferentes porcentajes de biocombustibles para motores de combustión interna con los objetivos de reducir el uso de combustibles fósiles y de reducir la contaminación que es producto de los gases de combustión.

El presente trabajo tiene por objeto investigar y comparar los efectos en el uso de los combustibles alternativos E5 y E10 en las curvas características de rendimiento de un motor de combustión interna, así como en las emisiones de los gases de combustión.

El motor que fue escogido para el estudio fue el Nissan A12 que se encontraba fuera de servicio y disponible en el laboratorio de Termofluidos de la FIMCP.

El método que se siguió fue reparar y realizar el procedimiento de puesta a punto del motor Nissan A12 según indica el manual de servicio del fabricante para su posterior instalación y adaptación al dinamómetro hidráulico Froude. Para obtener los datos de control del estudio se realizó pruebas dinamométricas utilizando gasolina EXTRA. En las siguientes pruebas

dinamométricas se utilizó los combustibles E5 y E10 para obtener información del comportamiento del motor.

Finalmente se realizó un estudio comparativo de los resultados obtenidos en las diferentes pruebas dinamométricas obteniendo los beneficios y desventajas en el uso de los combustible E5 y E10 analizando los siguientes parámetros: par de rotación, potencia, consumo específico de combustible, presión media efectiva al freno, relación aire-combustible, rendimiento térmico, rendimiento volumétrico, concentración de los gases de combustión, e hidrocarburos no combustionados, al utilizar las mezclas antes mencionadas.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN.....	II
ÍNDICE GENERAL.....	IV
ABREVIATURAS.....	IX
SIMBOLOGÍA.....	XI
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XIII
ÍNDICE DE TABLAS.....	XVI
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO 1

1 FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	3
1.1 Principios de funcionamiento del motor de cuatro tiempos.	3
1.1.1 Curvas características de rendimiento	10
1.1.2 Parámetros de evaluación de un motor de combustión interna.....	13
1.2 Combustibles	14
1.2.1 Gasolina.....	15
1.2.2 Biocombustible	18
1.2.3 Emisiones de gases de combustión.....	21

CAPÍTULO 2

2	DIAGNÓSTICO, DESARMADO, ARMADO Y PUESTA A PUNTO DEL MOTOR NISSAN A12	27
2.1	Evaluación inicial del estado original del motor Nissan A12	28
2.1.1	Primer intento de encendido del motor.	28
2.1.2	Segundo intento de encendido del motor.	32
2.2	Evaluación y diagnóstico técnico de los componentes internos.	39
2.2.1	Evaluación y diagnóstico del cabezote.	40
2.2.2	Evaluación y diagnóstico del bloque de cilindros.	48
2.3	Armado y puesta a punto del motor según especificaciones del fabricante Nissan Motor CO., LTD	55
2.3.1	Armado de motor.	56
2.3.2	Puesta a punto del motor.	57

CAPÍTULO 3

3	EQUIPOS UTILIZADOS EN PRUEBAS DINAMOMÉTRICAS	60
3.1	Dinamómetro hidráulico Froude	60
3.1.1	Procedimiento para la obtención de las curvas características de rendimiento de un motor de combustión interna	67
3.2	Analizador de concentración de gases de combustión	71
3.2.1	Procedimiento para la medición de los gases de escape de un motor de combustión interna	75

3.3 Adaptación y conexión del motor Nissan A12 al banco dinamométrico.....	77
---	----

CAPÍTULO 4

4 PRUEBAS EN BANCO DINAMOMÉTRICO CON ANÁLISIS DE CONCENTRACIÓN DE LOS GASES DE COMBUSTIÓN.....	79
4.1 Pruebas con gasolina EXTRA – E0 (0% de etanol y 100% de gasolina EXTRA en volumen).	88
4.1.1 Par de rotación versus revoluciones por minuto (T vs. RPM)	88
4.1.2 Flujo de combustible versus revoluciones por minuto ($\dot{m}$ vs. RPM).....	91
4.1.3 Diferencia de presión del aire de admisión versus revoluciones por minuto (ΔP vs. RPM).....	93
4.1.4 Promedio del análisis de gases de combustión.....	96
4.1.5 Curvas características de rendimiento de motor con combustible EXTRA y su análisis de gases de combustión.	97
4.2 Pruebas con combustible E5 (5% de etanol y 95% de gasolina EXTRA en volumen).	100
4.2.1 Par de rotación versus revoluciones por minuto (T vs. RPM)	100
4.2.2 Flujo de combustible versus revoluciones por minuto ($\dot{m}$ vs. RPM).....	102

4.2.3	Diferencia de presión del aire de admisión versus revoluciones por minuto (ΔP vs. RPM).....	105
4.2.4	Promedio del análisis de gases de combustión.....	107
4.2.5	Curvas características de rendimiento de motor con combustible E5 y su análisis de gases de combustión.....	108
4.3	Pruebas con combustible E10 (10% de etanol y 90% de gasolina EXTRA en volumen)	1111
4.3.1	Par de rotación versus revoluciones por minuto (T vs. RPM)	111
4.3.2	Flujo de combustible versus revoluciones por minuto ($\dot{m}$ vs. RPM).....	113
4.3.3	Diferencia de presión del aire de admisión versus revoluciones por minuto (ΔP vs. RPM).....	116
4.3.4	Promedio del análisis de gases de combustión.....	118
4.3.5	Curvas características de rendimiento de motor con combustible E10 y su análisis de gases de combustión. ...	119
4.4	Análisis Comparativo de los resultados de las pruebas dinamométricas	122
4.4.1	Curvas características de rendimiento del motor	122
4.4.2	Concentración de los gases de combustión emitidos al ambiente.....	132

CAPÍTULO 5

5	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	136
---	--------------------------------------	-----

ANEXOS

BIBLIOGRAFÍA

ABREVIATURAS

PMS	Punto muerto superior
PMI	Punto muerto inferior
vs	Versus
RPM	Revoluciones por minuto
%	Porcentaje
E5	Gasolina con 5 por ciento de etanol
°	Grados
cm ³	Centímetros cúbicos
U.V.	Ultra Violeta
NOx	Óxidos Nítricos
HC	Hidrocarburos
MP	Masa de partículas
NA	No aplica
ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
V	Voltios
EXTRA	Gasolina con cero por ciento de etanol
in	Pulgadas
mm	Milímetros
PSI	Libras por pulgadas al cuadrado
Kpa	Kilopascales
ml	Mililitro
A10	Modelo de motor NISSAN
A12	Modelo de motor NISSAN
H	Diámetro exterior del pistón
A	Posición de medición en cilindro de block
B	Posición de medición en cilindro de block
Kg / cm ²	Kilogramo por centímetro cuadrado
bhp	Potencia al freno
°C	Grado Celsius
NGA	Analizador de gases de combustión
°F	Grados Fahrenheit
NDIR	Infla-rojo no dispersivo
LED	Pantalla de diodos emisores de luz
PPM	Partes por millón
AC	Corriente alterna
Hz	Hertzio
RS32	Conexión de comunicación
cm	Centímetro

Nm	Newton por metro
mm H ₂ O	Milímetro de agua
gr / s	Gramos por segundo
s	Segundo
gr / ml	gramos por mililitro
E10	Gasolina con 10 por ciento de etanol
Kw	Kilowatts
Kg / Kw.hr	Kilogramo por kilowatts hora
Kj / Kg	Kilojulio por kilogramo
APROX.	Aproximación
PROM.	Promedio

SIMBOLOGIA

D	Desplazamiento total del motor
c	Volumen de compresión
r_c	Relación de compresión
V	Volumen
Q_{23}	Adición de calor a volumen constante
Q_{41}	Perdida de calor a volumen constante
η_{Otto}	Eficiencia del ciclo de Otto
W	Trabajo
m	Masa de aire
C_v	Calor específico a volumen constante
C_p	Calor específico a presión constante
T_A	Temperatura
γ	Relación específica de calor
N_2	Nitrógeno
O_2	Oxígeno
H_2O	Agua
CO_2	Dióxido de carbono
CO	Monóxido de carbono
NO	Monóxido de Nitrógeno
NO_2	Dióxido de Nitrógeno
N_2O	Oxido Nitroso
SO_2	Dióxido de azufre
Pb	Plomo
C_6H_6	Benceno
C_8H_{18}	Octano
w	Peso
bhp	Potencia
k	Valor que está grabado en la carátula del dinamómetro
$\dot{m}$	Flujo de combustible
ρ_c	Densidad de combustible
$\bar{V}$	Volumen de combustible
t	Tiempo
T	Par de rotación
N	Revoluciones por minuto
bme_p	Potencia media efectiva al freno
C_{ec}	Consumo específico de combustible
η_t	Rendimiento térmico

Q	Poder calorífico de combustible
AF	Relación aire-combustible
η_V	Rendimiento volumétrico
ΔP	Diferencia de presión del aire admisión

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1.1	Ciclo de cuatro carreras encendido por chispa. Cuatro carreras, girando el cigüeñal 180° por cada una, o 720° por ciclo 5
Figura 1.2	Ciclo ideal de aire estándar de Otto..... 9
Figura 1.3	Curvas de rendimiento de motor de combustión interna..... 11
Figura 1.4	Tecnología del combustible (copiado de un dibujo original de Texas c.o.) 17
Figura 1.5	Composición de gases de combustión 22
Figura 2.1	Marcas encontradas en el cabezote del motor en los cilindros 3 y 4 respectivamente 40
Figura 2.2	Comprobación de la superficie del cabezote 41
Figura 2.3	Comprobación del diámetro de la válvula 42
Figura 2.4	Especificaciones de las válvulas de admisión y válvulas de combustión 42
Figura 2.5	Especificaciones de resortes 43
Figura 2.6	Especificaciones de la holgura entre el levantador de la válvula y el orificio del levantador 44
Figura 2.7	Especificaciones de holgura entre vástago de válvula y guía de válvula..... 44
Figura 2.8	Comprobación del cojinete del árbol de levas 45
Figura 2.9	Especificaciones de las holguras para el aceite en el árbol de levas 46
Figura 2.10	Comprobación de la deflexión del árbol de levas 47
Figura 2.11	Especificaciones del árbol de levas 47
Figura 2.12	Comprobación de la superficie del bloque de cilindros 48
Figura 2.13	Medición del calibre del cilindro 49
Figura 2.14	Especificaciones de los puntos a medir dentro del bloque de cilindros..... 49
Figura 2.15	Especificaciones del calibre de los cilindros del motor 51
Figura 2.16	Especificaciones de los diámetros de los pistones 51
Figura 2.17	Especificaciones de las dimensiones del árbol de cigüeñal..... 53
Figura 2.18	Especificaciones de conicidad y excentricidad de los muñones del árbol del cigüeñal 53
Figura 2.19	Comprobación de la deflexión del árbol del cigüeñal..... 54
Figura 2.20	Especificaciones de la deflexión del árbol del cigüeñal 54
Figura 2.21	Manual de Servicio NISSAN – modelo de motor A10 y A12 56
Figura 3.1	Arreglo general del dinamómetro hidráulico froude 61
Figura 3.2	Analizador de gases de combustión NGA 6000 71
Figura 3.3	Diagrama del método NDIR..... 72

Figura 3.4	Diagrama del método electromecánico.....	73
Figura 3.5	Vista posterior del analizador de gases de escape.....	75
Figura 3.6	Instalación del equipo analizador de gases de combustión	76
Figura 3.7	Manual de Procedimientos y Especificaciones de Alineación de Acoplamientos Flexibles de Láminas del fabricante Jaure	78
Figura 4.1	Curvas de par de rotación vs RPM para las tres pruebas con combustible EXTRA.....	89
Figura 4.2	Curva de par de rotación vs RPM promedio utilizando combustible EXTRA.....	90
Figura 4.3	Curvas de flujo de combustible vs RPM para las tres pruebas con combustible EXTRA.....	91
Figura 4.4	Curva de flujo de combustible vs RPM promedio utilizando combustible EXTRA.....	93
Figura 4.5	Curvas de diferencia de presión del aire admisión vs RPM para las tres pruebas con combustible EXTRA.....	94
Figura 4.6	Curva de diferencia de presión del aire admisión vs RPM promedio utilizando combustible EXTRA.....	96
Figura 4.7	Curvas de rendimiento de motor con combustible EXTRA.....	99
Figura 4.8	Curvas de par de rotación vs RPM para las tres pruebas con combustible E5	100
Figura 4.9	Curva de par de rotación vs RPM promedio utilizando combustible E5	102
Figura 4.10	Curvas de flujo de combustible vs RPM para las tres pruebas con combustible E5.....	103
Figura 4.11	Curva de flujo de combustible vs RPM promedio utilizando combustible E5	104
Figura 4.12	Curvas de diferencia de presión del aire admisión vs RPM para las tres pruebas con combustible E5	105
Figura 4.13	Curva de diferencia de presión del aire admisión vs RPM promedio utilizando combustible E5	107
Figura 4.14	Curvas de rendimiento de motor con combustible E5.....	110
Figura 4.15	Curvas de par de rotación vs RPM para las tres pruebas con combustible E10	111
Figura 4.16	Curva de par de rotación vs RPM promedio utilizando combustible E10	113
Figura 4.17	Curvas de flujo de combustible vs RPM para las tres pruebas con combustible E10.....	114
Figura 4.18	Curva de flujo de combustible vs RPM promedio utilizando combustible E10	115
Figura 4.19	Curvas de diferencia de presión del aire admisión vs RPM para las tres pruebas con combustible E10	116
Figura 4.20	Curva de diferencia de presión del aire admisión vs RPM promedio utilizando combustible E10	118
Figura 4.21	Curvas de rendimiento de motor con combustible E10.....	121

Figura 4.22	Curvas de par de rotación (N.m).....	122
Figura 4.23	Curvas de potencia (Kw).....	124
Figura 4.24	Curvas de presión media efectiva al freno (Kg/cm ²)	126
Figura 4.25	Curvas de consumo específico de combustible (Kg/(Kw-hr))	127
Figura 4.26	Curvas de rendimiento térmico (%).....	128
Figura 4.27	Curvas de relación aire-combustible.....	130
Figura 4.28	Curvas de eficiencia volumétrica (%).....	131
Figura 4.29	Promedios de CO y CO ₂ en los gases de combustión (%) ...	133
Figura 4.30	Promedios de O ₂ en los gases de combustión (%)	134
Figura 4.31	Promedios de HC y NO _x en los gases de combustión (PPM)	135

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1	Resultados de inspección visual inicial de motor NISSAN A12 ... 28
Tabla 2	Especificaciones de luz de platino 33
Tabla 3	Especificaciones de luz de bujía 34
Tabla 4	Resultados de inspección de bujías..... 34
Tabla 5	Especificaciones de compresión de cilindro..... 35
Tabla 6	Resultados de la compresión de cilindros..... 35
Tabla 7	Resultados de medición de los cilindros 50
Tabla 8	Especificaciones generales del analizador de gases de combustión NGA 6000 74
Tabla 9	Datos de prueba dinamométrica N°1 con combustible EXTRA .. 81
Tabla 10	Datos de prueba dinamométrica N°2 con combustible EXTRA ... 82
Tabla 11	Datos de prueba dinamométrica N°3 con combustible EXTRA ... 82
Tabla 12	Datos de prueba dinamométrica N°1 con combustible E5..... 82
Tabla 13	Datos de prueba dinamométrica N°2 con combustible E5 83
Tabla 14	Datos de prueba dinamométrica N°3 con combustible E5 83
Tabla 15	Datos de prueba dinamométrica N°1 con combustible E10 83
Tabla 16	Datos de prueba dinamométrica N°2 con combustible E10 84
Tabla 17	Datos de prueba dinamométrica N°3 con combustible E10 84
Tabla 18	Ecuaciones de las líneas de tendencias de par de rotación vs RPM con combustible EXTRA 89
Tabla 19	Datos promedios de par de rotación de las pruebas dinamométricas con combustible EXTRA..... 90
Tabla 20	Ecuaciones de las líneas de tendencias de flujo de combustible vs RPM con combustible EXTRA 92
Tabla 21	Datos promedios de flujo de combustible de las pruebas dinamométricas con combustible EXTRA..... 92
Tabla 22	Ecuaciones de las líneas de tendencias de diferencia de presión del aire admisión vs RPM con combustible EXTRA..... 95
Tabla 23	Datos promedios de diferencia de presión del aire admisión de las pruebas dinamométricas con combustible EXTRA 95
Tabla 24	Datos promedios del análisis de gases de combustión..... 97
Tabla 25	Resultados obtenidos de los cálculos realizados con la información de las pruebas dinamométricas con combustible EXTRA y el análisis de los gases de combustión..... 98
Tabla 26	Ecuaciones de las líneas de tendencias de par de rotación vs RPM con combustible E5..... 101
Tabla 27	Datos promedios de par de rotación de las pruebas dinamométricas con combustible E5..... 101

Tabla 28	Ecuaciones de las líneas de tendencias de flujo de combustible vs RPM con combustible E5.....	103
Tabla 29	Datos promedios de flujo de combustible de las pruebas dinamométricas con combustible E5	104
Tabla 30	Ecuaciones de las líneas de tendencias de diferencia de presión del aire admisión vs RPM con combustible E5	106
Tabla 31	Datos promedios de diferencia de presión del aire admisión de las pruebas dinamométricas con combustible E5.....	106
Tabla 32	Datos promedios del análisis de gases de combustión.....	107
Tabla 33	Resultados obtenidos de los cálculos realizados con la información de las pruebas dinamométricas con combustible E5 y el análisis de los gases de combustión.....	109
Tabla 34	Ecuaciones de las líneas de tendencias de par de rotación vs RPM con combustible E10.....	112
Tabla 35	Datos promedios de par de rotación de las pruebas dinamométricas con combustible E10	112
Tabla 36	Ecuaciones de las líneas de tendencias de flujo de combustible vs RPM con combustible E10.....	114
Tabla 37	Datos promedios de flujo de combustible de las pruebas dinamométricas con combustible E10	115
Tabla 38	Ecuaciones de las líneas de tendencias de diferencia de presión del aire admisión vs RPM con combustible E10	117
Tabla 39	Datos promedios de diferencia de presión del aire admisión de las pruebas dinamométricas con combustible E10.....	117
Tabla 40	Datos promedios del análisis de gases de combustión.....	118
Tabla 41	Resultados obtenidos de los cálculos realizados con la información de las pruebas dinamométricas con combustible E10 y el análisis de los gases de combustión.....	120
Tabla 42	Resultados promedios de las concentraciones de los gases de combustión.....	132

INTRODUCCIÓN

Se desea estimar el rendimiento de un motor de combustión interna de encendido por chispa (Ciclo de Otto) con concentraciones de etanol del cinco y diez por ciento, teniendo como datos de control el rendimiento del motor trabajando con gasolina EXTRA.

En las estaciones de despacho de la ciudad de Guayaquil se comercializa la gasolina mezclada con etanol anhidro, denominada “Eco-país”, que para el presente estudio será identificada como E5, que es la gasolina EXTRA aditivada con 5% de etanol en su concentración. De acuerdo a experiencias previas se conoce que el uso del combustible E5 reduce la concentración de los contaminantes en los gases de combustión pero no se tiene mayor información sobre lo que sucede con el rendimiento del motor.

Para cumplir con lo propuesto se procedió a utilizar un banco de pruebas equipado con un motor Nissan A12.

Una vez puesto a punto el motor en referido banco, se procedió a realizar las pruebas dinamométricas para obtener las curvas de rendimiento del motor y al mismo tiempo analizar la concentración de los gases de combustión.

Primero se utilizó el combustible EXTRA para obtener datos control o base, luego se utilizó el combustible E5 (5% de etanol), para finalmente usar el combustible E10 (10% de etanol), sin realizar modificaciones en el sistema de carburación ni en el reglaje del motor. Con los resultados obtenidos se pudo verificar las ventajas y desventajas en el rendimiento del motor con los diferentes combustibles usados.

CAPÍTULO 1

1 FUNDAMENTOS TEÓRICOS

En la implementación de nuevos combustibles alternativos para los motores de combustión interna a carburación, los procesos de mayor interés son los efectos que estos causan en el rendimiento del motor y la reducción de la concentración de emisiones de gases al medio ambiente.

Al hablar de rendimiento del motor se refiere al comportamiento del Par Motor, Potencia, Presión Media Efectiva al Freno, Consumo Específico de Combustible, Rendimiento Térmico, Relación Aire-Combustible y Rendimiento Volumétrico.

1.1 Principios de funcionamiento del motor de cuatro tiempos

La mayoría de los motores de combustión interna, trabajan con el principio del Pistón Reciprocante (véase figura 1.1) según el cual un

pistón se desliza dentro de un cilindro, de abajo y hacia arriba y viceversa, que a través de un mecanismo biela-manivela transforma el movimiento alternativo lineal en movimiento de rotación del cigüeñal transmitiendo fuerza motriz, en 1862 Beau de Rochas propuso la secuencia de funcionamiento para el motor de Pistón Reciprocante, que aún en esto días es muy utilizada en la fabricación de motores encendidos por chispa. La secuencia de funcionamiento es la siguiente:

1. *Carrera de Admisión.* Una mezcla homogénea de aire – combustible, ingresa a la cámara de combustión interna; pasando así el pistón de punto muerto superior (PMS) a punto muerto inferior (PMI), figura 1.1a (válvula de admisión abierta).
2. *Carrera de Compresión.* El pistón ya en punto muerto inferior, comprime la mezcla elevando la temperatura de la misma. figura 1.1b (ambas válvulas cerradas).
3. *Carrera de Potencia o Explosión.* Al final de la carrera de compresión, se produce la chispa y encendido de la mezcla de aire-combustible, liberando energía que aumenta la temperatura y la presión de los gases, inmediatamente desciende el pistón transmitiendo la energía al cigüeñal, figura 1.1c (ambas válvulas cerradas).

4. *Carrera de combustión.* Se produce la expulsión de los gases producto de la combustión al medio ambiente, figura 1.1d (válvula de combustión abierta).

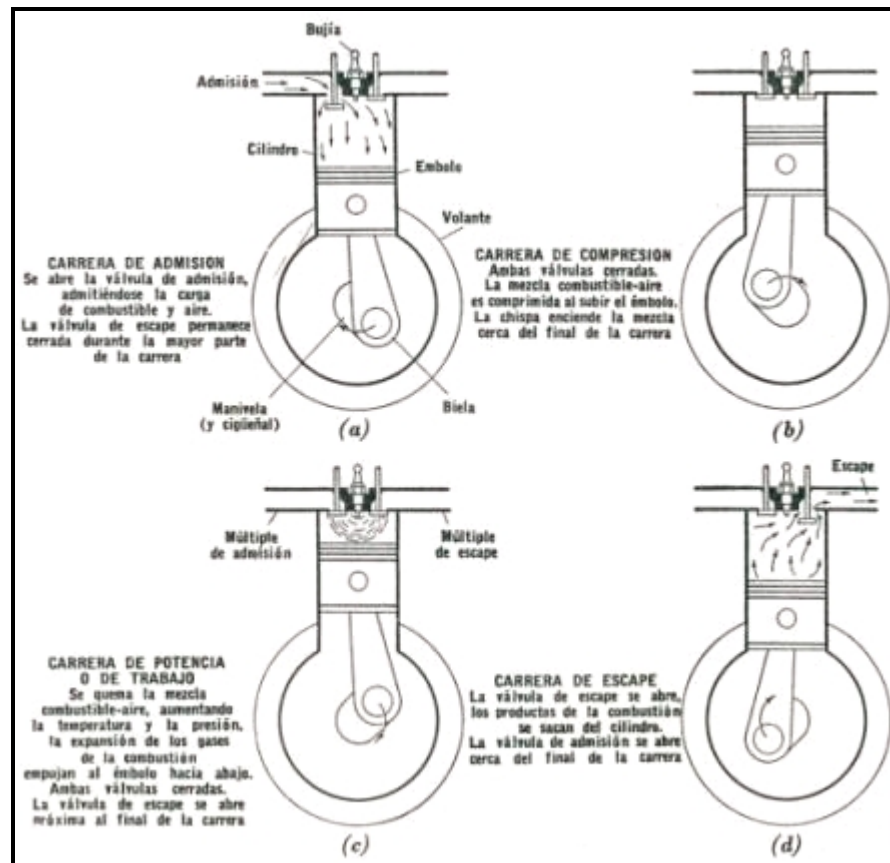


FIGURA 1.1 CICLO DE CUATRO CARRERAS ENCENDIDO POR CHISPA. CUATRO CARRERAS, GIRANDO EL CIGÜEÑAL 180° POR CADA UNA, O 720° POR CICLO

En 1876, Otto, un ingeniero alemán, aprovechando el principio de Beau de Rochas, fabricó un motor con un ciclo correspondiente a

cuatro carreras que resultó muy útil, habiéndose conocido el ciclo de cuatro carreras, como el ciclo de Otto.

En el estudio del motor de combustión interna, se emplean frecuentemente los términos: *desplazamiento*, *volumen de compresión* y *relación de compresión o de expansión*. El desplazamiento (D), es el volumen en cm^3 barrido por el émbolo en una carrera (n veces este valor para un motor con n cilindros); el volumen de compresión (V_c), es el volumen de los gases comprimidos y es también el volumen de la *cámara de combustión*; la relación de compresión (r_v) es igual a:

$$r_v = \frac{V_c + VD}{V_c} \quad (1)$$

La mayoría de los motores de combustión interna funcionan con encendido por chispa (Bujías), y tienen relaciones de compresión de 7 - 10/1.

En todos los motores de pistón recíprocante, el Pistón llega necesariamente a una completa inmovilidad, en dos posiciones del cigüeñal antes de cambiar la dirección de su movimiento, en la figura 1.1d, el pistón ha pasado precisamente del límite inferior de su carrera; a esta posición llamado *punto muerto inferior* (PMI); a su límite superior, llamado *punto muerto superior* (PMS); debido a esta

posición “muerta”, la combustión de la mezcla en el motor Otto ocurre prácticamente a volumen constante, esto hace que la carrera de potencia solo ocurra en una parte del tiempo total del ciclo.

Se emplea un volante de inercia para hacer uniformes dichos impulsos, obteniendo así esencialmente, una rotación adecuada del cigüeñal (véase figura 1.1).

Un motor de combustión interna de dos o cuatro ciclos, encendido por chispa o por compresión, trabajan bajo un ciclo mecánico más no bajo un ciclo termodinámico; sin embargo, la eficiencia térmica de un motor de combustión interna es comparada con la eficiencia térmica de un ciclo estándar de aire, debido a la similitud entre el diagrama indicado del ciclo teórico del motor y el diagrama del ciclo práctico correspondiente. El diagrama Práctico del motor es el registro de la presión vs el volumen del cilindro, registrada a partir de un motor real, los diagramas Presión vs Volumen son muy usados, ya que el área aproximada es igual al trabajo realizado en el ciclo.

El ciclo de aire estándar de Otto

El ciclo de Otto es usualmente utilizado como una base de comparación para motores encendidos por chispa y para motores encendidos por compresión, donde los ciclos consisten en cuatro procesos sin flujo de aire, como se muestra en la figura 1.2

Los procesos de expansión y compresión son asumidos como procesos adiabáticos (no existe transferencia de calor) y reversibles, y en consecuencia isotrópico. Los, procesos son los siguientes:

- 1-2 compresión isotrópica de aire a través de una relación de volumen $\frac{V_1}{V_2}$, la relación de compresión r_v .
- 2-3 adición de calor Q_{23} a volumen constante.
- 3-4 expansión isotrópica de aire al volumen original.
- 4-1 rechazo de calor Q_{41} a volumen constante para completar el ciclo.

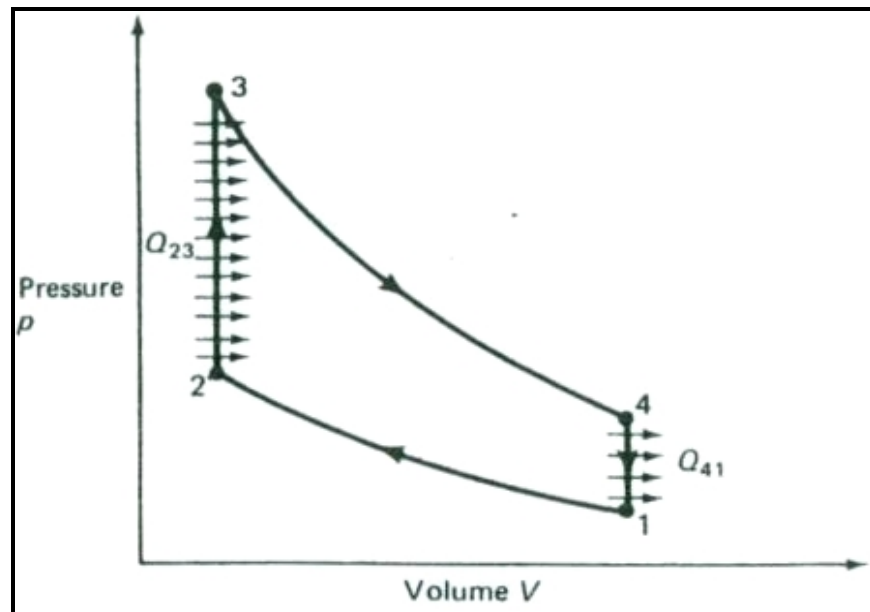


FIGURA 1.2 CICLO IDEAL DE AIRE STÁNDAR DE OTTO

La eficiencia del ciclo de Otto, η_{Otto} está dada a través de la ecuación 2.

$$\eta_{Otto} = \frac{W}{Q_{net}} = \frac{Q_{23} - Q_{41}}{Q_{net}} = 1 - \frac{Q_{41}}{Q_{net}} \quad (2)$$

Considerando al aire como un gas perfecto la transferencia de calor hacia y desde el sistema, está en función de la constante de capacidad específica de calor, y la masa m de aire,, mostrada en las ecuaciones 3 y 4.

$$Q_{23} = mC_v(T_{A3} - T_{A2}) \quad (3)$$

$$Q_{41} = mC_v(T_{A4} - T_{A1}) \quad (4)$$

La eficiencia térmica está representada en la ecuación 5:

$$\eta_{Otto} = 1 - \frac{T_{A4} - T_{A1}}{T_{A3} - T_{A2}} \quad (5)$$

Para los dos procesos isotrópicos 1-2 y 3-4, $T_A V^{\gamma-1}$ es una constante, por lo que:

$$\frac{T_{A2}}{T_{A1}} = \frac{T_{A3}}{T_{A4}} = r_V^{\gamma-1} \quad (6)$$

Donde γ es la relación de la capacidad específica de calor $\frac{C_P}{C_V}$. La relación de temperaturas en las esquinas del ciclo termodinámico es la siguiente:

$$T_{A3} = T_{A4} r_V^{\gamma-1} \text{ Y } T_{A2} = T_{A1} r_V^{\gamma-1}$$

Sustituyendo en la ecuación 5, se obtiene:

$$\eta_{Otto} = 1 - \frac{T_{A4} - T_{A1}}{r_V^{\gamma-1} (T_{A4} - T_{A1})} = 1 - \frac{1}{r_V^{\gamma-1}} \quad (7)$$

El valor de la eficiencia del ciclo de Otto depende de la relación de la compresión r_V , y no de las temperaturas del ciclo. Para realizar una comparación con un motor real, sólo es necesario especificar la relación de compresión.

1.1.1 Curvas características de rendimiento

Las curvas de rendimiento están graficadas en función de la velocidad del motor (N = revoluciones por minuto), estas son:
Par de Rotación, Potencia, Presión Media Efectiva al Freno,
Consumo Efectivo de Combustible, Relación Aire-

Combustible, Rendimiento térmico y Rendimiento Volumétrico; para apreciar las tendencias de las curvas mas principales véase la figura 1.3.

La curva de Par de rotación indica las cualidades del motor en su aceleración después de un frenado, la curva de Consumo Específico de Combustible indica el rendimiento global del motor y su economía de funcionamiento.

Se observa en la figura 1.3 que el máximo de potencia de un motor y el mínimo de consumo de combustible no coinciden en el mismo valor de velocidad del motor; por lo tanto se deberá elegir la zona de trabajo normal en función del máximo de economía o de la máxima potencia.

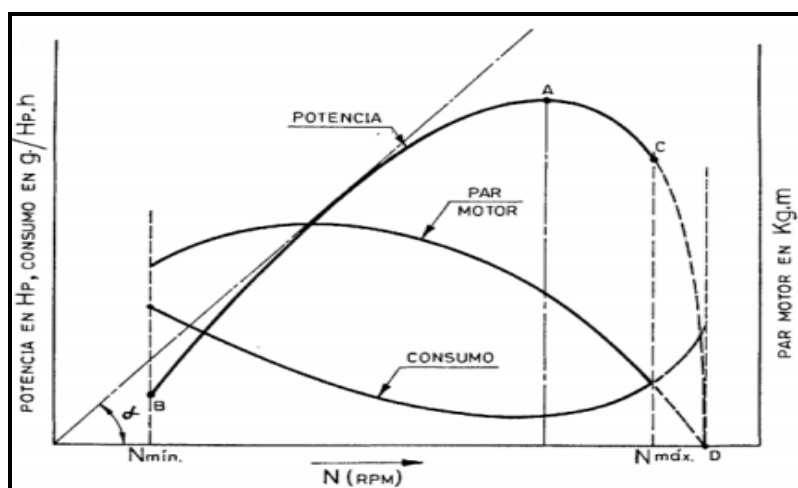


FIGURA 1.3 CURVAS DE RENDIMIENTO DE MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA

Par de Rotación. Es el momento aplicado al freno del eje del motor y significa el momento de torsión del eje del cigüeñal, el par de rotación del motor representa la capacidad del motor para producir trabajo.

Potencia. Es el trabajo que realiza el motor por unidad de tiempo, la potencia disponible en el eje motor, llamada también potencia efectiva, se mide con un dispositivo frenante que es aplicado al eje del motor, se opone al par motor y permite medir su valor.

Presión Media Efectiva al Freno. Es la presión media ejercida por el motor sobre el eje de salida durante un ciclo completo de operación, en un motor de cuatro tiempos, la potencia es entregada al cigüeñal cada dos revoluciones; la carrera de compresión y la fricción consumen parte de la potencia del cigüeñal.

La Presión Media Efectiva al Freno es la diferencia entre la presión aplicada al cigüeñal y la requerida para la carrera de compresión más la fricción.

Consumo Específico de Combustible. Indica la cantidad de combustible que el motor consume en relación con la potencia que produce.

Relación Aire-Combustible. Es la relación que existe entre el flujo de aire y el flujo de combustible que ingresan a la cámara de combustión.

Eficiencia Térmica. La Eficiencia Térmica de un motor es la relación que existe entre la potencia desarrollada en el cigüeñal y la potencia total que es capaz de generar el combustible utilizado.

Eficiencia Volumétrica. Es la relación entre la mezcla de aire-combustible que ingresa a la cámara de combustión y el volumen de la misma cuando el motor está operando.

1.1.2 Parámetros de Evaluación de un Motor de Combustión Interna

Para evaluar el estado en que se encuentra un motor de combustión interna, es necesario verificar como se encuentran los parámetros a revisar, estos procedimientos de *Puesta a Punto* se indican en los *Manuales de Servicio* de los fabricantes de motores.

Puesta a Punto. Una puesta a punto y una prueba a pequeña escala, pueden consistir en una prueba de la batería, limpieza, reajuste de la separación o recambio de la bujía de

encendido y puntas del distribuidor, regulación de encendido, compresión, sistema eléctrico, carburador y finalmente una prueba en carretera para asegurar el funcionamiento libre de averías.

Si en la Puesta a Punto se diagnostica que es necesario realizar los procedimientos de *Servicio de Reparación* (como se indica en los *Manuales de Servicio* de los fabricantes), se deben ejecutar las siguientes actividades:

- Desmontaje de motor,
- Desarmado de motor,
- Evaluación de componentes internos,
- Diagnóstico, según evaluación.
- Armado de motor y
- Puesta a punto del motor

1.2 Combustible

Casi todos los combustibles para los motores de combustión interna hoy en día se derivan del petróleo, el cuál es una mezcla compleja de hidrocarburos, sin embargo, a medida que disminuye los yacimientos de petróleo y se aumenta la contaminación del medio

ambiente, tiene cada vez mayor importancia los combustibles alternativos.

1.2.1 Gasolina

La gasolina que se comercializa en el mercado nacional es una mezcla de productos obtenidos mediante procesos, como se muestra en la figura 1.4. Mediante dichas mezclas, se ajustan las propiedades del combustible para obtener las características de funcionamiento deseadas, siendo estas características las de especial interés para el ingeniero, por lo tanto, independiente de su origen, la gasolina debe tener las propiedades siguientes:

1. CARACTERÍSTICAS DE GOLPETEO. El patrón de comparación es el número octano, en términos generales, el mejor combustible es el que tiene mayor octanaje.
2. VOLATILIDAD
 - a. *Características de arranque.* La gasolina pondrá en movimiento al motor, rápidamente, siempre que una parte de ella tenga bajo punto de ebullición, como para

permitir que se forme la mezcla combustible a la temperatura ambiente.

- b. *Características de vaporación.* El combustible debe tener una baja presión de vapor a las temperaturas existentes en las tuberías para evitar la vaporización en ellas y en el depósito del flotador, el fenómeno de vaporización impide o limita el flujo de combustible líquido.
 - c. *Comportamiento en la carrera.* En general, los combustibles con la temperatura más baja de destilación, son los mejores.
 - d. *Dilución en el cárter.* La dilución del aceite lubricante tiene lugar cuando se condensa el combustible, o cuando deja de vaporizarse en el motor, siendo deseable una temperatura de destilación baja.
3. DEPÓSITOS GOMOSOS Y BARNIZ. El combustible no deberá depositar en el motor, ni goma ni barniz.
4. CORROSIÓN. El combustible y los productos de la combustión no deben ser corrosivos.
5. COSTO. El combustible deberá ser económico.

1.2.2 Biocombustible

El empleo más inmediato y directo para el alcohol etílico como carburante se da por su mezcla con gasolina, todas las pruebas han demostrado la factibilidad del uso de mezclas etanol-gasolina de hasta proporciones del 20% de etanol y del 80% de gasolina en motores convencionales sin que sea necesario modificaciones en el diseño del motor (solamente ajustes en la cantidad de aire que ingresa a la cámara de combustión).

Como sustituto del petróleo, el etanol tiene cuatro posible aplicaciones como:

- a. Combustibles para caldera o sustituto del fuel oil u otros combustibles.
- b. Sustituto de la gasolina.
- c. Sustituto del diesel.
- d. Cómo producto químico.

Básicamente, el uso del etanol como combustible para caldera hace que no se utilice su potencial como un combustible líquido superior, por otro lado el etanol como sustituto del diesel sufre de ciertas desventajas técnicas.

Sobre las otras aplicaciones sus propiedades únicas físico-químicas incrementan su valor, fuera de su poder calorífico, es decir como sustituto de la gasolina y como producto químico.

PROPIEDADES FÍSICO QUÍMICAS DEL ETANOL

El etanol se disuelve fácilmente en la gasolina, diesel o fuel oil, teniendo cuidado que no esté presente agua ni sedimentos en el sistema. Si el agua es añadida, el alcohol preferentemente la absorberá y se separará en dos fases, lo cual convierte la mezcla inútil para ser usada como combustible en el motor.

Si bien el etanol anhidro con un 98.8% de pureza es completamente miscible con la gasolina a temperaturas normales, este absorbe con gran facilidad el agua cuando se pone en contacto, separándose en dos fases, la fase superior rica en gasolina y la fase inferior rica en alcohol. La fase alcohol-agua producirá la corrosión de las partes del motor una vez introducido al mismo, puesto que el sistema de almacenamiento de gasolina normalmente contiene algo de agua, por lo que se requiere un estricto control de calidad en

la distribución y mezcla combustible para minimizar la introducción de agua.

Las propiedades del etanol que afectan la eficiencia de combustión en el motor son: poder calorífico, punto de inflamación, presión de vapor, autoignición, límites de flamabilidad y razón de octanaje. Son sustancialmente diferentes comparados a los combustibles hidrocarburos, el análisis de esto es complejo y ha sido estudiado por un sin número de investigadores.

ETANOL COMO SUSTITUTO DE LA GASOLINA

El etanol usado en mezcla con gasolina o sustituto de la misma tiene gran importancia porque este puede directamente sustituirse por un producto derivado del petróleo el cual ya se usa en muchos países y porque es factible tomar ventaja de sus características físicas y químicas. Cuando se usa en un motor de combustión interna con una mezcla con gasolina el etanol, mejora significativamente la eficiencia de combustión y eleva el octanaje, también provoca cambio en otras características del rendimiento del motor, tales como el arranque, carburación y emisiones.

El etanol puede ser usado como combustible en cualquiera de las formas siguientes: como *gasohol* en tal caso el etanol anhidro (absoluto 99.8%) es mezclado con gasolina en razones de hasta el 20% sin cambiar la regulación de aire-combustible hasta proporciones de 5% (combustible E5); y de 10% a 20% es necesario realizar ciertos ajustes a la relación de aire-combustible.

Los principales factores que afectan la eficiencia del combustible son: el numero de octano, la razón de compresión del motor, y de las mezclas combustible/aire para la combustión.

1.2.3 Emisiones de los gases de combustión

El motor de combustión interna, por sus características de funcionamiento, no es capaz de quemar de forma total el combustible en los cilindros, pero si esta combustión incompleta no es regulada, mayor será la cantidad de sustancias nocivas expulsadas en los gases de combustión hacia la atmósfera, dentro de los gases generados producto de la combustión, hay gases que son nocivos para la salud y otros no.

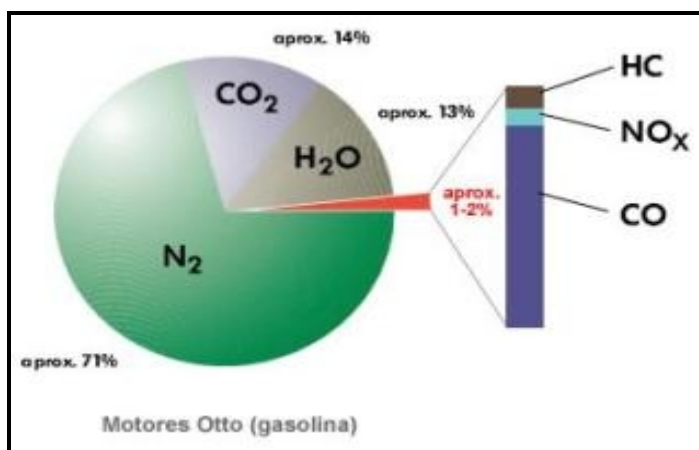


FIGURA 1.5 COMPOSICIÓN DE GASES DE COMBUSTIÓN

Nitrógeno (N_2). El nitrógeno es un gas no combustible, incoloro e inodoro, se trata de un componente esencial del aire que se respira (78 % nitrógeno, 21 % oxígeno, 1 % otros gases) y alimenta el proceso de la combustión conjuntamente con el aire de admisión, la mayor parte del nitrógeno aspirado vuelve a salir puro en los gases de combustión; sólo una pequeña parte se combina con el oxígeno O_2 (óxidos nítricos NO_x).

Oxígeno (O_2). Es un gas incoloro, inodoro e insípido, es el componente más importante del aire que se respira (21 %). Es imprescindible para el proceso de combustión, con una mezcla ideal el consumo de combustible debería ser total,

pero en el caso de la combustión incompleta, el oxígeno restante es expulsado por el sistema de combustión.

Agua (H_2O). Es aspirada en parte por el motor (humedad del aire) o se produce por efecto de la combustión “fría” (fase de calentamiento del motor), es un subproducto de la combustión y es expulsado por el sistema de combustión del vehículo, se lo puede visualizar sobre todo en los días más fríos o en las mañanas cuando el motor aun no alcanza la temperatura de operación, como un humo blanco que sale por el combustible, o en el caso de condensarse a lo largo del tubo, se produce un goteo, es un componente inofensivo de los gases de combustión.

Dióxido de carbono (CO_2). Se produce al ser quemados los combustibles que contienen carbono (gasolina, gasoil), el carbono se combina durante esa operación con el oxígeno aspirado; es un gas incoloro, no combustible.

El dióxido de carbono CO_2 a pesar de ser un gas no tóxico, reduce el estrato de la atmósfera terrestre que suele servir de protección contra la penetración de los rayos UV (la tierra se calienta), las discusiones generales en torno a las alteraciones climatológicas (efecto “invernadero”), el tema de

las emisiones de CO_2 han hecho conciencia en la opinión pública.

Monóxido de carbono (CO). Se produce por efecto de la combustión incompleta de combustibles que contienen carbono, es un gas incoloro, inodoro, explosivo y altamente tóxico, bloquea el transporte de oxígeno por parte de los glóbulos rojos, es mortal, incluso en una baja concentración en el aire que se respira; en una concentración normal en el aire ambiental se oxida al corto tiempo, formando dióxido de carbono CO_2 .

Óxidos nítricos (NO_x). Son combinaciones de nitrógeno N_2 y oxígeno O_2 (p. ej. NO , NO_2 , N_2O), los óxidos de nitrógeno se producen al existir una alta presión, alta temperatura y exceso de oxígeno durante la combustión en el motor; el monóxido de nitrógeno (NO), es un gas incoloro, inodoro e insípido al combinarse con el oxígeno del aire, es transformado en dióxido de nitrógeno (NO_2), de color pardo rojizo y de olor muy penetrante, provoca una fuerte irritación de los órganos respiratorios.

Las medidas destinadas a reducir el consumo de combustible suelen conducir lamentablemente a un ascenso de las

concentraciones de óxidos nítricos en los gases de combustión, porque una combustión más eficaz produce temperaturas más altas, que generan a su vez una mayor emisión de óxidos nítricos.

Dióxido de azufre (SO₂). El dióxido de azufre o anhídrido sulfuroso propicia las enfermedades de las vías respiratorias, pero interviene sólo en una medida muy reducida en los gases de combustión, es un gas incoloro, de olor penetrante, no combustible; si se reduce el contenido de azufre en el combustible es posible disminuir las emisiones de dióxido de azufre.

Plomo (Pb). Ha desaparecido por completo en los gases de combustión de los vehículos. El plomo en el combustible impedía la combustión detonante debido a la autoignición y actuaba como una sustancia amortiguadora en los asientos de las válvulas, con el empleo de aditivos ecológicos en el combustible sin plomo se han podido mantener casi idénticas las características antidetonantes.

HC – Hidrocarburos. Son restos no quemados del combustible, que surgen en los gases de combustión después de una combustión incompleta, la mala combustión

puede ser debido a la falta de oxígeno durante la combustión (mezcla rica) o también por una baja velocidad de inflamación (mezcla pobre), por lo que es conveniente ajustar la riqueza de la mezcla; los hidrocarburos HC se manifiestan en diferentes combinaciones (p. ej. C_6H_6 , C_8H_{18}) y actúan de diverso modo en el organismo, algunos de ellos irritan los órganos sensoriales, mientras que otros son cancerígenos (el benceno).

- *Las partículas de hollín MP* (masa de partículas; inglés: particulate matter) son generadas en su mayor parte por los motores diesel, se presentan en forma de hollín o cenizas, los efectos que ejercen sobre el organismo humano todavía no están aclarados por completo.

CAPÍTULO 2

2 DIAGNÓSTICO, DESARMADO, ARMADO Y PUESTA A PUNTO DEL MOTOR NISSAN A12

El motor escogido para el estudio de rendimiento a diferentes concentraciones de etanol en el combustible, se encontraba instalado en un grupo de bombeo, y tiene las siguientes características:

- Fabricante: Nissan
- Cilindrada: 1200 cm³
- Modelo de Motor: A12
- Serie de Motor: 79067
- Propietario: ESPOL
- Unidad de Servicio: No posee

Un antecedente importante sobre el motor fue que no había sido encendido en al menos 5 años.

2.1 Diagnóstico inicial del estado original del motor Nissan A12

Antes de proceder al desmontaje y desarmado del motor, se realizó un primer encendido del motor con el fin de chequear en qué estado se recibía el motor.

2.1.1 Primer intento de encendido del motor

El primer paso fue realizar una inspección visual del motor antes de intentar encender, obteniendo los siguientes resultados mostrados en la tabla 1:

TABLA 1
RESULTADOS DE INSPECCIÓN VISUAL INICIAL DE MOTOR
NISSAN A12

Nº	Componentes	Descripción
1	Tapa de llenado de aceite	No se encontró (véase foto en Anexos)
2	Tapa de radiador	Se encontró en malas condiciones (véase foto en Anexos).
3	Refrigerante	Agua (véase foto en Anexos)
4	Bayoneta de nivel de aceite	La bayoneta estaba rota y no pertenecía a este modelo (véase foto en Anexos).
5	Batería de 12 voltios	No se encontró (véase foto en Anexos)
6	Base y Filtro de aire	No se encontró (véase foto en Anexos).
7	Carburador	El avance de vacío no se encontró
8	Distribuidor -mangueras de vacío	No se encontró

Se decidió realizar el procedimiento de encendido tal y como se encontró el motor, sin efectuar verificaciones ni calibraciones de funcionamiento, con el fin de verificar si el motor ha estado trabajando con regularidad o ha estado fuera de servicio.

El procedimiento que se realizó en el primer encendido y los materiales adicionales fueron los siguientes:

Materiales Adicionales:

1. Batería de 12V operativa.
2. Combustible (gasolina EXTRA).

Procedimiento:

1. Se verificó que el cigüeñal gire sin problemas en sus 360° (se giró el cigüeñal 4 vueltas).
2. Se conectó una batería de 12V al motor.
3. Se colocó combustible (gasolina EXTRA).
4. Se chequeó el nivel de aceite y refrigerante (agua).
5. Se procedió al arranque del motor.

Resultado:

Se realizó varios intentos para encender el motor. El motor de arranque hizo girar el motor pero no encendió y se provocó un efecto denominado torpedeo.

Análisis:

- El desbalance de la mezcla estequiométrica puede causar el torpedeo del motor.
- Cuando la mezcla de aire–combustible dentro de la cámara de combustión tiene exceso de porcentaje de aire y poco porcentaje de combustible, el motor torpedea y no permite que el motor encienda de forma normal.
- Se inspeccionó la admisión de aire del motor y se encontró que una plancha aislante de calor que va en la base del carburador se encontraba fisurada en varios lugares permitiendo el ingreso de aire adicional a las cámaras de combustión, por lo tanto la mezcla estequiométrica se desbalanceó. Teniendo como consecuencia de esto, el motor torpedeó en el arranque y el motor no encendió.
- El desfase del punto de encendido también pudo causar el torpedeo del motor.

- Cuando el punto de encendido esta adelantado o retrasado (fuera de especificaciones) la combustión de los gases no se llegaría a producir adecuadamente y esto a su vez no empujaran al pistón hacia abajo justo en el instante en que es necesario. El desfase puede ser ocasionado por el desgaste interno de los componentes o por una mala calibración del punto de encendido. Como consecuencia de esto el motor torpedeó, fueron inestables las RPM y no encendió.

Conclusiones del Primer intento de encendido del motor:

- El motor ha estado fuera de servicio por largo tiempo.
- Realizar el desmontaje de la plancha aislante de calor para corregir la fisura. Para poder desmontar la plancha aislante, primero se tiene que desmontar el carburador.
- Con el carburador desmontado se tiene que realizar el procedimiento de desarmado y armado para inspeccionar sus componentes internos, ya que el

carburador es el encargado de entregar la mezcla estequiométrica correcta.

- Para lograr el encendido del motor, también realizar lo siguiente:
 - Verificación y/o calibración del distribuidor (platino y condensa).
 - Inspección y verificación de las bujías.
 - Verificación de la compresión de los cilindros.

2.1.2 Segundo intento de encendido del motor

Trabajos Realizados

- En el desmontaje del carburador se observó que han utilizado dos planchas aisladoras de calor y una de ellas tiene fisuras en su parte exterior por donde ingresó el aire desbalanceando la mezcla estequiométrica. (Véase foto en Anexos)
- En el desarmado del carburador se encontró que el sello del inyector estaba roto (Véase foto en Anexos), lo que provocó que no se inyecte la cantidad adecuada de combustible para realizar la mezcla estequiométrica. El guardapolvo del inyector también estaba roto (Véase foto en Anexos), lo que pudo ocasionar que ingrese

contaminación (polvo, agua, etc.) a los diferentes cilindros, reduciendo su vida útil de trabajo. En general el carburador presentó un alto grado de desgaste interno.

- Luego de esto se procedió a la limpieza de todos los componentes del carburador.
- En el armado del carburador se siguió el procedimiento de armado según información de fábrica y se procedió al reemplazo de todos los componentes que estaban fuera de servicio (mencionados en el párrafo anterior).
- En el montaje del carburador se utilizó una sola plancha aisladora sin fisuras (como se indica en el manual del fabricante) y se cambió todos los empaques usados por empaques nuevos.
- Se cambió el platino del distribuidor por presentar picaduras (Véase foto en Anexos) y se lo calibró según especificaciones de fábrica (ver tabla 2).

TABLA 2

ESPECIFICACIONES DE LUZ DE PLATINO

in	mm
0,018 - 0,022	0,45 - 0,55

- Se chequeó el estado de las bujías y su funcionamiento.
Se encontraban operativas pero en su límite de vida útil (ver tabla 3). En la tabla 4 se muestra las dimensiones de luz de las bujías.

TABLA 3
ESPECIFICACIONES DE LUZ DE BUJÍA

In	mm
0,031 - 0,035	0,8 - 0,9

TABLA 4
RESULTADOS DE INSPECCIÓN DE BUJÍAS

Luz de Bujía			Resultados
Cilindros	In	mm	
1	0.033	0.84	<i>Dentro de especificaciones</i>
2	0.033	0.84	<i>Dentro de especificaciones</i>
3	0.033	0.84	<i>Dentro de especificaciones</i>
4	0.033	0.84	<i>Dentro de especificaciones</i>

- En la tabla 5 se presenta las especificaciones de compresión de un cilindro.

TABLA 5
ESPECIFICACIONES DE COMPRESIÓN DE CILINDRO

Especificación	PSI	KPa
Estándar	181	1245
Mínimo	166	1147

- Se realizó la medición de la compresión de los cuatro cilindros del motor, mostrados en la tabla 2.6.

TABLA 6
RESULTADOS DE LA COMPRESIÓN DE CILINDROS

Compresión Medida			Resultados
Cilindros	PSI	KPa	
1	135	900	<i>Fuera de especificaciones</i>
2	112	750	<i>Fuera de especificaciones</i>
3	120	850	<i>Fuera de especificaciones</i>
4	115	775	<i>Fuera de especificaciones</i>

Procedimiento:

1. Se conectó una batería de 12 voltios al sistema.
2. Se colocó combustible, gasolina EXTRA.
3. Se chequeó los niveles de aceite y refrigerante.
4. Se desmontaron las bujías de cada cilindro.
5. Se dio señales de arranque por varios segundos para expulsar cualquier impureza o material extraño que estuviera dentro de las cámaras de combustión.

6. Se inyectó de 10 – 15 ml de aceite 15W40 a cada una de ellas. Este procedimiento se realizó debido a que los cilindros presentaron baja compresión (fuera de especificación). El aceite dentro de la cámara de combustión ayuda a mejorar el sellado de los anillos y tener una mejor compresión de los gases para el encendido del motor.
7. Se dio señales de arranque por varios segundos para esparcir el aceite, antes inyectado, dentro de la cámara de combustión.
8. Se montaron las bujías según especificaciones de fábrica.
9. Se aflojó el perno del distribuidor para poder maniobrar el punto de encendido y los ángulos de avance, mientras se realizaba el arranque del motor.
10. Se procedió al encendido del motor.

Resultado:

Después de varios intentos fallidos, el motor encendió y se lo mantuvo trabajando en bajas revoluciones y libre de carga durante 10 minutos. Este tiempo sirvió para hacer una evaluación visual del motor durante su funcionamiento.

Observaciones:

1. A pocos segundos de arrancar el motor, la bayoneta de medición del nivel de lubricante montada en su sitio salió expulsada de su base.
2. Durante toda la prueba salpicaba aceite hacia afuera por el conducto de la bayoneta y por el orificio de llenado de aceite de la tapa de válvulas (no tenía tapa de llenado). (Véase fotos en Anexos).
3. El motor presentó fugas de aceite por todos los lugares donde trabajan los sellos de aceite. (Véase foto en Anexos)
4. Mientras estaba funcionando el motor, se midió el voltaje de la batería del motor. El multímetro sólo marco 12V.
5. El motor presentaba inestabilidad en las revoluciones por minuto.
6. Después de los 10 minutos de operación del motor, se lo apagó. Se esperó 2 minutos y se lo arranco nuevamente. En esta ocasión el motor arrancó sin problemas.

Conclusiones del segundo intento de encendido del motor.

1. Las verificaciones y calibraciones realizadas en el motor junto con el procedimiento de arranque y encendido del motor dieron resultado. El motor encendió y trabajó durante más de 10 minutos.
2. Los gases de compresión que lograban pasar del cilindro al cárter a causa de la pérdida de compresión de las cámaras de combustión, provocaron que la bayoneta salga disparada de su base y salga aceite al exterior.
3. Los diferentes valores de compresión de los cilindros y el ajuste inadecuado del avance de encendido provocaron la inestabilidad de las RPM en el motor.
4. Después de los 10 minutos de trabajo, ya lograba arrancar y encender sin problema. Esto se debe a que el motor ya alcanzó su temperatura de operación y los componentes internos del motor se dilataron mejorando la compresión de los gases dentro de las cámaras de combustión.
5. El motor ha estado fuera de servicio durante mucho tiempo debido a que los retenedores y sellos de aceites, los cuales son fabricados de polímeros, estaban endurecidos y cuando el motor alcanzó su temperatura

de operación, dichos elementos se resquebrajaron provocando fugas de aceite.

6. El sistema de carga de corriente (alternador) estaba inoperativo, durante el funcionamiento del motor la batería debió marcar más de 12 V (13,8 a 14 V).

Se procedió al desmontaje del motor de la unidad de bombeo para desarmarlo, evaluarlo, armarlo nuevamente y ponerlo a punto para las pruebas dinamométricas.

2.2 Evaluación y diagnóstico técnico de los componentes internos

Para realizar la evaluación y diagnóstico de los componentes internos se empezó realizando lo siguiente:

- Se comprobó el cabezote y el bloque de cilindros por si hubiera restos de goteo de agua antes de la limpieza.
- Se procedió a limpiar todas las partes para quitar las manchas de aceite, depósitos de carbono, incrustaciones y otras materias extrañas completamente.

- Se verificó que todos los orificios de aceite estén libres y limpios utilizando aire comprimido.

2.2.1 Evaluación y diagnóstico del cabezote

- Inspección Visual:

Marcas en la superficie del cabezote en los cilindros 3 y 4. El motor ha trabajado con cuerpos extraños dentro de los cilindros mencionados. Los cilindros han sido marcados con puntos en su superficie. No se encontraron presencia de fisura en toda la superficie del cabezote (Véase figura 2.1).



FIGURA 2.1 MARCAS ENCONTRADAS EN EL CABEZOTE DEL MOTOR EN LOS CILINDROS 3 Y 4 RESPECTIVAMENTE

En la superficie del cabezote no se debe realizar marcas de ningún tipo con un puntero, debido a que se crean concentradores de esfuerzos.

Se le realizó al cabezote una pulida mínima, eliminando los puntos marcados y disminuyendo las marcas de cuerpos extraños.

- *Planicidad de la superficie del cabezote:*

La planicidad del cabezote mostrado en la figura 2.2, siempre estuvo dentro de las especificaciones del fabricante antes y después de la pulida de la misma.



**FIGURA 2.2 COMPROBACIÓN DE LA SUPERFICIE DEL
CABEZOTE**

- *Conjunto de válvulas*

Se comprobó cada uno de los conjuntos de válvulas de admisión y de combustión (véase figuras 2.3 y 2.4) para verificar si se encontraban deformadas, deterioradas o desgastadas.

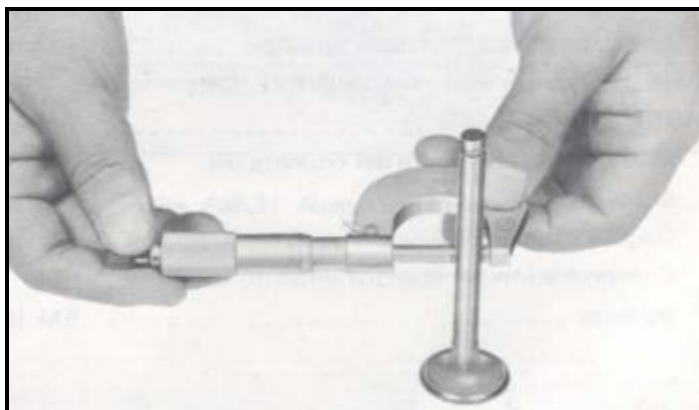


FIGURA 2.3 COMPROBACIÓN DEL DIÁMETRO DE LA VÁLVULA

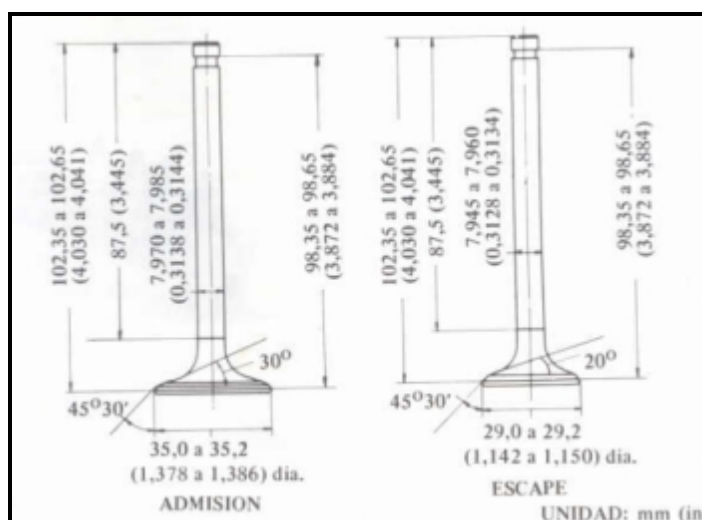


FIGURA 2.4 ESPECIFICACIONES DE LAS VÁLVULAS DE ADMISIÓN Y VÁLVULAS DE COMBUSTIÓN

Todas las válvulas de admisión y de combustión se encontraban en buen estado. Se realizó el procedimiento de

asentamiento de válvulas en el cabezote para asegurarse que el contacto de cabeza de válvula y asiento de válvula sea el correcto.

- *Resortes de válvula*

Los parámetros se encontraron dentro de las especificaciones del fabricante (figura 2.5)

	A10	A12
Longitud libre	45,7 mm (1,799 in)	46,5 mm (1,831 in)
Válvula cerrada	38,5 mm a 30 kg (1,516 in a 66,1 lb)	38,7 mm a 23,9 kg (1,524 in a 52,7 lb)
Válvula abierta	31,0 mm a 61,2 kg (1,220 in a 134,9 lb)	30,2 mm a 58,5 kg (1,19 in a 129 lb)

FIGURA 2.5 ESPECIFICACIONES DE RESORTES

- *Árbol de los balancines y los balancines*

Se encontraban dentro de las especificaciones del fabricante.

- *Levantador de válvula y varilla de empuje*

Los parámetros (véase figura 2.6) se encontraron dentro de las especificaciones del fabricante.

	Standard mm (in)	Máxima mm (in)
Holgura entre el levantador de la válvula y el orificio del levantador	0,02 a 0,05 (0,0008 a 0,0020)	0,15 (0,0059)

**FIGURA 2.6 ESPECIFICACIONES DE LA HOLGURA ENTRE
EL LEVANTADOR DE LA VÁLVULA Y EL ORIFICIO DEL
LEVANTADOR**

- *Guía de válvulas*

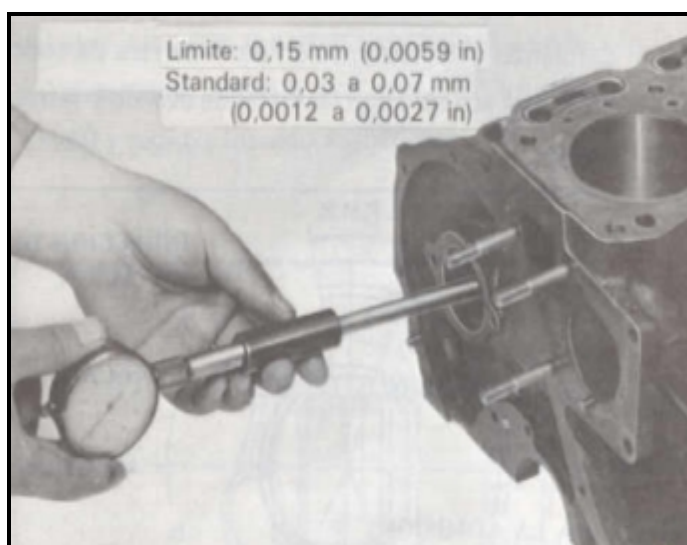
Los parámetros (figura 2.7) se encontraron dentro de las especificaciones del fabricante.

A10 y A12	Válvula de admisión	Válvula de escape
Holgura entre el vástago y la guía mm (in)	0,015 a 0,045 (0,0006 a 0,0018)	0,040 a 0,070 (0,0016 a 0,0028)
Tolerancia máxima de la holgura anterior mm (in)	0,1 (0,0039)	0,1 (0,0039)

**FIGURA 2.7 ESPECIFICACIONES DE HOLGURA ENTRE
VÁSTAGO DE VÁLVULA Y GUÍA DE VÁLVULA**

- *Holgura del cojinete del árbol de levas*

Se procedió a la comprobación de las medidas del diámetro interior del cojinete del árbol de levas y el diámetro exterior de muñón del árbol de levas, mostrado en la figura 2.8.



**FIGURA 2.8 COMPROBACIÓN DEL COJINETE DEL ÁRBOL
DE LEVAS**

La holgura del cojinete del árbol de levas (figura 2.9) se encontró dentro de las especificaciones del fabricante.

		Standard		Límite de desgaste
		A10	A12	
Holgura para el aceite	Primero	0,037 a 0,060 (0,0015 a 0,0024)	0,037 a 0,060 (0,0015 a 0,0024)	0,15 (0,0059)
	Segundo	0,037 a 0,060 (0,0015 a 0,0024)	0,027 a 0,050 (0,0011 a 0,0020)	
	Tercero	0,040 a 0,063 (0,0016 a 0,0025)	0,040 a 0,063 (0,0016 a 0,0025)	
	Cuarto	0,037 a 0,060 (0,0015 a 0,0024)	0,027 a 0,050 (0,0011 a 0,0020)	
	Quinto	0,037 a 0,060 (0,0015 a 0,0024)	0,037 a 0,060 (0,0015 a 0,0024)	
Diámetro interior del cojinete del árbol de levas mm (in)	Primero	43,833 a 43,843 (1,7257 a 1,7261)		
	Segundo	43,323 a 43,333 (1,7050 a 1,7060)		
	Tercero	42,836 a 42,846 (1,6865 a 1,6868)		
	Cuarto	42,323 a 42,333 (1,6663 a 1,6667)		
	Quinto	41,258 a 41,268 (1,6243 a 1,6247)		

FIGURA 2.9 ESPECIFICACIONES DE LAS HOLGURAS PARA EL ACEITE EN EL ÁRBOL DE LEVAS

- *Árbol de levas*

La deflexión del árbol de levas (figura 2.10) se encontró dentro de las especificaciones del fabricante (figura 2.11), así como también todas sus especificaciones de dimensiones.



FIGURA 2.10 COMPROBACIÓN DE LA DEFLEXIÓN DEL ÁRBOL DE LEVAS

	A10 y A12
Altura standard de la leva mm (in)	36,45 a 36,55 (1,435 a 1,439)
Límite de desgaste de la altura de la leva mm (in)	0,5 (0,0197)
Diferencia permisible en el desgaste máximo del diámetro y en las partes de desgaste mínimo del muñón del árbol de levas mm (in)	0,03 a 0,07 (0,0012 a 0,0028)
Tolerancia máxima del diámetro del muñón mm (in)	0,1 (0,0039)
Juego del extremo del árbol de levas mm (in)	0,02 a 0,08 (0,0008 a 0,0031)

FIGURA 2.11 ESPECIFICACIONES DEL ÁRBOL DE LEVAS

2.2.2 Evaluación y diagnóstico del bloque de cilindros

- *Inspección Visual*

No se encontraron fisuras en toda la superficie del cabezote.

- *Planicidad de la superficie del Bloque de Cilindros*

La planicidad del bloque de cilindros (figura 2.12) se encontró dentro de especificaciones del fabricante.



**FIGURA 2.12 COMPROBACIÓN DE LA SUPERFICIE DEL
BLOQUE DE CILINDROS**

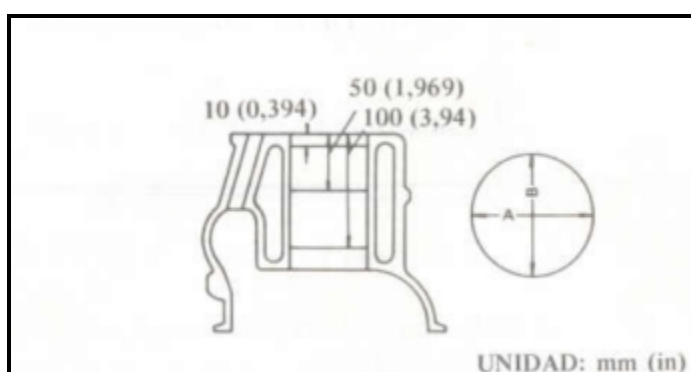
- *Calibre de los cilindros*

Se procedió a la medición del calibre de los cilindros (figura 2.13) para verificar si se encontraban excéntricos y desgastados con un comparador de diámetros internos. Se

siguieron los pasos y se comprobaron las especificaciones indicadas en el manual del fabricante (figura 2.14).



FIGURA 2.13 MEDICIÓN DEL CALIBRE DEL CILINDRO



**FIGURA 2.14 ESPECIFICACIONES DE LOS PUNTOS A MEDIR
DENTRO DEL BLOQUE DE CILINDROS**

A continuación se muestran los resultados obtenidos en la medición de las camisas.

TABLA 7
RESULTADOS DE MEDICIÓN DE LOS CILINDROS

Nº Cilindro	Diámetro interno de cilindros (mm)					
	Posición A			Posición B		
	Altura en la camisa (mm)			Altura en la camisa (mm)		
	10	50	100	10	50	100
1	75.058	75.060	75.052	75.042	75.058	75.066
2	75.060	75.062	75.068	75.058	75.060	75.066
3	75.062	75.062	75.060	75.060	75.060	75.052
4	75.044	75.046	75.036	75.030	75.040	75.046

Los valores obtenidos en las mediciones indican que el motor ya había sido rectificado en el tamaño del calibre de los cilindros.

El motor había estado trabajando con calibres de cilindros a sobre medida de 150 (1.5 mm mayor que la medida estándar) como se puede ver en las figuras 2.15 y 2.16. También se pudo verificar que algunos valores de los diámetros se encontraron muy cercanos a su límite de desgaste y otros ya se encontraban en el límite de desgaste.

	Standard	Límite de desgaste
Calibre del cilindro mm (in)	73,050 a 73,000 (2,8760 a 2,8740)	0,2 (0,0078)
Error en la conicidad elíptica del calibre del cilindro mm (in)		Menos de 0,015 (0,0006)
Diferencia del calibre del cilindro mm (in)		0,2 (0,0079)

FIGURA 2.15 ESPECIFICACIONES DEL CALIBRE DE LOS CILINDROS DEL MOTOR

Tamaño del pistón	Diámetro exterior (H) mm (in)
Standard	72,967 a 73,017 (2,8727 a 2,8747)
50 Sobretamaño	73,467 a 73,517 (2,8924 a 2,8994)
100 Sobretamaño	73,967 a 74,017 (2,9121 a 2,9140)
150 Sobretamaño	74,467 a 74,517 (2,9318 a 2,9337)

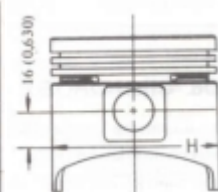


FIGURA 2.16 ESPECIFICACIONES DE LOS DIAMETROS DE LOS PISTONES

Con los resultados de medición se decidió realizar el procedimiento de encamisado de los cilindros del motor para rectificarlo y dejarlo a valores estándares de calibre de cilindros.

Al dejar los cilindros con valores de calibre estándar, se reemplazo los pistones de diámetros con 150 de sobre tamaño por pistones con diámetros estándar (véase figura 2.16)

- *Árbol de Cigüeñal*

Se comprobó el estado de los moñones de bancada y biela verificando grietas, desgastes cónicos o ralladuras. Las especificaciones se muestran en las figuras. 2.17 y 2.18

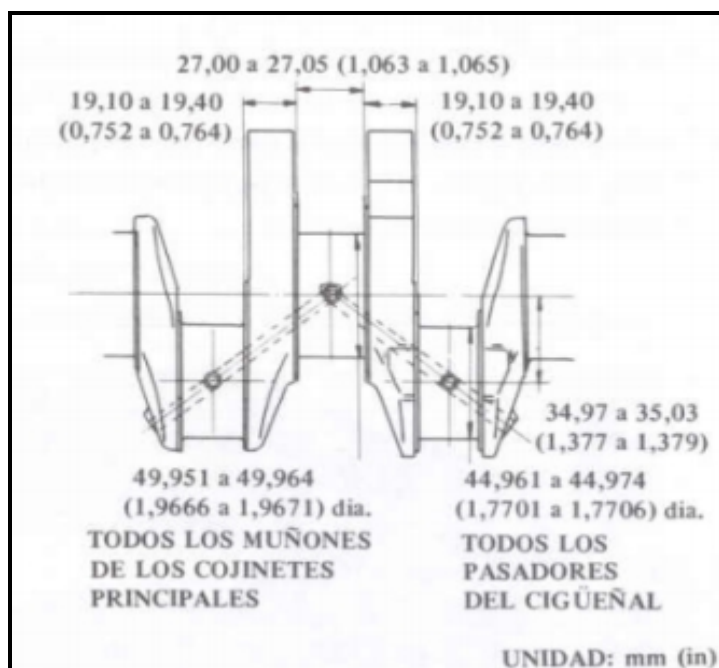


FIGURA 2.17 ESPECIFICACIONES DE LAS DIMENSIONES DEL ÁRBOL DE CIGÜEÑAL

A10 y A12	Standard	Máximo
Conicidad y excentricidad del muñón del cigüeñal y pasador del cigüeñal mm (in)	0,01 (0,0004)	0,03 (0,0012)

FIGURA 2.18 ESPECIFICACIONES DE CONICIDAD Y EXCENTRICIDAD DE LOS MUÑONES DEL ÁRBOL DEL CIGÜEÑAL

Las mediciones que se realizaron en los muñones de bancada y biela estuvieron dentro de los valores estándares

del fabricante, lo que evidencia que el cigüeñal no había sido rectificado anteriormente.

También se realizó el procedimiento de verificación de deflexión del cigüeñal (ver especificaciones en las figuras 2.19 y 2.20).



FIGURA 2.19 COMPROBACIÓN DEL DE LA DEFLEXIÓN DEL ÁRBOL DEL CIGÜEÑAL

A10 y A12	Standard	Máximo
Abarquillamiento del árbol del cigüeñal mm (in)	0,015 (0,0006)	0,05 (0,0020)

FIGURA 2.20 ESPECIFICACIONES DE LA DEFLEXIÓN DEL ÁRBOL DEL CIGÜEÑAL

El cigüeñal se encuentra dentro de las especificaciones del fabricante.

- *Cojinetes de bancada y biela*

Se decidió reemplazar todos los cojinetes de biela y bancadas por repuestos nuevos, para mantener los valores óptimos de presión de aceite y así asegurar la lubricación correcta de todos los componentes internos.

2.3 Armado y puesta a punto del motor según especificaciones del fabricante Nissan Motor CO., LTD.

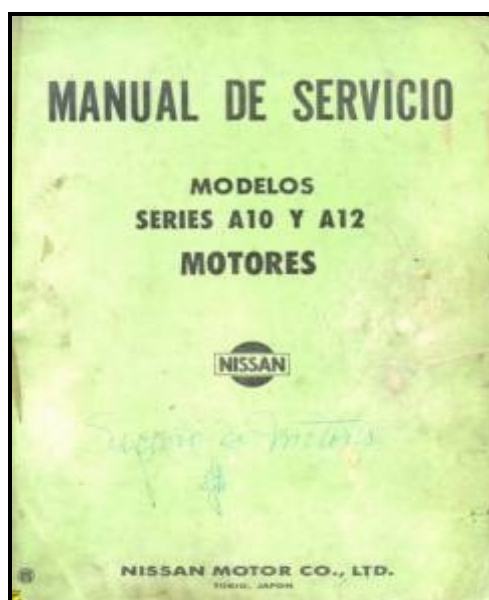
Para el armado del motor se tomaron las siguientes precauciones:

- Se utilizaron los componentes completamente limpios. Se tuvo la precaución de que los orificios para el aceite de lubricación estén sin materiales extraños.
- Cuando se instaló las partes deslizantes tales como cojinetes, se aplicó una fina capa de aceite en su superficie cóncava.
- Se utilizaron nuevas empaquetaduras y sellos de aceites.
- Se mantuvieron las herramientas y los bancos de trabajos limpios.

- Se mantuvieron las partes necesarias y las herramientas a mano.
- Se siguieron los procedimientos indicados en el manual del fabricante, así como el par de ajuste especificado.

2.3.1 Armado de motor

En el armado del motor se siguieron todos los pasos indicados en los procedimientos que se encuentran en el manual de servicio del fabricante (véase figura 2.21), así como el par de apriete especificado.



**FIGURA 2.21 MANUAL DE SERVICIO NISSAN – MODELO
DE MOTOR A10 Y A12**

Una vez armado el 7/8 del motor (sin la parte eléctrica), se procedió con la instalación del motor en el banco de pruebas dinamométrico.

2.3.2 Puesta a punto del motor

Para garantizar el óptimo funcionamiento del motor se realizaron las siguientes actividades previas a la puesta a punto:

1. Instalación de batería de 12V.
2. Reemplazo de bobina de encendido.
3. Reemplazo de cables de alimentación hacia el distribuidor.
4. Reemplazo de platina y condenso (presentado en la sección 2.1.2).
5. Reemplazo de cables de bujías.
6. Reemplazo bujías de encendido.
7. Reemplazo de regulador de voltaje (Sistema de carga).
8. Reemplazo de banda de alternador.
9. Mantenimiento al motor de arranque, el mismo que quedó operativo.

10. Mantenimiento al alternador, el mismo que quedó operativo.
11. Reemplazo del cableado eléctrico.
12. Reemplazo de carburador.
13. Reemplazo de filtro de combustible.
14. Reemplazo de bayoneta para el nivel de aceite del motor.
15. Reposición tapa de llenado del nivel de aceite del motor.
16. Reemplazo de filtro de aceite de motor.
17. Reemplazo de aceite de motor 20W50 (2.7 Litros).

La puesta a punto de un motor de combustión interna consiste en una prueba de la batería, limpieza, reajuste de la separación o recambio de las bujías de encendido y puntas del distribuidor, ángulo de reposo del distribuidor, regulación de encendido, mezcla de vacío del carburador y ajuste de la velocidad sin carga en caliente, además de las inspecciones de encendido, compresión de cilindro, sistema eléctrico, carburador y finalmente una prueba sin carga a varias velocidades del motor para asegurar un funcionamiento libre de averías.

Procedimientos realizados según el manual del fabricante:

- Prueba de compresión de cilindro (12.7 kg/cm^2 a 350 RPM)
- Ajuste de la regulación de encendido.
 - Separación de las puntas de la platina (0.45 a 0.55 mm)
 - Ajuste de vacío en el carburador (velocidad de motor aproximadamente 600 RPM)
 - Ángulo de avance del tiempo de encendido del cigüeñal (7° a 600 RPM)
 - Velocidad del motor sin carga (700 RPM)

Después de haber realizado la puesta a punto se efectuó la prueba de funcionamiento sin carga, variando la velocidad del motor por aproximadamente 60 minutos.

El Motor NISSAN A12 quedó calibrado de la siguiente forma:

- Siete grados de ángulo de avance del tiempo de encendido.
- Velocidad baja en vacío a 700 RPM (ralentí).
- Presión de aceite de aproximadamente 60 PSI.
- Temperatura de motor 85°C .
- Batería 12.7 V.
- Sistema de carga aproximadamente a 14 V.

CAPÍTULO 3

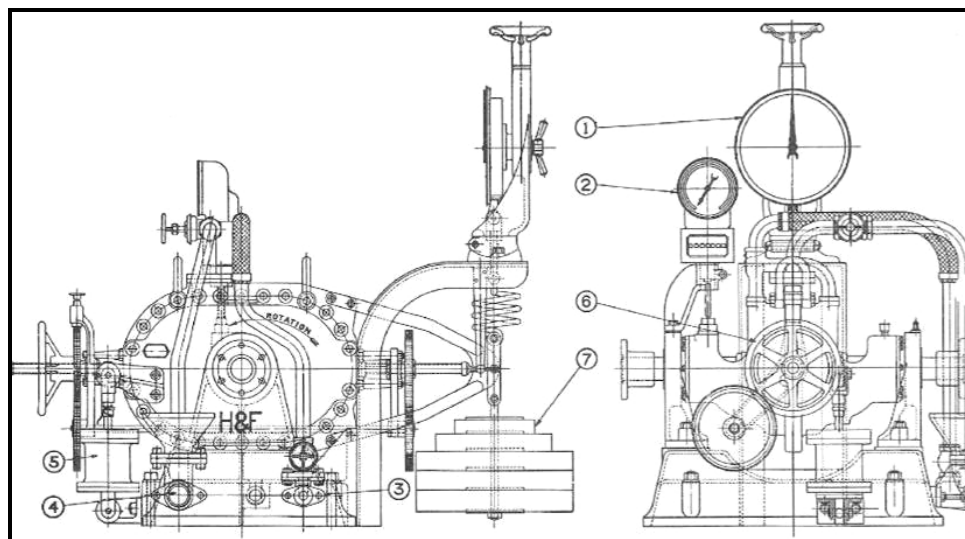
3 EQUIPOS UTILIZADOS EN PRUEBAS DINAMOMÉTRICAS

Para realizar las pruebas de estudio se seleccionó equipos que se encontraban disponibles en las instalaciones de la Escuela Superior Politécnica del Litoral. Los equipos seleccionados son los siguientes:

- Dinamómetro Hidráulico Froude.
- Analizador de Gases de Combustión NGA 6000.

3.1 Dinamómetro hidráulico Froude

En la figura 3.1 aparece un dibujo en corte seccional típico a través del Dinamómetro Hidráulico Froude.



**FIGURA 3.1 ARREGLO GENERAL DEL DINAMOMETRO
HIDRÁULICO FROUDE**

1. Indicador de par de torsión
2. Tacómetro
3. Entrada de agua
4. Salida de agua
5. Amortiguador
6. Control de carga
7. Balanza de pesas

El árbol principal esta soportado por cojinetes fijos en la cubierta (no en soportes externos). La cubierta a su vez es soportada por muñones anti-fricción de manera que es libre de girar sobre el

mismo eje que el árbol principal. Cuando se realizó una prueba, el motor estuvo acoplado directamente al árbol principal para transmitir la potencia a un rotor que gira en el interior de la cubierta, a través de la cual se hace circular agua para proporcionar la resistencia hidráulica y, simultáneamente, para llevarse el calor desarrollado por la fricción generada.

En cada cara del rotor se forman cavidades llenas de agua de semi-sección transversal elíptica divididas por medio de álabes oblicuos. Las caras internas de la cubierta son provistas de revestimiento las cuales están llenas de agua de la misma manera. Por lo tanto, la cavidad llena de agua dentro de los rotores y los revestimientos forman juntos unos receptáculos elípticos alrededor del cual el agua cursa a alta velocidad.

La resistencia ofrecida por el agua al movimiento del rotor re-actúa sobre la cubierta que tiende a girar sobre su soporte de rodillo anti-fricción. Esta tendencia se contrarrestada por medio de un brazo de palanca que termina en un dispositivo de peso que mide el par de torsión.

De la descripción anterior se verá que las fuerzas que resisten la rotación del eje del dinamómetro se pueden dividir en 2 clases principales.

- La resistencia hidráulica creada por el rotor.
- Las fricciones de los cojinetes del eje, que son por lo general del tipo de bola.

Se observó que cada una de estas fuerzas reacciona sobre la cubierta, que es libre para girar sobre muñones anti-fricción que transmite el conjunto de las fuerzas en el aparato de pesaje.

Así, cada fuerza de resistencia de rotación del árbol de cigüeñal del motor hace que reaccione sobre el aparato de pesaje. Esto garantiza la exactitud científica.

Instrucciones de Trabajo Pre-operacional

Equilibrio estático

Antes de comenzar una prueba, el dinamómetro se debe comprobar para asegurarse de que el equilibrio estático es correcto.

El procedimiento es el siguiente:

1. Desacoplar del dinamómetro del motor.
2. Regular las válvulas de manera que el agua pasa a través del dinamómetro como en condiciones normales.
3. Liberar el amortiguador soltando la tuerca espiral inferior.
4. Retirar todos los pesos de equilibrio libres del perno del soporte colgante debajo del resorte de equilibrio, dejando el peso estático fijo en su lugar.
5. Ajustar el volante de mano en la estructura de equilibrio de modo que los centros de los brazos estén horizontales: esto es facilitado por un puntero pequeño.
6. Ajustar el puntero en la balanza de resorte para registrar cero. Para facilitar el ajuste de las pequeñas discrepancias el puntero está ranurado y provisto de un tornillo de fijación. El dinamómetro está listo para trabajar, y pueden reacoplarse al motor después de que éste ha sido cuidadosamente alineado con el eje del dinamómetro.
7. Para asegurarse de que la balanza de resorte está llevando todo el peso, del peso estático, etc., después de que los procesos anteriores se han llevado a cabo, se debe levantar y bajar a mano el brazo de equilibrio. La aguja debe establecerse a cero, y debería ser posible mover el puntero

unos pocos grados para el lado negativo de la marca cero sin causar rigidez o agarrotamiento.

8. Empujar hacia abajo en la captura de la tuerca espiral inferior del amortiguador. (Hacer el ajuste final cuando esté trabajando mediante el ajuste de la tuerca espiral superior).

Balanza de resorte

En los casos en que la balanza de resorte no registra la carga suficiente para probar los motores más potentes, pesos de equilibrios adicionales son suministrados para incrementar la carga sobre el brazo de la balanza. Estos están marcados con figuras que representan el peso correcto que hay que añadir a la carga registrada en la balanza de resorte. La suma representa el peso w .

Puesta en Marcha

Abrir la válvula de entrada completamente y la válvula de salida muy ligeramente. Es aconsejable en la mayoría de los casos que se inicie con una carga ligera, y esto se puede lograr mediante el movimiento de las compuertas tan lejos como puedan llegar. El motor ahora puede empezar. Todas las válvulas de la tubería entre las fuentes de suministro de agua y la entrada del dinamómetro deben estar completamente abiertas.

Regulación de carga

Abrir las compuertas de descarga por medio del volante, operando simultáneamente el acelerador del motor, hasta que la carga deseada y la velocidad se obtengan. Ajustar la válvula de salida para pasar el flujo de agua suficiente para mantener la temperatura a una cifra razonable de 140 ° F (60 ° C) esta cifra es general cuando se utiliza agua de la red.

Posición del brazo

Un volante es provisto en la parte superior de la estructura de la balanza para ajustar la altura del brazo de equilibrio, esto siempre deberá ser regulado horizontalmente para tomar lecturas de potencia en b.h.p.

Cálculo de potencia bhp

La longitud del brazo de equilibrio es tal que una fórmula muy conveniente se utiliza para calcular la potencia en bhp.

Si w = Peso neto levantada por el dinamómetro (véase "Balance de Resorte").

N = Velocidad en revoluciones por minuto.

K = Una constante, el valor que está grabado sobre el nombre de la caratula.

Entonces:

$$\text{bhp} = (w \times N) / K \quad (8)$$

3.1.1 Procedimiento para la obtención de las curvas de rendimiento de un motor de combustión interna

Para el uso del banco dinamométrico fue necesario realizar readecuaciones, debido a que varios componentes se encontraron fuera de servicio. Se realizaron las siguientes instalaciones:

- Un nuevo tablero de control.
- Un medidor del nivel de combustible.
- Una nueva pipeta para el control del consumo de combustible.
- Un tacómetro.
- Un medidor de temperatura de motor
- Un medidor de presión de aceite
- Una luz testigo para el sistema de arranque y carga
- Una nueva manguera de conexión entre la caja de aire y el carburador.
- Engrasado de los puntos de lubricación del grupo dinamométrico.

Se trabajó el motor con el acelerador abierto a varias velocidades del motor (RPM) y se registró el par de rotación, la diferencia de presión del aire admisión y el flujo de combustible. A partir de estos datos se logró calcular la potencia, la relación de aire-combustible, el rendimiento volumétrico, el rendimiento térmico, el consumo específico de combustible y la presión media efectiva al freno. Se trazó la gráfica de cada una de estas características del motor y se analizó los resultados.

Antes de arrancar el motor debe repasar la revisión de las *Instrucciones de Trabajo Preoperacional del Banco Dinamométrico*.

Paso 1:

- a) Colocar el volante de control de carga al mínimo (girando el volante de control de carga hasta el tope en el sentido contrario a las manecillas del reloj).

- b) Arrancar el motor y deje el ajuste del acelerador al mínimo por unos 5 minutos para que alcance su temperatura de operación.

Paso 2:

- a) Aumentar lentamente la apertura del acelerador hasta que alcance una velocidad de 4000 RPM.
- b) Aumentar la carga al grado necesario en el banco dinamométrico para mantener la velocidad del motor a 3000 RPM.
- c) Recuperar la velocidad del motor al valor de 4000 RPM aumentando lentamente la apertura del acelerador.
- d) Repetir los pasos desde 2.b hasta 2.c una vez más. Así se obtiene una apertura del acelerador de aproximadamente del 65%.
- e) Registrar los valores del par de rotación, la lectura del manómetro y el tiempo en que se tarda en consumirse 10 ml de combustible para 4000 RPM.
- f) Calcular el flujo de combustible para 4000 RPM.

$$\dot{m} = \rho_c \times \frac{V}{t} \quad (9)$$

- g) Calcular la potencia del motor para 4000 RPM.

$$bhp = \frac{T \times N}{9549.35} \quad (10)$$

h) Calcular la presión media efectiva al freno a 4000 RPM.

$$b_{mep} = \frac{126,0504 \times T}{D} \quad (11)$$

i) Calcular el consume específico de combustible a 4000 RPM.

$$C_{ec} = \frac{3,6 \times m}{bhp} \quad (12)$$

j) Calcular el rendimiento térmico a 4000 RPM.

$$\eta_t = \frac{3549,239}{C_{ec} \times Q} \times 100\% \quad (13)$$

k) Calcular la relación aire-combustible a 4000 RPM.

$$AF = \frac{6,693675 \times p_c \times \sqrt{\Delta P}}{m} \quad (14)$$

l) Calcular el rendimiento volumétrico a 4000 RPM.

$$\eta_v = \frac{479655,795 \times \sqrt{\Delta P}}{D \times N} \times 100\% \quad (15)$$

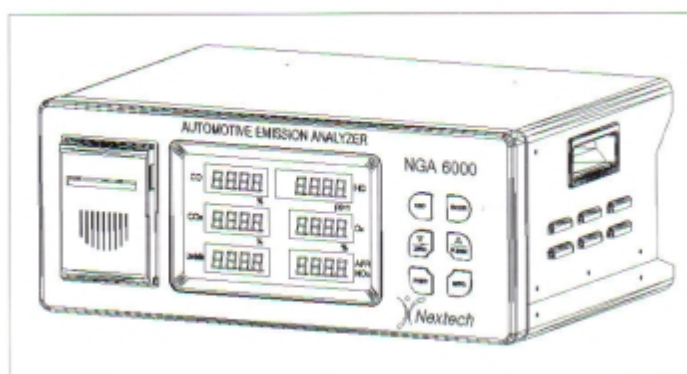
m) Anotar los valores calculados desde (f) hasta (l) en lo correspondiente a 4000 RPM para el análisis del motor.

Paso 3:

a) Utilizar el volante de control de carga (sin mover la apertura del acelerador), ajustar la velocidad del motor sucesivamente a intervalos de aproximadamente 400 RPM hasta llegar a una valor de velocidad de motor de 800 RPM.

- b) Registrar el valor de par de rotación, la lectura del manómetro y el tiempo en que se tarda en consumirse 10 ml de combustible para cada velocidad del motor.
- c) Cuando se haya completado los datos correspondientes a 800 RPM, retirar la carga, reducir la apertura del acelerador hasta la marcha mínima y parar el motor.
- d) Calcule la potencia, potencia media efectiva al freno, consumo específico de combustible, eficiencia térmica, relación aire-combustible y eficiencia volumétrica.
- e) Trazar las curvas de rendimiento con los valores calculados para cada valor de RPM.
- f) Comparar las curvas de rendimientos para los diferentes tipos de combustibles.

3.2 Analizador de concentración de gases de combustión



**FIGURA 3.2 ANALIZADOR DE GASES DE COMBUSTIÓN NGA
6000**

Este analizador, mostrado en la figura 3.2, está configurado para realizar una medición aplicando un método infra-rojo no dispersivo (NDIR) para analizar la presencia de CO, HC y CO₂, y el método electroquímico para analizar O₂ y NO_x.

En el método de análisis NDIR cuyo diagrama se presenta en la figura 3.3, una rampa destellante que emite los rayos infrarrojos es montada a un extremo de la celda de prueba y en el otro extremo es montado un sensor de detección; de tal forma que detecte el componente de un gas y luego calcule la densidad de ese gas.

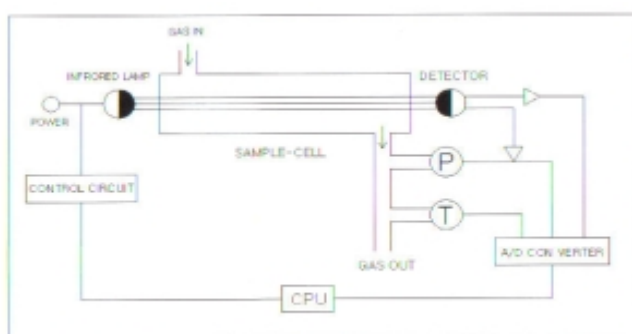


FIGURA 3.3 DIAGRAMA DEL MÉTODO NDIR

El método electroquímico (véase la figura 3.4) mide la densidad del gas usando la cantidad de electrones producidos en el momento de oxidación y reduciendo la reacción del gas.

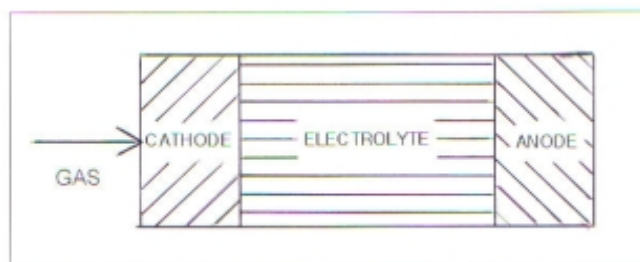


FIGURA 3.4 DIAGRAMA DEL MÉTODO ELECTROMECAÁNICO

A continuación, en la tabla 8, se presenta las características técnicas del equipo analizador de gases de combustión.

TABLA 8

ESPECIFICACIONES GENERALES DEL ANALIZADOR DE GASES DE

COMBUSTIÓN NGA 6000

NGA 6000				
Artículos a medir	CO, HC, CO2, O2, NOx (opcional)			
Método de medición	CO, HC, CO2: Método NDIR O2, NOx: Célula electromagnética			
Alcance de medida	CO	0.00 ~ 9.99%	HC	0 ~ 9999 PPM
Resolución		0.01%		1 PPM
Muestra		4 dígitos 7 segmentos LED		4 dígitos 7 segmentos LED
Alcance de medida	CO2	0.00 ~ 20.0%	O2	0.00 ~ 25%
Resolución		0.10%		0.01%
Muestra		4 dígitos 7 segmentos LED		4 dígitos 7 segmentos LED
Alcance de medida	NOx (Opcional)	0 - 5000 PPM		
Resolución		1 PPM		
Muestra		4 dígitos 7 segmentos LED		
Tiempo de respuesta	Dentro de 10 segundos (más del 90%)			
tiempo de calentamiento	Cerca de 2 ~ 8 minutos			
Cantidad recolectada de prueba	4 ~ 6 Litros / minutos			
Energía	220V AC o 110V AC + / - 10% 50 o 60 Hz			
Consumo de energía	Cerca de 50 Watios			
Temperatura de operación	0° ~ 40°			
Dimensiones	420 (ancho) x 298 (D) x 180 (alto) mm.			
Peso	Cerca de 6.9 Kg			
Accesorios básicos	Examinador, manguera examinadora, EXTRA fusible, tapa de prueba de combustión, EXTRA filtro, manual de operación, cordón de energía, cable de tierra. RS232, cable de comunicación, impresora, papel de impresión			

3.2.1 Procedimiento de medición de concentración de gases de combustión

1. Insertar el extremo de la manguera en el examinador y el otro extremo de la manguera en la entrada del gas, en la parte posterior del analizador. Si la colocación no es buena y el aire de afuera ingresa, puede resultar un valor incorrecto de medición. Por lo tanto, se debe verificar cuidadosamente la condición de la instalación antes de usar el equipo, (véase figuras. 3.5 y 3.6).

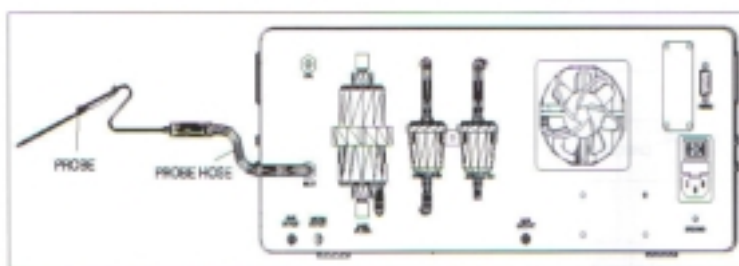


FIGURA 3.5 VISTA POSTERIOR DEL ANALIZADOR DE GASES DE ESPCAPE

2. Apagar el equipo y luego conecte el cable de energía al enchufe localizado en la parte posterior del analizador.
3. Verificar las condiciones de encaje del filtro del examinador de medida y de varios filtros localizados en la parte posterior del analizador.

4. Verificar una vez más el estado de la conexión del analizador y luego enciéndalo.
5. Conectar el cable a TIERRA en la parte posterior del analizador.

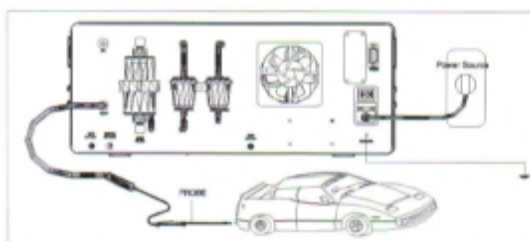


FIGURA 3.6 INSTALACIÓN DEL EQUIPO ANALIZADOR DE GASES DE COMBUSTIÓN

Los siguientes factores deberán ser considerados para ubicar apropiadamente el equipo analizador:

- Instalar en un lugar sin rayos de luz directos, humedad, vibración y cambios de temperatura abruptos.
- Instalar en un lugar interno donde no pueda circular el gas emitido.
- Instalar a una altura mayor que 25 cm. del piso.
- El analizador no debe ser movido durante su funcionamiento; puede causar errores en el valor de la medición.

- El examinador debe ser ubicado en un lugar donde no sea afectado por el viento.
- El examinador puede estar tan caliente durante su funcionamiento que se debe tener cuidado al manipularlo para no sufrir quemaduras.

3.3 Adaptación y conexión del motor Nissan A12 al banco dinamométrico

Una vez armado el 7/8 del motor (sin la parte eléctrica), se procedió con la instalación del motor en el banco dinamométrico.

Debido a la similitud en características técnicas y de dimensiones entre el motor Ford que estaba instalado en el banco dinamométrico anteriormente con el motor NISSAN A12, en sus valores de cilindrada y potencia, además de tener el este ultimo un menor peso, se utilizó prácticamente las mismas bases que se encontraban con el motor Ford.

Para acoplar el motor NISSAN A12 con el dinamómetro se siguió todos los procedimientos y especificaciones de alineación de acoplamientos flexibles de láminas “Lamindisc” (véase figura 3.19).



**FIGURA 3.7 MANUAL DE PROCEDIMIENTOS Y
ESPECIFICACIONES DE ALINEACIÓN DE ACOPLAMIENTOS
FLEXIBLES DE LÁMINAS DEL FABRICANTE JAURE**

CAPÍTULO 4

4 PRUEBAS EN BANCO DINAMOMÉTRICO CON ANÁLISIS DE CONCENTRACIÓN DE LOS GASES DE COMBUSTIÓN

En la obtención de los datos experimentales de cada prueba dinamométrica se realizaron procedimientos manuales (mecánicos), en los cuales se registraban por observación de los instrumentos de medición los siguientes valores:

- **Revoluciones por minuto = N (RPM)**
- **Par de rotación = T (N.m)**
- **Diferencia de presión del aire admisión = ΔP (mmH₂O)**

Para cada intervalo de RPM se cronometró 3 valores de tiempo en que tardaba el motor en consumir 10 ml de combustible. Se procedió a

obtener un promedio del tiempo. Con el valor promedio del tiempo, en conjunto con la densidad de los combustibles (calculada previamente de forma experimental) y el volumen de 10 ml, se calculo lo siguiente:

- **Flujo de combustible = $\dot{m}$ (gr/s);**

Para los diferentes valores de RPM del motor.

$$\dot{m} = \rho_c \times \frac{V}{t_{promedio}} \quad (16)$$

Donde:

$$\rho_c = \text{densidad de combustible} \left(\frac{gr}{ml} \right)$$

$$V = \text{volumen} = 10ml$$

$$t_{promedio} = \text{tiempo promedio (s)}$$

Las densidades de los combustibles son aproximadamente iguales:

$$\rho_c EXTRA = \rho_c E5 = \rho_c E10 = 0.734 \frac{gr}{ml}$$

Durante las pruebas dinamométricas que se realizaron previamente para verificar el funcionamiento del dinamómetro en conjunto con el motor NISSAN A12, se pudo evidenciar que al momento de incrementar la carga es muy difícil obtener valores exactos de RPM entre pruebas dinamométricas completas. Esto podría presentar dificultades al

momento de realizar un estudio comparativo entre combustibles (EXTRA, E5 y E10).

Para reducir al mínimo los errores que se puedan presentar en los resultados finales por lo mencionado en el párrafo anterior, se decidió realizar 3 pruebas dinamométricas completas para cada tipo de combustible (EXTRA, E5 Y E10).

Los resultados obtenidos en las diferentes pruebas dinamométricas realizadas para el estudio actual, con sus respectivos análisis de gases de combustión, se presentan en las tablas 9 a 17.

TABLA 9
DATOS DE PRUEBA DINAMOMÉTRICA N°1 CON COMBUSTIBLE
EXTRA

EXTRA 1								
RPM	800	1200	1600	2000	2400	2800	3250	4000
T (N.m)	51.00	53.00	54.50	53.00	52.00	50.00	46.00	35.00
ΔP (mm H ₂ O)	2.50	5.00	8.00	11.50	14.00	16.50	18.50	21.50
t1 (s.)	12.10	8.70	6.30	5.60	5.70	5.30	4.70	4.40
t2 (s)	12.40	8.60	6.20	5.70	5.70	5.20	4.70	4.30
t3 (s.)	12.30	8.70	6.30	5.70	5.60	5.20	4.80	4.30
t promedio (s.)	12.27	8.67	6.27	5.67	5.67	5.23	4.73	4.33
ṁ (gr/s)	0.60	0.85	1.17	1.30	1.30	1.40	1.55	1.69

EXTRA 1	
Emission Analyzer	
CO (%)	3.28
HC (PPM)	207.86
CO ₂ (%)	13.18
O ₂ (%)	0.22
NOX (PPM)	39.429

TABLA 10
DATOS DE PRUEBA DINAMOMÉTRICA N°2 CON COMBUSTIBLE
EXTRA

EXTRA 2										EXTRA 2	
RPM	800	1250	1650	2000	2400	2700	3000	3650	4000	Emission Analyzer	
T (N.m)	49.00	54.00	54.50	54.00	52.00	49.50	47.00	40.00	35.00	CO (%)	2.99
ΔP (mm H2O)	2.50	5.00	8.50	11.50	14.00	16.00	17.50	21.00	22.50	HC (PPM)	202.86
t1 (s.)	12.10	8.70	6.60	5.90	5.90	5.50	5.10	4.50	4.20	CO2 (%)	13.08
t2 (s.)	12.80	9.00	6.70	6.10	5.80	5.60	5.30	4.60	4.20	O2 (%)	0.20
t3 (s.)	12.70	8.90	6.60	6.20	5.90	5.70	5.30	4.50	4.30	NOX (PPM)	36.57
t promedio (s.)	12.53	8.87	6.63	6.07	5.87	5.60	5.23	4.53	4.23		
ṁ (gr/s)	0.59	0.83	1.11	1.21	1.25	1.31	1.40	1.62	1.73		

TABLA 11
DATOS DE PRUEBA DINAMOMÉTRICA N°3 CON COMBUSTIBLE
EXTRA

EXTRA 3									EXTRA 3	
RPM	800	1250	1600	2000	2600	2850	3450	4000	Emission Analyzer	
T (N.m)	50.00	53.50	54.00	53.50	50.00	49.00	43.00	35.00	CO (%)	3.39
ΔP (mm H2O)	2.50	5.50	8.50	12.00	15.00	17.00	20.00	22.00	HC (PPM)	223.86
t1 (s.)	12.10	8.70	6.45	5.75	5.40	4.90	4.50	4.30	CO2 (%)	12.98
t2 (s.)	12.60	8.80	6.45	5.90	5.40	5.00	4.60	4.25	O2 (%)	0.22
t3 (s.)	12.50	8.80	6.45	5.95	5.45	5.05	4.50	4.30	NOX (PPM)	40.20
t promedio (s.)	12.40	8.77	6.45	5.87	5.42	4.98	4.53	4.28		
ṁ (gr/s)	0.59	0.84	1.14	1.25	1.36	1.47	1.62	1.71		

TABLA 12
DATOS DE PRUEBA DINAMOMÉTRICA N°1 CON COMBUSTIBLE E5

E5 1										E5 1	
RPM	800	1250	1600	2050	2450	2700	3000	3600	4000	Emission Analyzer	
T (N.m)	52.50	54.00	54.50	53.50	50.00	48.50	45.50	41.00	40.00	CO (%)	2.58
ΔP (mm H2O)	2.50	5.50	8.00	11.50	14.50	16.00	17.50	21.00	22.50	HC (PPM)	105.71
t1 (s.)	13.10	9.80	7.20	6.30	6.30	5.90	5.70	4.80	4.60	CO2 (%)	13.96
t2 (s.)	13.00	9.40	7.20	6.40	6.40	6.10	5.80	4.60	4.60	O2 (%)	0.30
t3 (s.)	13.10	9.70	7.40	6.70	6.60	5.90	5.70	4.80	4.70	NOX (PPM)	85.71
t promedio (s.)	13.07	9.63	7.27	6.47	6.43	5.97	5.73	4.73	4.63		
ṁ (gr/s)	0.56	0.76	1.01	1.14	1.14	1.23	1.28	1.55	1.58		

TABLA 13
DATOS DE PRUEBA DINAMOMÉTRICA N°2 CON COMBUSTIBLE E5

E5 2										E5 2	
RPM	800	1200	1600	2000	2400	2750	3000	3650	4000	Emission Analyzer	
T (N.m)	52.50	55.00	56.00	54.50	51.00	48.00	46.00	44.00	37.00	CO (%)	2.19
ΔP (mm H2O)	3.00	5.00	8.00	11.00	14.00	16.00	17.50	19.50	22.00	HC (PPM)	100.71
t1 (s.)	12.90	9.20	7.90	6.80	6.30	6.10	5.60	5.10	4.60	CO2 (%)	14.01
t2 (s.)	13.10	9.10	8.10	6.90	6.40	6.20	5.80	5.10	4.70	O2 (%)	0.28
t3 (s.)	13.00	9.50	8.30	6.80	6.50	6.20	5.70	5.20	4.70	NOX (PPM)	83.50
t promedio (s.)	13.00	9.27	8.10	6.83	6.40	6.17	5.70	5.13	4.67		
$\dot{m}$ (gr/s)	0.56	0.79	0.91	1.07	1.15	1.19	1.29	1.43	1.57		

TABLA 14
DATOS DE PRUEBA DINAMOMÉTRICA N°3 CON COMBUSTIBLE E5

E5 3										E5 3	
RPM	800	1200	1600	2000	2400	2800	3200	3600	4000	Emission Analyzer	
T (N.m)	52.50	54.00	55.00	54.00	51.00	47.00	45.50	43.00	39.00	CO (%)	3.06
ΔP (mm H2O)	3.00	5.00	8.00	11.00	14.00	16.00	17.50	20.00	22.00	HC (PPM)	108.71
t1 (s.)	13.00	9.50	7.55	6.55	6.30	6.00	5.65	4.95	4.60	CO2 (%)	14.01
t2 (s.)	13.05	9.25	7.65	6.65	6.40	6.15	5.80	4.85	4.65	O2 (%)	0.31
t3 (s.)	13.05	9.60	7.85	6.75	6.55	6.05	5.70	5.00	4.70	NOX (PPM)	88.23
t promedio (s.)	13.03	9.45	7.68	6.65	6.42	6.07	5.72	4.93	4.65		
$\dot{m}$ (gr/s)	0.56	0.78	0.96	1.10	1.14	1.21	1.28	1.49	1.58		

TABLA 15
DATOS DE PRUEBA DINAMOMÉTRICA N°1 CON COMBUSTIBLE E10

E10 1										E10 1	
RPM	800	1200	1650	2000	2400	2800	3000	3550	4000	Emission Analyzer	
T (N.m)	56.00	58.00	57.50	56.50	52.00	49.00	45.50	41.00	37.00	CO (%)	2.26
ΔP (mm H2O)	2.50	5.00	8.00	10.00	13.50	16.00	17.00	19.50	21.00	HC (PPM)	66.43
t1 (s.)	13.50	9.80	7.20	6.70	6.40	6.10	5.80	5.30	4.70	CO2 (%)	14.63
t2 (s.)	13.20	9.60	7.40	6.70	6.70	5.70	5.70	5.20	4.60	O2 (%)	0.36
t3 (s.)	13.30	9.80	7.40	6.80	6.50	6.00	5.70	5.20	4.50	NOX (PPM)	113.86
t promedio (s.)	13.33	9.73	7.33	6.73	6.53	5.93	5.73	5.23	4.60		
$\dot{m}$ (gr/s)	0.55	0.75	1.00	1.09	1.12	1.24	1.28	1.40	1.60		

TABLA 16

DATOS DE PRUEBA DINAMOMÉTRICA N°2 CON COMBUSTIBLE E10

E10 2									E10 2	
RPM	800	1150	1600	2000	2450	2800	3000	4000	Emission Analyzer	
T (N.m)	55.00	57.00	56.50	56.00	51.50	47.50	44.00	36.00		
ΔP (mm H2O)	3.00	5.00	8.00	12.00	15.50	17.50	19.50	25.50		
t1 (s.)	13.20	9.40	7.10	5.80	5.80	5.50	5.20	4.40	CO (%)	2.51
t2 (s.)	14.00	9.50	7.20	6.00	5.70	5.50	5.40	4.20	HC (PPM)	66.43
t3 (s.)	13.90	9.50	7.30	5.80	5.80	5.60	5.70	4.30	CO2 (%)	15.23
t promedio (s.)	13.70	9.47	7.20	5.87	5.77	5.53	5.43	4.30	O2 (%)	0.40
$\dot{m}$ (gr/s)	0.54	0.78	1.02	1.25	1.27	1.33	1.35	1.71	NOX (PPM)	120.20

TABLA 17

DATOS DE PRUEBA DINAMOMÉTRICA N°3 CON COMBUSTIBLE E10

E10 3										E10 3	
RPM	800	1200	1600	2000	2400	2800	3200	3600	4000	Emission Analyzer	
T (N.m)	54.50	57.50	56.00	56.00	52.00	46.00	44.50	41.00	37.00		
ΔP (mm H2O)	3.00	5.00	8.00	11.00	14.50	17.00	18.00	19.50	23.00		
t1 (s.)	13.35	9.60	7.15	6.25	6.10	5.80	5.50	5.30	4.55	CO (%)	2.28
t2 (s.)	13.60	9.55	7.30	6.35	6.20	5.60	5.55	5.20	4.40	HC (PPM)	66.43
t3 (s.)	13.60	9.65	7.35	6.30	6.15	5.80	5.70	5.20	4.40	CO2 (%)	14.63
t promedio (s.)	13.52	9.60	7.27	6.30	6.15	5.73	5.58	5.23	4.45	O2 (%)	0.36
$\dot{m}$ (gr/s)	0.54	0.76	1.01	1.17	1.19	1.28	1.31	1.40	1.65	NOX (PPM)	112.50

Por cada tipo de combustible se obtuvo:

- curvas experimentales de T vs RPM,
- curvas experimentales de $\dot{m}$ vs RPM,
- curvas experimentales de ΔP vs RPM;

Utilizando el programa Microsoft Office Excel se determinó su línea de tendencia polinómica de 3º grado (el porcentaje de exactitud en todas las ecuaciones fue mayor al 95%), con lo cual se pudo obtener una curva promedio a valores exactos de RPM entre pruebas dinamométricas completas utilizando las ecuaciones matemáticas, logrando de esta forma realizar estudios comparativos entre los tres tipos de combustibles (EXTRA, E5 Y E10).

:

$$Y_n = A_n X_n^3 + B_n X_n^2 + C_n X_n + D_n \quad (17)$$

Donde:

$$Y_n = T \text{ ó } \dot{m} \text{ ó } \Delta P$$

$$X_n = RPM$$

$$A_n = \text{Constante de la variable } X_n^3$$

$$B_n = \text{Constante de la variable } X_n^2$$

$$C_n = \text{Constante de la variable } X_n$$

$$D_n = \text{Constante}$$

Después de obtener los datos experimentales promedios de T, $\dot{m}$ y ΔP a los valores de RPM, se procedió al cálculo de los diferentes parámetros para obtener las curvas de rendimiento de motor:

$$\text{a. } bhp = \frac{T \times N}{9549.35} \quad (18)$$

Donde:

$$bhp = \text{Potencia (Kw)}$$

$T = \text{Par de Rotación (N.m)}$

$N = \text{Revoluciones por minuto (RPM)}$

$$\text{b. } bmep = \frac{126,0504 \times T}{D} \quad (19)$$

Donde:

$bmep = \text{Presión Media Efectiva al Freno} \left(\frac{Kg}{cm^2} \right)$

$T = \text{Par de Rotación (N.m)}$

$D = \text{Cilindrada del motor (cm}^3\text{)}$

$$\text{c. } Cec = \frac{3,6 \times m}{bhp} \quad (20)$$

Donde:

$Cec = \text{Consumo específico de Combustible} \left(\frac{kg}{Kw.hr} \right)$

$\dot{m} = \text{Flujo de Combustible} \left(\frac{gr}{s} \right)$

$bhp = \text{Potencia (Kw)}$

$$\text{d. } \eta_t = \frac{3549,239}{Cec \times Q} \times 100\% \quad (21)$$

Donde:

$\eta_t = \text{Eficiencia Térmica (\%)}$

$Cec = \text{Consumo específico de Combustible} \left(\frac{kg}{Kw.hr} \right)$

$$Q = \text{Poder Calorífico de Combustible} \left(\frac{\text{Kj}}{\text{Kg}} \right)$$

$$\text{e. } AF = \frac{6,693675 \times \rho_c \times \sqrt{\Delta P}}{\dot{m}} \quad (22)$$

Donde:

$AF = \text{Relación Aire/Combustible (adimensional)}$

$\rho_c = \text{Densidad de Combustible} \left(\frac{\text{gr}}{\text{ml}} \right)$

$\Delta P = \text{Diferencia de Presión (mmH}_2\text{O)}$

$\dot{m} = \text{Flujo de Combustible} \left(\frac{\text{gr}}{\text{s}} \right)$

$$\text{f. } \eta_v = \frac{479655,795 \times \sqrt{\Delta P}}{D \times N} \times 100\% \quad (23)$$

Donde:

$\eta_v = \text{Eficiencia Volumétrica (\%)}$

$\Delta P = \text{Diferencia de Presión (mmH}_2\text{O)}$

$D = \text{Cilindrada del motor (cm}^3\text{)}$

$N = \text{Revoluciones por minuto (RPM)}$

Debido a que por cada resultado obtenido del analizador de gases de combustión NGA 6000 se debe realizar un proceso de purgado de todo el sistema del mismo; lo cual toma entre 3 a 4 minutos, se procuró obtener resultados por cada prueba dinamométrica completa.

No es recomendable obtener resultados de gases de combustión a varias RPM dentro de una prueba dinamométrica completa ya que por el tiempo de purgado una prueba dinamométrica completa se extiende a más de 30 minutos y las recomendaciones de seguridad del fabricante del Dinamómetro Froude no recomiendan realizar pruebas dinamométricas que superen los 15 minutos.

4.1 Pruebas con gasolina EXTRA – E0 (0% de etanol y 100% de gasolina EXTRA en volumen)

4.1.1 Par de rotación versus revoluciones por minuto (T vs. RPM)

A continuación, en figura 4.1, se muestra los resultados de la pruebas para la elaboración de la curva promedio de T vs. RPM.

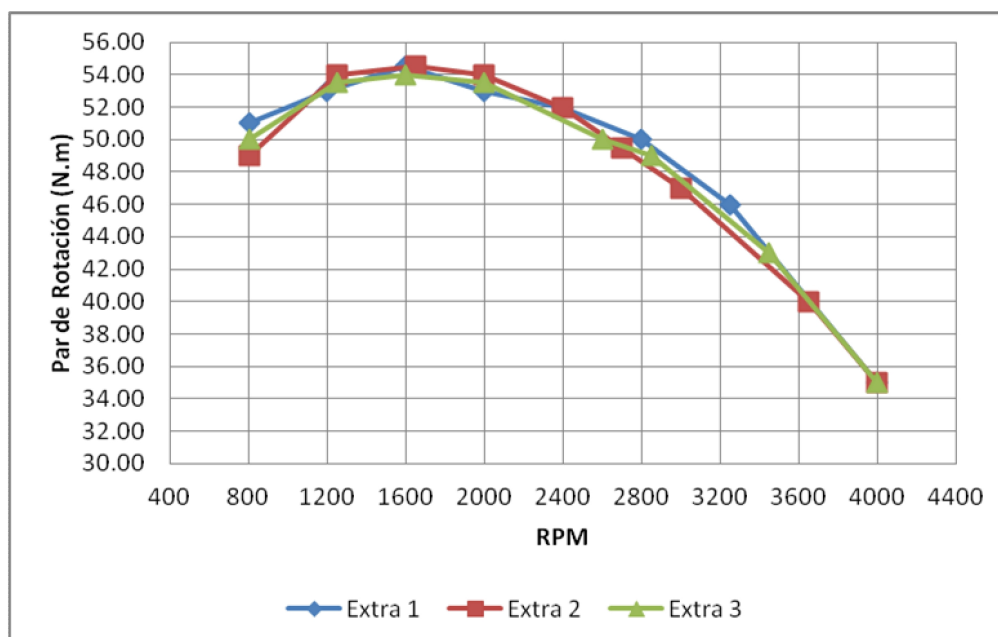


FIGURA 4.1 CURVAS DE PAR DE ROTACIÓN VS RPM PARA LAS TRES PRUEBAS CON COMBUSTIBLE EXTRA

En la tabla 18 se presenta los valores de parámetros de la ecuación polinomial. En la tabla 19 se presenta los valores de Par de Rotación durante las pruebas con combustible EXTRA.

TABLA 18
ECUACIONES DE LAS LÍNEAS DE TENDENCIAS DE PAR DE ROTACIÓN VS RPM CON COMBUSTIBLE EXTRA

$Y_1 = A_1X_1^3 + B_1X_1^2 + C_1X_1 + D_1$					
PRUEBA	A ₁	B ₁	C ₁	D ₁	% APROX.
EXTRA 1	-0.0000000001564	-0.000002462	0.009906	44.8848	99.60%
EXTRA 2	0.0000000009278	- 0.00001051	0.02769	33.3835	99.70%
EXTRA 3	0.0000000003412	-0.000006062	0.01763	39.8385	99.60%

TABLA 19

DATOS PROMEDIOS DE PAR DE ROTACIÓN DE LAS PRUEBAS

DINAMOMÉTRICAS CON COMBUSTIBLE EXTRA

	Par de Rotación (N.m) Extra																		
RPM	600	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200	2400	2600	2800	3000	3200	3400	3600	3800	4000	4200
Extra 1	49,91	51,15	52,17	52,96	53,50	53,79	53,83	53,60	53,10	52,31	51,25	49,88	48,22	46,25	43,95	41,34	38,39	35,10	31,47
Extra 2	46,41	49,28	51,49	53,08	54,09	54,58	54,58	54,13	53,30	52,11	50,62	48,86	46,89	44,74	42,46	40,10	37,70	35,31	32,96
Extra 3	48,31	50,24	51,75	52,86	53,58	53,93	53,92	53,58	52,92	51,95	50,70	49,17	47,39	45,36	43,12	40,67	38,03	35,21	32,24
Promedio	48,21	50,23	51,80	52,96	53,72	54,10	54,11	53,77	53,10	52,13	50,85	49,30	47,50	45,45	43,18	40,70	38,04	35,21	32,22

En la figura 4.2 se presenta los resultados promedio de Par de Rotación vs RPM utilizando combustible EXTRA.

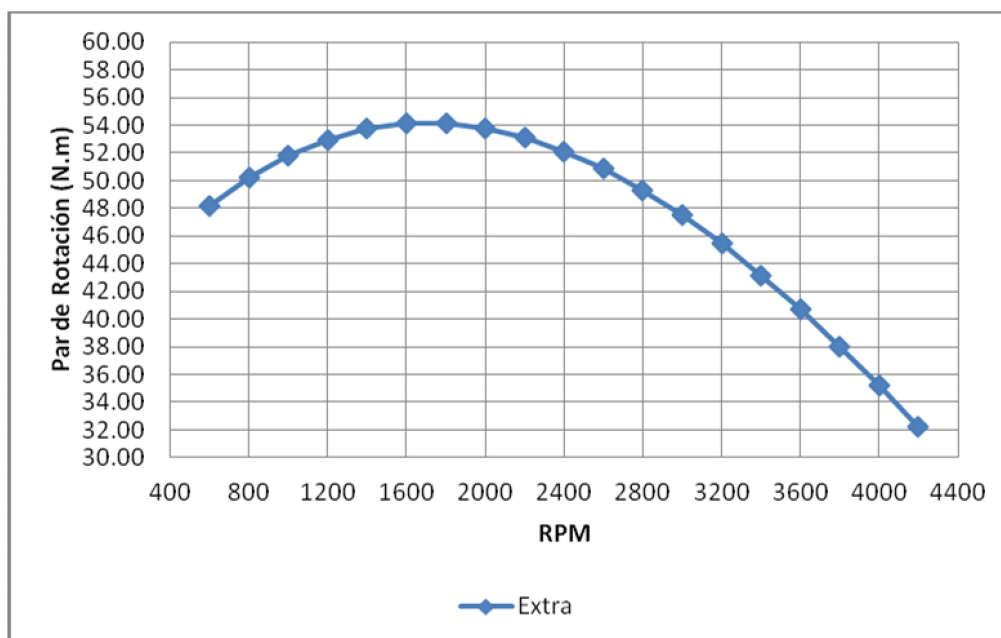


FIGURA 4.2 CURVA DE PAR DE ROTACIÓN VS RPM PROMEDIO

UTILIZANDO COMBUSTIBLE EXTRA

4.1.2 Flujo de combustible versus revoluciones por minuto ($\dot{m}$ vs. RPM)

En la figura 4.3 se muestra los resultados de la obtención de la curva promedio de flujo másico $\dot{m}$ vs. RPM.

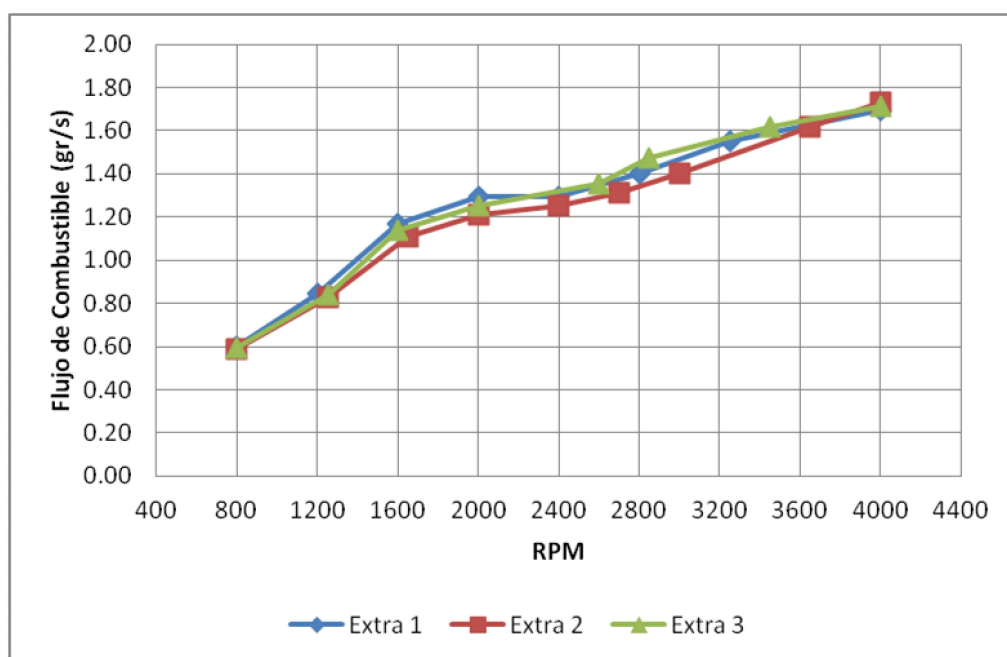


FIGURA 4.3 CURVAS DE FLUJO DE COMBUSTIBLE VS RPM PARA LAS TRES PRUEBAS CON COMBUSTIBLE EXTRA

En la tabla 20 se presenta los valores de parámetros de la ecuación polinomial. En la tabla 21 se presenta los valores de flujo másico durante las pruebas con combustible EXTRA.

TABLA 20

ECUACIONES DE LAS LÍNEAS DE TENDENCIAS DE FLUJO DE

COMBUSTIBLE VS RPM CON COMBUSTIBLE EXTRA

$Y_2 = A_2X_2^3 + B_2X_2^2 + C_2X_2 + D_2$					
PRUEBA	A ₂	B ₂	C ₂	D ₂	% APROX.
EXTRA 1	0.00000000005841	-0.0000005033	0.001606	-0.4050	98.40%
EXTRA 2	0.00000000006014	-0.0000004779	0.001468	-0.3270	99.20%
EXTRA 3	0.00000000003623	-0.0000003417	0.001279	-0.2420	98.90%

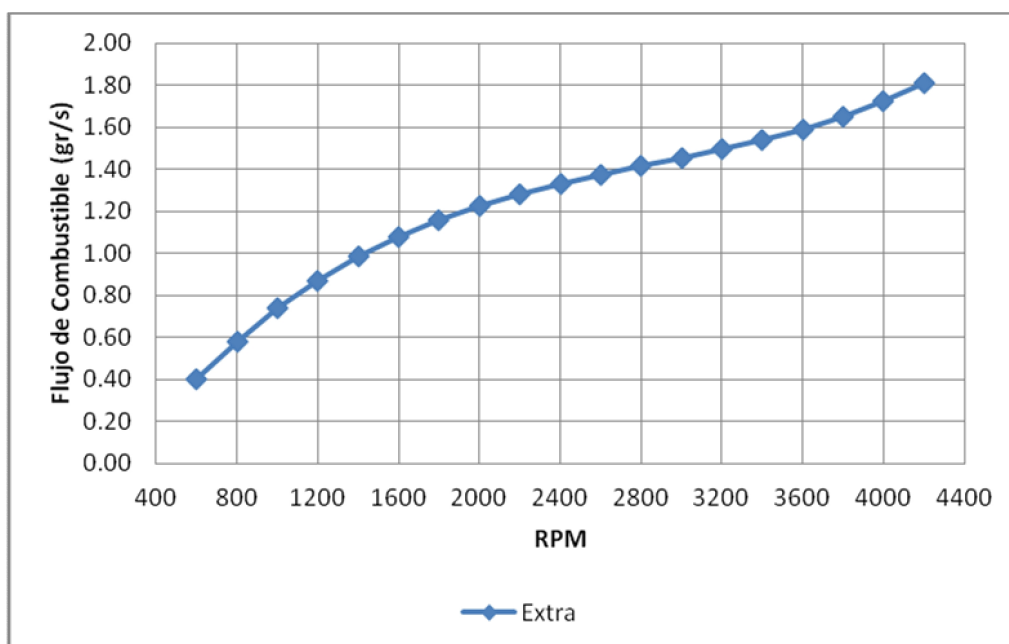
TABLA 21

DATOS PROMEDIOS DE FLUJO DE COMBUSTIBLE DE LAS PRUEBAS

DINAMOMÉTRICAS CON COMBUSTIBLE EXTRA

Flujo de Combustible (gr/s) Extra																			
RPM	600	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200	2400	2600	2800	3000	3200	3400	3600	3800	4000	4200
Extra 1	0,39	0,59	0,76	0,90	1,02	1,12	1,20	1,26	1,31	1,36	1,39	1,43	1,46	1,49	1,53	1,58	1,63	1,70	1,79
Extra 2	0,39	0,57	0,72	0,85	0,96	1,05	1,12	1,18	1,23	1,28	1,32	1,36	1,40	1,45	1,50	1,57	1,65	1,75	1,87
Extra 3	0,41	0,58	0,73	0,86	0,98	1,08	1,16	1,24	1,30	1,36	1,41	1,45	1,50	1,54	1,58	1,62	1,67	1,72	1,78
Promedio	0,40	0,58	0,74	0,87	0,98	1,08	1,16	1,23	1,28	1,33	1,37	1,41	1,45	1,49	1,54	1,59	1,65	1,73	1,81

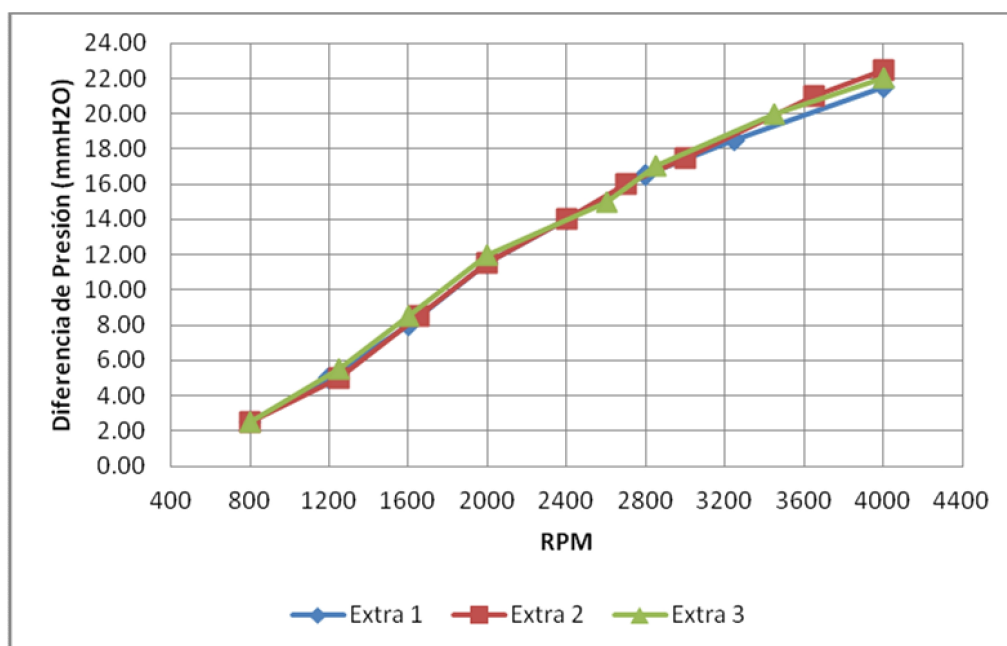
En la figura 4.4 se muestra los resultados de la obtención de la curva promedio de flujo másico $\dot{m}$ vs. RPM.



**FIGURA 4.4 CURVA DE FLUJO DE COMBUSTIBLE VS RPM PROMEDIO
UTILIZANDO COMBUSTIBLE EXTRA**

4.1.3 Diferencia de presión del aire de admisión versus revoluciones por minuto (ΔP vs. RPM)

A continuación en la figura 4.5 se muestra los resultados de la obtención de la curva promedio de ΔP vs. RPM.



**FIGURA 4.5 CURVAS DE DIFERENCIA DE PRESIÓN DEL AIRE
ADMISIÓN VS RPM PARA LAS TRES PRUEBAS CON COMBUSTIBLE
EXTRA**

En la tabla 22 se presenta los valores de parámetros de la ecuación polinomial. En la tabla 23 se presenta los valores de caída de presión durante las pruebas con combustible EXTRA.

TABLA 22

ECUACIONES DE LAS LÍNEAS DE TENDENCIAS DE DIFERENCIA

DE PRESIÓN DEL AIRE ADMISIÓN VS RPM CON COMBUSTIBLE

EXTRA

$Y_3 = A_3X_3^3 + B_3X_3^2 + C_3X_3 + D_3$					
PRUEBA	A ₃	B ₃	C ₃	D ₃	% APROX.
EXTRA 1	-0.0000000002531	0.000001026	0.006064	-3.05448	99.80%
EXTRA 2	-0.0000000002224	0.0000009774	0.006014	-3.06693	99.80%
EXTRA 3	-0.0000000001381	0.0000002199	0.007824	-3.9788	99.80%

TABLA 23

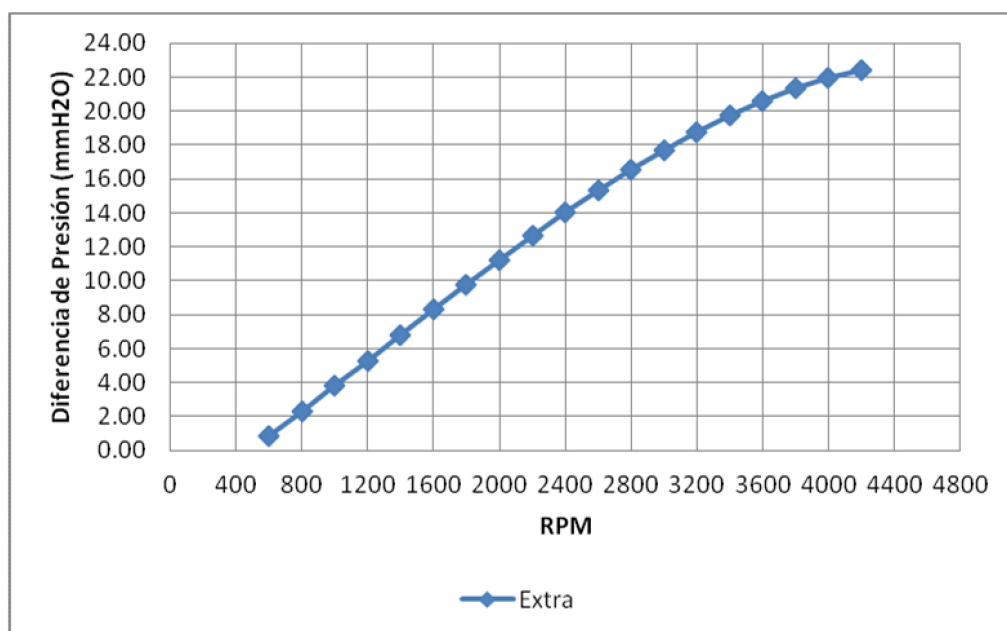
DATOS PROMEDIOS DE DIFERENCIA DE PRESIÓN DEL AIRE

ADMISIÓN DE LAS PRUEBAS DINAMOMÉTRICAS CON COMBUSTIBLE

EXTRA

Diferencia de Presión (mmH ₂ O) Extra																			
RPM	600	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200	2400	2600	2800	3000	3200	3400	3600	3800	4000	4200
Extra 1	0.90	2.32	3.78	5.26	6.75	8.24	9.71	11.15	12.55	13.91	15.20	16.41	17.53	18.56	19.47	20.26	20.91	21.41	21.76
Extra 2	0.84	2.26	3.70	5.17	6.66	8.15	9.63	11.09	12.53	13.92	15.27	16.55	17.77	18.90	19.94	20.87	21.70	22.40	22.96
Extra 3	0.77	2.35	3.93	5.49	7.03	8.54	10.01	11.44	12.83	14.16	15.42	16.62	17.74	18.79	19.74	20.60	21.35	22.00	22.53
Promedio	0.84	2.31	3.80	5.31	6.81	8.31	9.78	11.23	12.64	14.00	15.30	16.53	17.68	18.75	19.72	20.58	21.32	21.94	22.41

En la figura 4.6 se muestra los resultados de la obtención de la curva diferencial de presión vs. RPM.



**FIGURA 4.6 CURVA DE DIFERENCIA DE PRESIÓN DEL AIRE ADMISIÓN
VS RPM PROMEDIO UTILIZANDO COMBUSTIBLE EXTRA**

4.1.4 Promedio del análisis de gases de combustión

En la tabla 24 se muestra los resultados del análisis de los gases de combustión de las tres pruebas dinamométricas con combustible EXTRA.

TABLA 24**DATOS PROMEDIOS DEL ANÁLISIS DE GASES DE COMBUSTIÓN**

Emission Analyzer	EXTRA 1	EXTRA 2	EXTRA 3	PROMEDIO
CO (%)	3.28	2.99	3.39	3.22
HC (PPM)	207.86	202.86	223.86	211.52
CO2 (%)	13.18	13.08	12.98	13.08
O2 (%)	0.22	0.20	0.22	0.21
NOx (PPM)	39.429	36.57	40.20	38.73

4.1.5 Curvas características de rendimiento de motor con combustible EXTRA y su análisis de gases de combustión

En la tabla 25, se presentan los resultados finales de las pruebas dinamométricas con combustible EXTRA y los valores promedios del análisis de los gases de combustión.

En la figura 4.7 se presenta las curvas de rendimiento del motor efectuadas con combustible EXTRA.

TABLA 25

**RESULTADOS OBTENIDOS DE LOS CÁLCULOS REALIZADOS CON LA INFORMACIÓN DE LAS PRUEBAS
DINAMOMÉTRICAS CON COMBUSTIBLE EXTRA Y EL ANÁLISIS DE LOS GASES DE COMBUSTIÓN**

EXTRA																			
RPM	600	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200	2400	2600	2800	3000	3200	3400	3600	3800	4000	4200
T (N.m)	48.21	50.23	51.80	52.96	53.72	54.10	54.11	53.77	53.10	52.13	50.85	49.30	47.50	45.45	43.18	40.70	38.04	35.21	32.22
m (gr/s)	0.40	0.58	0.74	0.87	0.98	1.08	1.16	1.23	1.28	1.33	1.37	1.41	1.45	1.49	1.54	1.59	1.65	1.73	1.81
ΔP (mmH ₂ O)	0.84	2.31	3.80	5.31	6.81	8.31	9.78	11.23	12.64	14.00	15.30	16.53	17.68	18.75	19.72	20.58	21.32	21.94	22.41
bhp (Kw)	3.03	4.21	5.42	6.66	7.88	9.06	10.20	11.26	12.23	13.10	13.85	14.46	14.92	15.23	15.37	15.34	15.14	14.75	14.17
bhp (hp)	4.06	5.64	7.27	8.92	10.56	12.15	13.67	15.10	16.40	17.56	18.56	19.38	20.00	20.42	20.61	20.57	20.29	19.77	19.00
b MEP (Kg/cm ²)	5.19	5.41	5.58	5.70	5.78	5.82	5.82	5.79	5.72	5.61	5.47	5.31	5.11	4.89	4.65	4.38	4.09	3.79	3.47
Cec (Kg/(kw-hr))	0.47	0.50	0.49	0.47	0.45	0.43	0.41	0.39	0.38	0.37	0.36	0.35	0.35	0.35	0.36	0.37	0.39	0.42	0.46
η _T (%)	17.74%	16.92%	17.18%	17.84%	18.68%	19.59%	20.53%	21.43%	22.26%	22.97%	23.52%	23.87%	23.97%	23.79%	23.31%	22.50%	21.37%	19.94%	18.24%
A/F	11.28	12.87	13.00	13.00	13.03	13.12	13.26	13.43	13.62	13.81	13.99	14.13	14.22	14.24	14.18	14.01	13.73	13.34	12.83
η _V (%)	62.42%	77.82%	79.88%	78.64%	76.36%	73.78%	71.17%	68.63%	66.18%	63.85%	61.61%	59.47%	57.41%	55.42%	53.49%	51.61%	49.77%	47.96%	46.17%

Emission Analyzer	PROMEDIO
CO (%)	3.22
HC (PPM)	211.52
CO ₂ (%)	13.08
O ₂ (%)	0.21
NO _x (PPM)	38.73

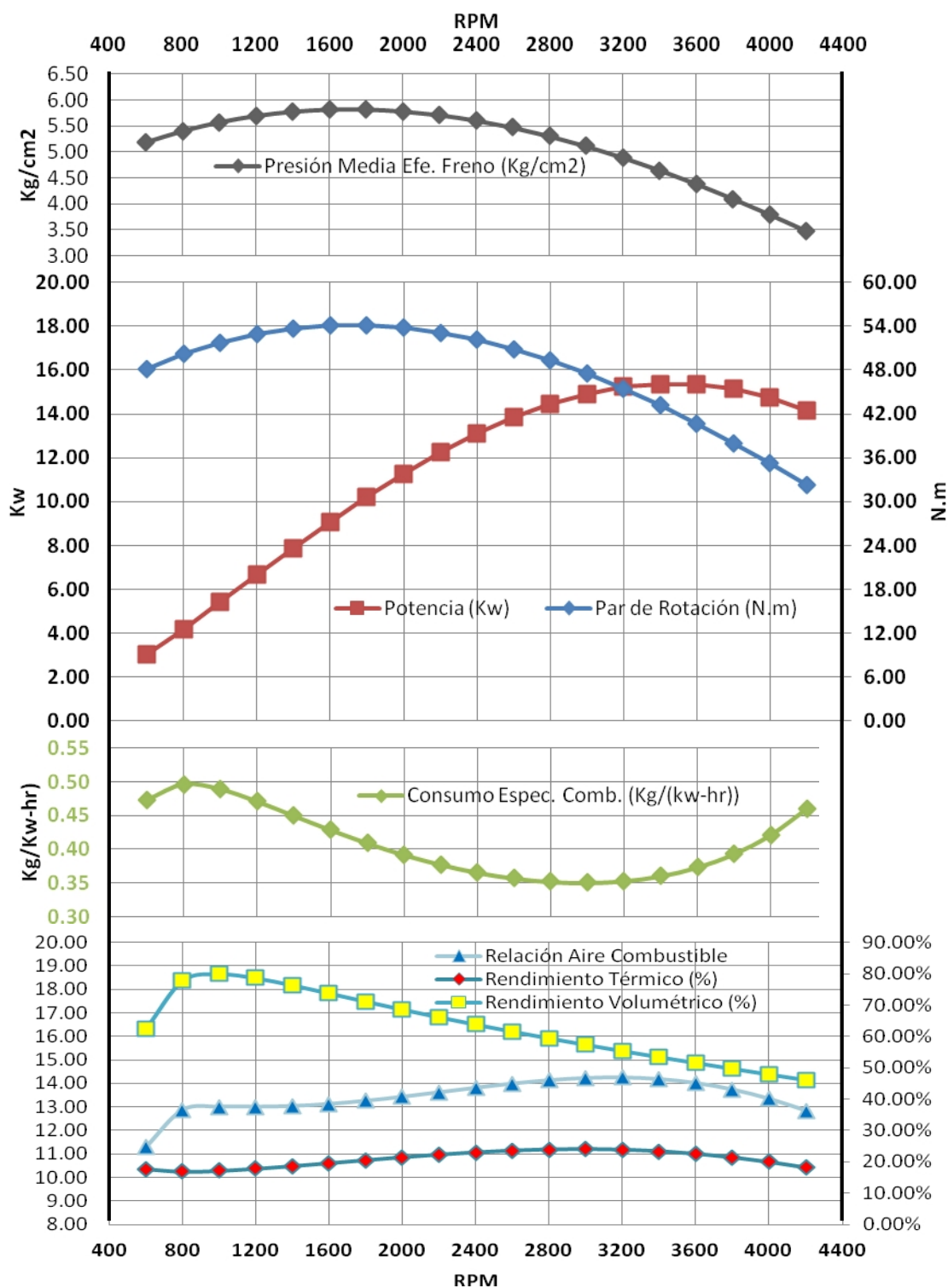


FIGURA 4.7 CURVAS DE RENDIMIENTO DE MOTOR CON COMBUSTIBLE EXTRA

4.2 Pruebas con combustible E5 (5% de etanol y 95% de gasolina EXTRA en volumen)

4.2.1 Par de rotación versus revoluciones por minuto (T vs. RPM)

A través de la figura 4.8 se presenta los resultados del comportamiento del motor por medio de la curva promedio de Par de Rotación vs. RPM cuando se utilizó combustible mezclado E5.

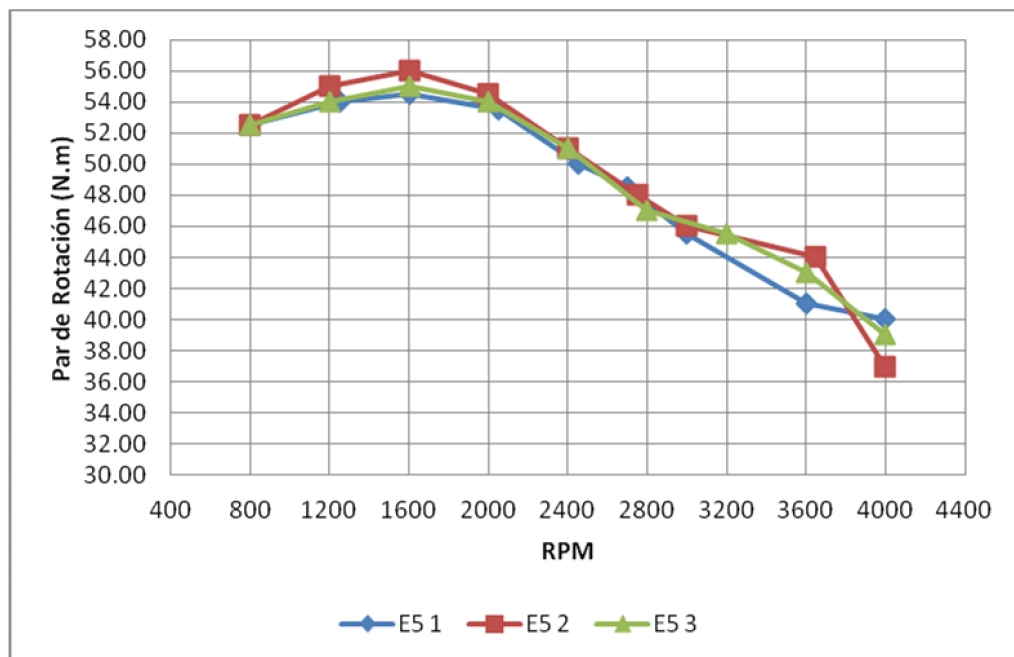


FIGURA 4.8 CURVAS DE PAR DE ROTACIÓN VS RPM PARA LAS TRES PRUEBAS CON COMBUSTIBLE E5

En la tabla 26 se presenta los valores de parámetros de la ecuación polinomial. En la tabla 27 se presenta los valores de Par de Rotación vs. RPM durante las pruebas con combustible E5.

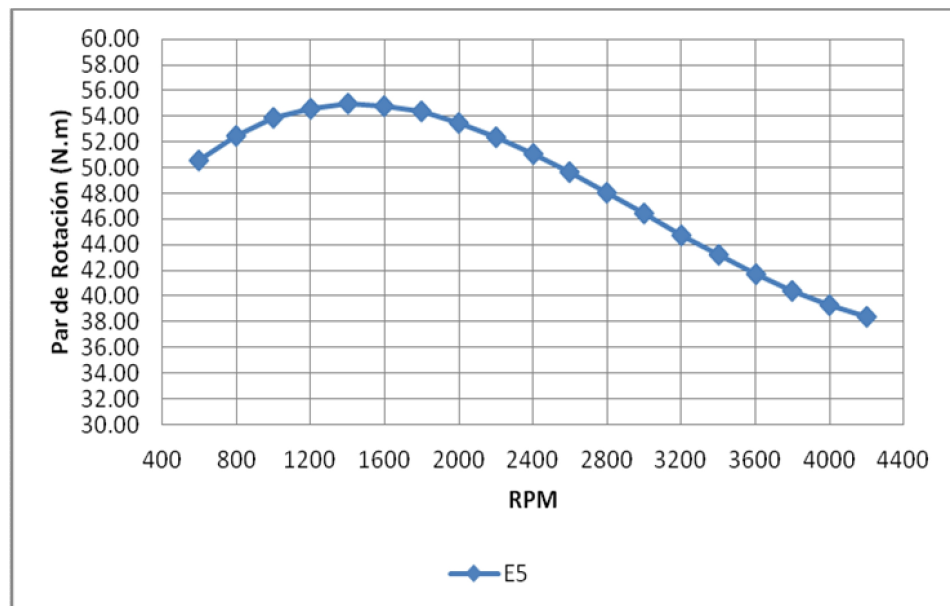
TABLA 26
ECUACIONES DE LAS LÍNEAS DE TENDENCIAS DE PAR DE ROTACIÓN VS RPM CON COMBUSTIBLE E5

$Y_4 = A_4X_4^3 + B_4X_4^2 + C_4X_4 + D_4$					
PRUEBA	A ₄	B ₄	C ₄	D ₄	% APROX.
E5 1	0.000000001403	-0.00001188	0.02533	38.7991	99.45%
E5 2	0.0000000009913	-0.000009465	0.02129	41.3346	95.75%
E5 3	0.0000000009799	-0.000009084	0.02011	41.6706	98.58%

TABLA 27
DATOS PROMEDIOS DE PAR DE ROTACIÓN DE LAS PRUEBAS DINAMOMÉTRICAS CON COMBUSTIBLE E5

Par de Rotación (N.m) E5																			
RPM	600	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200	2400	2600	2800	3000	3200	3400	3600	3800	4000	4200
E51	50.02	52.18	53.65	54.51	54.82	54.65	54.07	53.15	51.94	50.53	48.97	47.34	45.70	44.12	42.67	41.41	40.41	39.74	39.47
E52	50.92	52.82	54.15	54.97	55.31	55.23	54.77	53.99	52.92	51.62	50.13	48.51	46.79	45.03	43.27	41.57	39.96	38.50	37.24
E53	50.68	52.45	53.68	54.42	54.71	54.61	54.16	53.40	52.39	51.16	49.78	48.28	46.71	45.12	43.56	42.07	40.69	39.49	38.50
Promedio	50.54	52.48	53.83	54.63	54.95	54.83	54.33	53.51	52.42	51.10	49.63	48.04	46.40	44.76	43.17	41.68	40.36	39.25	38.40

En la figura 4.9 se muestra los resultados de la obtención de la curva de Par de Rotación vs. RPM del motor utilizando combustible E5.



**FIGURA 4.9 CURVA DE PAR DE ROTACIÓN VS RPM PROMEDIO
UTILIZANDO COMBUSTIBLE E5**

4.2.2 Flujo de combustible versus revoluciones por minuto ($\dot{m}$ vs. RPM)

A través de la figura 4.10 se muestra los resultados de la obtención de la curva promedio de flujo másico de combustible $\dot{m}$ vs. RPM.

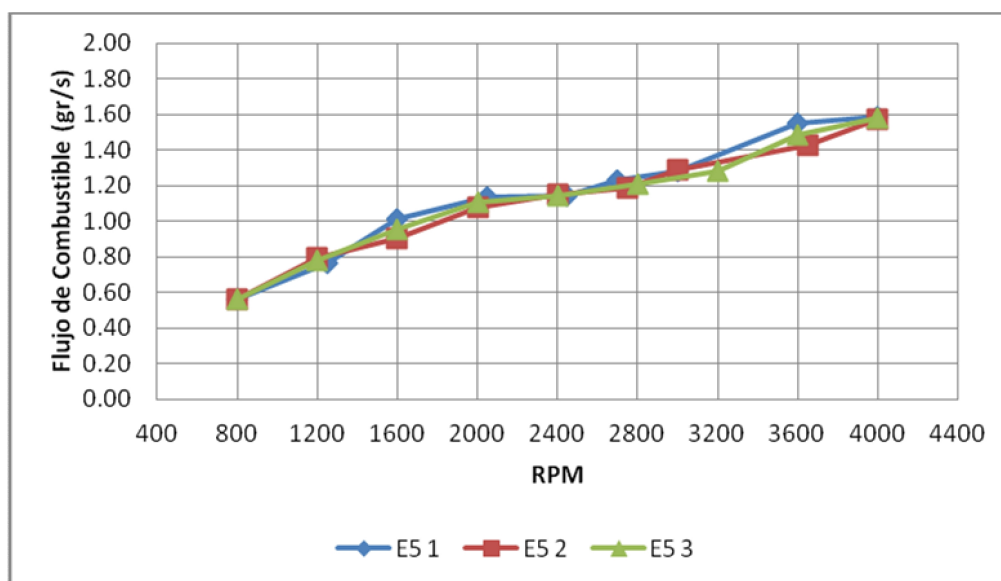


FIGURA 4.10 CURVAS DE FLUJO DE COMBUSTIBLE VS RPM PARA LAS TRES PRUEBAS CON COMBUSTIBLE E5

En la tabla 28 se presenta los valores de parámetros de la ecuación polinomial. En la tabla 29 se presenta los valores flujo másico vs. RPM durante las pruebas con combustible E5.

TABLA 28
ECUACIONES DE LAS LÍNEAS DE TENDENCIAS DE FLUJO DE COMBUSTIBLE VS RPM CON COMBUSTIBLE E5

$Y_5 = A_5X_5^3 + B_5X_5^2 + C_5X_5 + D_5$					
PRUEBA	A ₅	B ₅	C ₅	D ₅	% APROX.
E5 1	0.00000000004228	-0.0000003402	0.001127	-0.1495	97.94%
E5 2	0.00000000004016	-0.0000003185	0.001046	-0.08658	99.67%
E5 3	0.00000000005273	-0.0000004088	0.001241	-0.1999	99.23%

TABLA 29
DATOS PROMEDIOS DE FLUJO DE COMBUSTIBLE DE LAS PRUEBAS
DINAMOMÉTRICAS CON COMBUSTIBLE E5

Flujo de Combustible (gr/seg) E5																				
RPM	600	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200	2400	2600	2800	3000	3200	3400	3600	3800	4000	4200	
E51	0.41	0.56	0.68	0.79	0.88	0.96	1.02	1.08	1.13	1.18	1.22	1.27	1.31	1.36	1.41	1.47	1.54	1.62	1.71	
E52	0.43	0.57	0.68	0.78	0.86	0.94	1.00	1.05	1.10	1.14	1.18	1.23	1.27	1.31	1.36	1.42	1.49	1.57	1.66	
E53	0.41	0.56	0.69	0.79	0.88	0.96	1.02	1.07	1.11	1.15	1.19	1.23	1.27	1.31	1.37	1.43	1.51	1.60	1.71	
Promedio	0.42	0.56	0.68	0.79	0.87	0.95	1.01	1.07	1.12	1.16	1.20	1.24	1.28	1.33	1.38	1.44	1.51	1.60	1.70	

En la figura 4.11 se muestra los resultados de la obtención de la curva de flujo másico de combustible vs. RPM del motor utilizando combustible E5

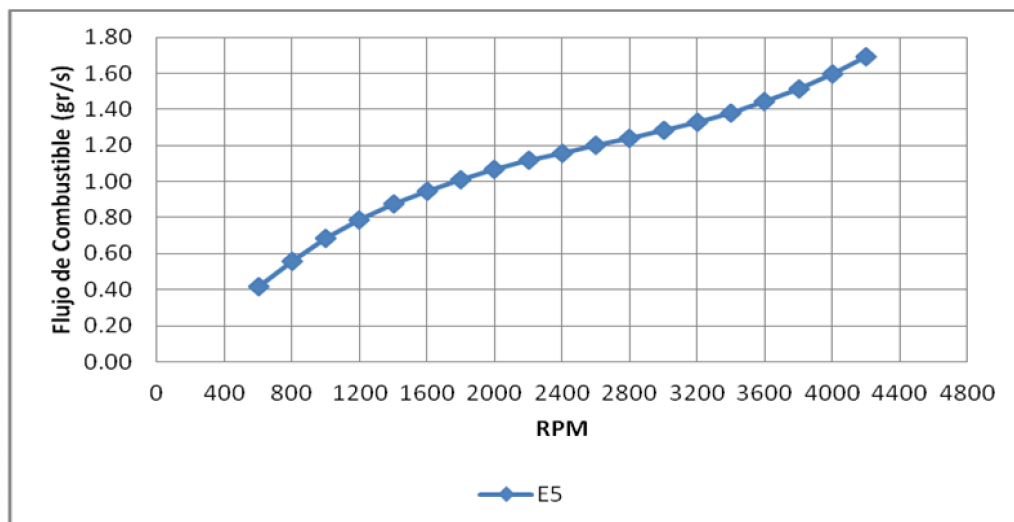


FIGURA 4.11 CURVA DE FLUJO DE COMBUSTIBLE VS RPM
PROMEDIO UTILIZANDO COMBUSTIBLE E5

4.2.3 Diferencia de presión del aire de admisión versus revoluciones por minuto (ΔP vs. RPM)

A través de la figura 4.12 se muestra los resultados de la obtención de las curvas de diferencial de presión ΔP vs. RPM.

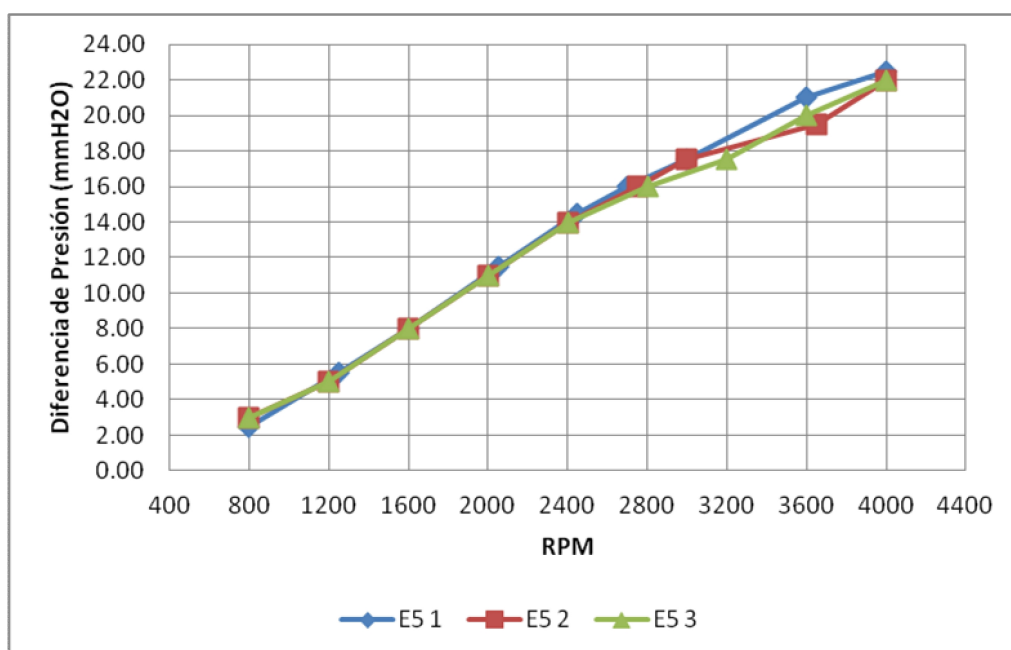


FIGURA 4.12 CURVAS DE DIFERENCIA DE PRESIÓN DEL AIRE ADMISIÓN VS RPM PARA LAS TRES PRUEBAS CON COMBUSTIBLE E5

En la tabla 30 se presenta los valores de parámetros de la ecuación polinomial con tendencias de diferencial de presión.

En la tabla 31 se presenta los valores promedio de diferencial de presión vs. RPM durante las pruebas con combustible E5.

TABLA 30

**ECUACIONES DE LAS LÍNEAS DE TENDENCIAS DE DIFERENCIA DE
PRESIÓN DEL AIRE ADMISIÓN VS RPM CON COMBUSTIBLE E5**

$Y_6 = A_6X_6^3 + B_6X_6^2 + C_6X_6 + D_6$					
PRUEBA	A ₆	B ₆	C ₆	D ₆	% APROX.
E5 1	-0.0000000002591	0.000001298	0.005177	-2.4090	99.95%
E5 2	-0.0000000002675	0.000001321	0.004836	-1.8497	99.58%
E5 3	-0.00000000009864	0.0000002503	0.006731	-2.7976	99.69%

TABLA 31

**DATOS PROMEDIOS DE DIFERENCIA DE PRESIÓN DEL AIRE
ADMISIÓN DE LAS PRUEBAS DINAMOMÉTRICAS CON COMBUSTIBLE
E5**

Caída de Presión (mmH2O) E5																			
RPM	600	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200	2400	2600	2800	3000	3200	3400	3600	3800	4000	4200
E51	1.11	2.43	3.81	5.22	6.67	8.13	9.60	11.06	12.50	13.91	15.27	16.57	17.81	18.96	20.01	20.96	21.78	22.48	23.03
E52	1.47	2.48	4.06	5.60	7.08	8.52	9.92	11.26	12.56	13.80	15.00	16.16	17.26	18.32	19.32	20.28	21.20	22.06	22.88
E53	1.31	2.70	4.09	5.47	6.85	8.21	9.55	10.88	12.17	13.44	14.66	15.85	16.98	18.07	19.10	20.08	20.98	21.82	22.58
Promedio	1.30	2.53	3.98	5.43	6.87	8.29	9.69	11.07	12.41	13.72	14.98	16.19	17.35	18.45	19.48	20.44	21.32	22.12	22.83

En la figura 4.13 se muestra los resultados de la obtención de la curva de diferencial de presión vs. RPM del motor utilizando combustible E5.

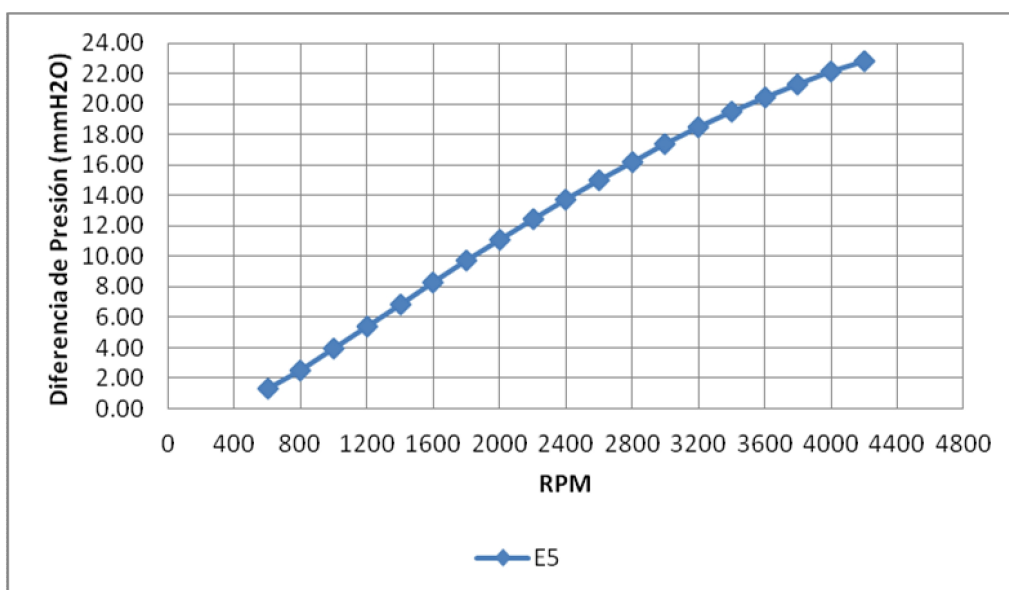


FIGURA 4.13 CURVA DE DIFERENCIA DE PRESIÓN DEL AIRE ADMISIÓN VS RPM PROMEDIO UTILIZANDO COMBUSTIBLE E5

4.2.4 Promedio del análisis de gases de combustión

A través de la tabla 32 se muestra los resultados del análisis de los gases de combustión de las tres pruebas dinamométricas con combustible E5.

TABLA 32
DATOS PROMEDIOS DEL ANÁLISIS DE GASES DE COMBUSTIÓN

Emission Analyzer	E5 1	E5 2	E5 3	PROMEDIO
CO (%)	2.58	2.19	3.06	2.61
HC (PPM)	105.71	100.71	108.71	105.05
CO2 (%)	13.96	14.01	14.01	13.99
O2 (%)	0.30	0.28	0.31	0.30
NOx (PPM)	85.71	83.50	88.23	85.82

4.2.5 Curvas características de rendimiento de motor con combustible E5 y su análisis de Gases de Combustión

En la tabla 33, se presentan los resultados finales de las pruebas dinamométricas con combustible E5 y los valores promedios del análisis de los gases de combustión.

En la figura 4.14 se presenta las curvas de rendimiento del motor efectuadas con combustible E5.

TABLA 33

**RESULTADOS OBTENIDOS DE LAS CÁLCULOS REALIZADOS CON LA INFORMACIÓN DE LAS PRUEBAS
DINAMOMÉTRICAS CON COMBUSTIBLE E5 Y EL ANÁLISIS DE LOS GASES DE COMBUSTIÓN**

E5																			
RPM	600	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200	2400	2600	2800	3000	3200	3400	3600	3800	4000	4200
T (N.m)	50.54	52.48	53.83	54.63	54.95	54.83	54.33	53.51	52.42	51.10	49.63	48.04	46.40	44.76	43.17	41.68	40.36	39.25	38.40
m (gr/s)	0.42	0.56	0.68	0.79	0.87	0.95	1.01	1.07	1.12	1.16	1.20	1.24	1.28	1.33	1.38	1.44	1.51	1.60	1.70
ΔP (mmH ₂ O)	1.30	2.53	3.98	5.43	6.87	8.29	9.69	11.07	12.41	13.72	14.98	16.19	17.35	18.45	19.48	20.44	21.32	22.12	22.83
bhp (Kw)	3.18	4.40	5.64	6.87	8.06	9.19	10.24	11.21	12.08	12.84	13.51	14.09	14.58	15.00	15.37	15.71	16.06	16.44	16.89
bhp (hp)	4.26	5.89	7.56	9.20	10.80	12.31	13.73	15.02	16.19	17.22	18.11	18.88	19.54	20.11	20.60	21.06	21.53	22.04	22.64
b MEP (Kg/cm ²)	5.44	5.65	5.79	5.88	5.91	5.90	5.85	5.76	5.64	5.50	5.34	5.17	4.99	4.82	4.65	4.49	4.34	4.22	4.13
Cec (Kg/(kw-hr))	0.48	0.46	0.44	0.41	0.39	0.37	0.36	0.34	0.33	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.33	0.34	0.35	0.36
η _T (%)	17.68%	18.31%	19.29%	20.39%	21.51%	22.59%	23.60%	24.50%	25.26%	25.86%	26.28%	26.51%	26.52%	26.34%	25.97%	25.43%	24.77%	24.02%	23.25%
A/F	13.35	13.96	14.38	14.57	14.73	14.91	15.10	15.31	15.52	15.70	15.85	15.94	15.96	15.88	15.70	15.41	15.00	14.47	13.85
η _V (%)	77.71%	81.51%	81.76%	79.54%	76.67%	73.71%	70.84%	68.13%	65.59%	63.21%	60.97%	58.87%	56.87%	54.98%	53.17%	51.44%	49.77%	48.16%	46.60%

Emission Analyzer	PROMEDIO
CO (%)	2.61
HC (PPM)	105.05
CO ₂ (%)	13.99
O ₂ (%)	0.30
NO _x (PPM)	85.82

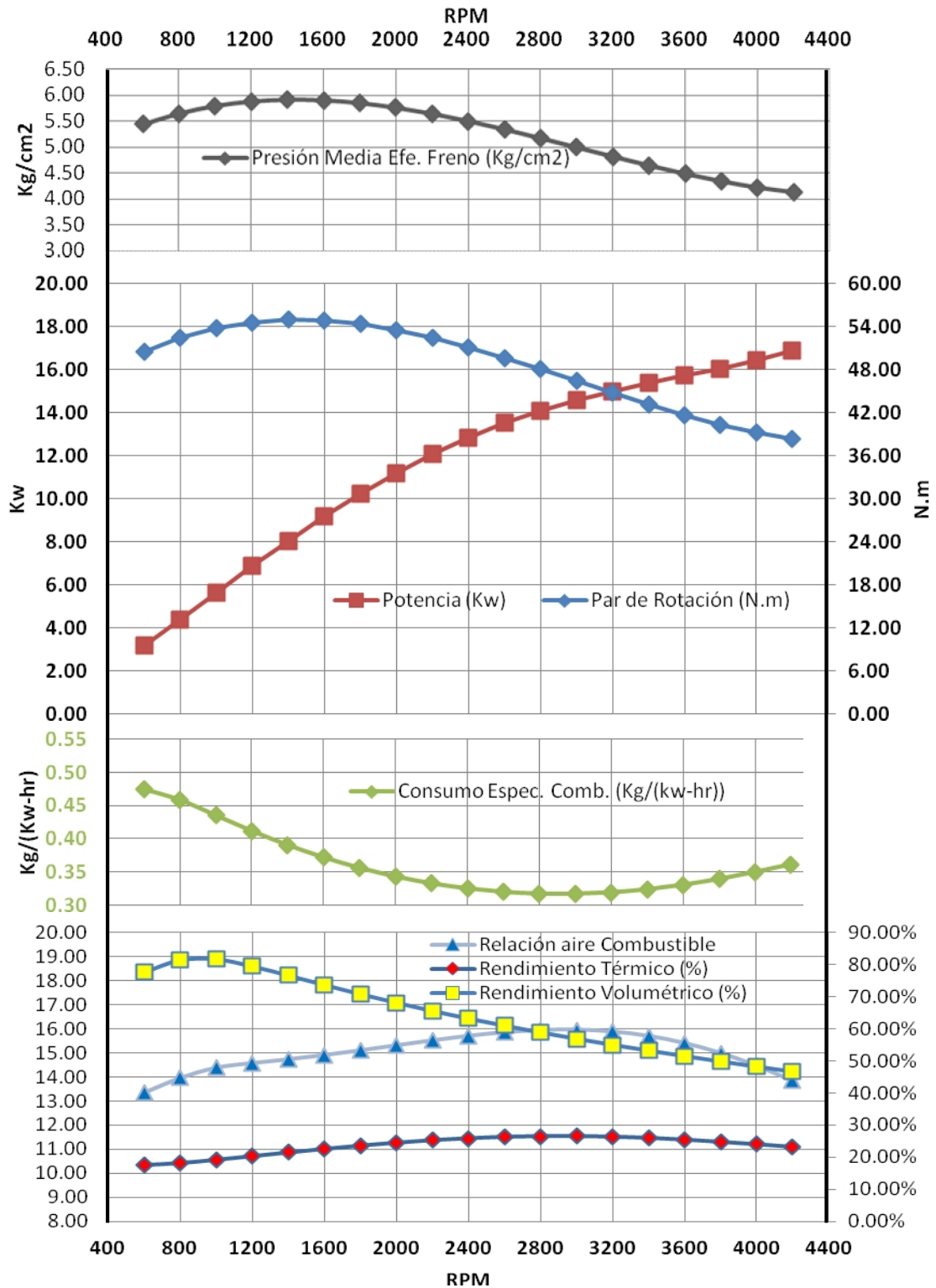


FIGURA 4.14 CURVAS DE RENDIMIENTO DE MOTOR CON COMBUSTIBLE E5

4.3 Pruebas con combustible E10 (10% de etanol y 90% de gasolina EXTRA en volumen)

4.3.1 Par de rotación versus revoluciones por minuto (T vs. RPM)

A través de la figura 4.15 se presenta los resultados del comportamiento del motor por medio de la curva de Par de Rotación vs. RPM cuando se utilizó combustible mezclado E10.

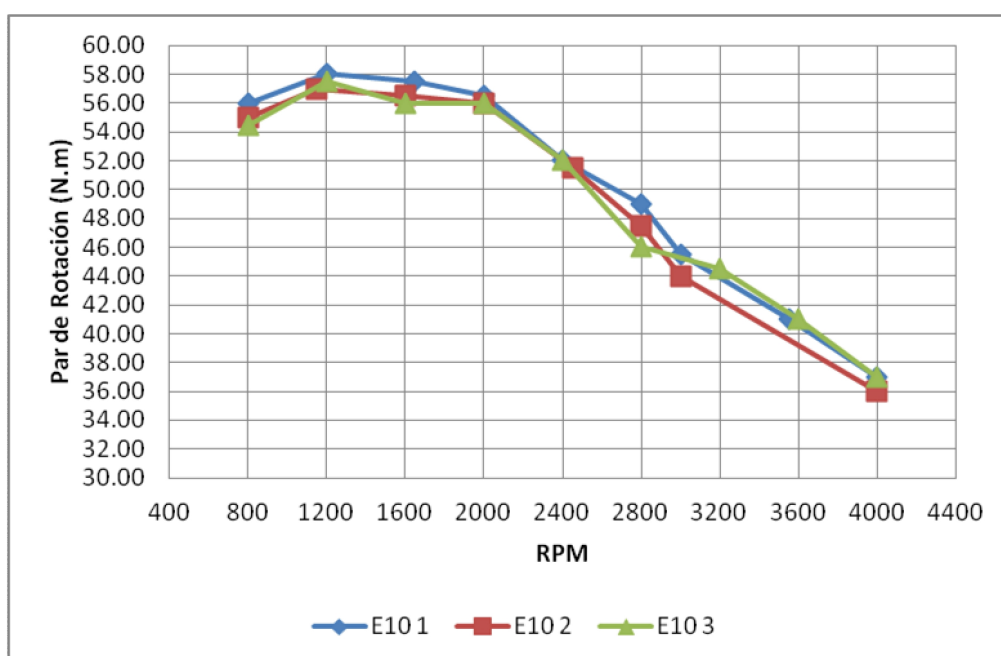


FIGURA 4.15 CURVAS DE PAR DE ROTACIÓN VS RPM PARA LAS TRES PRUEBAS CON COMBUSTIBLE E10

En la tabla 34 se presenta los valores de parámetros de la ecuación polinomial con tendencias de par de rotación. En la

tabla 35 se presenta los valores promedio de par de rotación vs. RPM durante las pruebas con combustible E10.

TABLA 34
ECUACIONES DE LAS LÍNEAS DE TENDENCIAS DE PAR DE
ROTACIÓN VS RPM CON COMBUSTIBLE E10

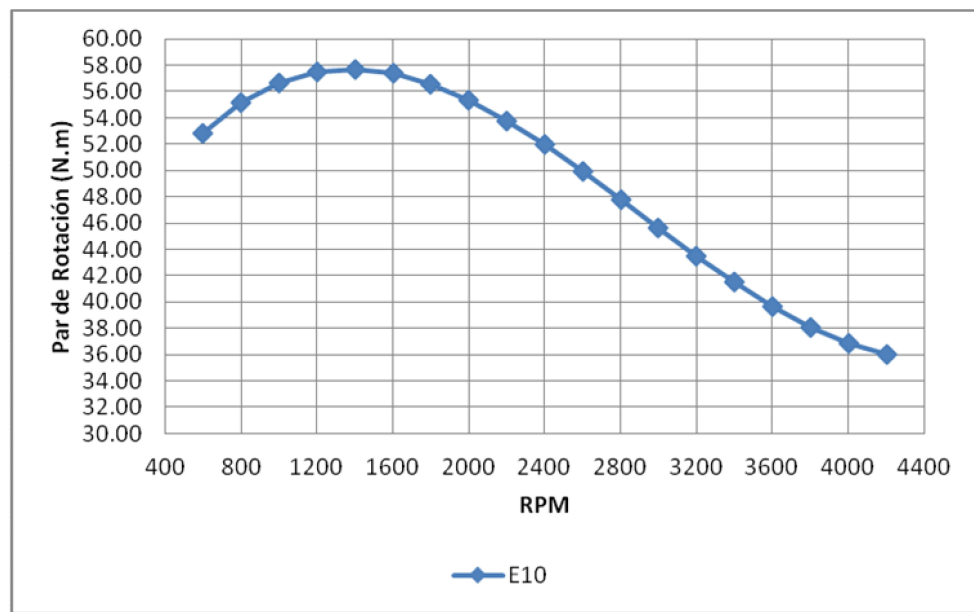
$Y_7 = A_7X_7^3 + B_7X_7^2 + C_7X_7 + D_7$					
PRUEBA	A ₇	B ₇	C ₇	D ₇	% APROX.
E10 1	0.000000001425	-0.00001259	0.02627	42.2512	99.62%
E10 2	0.000000001716	-0.00001481	0.03116	38.3859	99.32%
E10 3	0.000000001447	-0.00001263	0.02652	40.8294	98.40%

TABLA 35
DATOS PROMEDIOS DE PAR DE ROTACIÓN DE LAS PRUEBAS
DINAMOMÉTRICAS CON COMBUSTIBLE E10

Par de Rotación (N.m) E10																			
RPM	600	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200	2400	2600	2800	3000	3200	3400	3600	3800	4000	4200
E10 1	53,79	55,94	57,36	58,11	58,27	57,90	57,07	55,84	54,30	52,49	50,51	48,40	46,24	44,11	42,06	40,16	38,49	37,11	36,10
E10 2	52,12	54,71	56,45	57,41	57,69	57,35	56,49	55,19	53,52	51,58	49,44	47,18	44,90	42,66	40,56	38,67	37,08	35,88	35,13
E10 3	52,51	54,70	56,17	56,97	57,18	56,86	56,09	54,93	53,46	51,74	49,85	47,85	45,81	43,80	41,90	40,16	38,67	37,48	36,67
Promedio	52,80	55,12	56,66	57,50	57,71	57,37	56,55	55,32	53,76	51,94	49,93	47,81	45,65	43,52	41,51	39,67	38,08	36,82	35,97

A través de la figura 4.16 se presenta los resultados del comportamiento del motor por medio de la curva par de

rotación vs. RPM cuando se utilizó combustible mezclado E10.



**FIGURA 4.16 CURVA DE PAR DE ROTACIÓN VS RPM PROMEDIO
UTILIZANDO COMBUSTIBLE E10**

4.3.2 Flujo de combustible versus revoluciones por minuto (ṁ vs. RPM)

A través de la figura 4.17 se presenta los resultados de la obtención de las curvas de flujo másico vs. RPM.

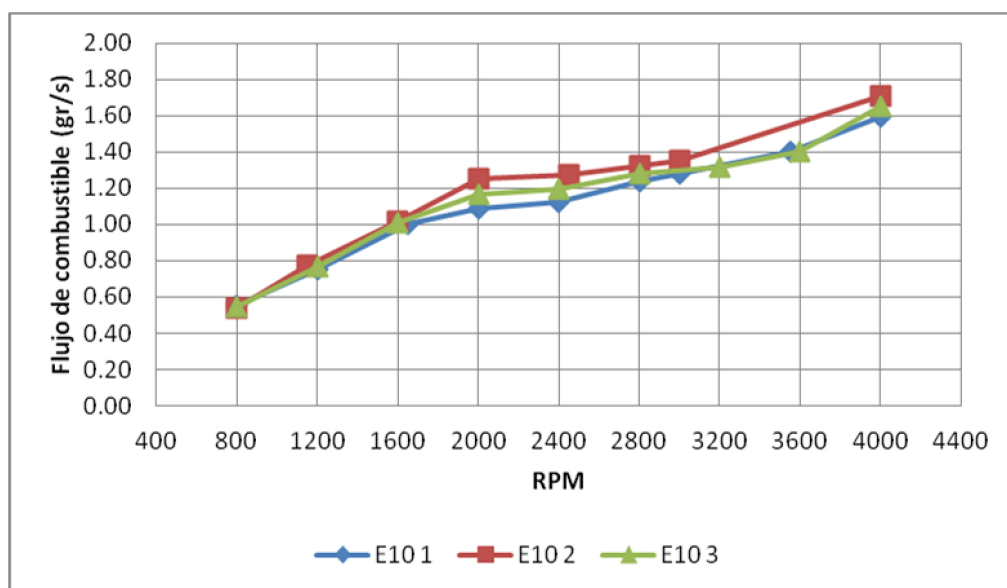


FIGURA 4.17 CURVAS DE FLUJO DE COMBUSTIBLE VS RPM PARA LAS TRES PRUEBAS CON COMBUSTIBLE E10

En la tabla 37 se presenta los valores de parámetros de la ecuación polinomial con tendencias de flujo de combustible. En la tabla 4.29 se presenta los valores promedio de flujo de combustible vs. RPM durante las pruebas con combustible E10.

TABLA 36
ECUACIONES DE LAS LÍNEAS DE TENDENCIAS DE FLUJO DE COMBUSTIBLE VS RPM CON COMBUSTIBLE E10

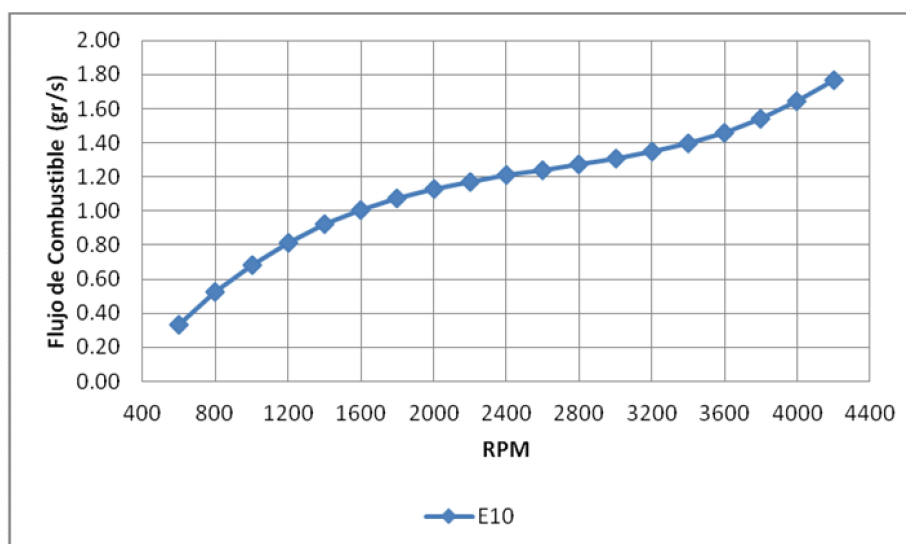
$Y_8 = A_8X_8^3 + B_8X_8^2 + C_8X_8 + D_8$					
PRUEBA	A_8	B_8	C_8	D_8	% APROX.
E10 1	0.00000000005592	-0.0000004383	0.001324	-0.2674	99.57%
E10 2	0.00000000007846	-0.0000006277	0.001828	-0.5855	99.26%
E10 3	0.00000000007929	-0.0000006215	0.001758	-0.5336	99.18%

TABLA 37

**DATOS PROMEDIOS DE FLUJO DE COMBUSTIBLE DE LAS PRUEBAS
DINAMOMÉTRICAS CON COMBUSTIBLE E10**

Flujo de Combustible (gr/s) E10																			
RPM	600	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200	2400	2600	2800	3000	3200	3400	3600	3800	4000	4200
E10 1	0,38	0,54	0,67	0,79	0,88	0,96	1,02	1,07	1,12	1,16	1,19	1,23	1,27	1,31	1,36	1,43	1,50	1,59	1,70
E10 2	0,30	0,51	0,69	0,84	0,96	1,05	1,13	1,19	1,23	1,27	1,30	1,33	1,37	1,41	1,46	1,52	1,60	1,70	1,83
E10 3	0,31	0,52	0,68	0,82	0,93	1,01	1,08	1,13	1,17	1,20	1,23	1,26	1,29	1,32	1,37	1,44	1,52	1,63	1,76
Promedio	0,33	0,52	0,68	0,81	0,92	1,01	1,08	1,13	1,17	1,21	1,24	1,27	1,31	1,35	1,40	1,46	1,54	1,64	1,76

En la figura 4.18 se presenta los resultados del comportamiento del motor por medio de la curva flujo de combustible vs. RPM.



**FIGURA 4.18 CURVA DE FLUJO DE COMBUSTIBLE VS RPM
PROMEDIO UTILIZANDO COMBUSTIBLE E10**

4.3.3 Diferencia de presión del aire de admisión versus revoluciones por minuto (ΔP vs. RPM)

A continuación en la figura 4.19 se muestra los resultados de la obtención de las curvas de diferencial de presión ΔP vs. RPM.

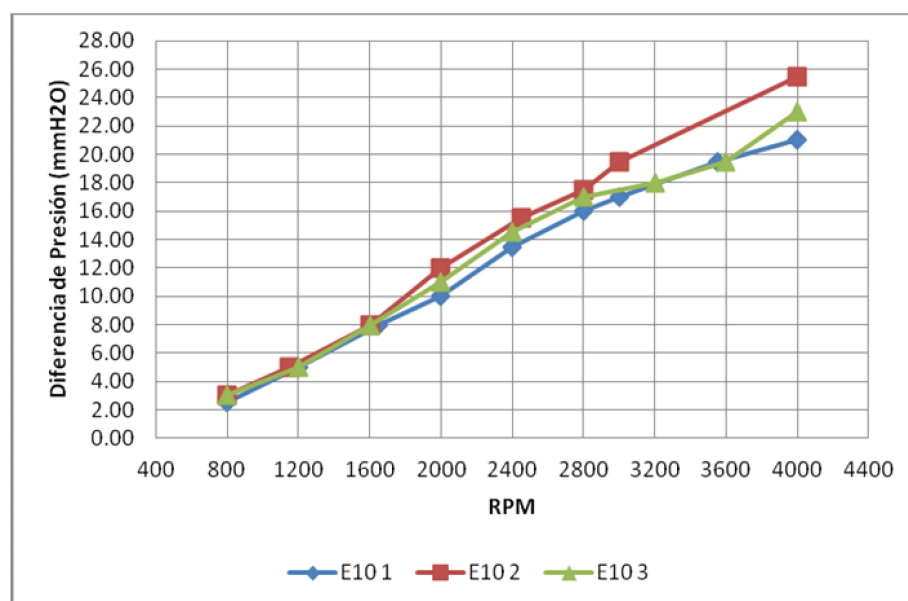


FIGURA 4.19 CURVAS DE DIFERENCIA DE PRESIÓN DEL AIRE ADMISIÓN VS RPM PARA LAS TRES PRUEBAS CON COMBUSTIBLE E10

Los valores de parámetros de la ecuación polinomial con tendencias de diferencial de presión se presenta en la tabla 38, y en la tabla 39 se presenta los valores promedio de diferencial de presión vs. RPM.

TABLA 38

**ECUACIONES DE LAS LÍNEAS DE TENDENCIAS DE DIFERENCIA DE
PRESIÓN DEL AIRE ADMISIÓN VS RPM CON COMBUSTIBLE E10**

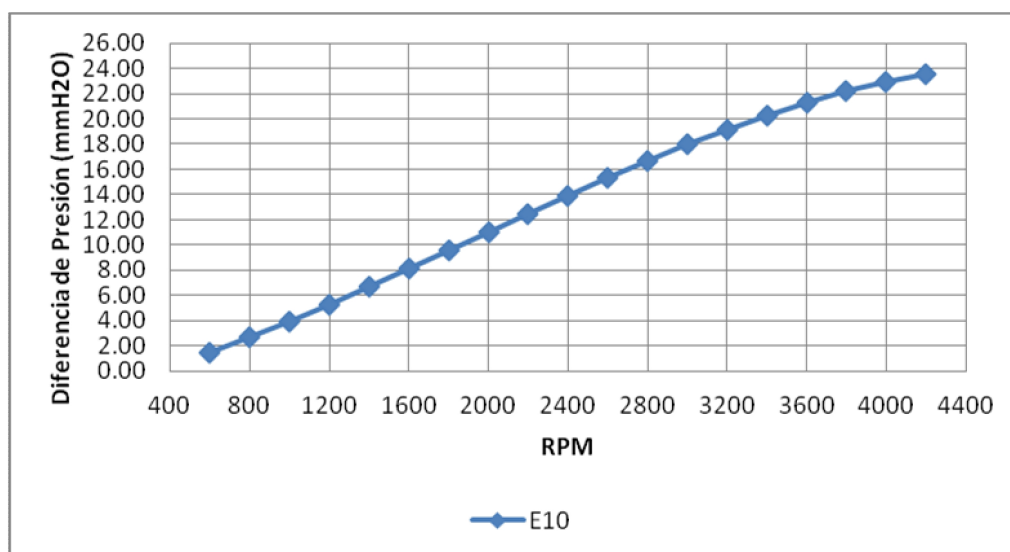
$Y_9 = A_9X_9^3 + B_9X_9^2 + C_9X_9 + D_9$					
PRUEBA	A ₉	B ₉	C ₉	D ₉	% APROX.
E10 1	-0.0000000004359	0.000002553	0.002140	-0.5912	99.90%
E10 2	-0.0000000003853	0.000002531	0.002555	-0.5908	99.84%
E10 3	-0.00000000007234	0.00000001691	0.007535	-3.4206	99.07%

TABLA 39

**DATOS PROMEDIOS DE DIFERENCIA DE PRESIÓN DEL AIRE
ADMISIÓN DE LAS PRUEBAS DINAMOMÉTRICAS CON COMBUSTIBLE
E10**

Caída de Presión (mmH2O) E10																			
RPM	600	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200	2400	2600	2800	3000	3200	3400	3600	3800	4000	4200
E10 1	1,52	2,53	3,67	4,90	6,21	7,58	8,99	10,42	11,83	13,23	14,57	15,85	17,04	18,12	19,07	19,87	20,49	20,92	21,14
E10 2	1,77	2,88	4,11	5,45	6,89	8,40	9,96	11,56	13,18	14,79	16,39	17,95	19,45	20,88	22,21	23,43	24,52	25,47	26,24
E10 3	1,09	2,58	4,06	5,52	6,96	8,38	9,77	11,14	12,47	13,76	15,01	16,22	17,38	18,49	19,55	20,55	21,49	22,36	23,16
Promedio	1,46	2,66	3,94	5,29	6,69	8,12	9,58	11,04	12,49	13,93	15,32	16,67	17,96	19,16	20,28	21,28	22,17	22,92	23,51

Los resultados del comportamiento del motor por medio de la curva diferencial de presión vs. RPM son mostrados en la figura 4.20.



**FIGURA 4.20 CURVA DE DIFERENCIA DE PRESIÓN DEL AIRE
ADMISIÓN VS RPM PROMEDIO UTILIZANDO COMBUSTIBLE E10**

4.3.4 Promedio del análisis de gases de combustión

En la tabla 40 se muestra los resultados del análisis de los gases de combustión de las tres pruebas dinamométricas con combustible mezclado E10.

**TABLA 40
DATOS PROMEDIOS DEL ANÁLISIS DE GASES DE COMBUSTIÓN**

Emission Analyzer	E10 1	E10 2	E10 3	PROMEDIO
CO (%)	2.26	2.51	2.28	2.35
HC (PPM)	66.43	66.43	66.43	66.43
CO ₂ (%)	14.63	15.23	14.63	14.83
O ₂ (%)	0.36	0.40	0.36	0.38
NO _x (PPM)	113.86	120.20	112.50	115.52

4.3.5 Curvas características de rendimiento de motor con combustible E10 y su análisis de gases de combustión

Los resultados finales de las pruebas dinamométricas con combustible mezclado E10 y los valores promedios del análisis de los gases de combustión se presenta a través de la tabla 41.

En la figura 4.21 se presenta las curvas de rendimiento del motor efectuadas con combustible mezclado E10.

TABLA 41
RESULTADOS OBTENIDOS DE LOS CÁLCULOS REALIZADOS CON LA INFORMACIÓN DE LAS PRUEBAS
DINAMOMÉTRICAS CON COMBUSTIBLE E10 Y EL ANÁLISIS DE LOS GASES DE COMBUSTIÓN

E10																			
RPM	600	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200	2400	2600	2800	3000	3200	3400	3600	3800	4000	4200
T (N.m)	52.80	55.12	56.66	57.50	57.71	57.37	56.55	55.32	53.76	51.94	49.93	47.81	45.65	43.52	41.51	39.67	38.08	36.82	35.97
m (gr/s)	0.33	0.52	0.68	0.81	0.92	1.01	1.08	1.13	1.17	1.21	1.24	1.27	1.31	1.35	1.40	1.46	1.54	1.64	1.76
ΔP (mmH2O)	1.46	2.66	3.94	5.29	6.69	8.12	9.58	11.04	12.49	13.93	15.32	16.67	17.96	19.16	20.28	21.28	22.17	22.92	23.51
bhp (Kw)	3.32	4.62	5.93	7.23	8.46	9.61	10.66	11.59	12.39	13.05	13.59	14.02	14.34	14.59	14.78	14.95	15.15	15.42	15.82
bhp (hp)	4.45	6.19	7.95	9.69	11.34	12.89	14.29	15.53	16.60	17.50	18.22	18.79	19.22	19.55	19.81	20.05	20.31	20.68	21.20
bmep (Kg/cm2)	5.68	5.93	6.10	6.19	6.21	6.18	6.09	5.95	5.79	5.59	5.37	5.15	4.91	4.69	4.47	4.27	4.10	3.96	3.87
Cec (Kg/(kw-hr))	0.36	0.41	0.41	0.41	0.39	0.38	0.36	0.35	0.34	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.34	0.35	0.37	0.38	0.40
ηT(%)	23.29%	20.59%	20.27%	20.70%	21.42%	22.26%	23.11%	23.92%	24.63%	25.18%	25.55%	25.70%	25.60%	25.25%	24.66%	23.87%	22.94%	21.93%	20.92%
A/F	17.85	15.32	14.29	13.88	13.79	13.90	14.13	14.44	14.80	15.16	15.49	15.76	15.93	15.96	15.82	15.51	15.01	14.33	13.50
ηV (%)	82.48%	83.55%	81.36%	78.52%	75.67%	72.96%	70.42%	68.04%	65.81%	63.69%	61.67%	59.73%	57.86%	56.03%	54.25%	52.49%	50.75%	49.02%	47.29%

Emission Analyzer	PROMEDIO
CO (%)	2.35
HC (PPM)	66.43
CO ₂ (%)	14.83
O ₂ (%)	0.38
NO _x (PPM)	115.52

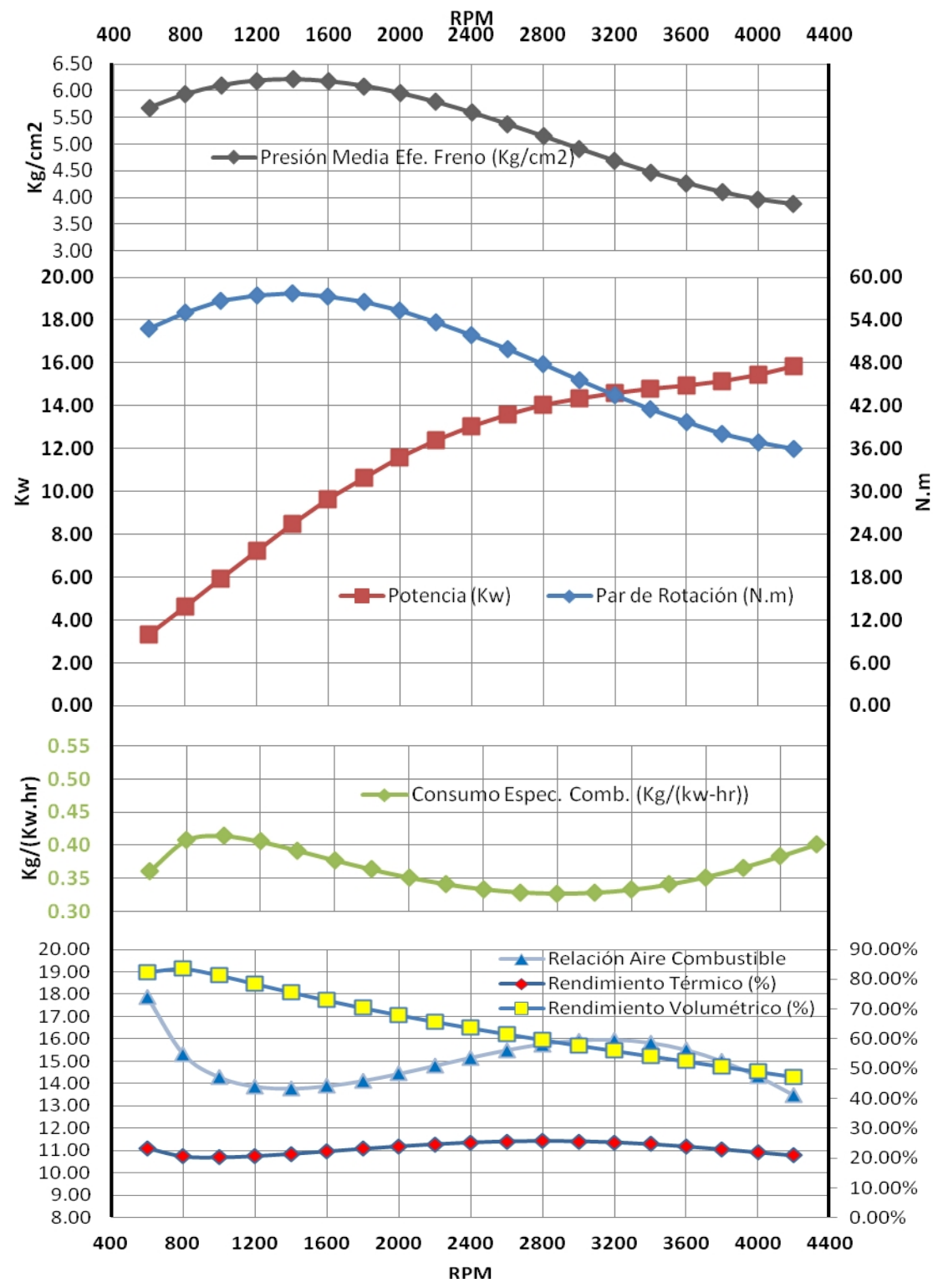


FIGURA 4.21 CURVAS DE RENDIMIENTO DE MOTOR CON COMBUSTIBLE E10

4.4 Análisis comparativo de los resultados de las pruebas dinamométricas

Adicional a los resultados obtenidos, cabe mencionar que la temperatura máxima del motor en las pruebas dinamométricas con cada tipo de combustible se observaron los siguientes cambios:

EXTRA: 85°C

E5: 90°C

E10: 98°C

4.4.1 Curvas de características de rendimiento del motor

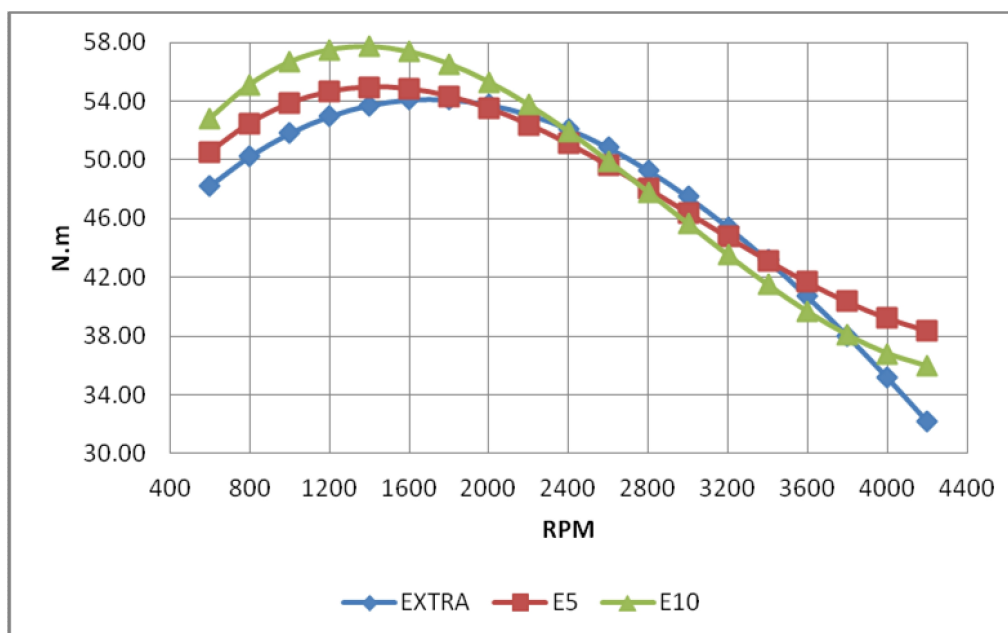


FIGURA 4.22 CURVAS DE PAR DE ROTACIÓN (N.m)

Las curvas de rendimiento del motor utilizando los tres tipos de combustible se muestran a través de la figura 4.22. Los valores de Par de Rotación máximo tanto para los combustibles E5 y E10 se dan aproximadamente a 1400 RPM, mientras que para combustible EXTRA se da a 1800 RPM

Se puede observar una tendencia desde los 600 hasta los 1800 RPM, en el cual se evidencia que a medida que se aumenta el porcentaje de Etanol en el combustible EXTRA, también aumenta el Par de Rotación.

El Par de Rotación de E5 empieza a ser un poco menor a los valores del combustible EXTRA a partir de los 2000 RPM, conservando esta tendencia hasta el valor de 3400 RPM, en donde empieza a superar los valores de Par de Rotación del combustible EXTRA y del combustible E10.

El Par de Rotación de E10 empieza a ser menor a los valores del combustible EXTRA y E5 en el intervalo de 2800 a 3800 RPM, en el cual empieza aumentar su valor y superar solamente al combustible EXTRA.

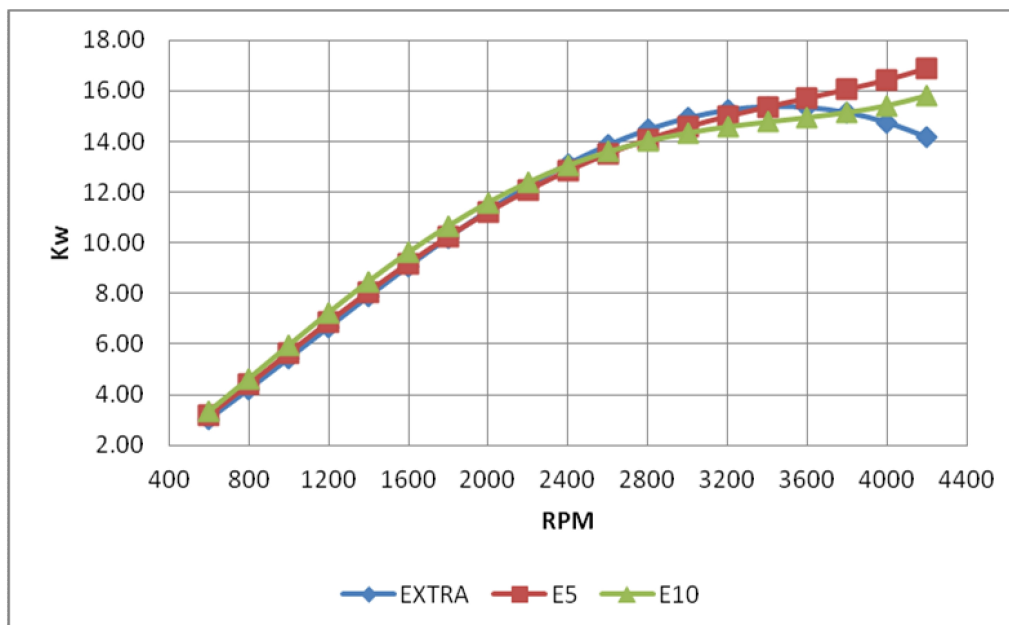


FIGURA 4.23 CURVAS DE POTENCIA (Kw)

Las curvas de comportamiento de la potencia vs. RPM para los tres tipos de combustibles utilizados, se aprecian en la figura 4.23.

La potencia máxima con combustible EXTRA se produce a los 3400 RPM, mientras que la potencia máxima presentada para los combustibles E5 y E10 se presenta a valores mayores de 4400 RPM.

Se evidencia una tendencia de la Potencia de 600 a 2000 RPM, en la cual se observa que a medida que se aumenta el

etanol en el combustible hay un pequeño aumento en la potencia del motor.

La potencia del motor utilizando combustible EXTRA, aproximadamente en el intervalo de 2400 a 3400 RPM, supera los valores de potencia que con los combustibles E5 y E10.

La potencia del motor utilizando el combustible E5 indica valores de potencia mayores que cuando se utiliza combustible E10 a partir del intervalo de aproximadamente 3400 a 4400 RPM.

La potencia del motor usando combustible EXTRA disminuye a valores mucho menores que cuando se utiliza combustible E5 y E10 para valores de RPM que superen los 3800 RPM.

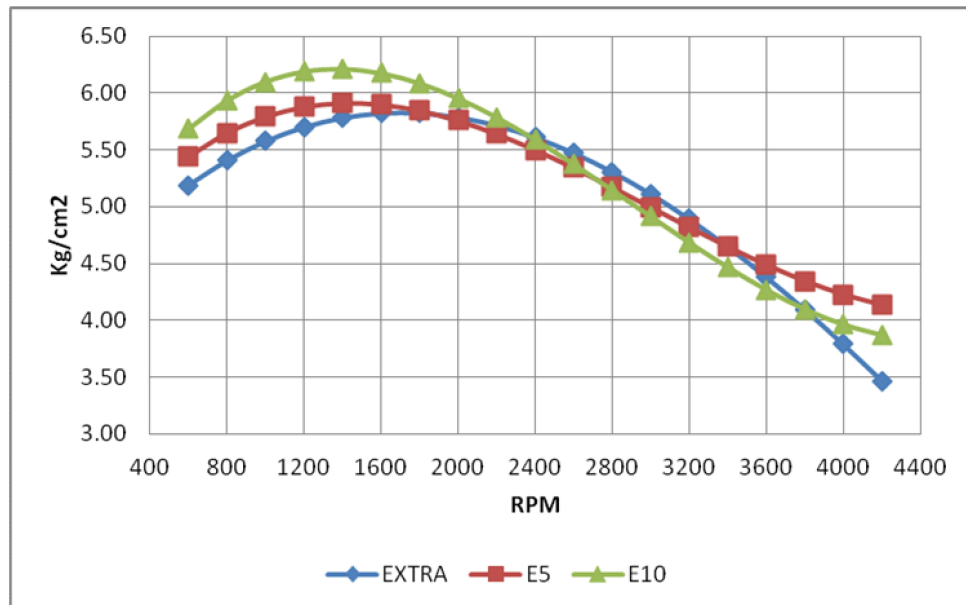
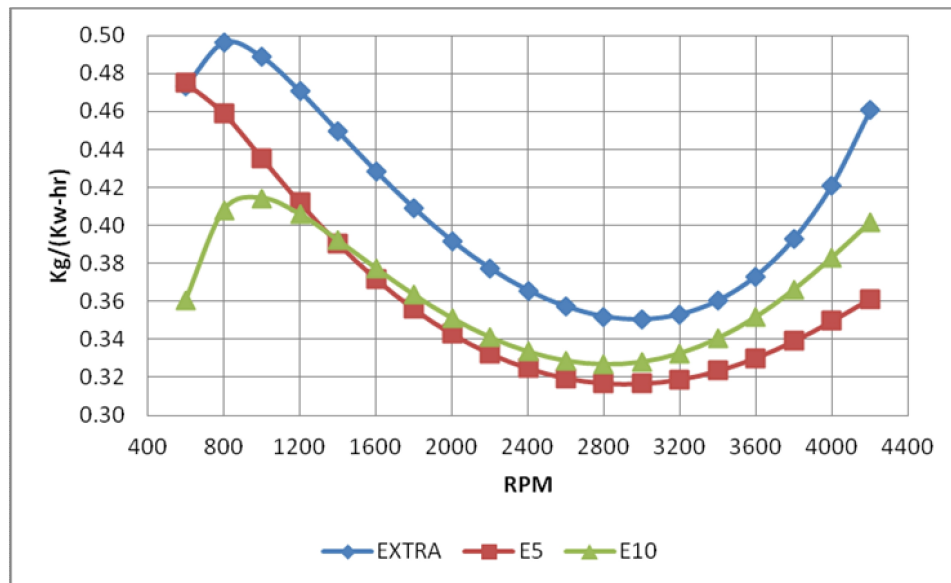


FIGURA 4.24 CURVAS DE PRESIÓN MEDIA EFECTIVA AL FRENO (Kg/cm²)

Las curvas de Presión Media Efectiva al freno, presentadas en la figura 4.24 para los tres tipos de combustible en estudio tienen el mismo comportamiento que las curvas de Par de Rotación.



**FIGURA 4.25 CURVAS DE CONSUMO ESPECÍFICO DE
COMBUSTIBLE (Kg/(Kw-hr))**

En la figura 4.25 se aprecia que la tendendica de las curvas indican que los valores mínimos de Consumo Específico de Combustible para los tres tipos de combustibles se dan entre los valores de 2800 y 3000 RPM.

Los valores mas altos de Consumo Específico de Combustible se da paro los valores mas altos y bajos de RPM.

Se puede evidenciar que el Consumo Específico de Combustible cuando el motor opera con combustible EXTRA indica valores superiores que cuando se utiliza los combustibles E5 y E10 para todos los valores de las RPM en que se realizaron las pruebas dinamométricas.

En el intervalo de 1400 a 4200 RPM se puede observar que el consumo específico de combustible de E10 muestra valores mayores a los valores obtenidos con combustible E5.

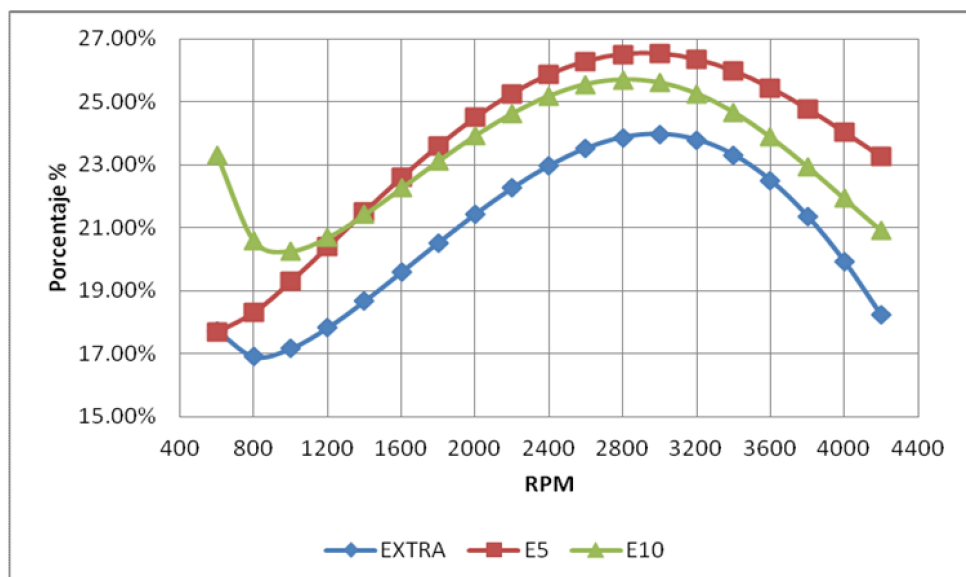


FIGURA 4.26 CURVAS DE RENDIMIENTO TÉRMICO (%)

Los porcentajes más altos de Rendimiento Térmico se dan en el intervalo de 2600 a 3200 RPM. Los porcentajes más bajos de Rendimiento Térmico se dan a valores bajos y altos de RPM.

El rendimiento Térmico con combustible E5 supera a los valores obtenidos con los combustibles E10 y EXTRA respectivamente, en el intervalo de 1400 a 4200 RPM.

Utilizando combustible EXTRA se obtiene los valores más bajos de Eficiencias Térmicas si se compara con los valores obtenidos con los combustible E5 y E10.

En el intervalo de 600 a 1200 RPM se obtuvo valores mayores de Rendimiento Térmico cuando se utiliza el combustible E10, comparando la operación del motor con los combustibles E5 y EXTRA.

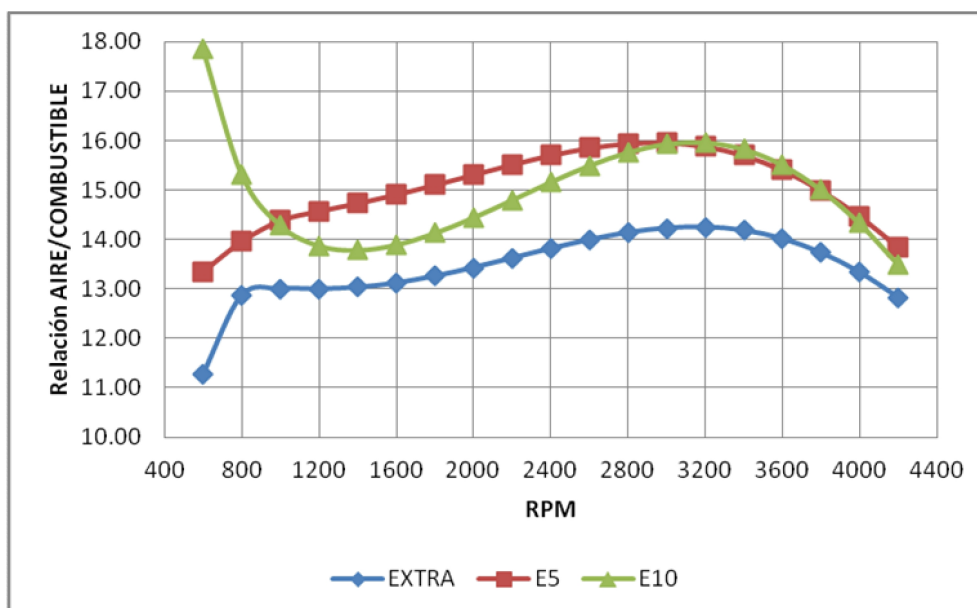


FIGURA 4.27 CURVAS DE RELACIÓN AIRE-COMBUSTIBLE

Las curvas de Relación de Aire-Combustible, mostradas en la figura 4.27, aumentan a medida que aumentan las RPM del motor, esto se puede observar en el intervalo de 1200 a 3200 RPM. Cuando las RPM del motor sobrepasan los 3200 RPM se puede observar un decaimiento en la curva de Relación Aire-Combustible.

Se puede evidenciar que las relaciones de Aire-Combustible para el combustible E5 son mayores que para el combustible EXTRA.

La curva de Relación de Aire-combustible para el combustible E10 no sigue la misma tendencia de las curvas obtenidas con E5 y EXTRA, pero se encuentra por encima de la curva de comportamiento con combustible EXTRA para todos los valores de RPM y por debajo de la curva de comportamiento con E5 en el intervalo de 1000 a 3000 RPM.

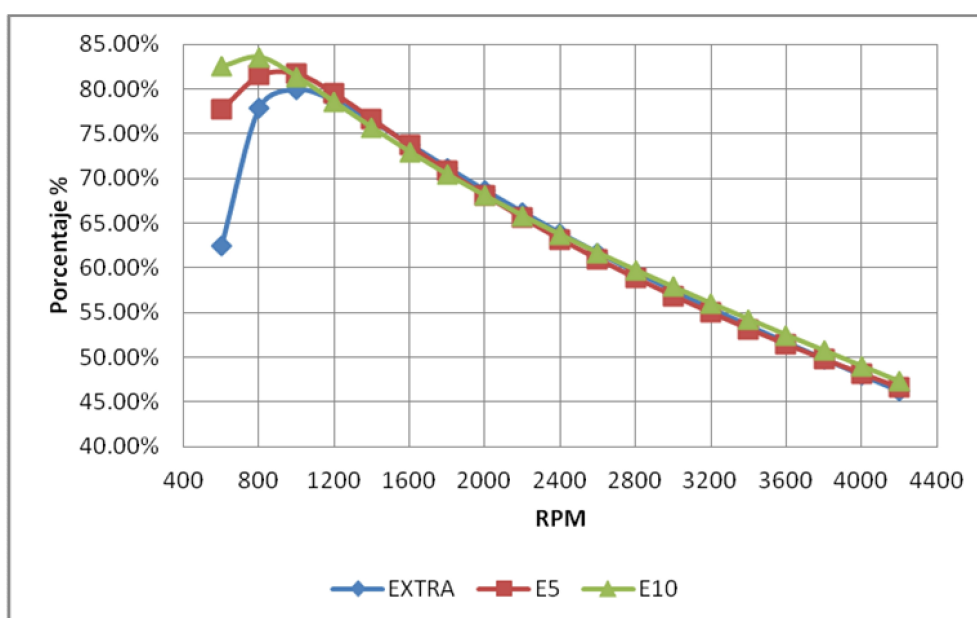


FIGURA 4.28 CURVAS DE EFICIENCIA VOLUMÉTRICA (%) .

En la figura 4.28 se puede apreciar que la relación de la Eficiencia Volumétrica vs RPM del motor es prácticamente lineal en el intervalo de 1000 a 4200 RPM, en donde, a

medida que aumentan la RPM del motor la Eficiencia Volumétrica disminuye proporcionalmente.

Las curvas de Eficiencia Volumétrica para combustible EXTRA, E5 y E10 son muy similares en sus valores para el intervalo de 1000 a 4400 RPM.

4.4.2 Concentración de los gases de combustión emitidos al ambiente

En el análisis de los gases de combustión que se realizó simultáneamente en las pruebas dinamométricas se obtuvieron los siguientes resultados promedios y las siguientes tendencias mostradas a través de la tabla 4.34.

TABLA 42
RESULTADOS PROMEDIO DE LAS CONCENTRACIONES DE
LOS GASES DE COMBUSTIÓN

Emission Analyzer	Valores Promedios		
	EXTRA	E5	E10
CO (%)	3.22	2.61	2.35
HC (PPM)	211.52	105.05	66.43
CO ₂ (%)	13.08	13.99	14.83
O ₂ (%)	0.21	0.30	0.38
NO _x (PPM)	38.73	85.82	115.52

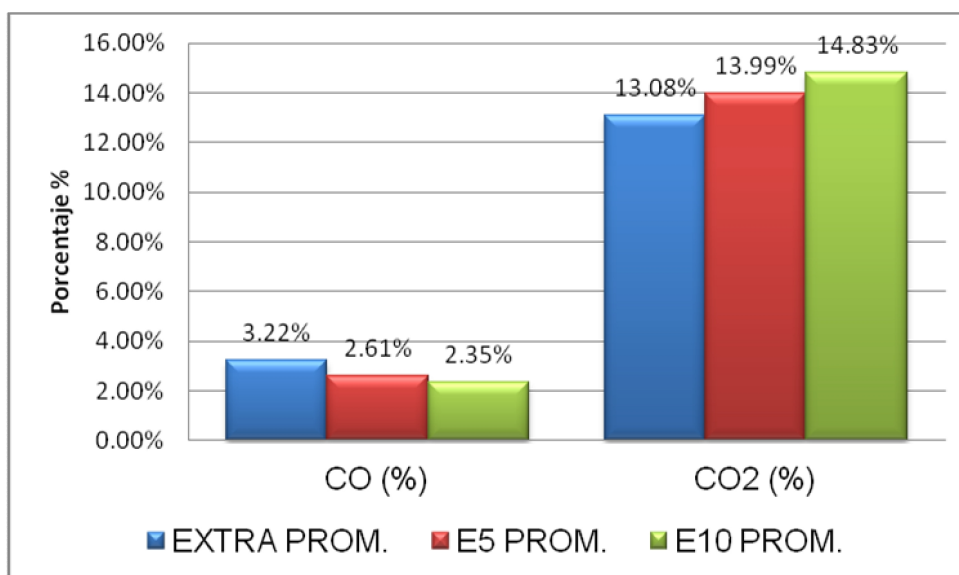


FIGURA 4.29 PROMEDIOS DE CO Y CO₂ EN LOS GASES DE COMBUSTIÓN (%)

Se puede observar que las concentraciones de CO en los gases de combustión están en el rango de 2 al 4%, mientras que las concentraciones de CO₂ se encuentran en el rango de 13 a 15%.

La concentración de CO en los gases de combustión se reduce a medida que aumenta el porcentaje de etanol en el combustible EXTRA.

La concentración de CO₂ en los gases de combustión aumenta a medida que aumenta el porcentaje de etanol en el combustible EXTRA.

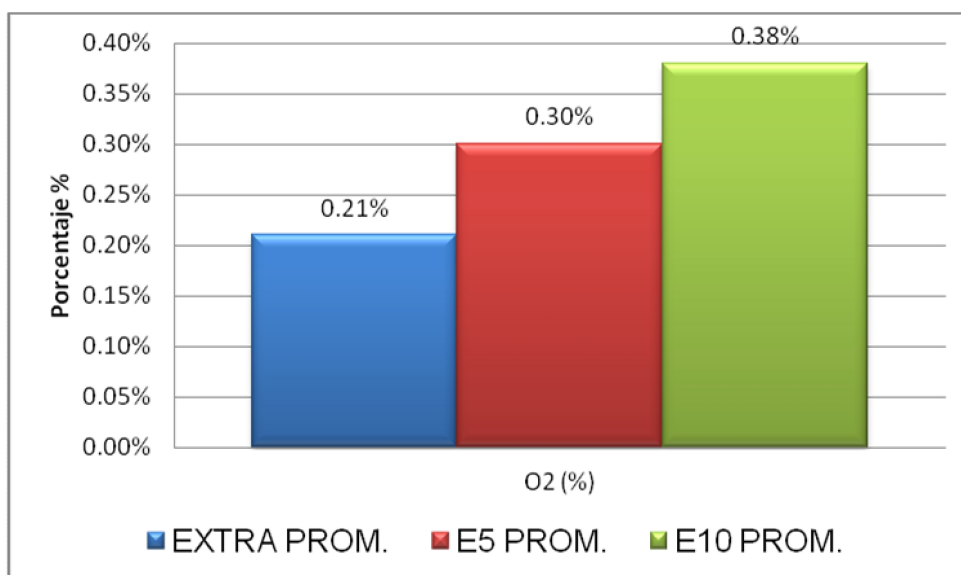


FIGURA 4.30 PROMEDIOS DE O₂ EN LOS GASES DE COMBUSTIÓN (%)

En la figura 4.30 se observa las concentraciones de oxígeno en los gases de combustión se encuentran en el rango de 0.20 a 0.4 %.

A medida que la concentración de etanol aumenta en el combustible EXTRA, las concentraciones de O₂ también aumentan.

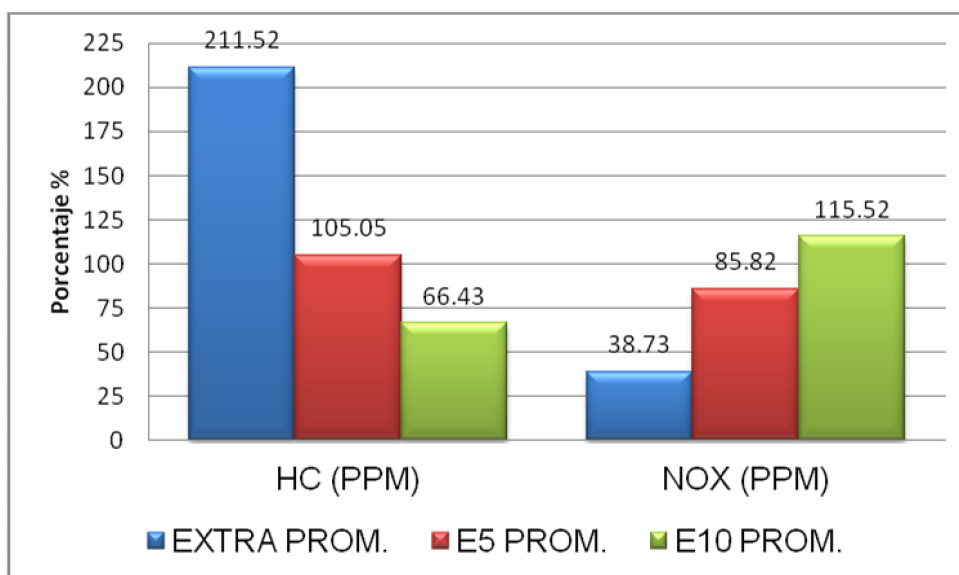


FIGURA 4.31 PROMEDIOS DE HC Y NO_x EN LOS GASES DE COMBUSTIÓN (PPM)

La cantidad de HC en los gases de combustión se presentó en el rango de 65 a 212 PPM. El comportamiento que se evidencia es que la cantidad de HC se reduce a medida que se incrementa la concentración de etanol en el combustible..

La cantidad de NO_x en los gases de combustión estuvo en el rango de 38 a 116 PPM. Se puede observar que a medida que la concentración etanol aumenta en el combustible EXTRA, los NO_x aumentan también.

CAPÍTULO 5

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

1. La operación del motor utilizando los combustibles E5 y E10 mejora el rendimiento como se puede observar en todas las curvas características. El rendimiento del motor con el combustible E5 supera los resultados obtenidos con el combustible EXTRA e inclusive se muestra en algunas ocasiones superior en rendimiento que el combustible E10.
2. El motor de combustión interna con los combustible E5 y E10 mejora su rendimiento en lo que se refiere al par de rotación que puede entregar el volante del motor hacia un grupo de embrague que se encuentre en un vehículo a revoluciones de 600 a 2200 RPM (con el combustible E10 se obtuvieron los valores más altos

de Par de Rotación), logando obtener un motor con mayor Par de Rotación para ese rango de revoluciones.

3. Los porcentajes de etanol en los combustibles E5 y E10 aumentan la Potencia del motor en el rango de 600 a 2200 RPM. Adicional a esto los valores de potencia máxima del motor se incrementan y no empieza a decaer a valores 3400 RPM, tal y como sucede con el uso de combustible EXTRA.
4. Los combustibles oxigenados mejoran el rendimiento en el Consumo Específico de Combustible en el motor de combustión interna. Obteniendo la misma cantidad de Kw-hr con menos cantidad de combustible.
5. La eficiencia en el aprovechamiento de la energía total del combustible aumenta cuando se realizan las pruebas con los combustibles E5 y E10, como lo demuestra las curvas de Rendimiento Térmico.
6. El aumento en el contenido de CO₂, la disminución en el porcentaje de CO, la disminución de los hidrocarburos no quemados son evidencia de un proceso de combustión más eficiente con mayor

liberación de energía. El aumento de los óxidos de nitrógeno es consecuencia de temperaturas más altas de combustión.

Recomendaciones

1. Para mejorar los resultados obtenidos con combustible E10 en las pruebas dinamométricas y así lograr en su totalidad rendimientos superiores a los obtenidos con combustible E5, es necesario realizar cambios a las calibraciones estándares del sistema de admisión de aire y entrega de combustible para obtener una relación de Aire-Combustible adecuada.
2. Para determinar la operatividad del motor Nissan A12 en pruebas dinamométricas con mezclas mayores al 10% de etanol en el combustible, no es suficiente realizar cambios a los reglajes en el sistema de admisión. Después de los resultados obtenidos en este estudio, se recomienda realizar modificaciones o adaptaciones en el sistema de admisión de aire y entrega de combustible (carburador) para obtener resultados satisfactorios.

ANEXOS

ANEXO 1

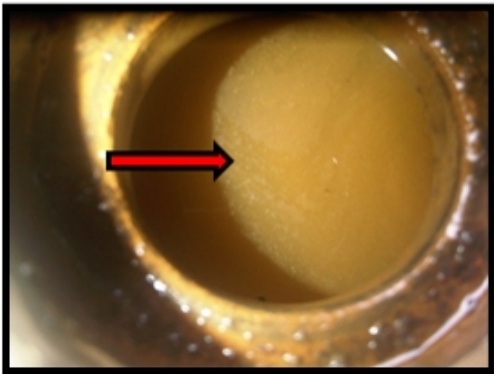
INSPECCIÓN VISUAL INICIAL



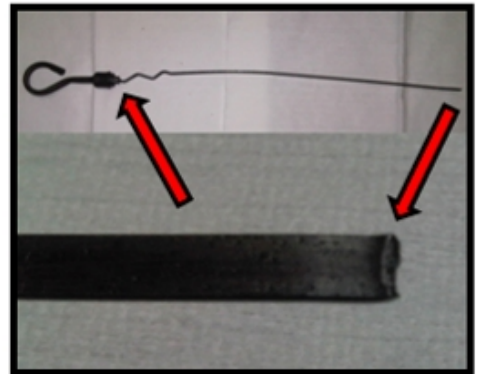
No se encontró la tapa de llenado de aceite



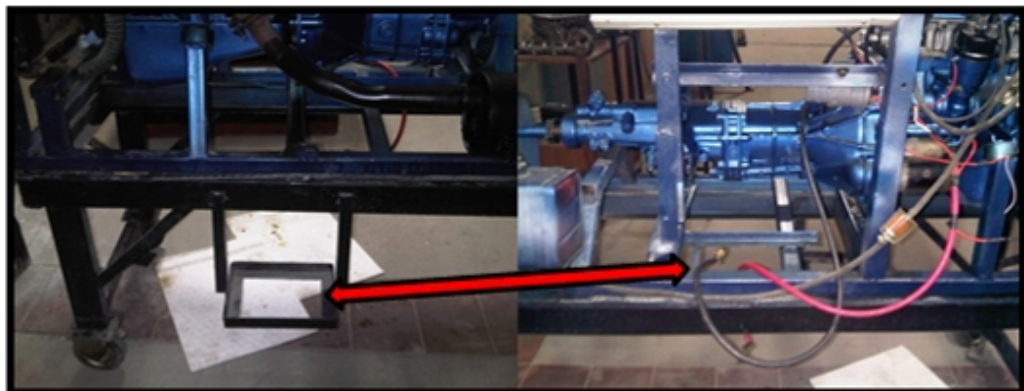
Tapa del radiador fuera de servicio



Sistema de enfriamiento colapsado con sedimento



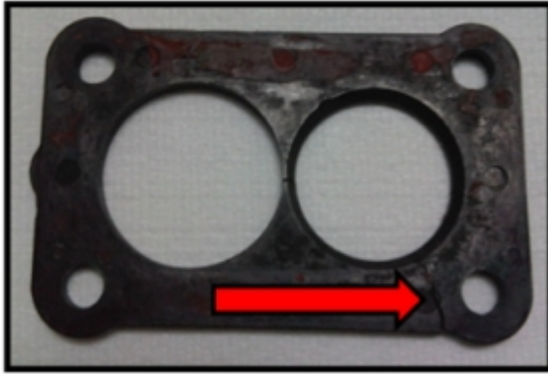
Bayoneta rota y no es la original del motor



No se encontró batería de 12V

ANEXO 2

CARBURADOR DESARMADO – PLATINA Y CONDENSOS



Placa aisladora de calor del carburador fisurada



Sello de pistón del carburador roto



Guardapolvo del pistón del carburador roto



Contactos de la platina se encontraron picadas

ANEXO 3

PRESIÓN DE COMPRESIÓN DE CILINDROS ANTES DEL SEGUNDO INTENTO DE ENCENDIDO.



Presión de compresión del cilindro N°1



Presión de compresión del cilindro N°2



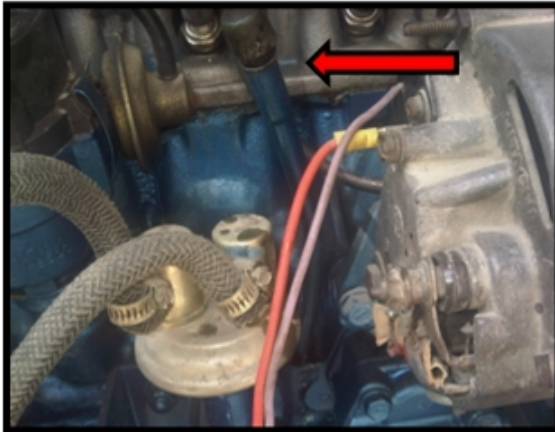
Presión de compresión del cilindro N°3



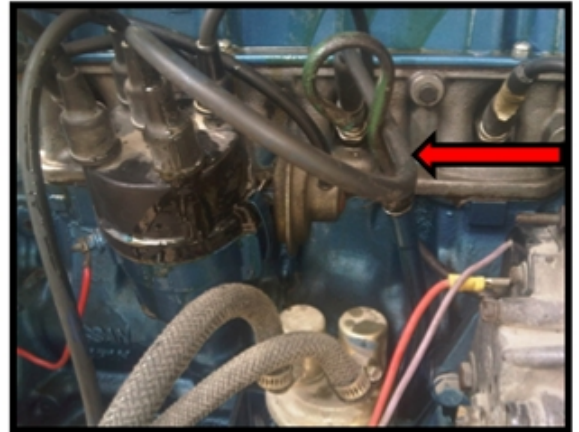
Presión de compresión del cilindro N°4

ANEXO 4

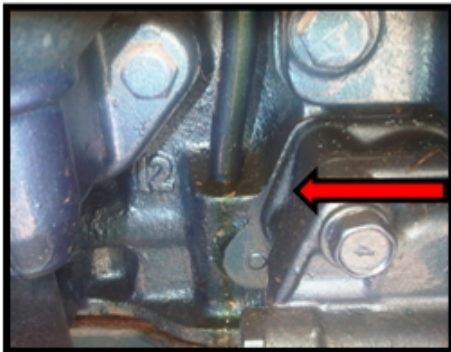
FUGAS DE ACEITE DURANTE Y DESPUÉS DEL SEGUNDO INTENTO DE ENCENDIDO.



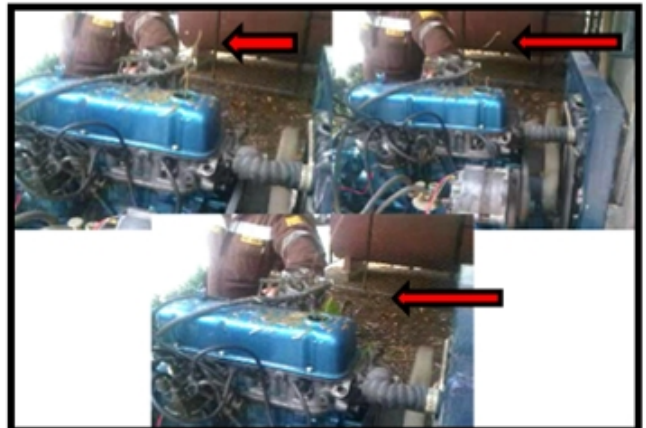
Fuga de aceite donde se indica



Fuga de aceite donde se indica



Fuga de aceite donde se indica



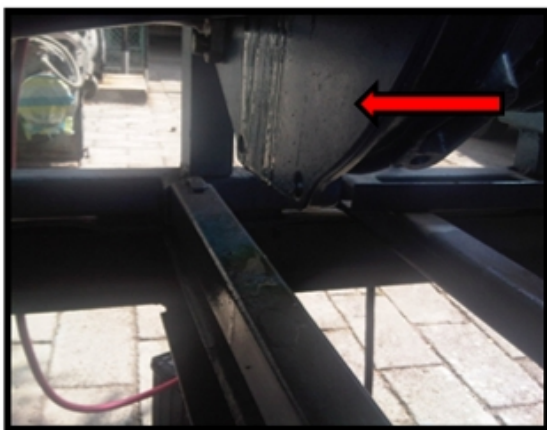
Fuga de aceite por tapa de llenado de aceite durante el segundo intento de encendido



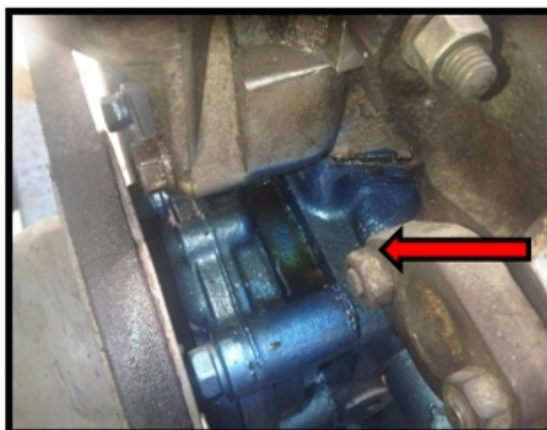
El aceite regado al finalizar el encendido del motor



Fuga de aceite por el retenedor de aceite del cigueñal



Fuga de aceite por el retenedor del cigueñal



Fuga de aceite por sellos y empaques del motor

ANEXO 5

DESARMADO DE MOTOR NISSAN A12.



Motor en cuerpo de bombeo con cabezote desmontado



Presencia de sedimento en parte superior del bloque



Presencia de sedimento en sistema de refrigeración de motor



Motor desmontado del grupo de bombeo



Bloque de motor en mesa de trabajo para desarmado total



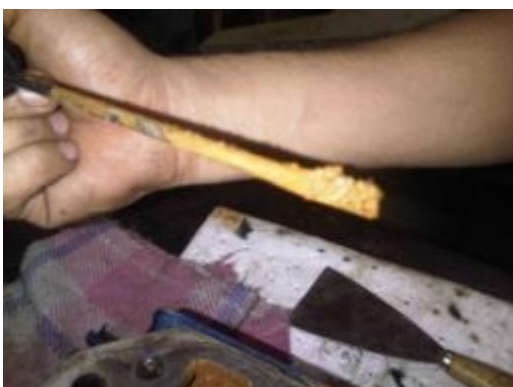
Bloque de motor, cigüeñal y barra de levas



Conductos de refrigeración en bloque con sedimentos



Extrayendo el sedimento del bloque del motor



Sedimento de color naranja dentro del sistema de enfriamiento



Sedimentos dentro de los conductos de refrigeración del cabezote



Motor totalmente desarmado y limpio para su posterior diagnostico

ANEXO 6

EVALUACIÓN Y DIAGNÓSTICO DE MOTOR.



Evaluación del doblamiento del cigüeñal



Herramienta para la evaluación de los moñones de biela y bancada



Midiendo los moñones de biela y bancada con el micrómetro de diámetros externos



Evaluación de la barra de levas



Moñón de biela y bancada ligeramente pulidos para desprender marcas de agua



Barra de levas y cigüeñal evaluados limpios y lubricados para su posterior instalación



*Medición del desgaste de las camisas del
bloque del motor*



*Midiendo con el comparador de diámetros
internos*

ANEXO 7

ARMADO DE MOTOR DE MOTOR.



Adaptación de la conexión del dinamómetro para trabajar con el Nissan A12



Instalación de bielas, pistones y anillos nuevos



Instalación de los pistones nuevos



Instalación de cojinetes de biela y bancadas nuevos



3/4 de motor armado con el cabezote instalado



7/8 de motor armado



*Instalación de motor Nissan A12 al
dinamómetro*



*Presentando el motor Nissan A12 en las
bases del motor anterior*



*Motor Nissan A12 sujeto sin bases de motor
anterior*



Bases del motor anterior



*Modificando las bases del motor anterior
para poder trabajar con el motor Nissan A12*



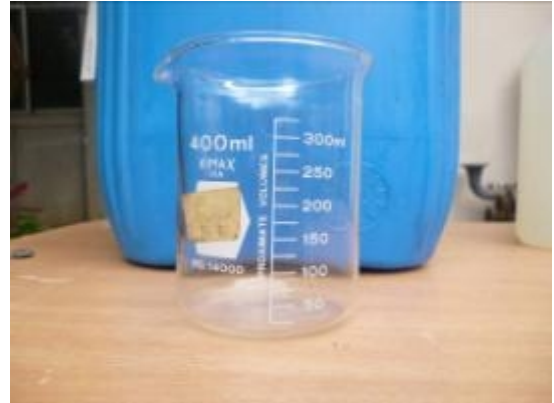
*Maquinado de ranura para realizar una
correcta alineación del motor con el
dinamómetro*

ANEXO 8

PREPARACION DE LA MEZCLA DEL COMBUSTIBLE E10



Equipos utilizados para la preparación del combustible E10



Instrumento de medición para realizar la mezcla de 9 a 1



9 partes de combustible EXTRA y 1 parte de alcohol Industrial (Anhidro)



Midiendo la una parte de alcohol anhidro



Colocando la una parte de alcohol anhidro en embase para realizar la mezcla



Midiendo las 9 partes de gasolina EXTRA



Colocando las 9 partes de gasolina EXTRA en embase para realizar la mezcla



Mezclando las partes de alcohol anhidro y gasolina EXTRA para obtener en combustible E10

ANEXO 9

DETERMINACION DE LA DENSIDAD DE LOS COMBUSTIBLES EXTRA, E5 Y E10.



Equipos utilizados para determinar la densidad de los combustibles utilizados en las pruebas dinamométricas



Combustible EXTRA



Combustible E5



Combustible E10

ANEXO 10

EL ANTES Y EL DESPUÉS DE BANCO DINAMOMÉTRICO



Estado del banco dinamométrico antes del estudio.



Estado del banco dinamométrico después del estudio.



Medidor eléctrico de RPM del motor nuevo



Medidor mecánico de la presión de aceite del motor



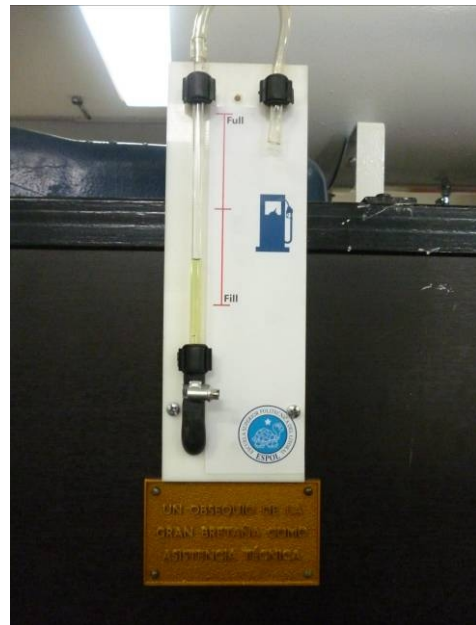
Medidor mecánico de la temperatura del motor nuevo



Medidor de la diferencia de presión de aire de la admisión



Medidor de consumo de combustible nuevo y más preciso que su predecesor



Medidor del nivel de combustible presente en el tanque de combustible



Medidor del par de rotación del motor



Foto final de cómo se entregó el banco dinamométrico

BIBLIOGRAFÍA

1. Edward F. Obert, Internal Combustion Engines – Analysis and Practice, Segunda Edición, CIA. Editorial Continental, S.A. de C.V., 1997
2. Dante Giacosa, Motores Endotérmicos – Motores de Encendido por Chispa: de Carburación y de Inyección, Editorial Dossat, 1980.
3. Richard Stone, Introduction to Internal Combustion Engines, Third Edition, SAE International, 1999.
4. H. Kindler y H. Kynast, Matemática Aplicada para la Técnica del Automóvil, Octava Edición, Editorial Reverté, S.A., Barcelona, 1986
5. M. Arias Paz, Manual de Automóviles, 54ª Edición, CIE Inversiones Editoriales Dossat 2001.
6. Theodore Baumeister y Lionel S. Marks, Manual del Ingeniero Mecánico de Marks, Sexta Edición, Unión Tipográfica Editorial Hispano-Americana.
7. Nissan Motor CO., LTD. Tokio, Japón, Datsun Service Manual Model A10 Series, 1979.
8. Nissan Motor CO., LTD. Tokio, Japon, Manual de Servicio – Modelos – Series A10 y A12 – Motores, 1974.
9. Froude, Instruction Manual 506/4 – Froude Hydraulic Dynamometers DPX & DPXR.

10. Guía de Procedimiento de Pruebas Dinamométricas para el Motor Diesel Petter AA1 de 4 Tiempos.
11. Nextech CO., LTD, Manual de Usuario del Analizador de Gases de Combustión NGA 6000.
12. Oscar Piamba y Oscar Fabian, “Desempeño de Motor Utilizando Como Combustible Mezcla de Etanol Anhidro y Gasolina en Relación de 10% en Volumen E10” (8° Congreso Iberoamericano de Ingeniería Mecánica, Departamento de Ingeniería Mecánica y Mecatrónica, Universidad Nacional de Colombia)