



# ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL



## FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

**TEMA: DETERMINACIÓN DE LA VARIACIÓN DE PAR MOTOR,  
POTENCIA Y PÉRDIDAS MECÁNICAS EN UN MOTOR DE  
ENCENDIDO PROVOCADO (MEP) EN FUNCIÓN DE LA PRESIÓN  
ATMOSFÉRICA Y TEMPERATURA AMBIENTE A TRAVÉS DEL  
MÉTODO DE ACELERACIÓN LIBRE.**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
MAGISTER EN SISTEMAS AUTOMOTRICES**

**ING. FABIÁN ALEJANDRO CARGUA COLCHA**  
fcargua3103@hotmail.com

**ING. JUAN CARLOS CASTELO VALDIVIESO**  
juankar\_telo@hotmail.com

**DIRECTOR: ING. IVÁN ZAMBRANO OREJUELA**  
ivan.zambrano@epn.edu.ec

**CO-DIRECTOR: ING. MIGUEL DARÍO ORTEGA LÓPEZ**  
miguel.ortega@epn.edu.ec

**Quito, febrero 2017**

## **CERTIFICACIÓN**

Certificamos que el presente trabajo fue desarrollado por los Ingenieros Fabián Alejandro Cargua Colcha y Juan Carlos Castelo Valdivieso, bajo nuestra supervisión.

---

**Ing. Iván Zambrano Orejuela**

**DIRECTOR DE PROYECTO**

---

**Ing. Miguel Ortega López**

**CO - DIRECTOR DE  
PROYECTO**

## DECLARACIÓN

Nosotros, **Fabián Alejandro Cargua Colcha y Juan Carlos Castelo Valdivieso**, declaramos que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional, puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

---

**Fabián Alejandro Cargua Colcha**

---

**Juan Carlos Castelo Valdivieso**

## **DEDICATORIA**

La presente investigación la dedico a mis padres, Carlos Castelo y Martha Valdivieso, pilares inspiradores de sabiduría, entrega y responsabilidad, que con su incondicional apoyo hoy veo culminado un escalón más de mi vida profesional.

A mis familiares y amigos que siempre estuvieron conmigo apoyándome en cada una de mis metas y distribuyendo el respectivo incentivo para poder salir adelante en este trabajoso sendero de la vida.

Juan Carlos Castelo Valdivieso

## **DEDICATORIA**

La conclusión de esta etapa, está dedicada a mis padres Segundo y Fabiola mi hermana Daniela; pilares fundamentales para la obtención de este triunfo.

A toda mi familia por el apoyo incondicional durante toda mi vida.

Fabián Cargua

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios por sobre todas las cosas y a mi madre Dolorosa, ya que gracias a su regocijo y protección tengo la salud y el intelecto suficiente para poder aportar a la sociedad de una forma positiva.

El agradecimiento infinito a los docentes de la Escuela Politécnica Nacional, que con sus enseñanzas y conocimientos han sabido guiarme para llevar a cabo la presente investigación, en especial al Ingeniero Miguel Ortega y al Ingeniero Ángel Portilla, apoyos principales para el presente trabajo.

Juan Carlos Castelo Valdivieso

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios por todas las bendiciones para nunca desmayar.

A mi familia por ser la inspiración para la consecución de este proyecto

A los docentes de la EPN los cuales fortalecieron el conocimiento durante este proceso, principalmente al Ing. Miguel Ortega y al Ing. Ángel Portilla por su colaboración en la conclusión de este proyecto de investigación.

Fabián Cargua

# ÍNDICE

CERTIFICACIÓN.....	i
DECLARACIÓN .....	ii
DEDICATORIA .....	iii
DEDICATORIA .....	iv
AGRADECIMIENTO .....	v
AGRADECIMIENTO .....	vi
ÍNDICE DE TABLAS .....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
RESUMEN .....	xv
ABSTRACT .....	xv
INTRODUCCIÓN.....	1
Pregunta de Investigación.....	1
Objetivo General .....	2
Objetivos específicos.....	2
Alcance.....	2
1. MARCO TEÓRICO.....	3
1.1 Potencia y torque en motores de combustión interna.....	4
Torque o par motor en motores de combustión interna.....	4
Potencia de un motor de combustión interna.....	6
1.2 Curvas características de motores de combustión interna.....	9
Curvas de velocidad .....	9
Curvas características multiparamétricas .....	10
1.3 Métodos de obtención de torque y potencia en motores de combustión interna .....	11
Obtención de potencia y torque por el método directo de frenos de fricción.....	11
Obtención de potencia y torque por el método de freno hidráulico .....	12
Obtención de torque y potencia por el método de freno eléctrico.....	14
Obtención de potencia y torque por dinamómetro de chasis.....	15
Obtención de potencia y torque por el método de aceleración libre.....	15
2. METODOLOGÍA .....	17
2.1 Diseño e implementación del software y hardware .....	18
Selección del tipo de señal a tomar como medida de revoluciones en el motor .....	18



Selección de la tarjeta de adquisición de datos .....	19
Selección del tipo de motor y vehículo en el que se va a realizar la investigación.....	23
Selección del equipo para medir presión atmosférica, temperatura ambiente y altura sobre el nivel del mar .....	25
Diseño del software para la obtención de torque y potencia por aceleración libre.....	26
Desarrollo del software CAN Monitor .....	26
Desarrollo del software DynoRacer .....	29
Implementación del equipo de adquisición en el vehículo para medir el par motor, potencia y pérdidas mecánicas por el método de aceleración libre. ....	35
2.2 Determinación de las variables que intervienen en la potencia y torque de un motor de combustión interna.....	37
Metodología para medir la potencia y torque por aceleración libre.....	38
Determinación del número de pruebas a realizarse para obtener un valor promedio válido	40
Procedimiento a realizar en vehículo para la obtención de torque, potencia y pérdidas mecánicas del motor. ....	46
2.3 Determinación de la constante del momento de inercia. ....	47
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	52
3.1 Medición y obtención de potencia y torque en el vehículo de investigación a diferentes valores de temperatura ambiente y presión atmosférica constante. ....	52
3.2 Medición y obtención de potencia y torque en el vehículo de investigación a diferentes valores presión atmosférica.....	55
Pruebas a 0 m.s.n.m. ....	55
Pruebas realizadas a 250 m.s.n.m.....	59
Pruebas realizadas a 500 m.s.n.m.....	61
Pruebas realizadas a 750 m.s.n.m.....	64
Pruebas realizadas a 1000 m.s.n.m.....	66
Pruebas realizadas a 1250 m.s.n.m.....	69
Pruebas realizadas a 1500 m.s.n.m.....	71
Pruebas realizadas a 1750 m.s.n.m.....	73
Pruebas realizadas a 2000 m.s.n.m.....	76
Pruebas realizadas a 2250 m.s.n.m.....	78
Pruebas realizadas a 2500 m.s.n.m.....	81
Pruebas realizadas a 2750 m.s.n.m.....	83

Pruebas realizadas a 3000 m.s.n.m.....	85
Pruebas realizadas a 3250 m.s.n.m.....	87
Pruebas realizadas a 3500 m.s.n.m.....	90
Pruebas realizadas a 3750 m.s.n.m.....	92
Pruebas realizadas a 4000 m.s.n.m.....	94
3.3 Discusión .....	96
Evaluación de los resultados a diferente temperatura ambiente y presiones atmosféricas...	97
Evaluación de las normas DIN e INEN según los resultados de la investigación.....	101
4. CONCLUSIONES .....	108
Referencias Bibliográficas .....	111
Anexos.....	113
ANEXO I. RESULTADOS DE LAS PRUEBAS EN DINAMÓMETRO EN LA ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL .....	114
ANEXO II. RESULTADOS DE LAS PRUEBAS EN DINAMÓMETRO EN EL CCICEV .....	115
ANEXO III. CARACTERÍSTICAS DEL INSTRUMENTO KESTREL UTILIZADO PARA MEDIR LA PRESIÓN ATMOSFÉRICA Y TEMPERATURA AMBIENTE.....	116
ANEXO IV. NORMA INEN 0960 .....	117
ANEXO V. PAPER DE LA COMPARACIÓN DE POTENCIA DEL MOTOR Y FACTORES DE CORRECCIÓN POR VARIACIÓN DE CONDICIONES ATMOSFÉRICAS .....	118
ANEXO VI. NOTAS SOBRE MEDIDAS DE INCERTIDUMBRE PARA DETERMINAR EL NÚMERO DE PRUEBAS A REALIZARSE EN UN EXPERIMENTO .....	119
ANEXO VII. IDENTIFICACIÓN DE PID's PARA LA PROGRAMACIÓN DE LA TARJETA DAQ NI 9862 ..	120

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Valores de Potencia desconectado el actuador CVV-T .....	44
Tabla 2.2 Valores de Par Motor desconectado el actuador CVV-T.....	45
Tabla 2.3 Valores de pérdidas mecánicas desconectado el actuador CVV-T.....	45
Tabla 2.4 Valores de potencia por aceleración libre en condiciones atmosféricas de Quito .....	49
Tabla 2.5 Valores de potencia y torque por aceleración libre en condiciones atmosféricas de Guayaquil .....	51
Tabla 3.1 Valores de potencia efectiva y temperatura ambiente, del refrigerante y aire en el múltiple de admisión .....	53
Tabla 3.2 Datos obtenidos de torque a una altura de 0 m.s.n.m.....	57
Tabla 3.3 Valores obtenidos de potencia a una altura de 0 m.s.n.m.....	57
Tabla 3.4 Valores obtenidos de pérdidas mecánicas a una altura de 0 m.s.n.m.....	58
Tabla 3.5 Valores obtenidos de torque a una altura de 250 m.s.n.m. ....	60
Tabla 3.6 Valores obtenidos de potencia a una altura de 250 m.s.n.m. ....	61
Tabla 3.7 Valores obtenidos de perdidas mecánicas a una altura de 250 m.s.n.m. ....	61
Tabla 3.8 Valores obtenidos de torque a una altura de 500 m.s.n.m. ....	63
Tabla 3.9 Valores obtenidos de potencia a una altura de 500 m.s.n.m. ....	63
Tabla 3.10 Valores obtenidos de pérdidas mecánicas a una altura de 500 m.s.n.m. ....	64
Tabla 3.11 Valores obtenidos de torque a una altura de 750 m.s.n.m. ....	65
Tabla 3.12 Valores obtenidos de potencia a una altura de 750 m.s.n.m. ....	66
Tabla 3.13 valores obtenidos de pérdidas mecánicas a una altura de 750 m.s.n.m.....	66
Tabla 3.14 Valores obtenidos de torque a una altura de 1000 m.s.n.m.....	68
Tabla 3.15 Valores obtenidos de potencia a una altura de 1000 m.s.n.m.....	68
Tabla 3.16 Valores obtenidos de pérdidas mecánicas a una altura de 1000 m.s.n.m.....	68
Tabla 3.17 Valores obtenidos de torque a una altura de 1250 m.s.n.m.....	70
Tabla 3.18 Valores obtenidos de potencia a una altura de 1250 m.s.n.m.....	70
Tabla 3.19 Valores obtenidos de pérdidas mecánicas a una altura de 1250 m.s.n.m.....	71
Tabla 3.20 Valores obtenidos de torque a una altura de 1500 m.s.n.m.....	72
Tabla 3.21 Valores obtenidos de potencia a una altura de 1500 ms.n.m.....	73
Tabla 3.22 Valores obtenidos de pérdidas mecánicas a una altura de 1500 m.s.n.m.....	73
Tabla 3.23 Valores obtenidos de torque a una altura de 1750 m.s.n.m.....	75
Tabla 3.24 Valores obtenidos de potencia a una altura de 1750 m.s.n.m.....	75
Tabla 3.25 Valores obtenidos de pérdidas mecánicas a una altura de 1750 m.s.n.m.....	76
Tabla 3.26 Valores obtenidos de torque a una altura de 2000 m.s.n.m.....	77
Tabla 3.27 Valores obtenidos de potencia a una altura de 2000 m.s.n.m.....	78
Tabla 3.28 Valores obtenidos de pérdidas mecánicas a una altura de 2000 m.s.n.m.....	78
Tabla 3.29 Valores obtenidos de torque a una altura de 2250 m.s.n.m.....	80
Tabla 3.30 Valores obtenidos de potencia a una altura de 2250 m.s.n.m.....	80
Tabla 3.31 Valores obtenidos de pérdidas mecánicas a una altura de 2250 m.s.n.m.....	81
Tabla 3.32 Valores obtenidos de torque a una altura de 2500 m.s.n.m.....	82

Tabla 3.33 Valores de potencia a una altura de 2500 m.s.n.m. ....	82
Tabla 3.34 Valores de pérdidas mecánicas a una altura de 2500 m.s.n.m. ....	82
Tabla 3.35 Valores obtenidos de torque a una altura de 2750 m.s.n.m. ....	84
Tabla 3.36 Valores de potencia a una altura de 2750 m.s.n.m. ....	84
Tabla 3.37 Valores obtenidos de pérdidas mecánicas a una altura de 2750 m.s.n.m. ....	85
Tabla 3.38 Valores obtenidos de torque a una altura de 3000 m.s.n.m. ....	86
Tabla 3.39 Valores obtenidos de potencia a una altura de 3000 m.s.n.m. ....	87
Tabla 3.40 Valores obtenidos de pérdidas mecánicas a una altura de 3000 m.s.n.m. ....	87
Tabla 3.41 Valores obtenidos de torque a una altura de 3250 m.s.n.m. ....	89
Tabla 3.42 Valores obtenidos de potencia a una altura de 3250 m.s.n.m. ....	89
Tabla 3.43 Valores obtenidos de pérdidas mecánicas a una altura de 3250 m.s.n.m. ....	89
Tabla 3.44 Valores obtenidos de torque a una altura de 3500 m.s.n.m. ....	91
Tabla 3.45 Valores obtenidos de potencia a una altura de 3500 m.s.n.m. ....	91
Tabla 3.46 Valores obtenidos de pérdidas mecánicas a una altura de 3500 m.s.n.m. ....	91
Tabla 3.47 Valores obtenidos de torque a una altura de 3750 m.s.n.m. ....	93
Tabla 3.48 Valores obtenidos de potencia a una altura de 3750 m.s.n.m. ....	93
Tabla 3.49 Valores obtenidos de pérdidas mecánicas a una altura de 3750 m.s.n.m. ....	93
Tabla 3.50 Valores obtenidos de torque a una altura de 4000 m.s.n.m. ....	95
Tabla 3.51 Valores obtenidos de potencia a una altura de 4000 m.s.n.m. ....	95
Tabla 3.52 Valores obtenidos de pérdidas mecánicas a una altura de 4000 m.s.n.m. ....	96
Tabla 3.53 Comparativa de temperaturas del ambiente y aire a la entrada del múltiple de admisión.....	97
Tabla 3.54 Tabla comparativa de los valores de potencia obtenidos en la investigación con los resultados arrojados con el factor de corrección de la norma DIN70020.....	102
Tabla 3.55. Tabla comparativa de los valores de torque obtenidos en la investigación con los resultados arrojados con el factor de corrección de la norma DIN70020 .....	104

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Descomposición de la fuerza sobre la cabeza del pistón a lo largo del mecanismo biela – manivela .....	5
Figura 1.2 Ciclo indicado de un motor de cuatro tiempos.....	7
Figura 1.3 Curvas características de potencia y torque de un motor de combustión interna. ....	10
Figura 1.4 Mapa de curvas multiparamétricas de un motor de combustión interna MEP .	11
Figura 1.5 Esquema del funcionamiento del freno de fricción .....	12
Figura 1.6 Funcionamiento de un freno hidráulico.....	13
Figura 1.7 Funcionamiento de un freno eléctrico .....	14
Figura 2.1 Características DaQ 9862.....	20
Figura 2.2 Esquema de equipos necesarios para la adquisición .....	21
Figura 2.3 Características de funcionamiento Chasis .....	21
Figura 2.4 DLC con conexión CAN.....	22
Figura 2.5 Cable de conexión de la tarjeta NI 9862 y el DLC OBD2 .....	22
Figura 2.6 Módulo Automotive Diagnostic Comand Set.....	23
Figura 2.7 Vehículo Kia Rio R seleccionado para la investigación .....	24
Figura 2.8 Motor equipado en el vehículo de investigación.....	25
Figura 2.9 Equipo KESTREL 4200 utilizado para la investigación.....	26
Figura 2.10 Software CAN Monitor para adquisición de datos .....	27
Figura 2.11 Archivo de adquisición de datos en aceleración y desaceleración del motor	28
Figura 2.12 Diagramación del VI para la ubicación del archivo almacenado .....	29
Figura 2.13 Programación del gráfico de revoluciones por minuto .....	30
Figura 2.14 División de la matriz en vector de aceleración y desaceleración .....	31
Figura 2.15 Cálculo de la aceleración angular .....	32
Figura 2.16 Programación del cálculo de torque y potencia .....	32
Figura 2.17 Programación del cálculo de pérdidas mecánicas.....	34
Figura 2.18 Programación total del software DynoRacer .....	34
Figura 2.19 Pantalla del software DynoRacer .....	35
Figura 2.20 Ubicación del conector de diagnóstico del vehículo.....	35
Figura 2.21 Testigos de la tarjeta de adquisición iluminados indicando comunicación con la computadora a bordo del automóvil.....	36
Figura 2.22 Equipo de adquisición utilizado en la investigación conectado en el vehículo de pruebas.....	36
Figura 2.23 Comparativa de RPM entre el software d adquisición y el tacómetro del vehículo.....	37
Figura 2.24 Pantalla de inicio software CAN Monitor .....	39
Figura 2.25 Actuador CVV-T desconectado .....	42
Figura 2.26 Gráficas de la primera prueba desconectado el actuador CVV-T.....	42
Figura 2.27 Gráficas de la segunda prueba desconectado el actuador CVV-T .....	43
Figura 2.28 Gráficas de la tercera prueba desconectado el actuador CVV-T.....	43

Figura 2.29 Resultados de potencia y torque en el dinamómetro del CCICEV.....	47
Figura 2.30 Gráficas de torque potencia y pérdidas mecánicas con un momento de inercia igual a 1 Kg.m <sup>2</sup> .....	48
Figura 2.31 Gráficas de torque, potencia y pérdidas mecánicas con un momento de inercia igual a 0,071 Kg.m <sup>2</sup> .....	49
Figura 2.32 Valores de potencia y torque obtenidos en el dinamómetro de la ESPOL .....	50
Figura 2.33 Gráficas de torque, potencia y pérdidas mecánicas a nivel del mar con un momento de inercia de 0,071 Kg.m <sup>2</sup> . .....	50
Figura 3.1 Monitoreo de temperaturas del refrigerante, múltiple de admisión y presión barométrica.....	53
Figura 3.2 Gráfica de la incidencia de la temperatura ambiente con la potencia efectiva. ....	54
Figura 3.3 Gráficas de torque potencia y pérdidas mecánicas a 0 m.s.n.m. ....	55
Figura 3.4 Condiciones iniciales a una altura de 250 m.s.n.m.....	59
Figura 3.5 Gráficas de torque, potencia y pérdidas mecánicas a una altura de 250 m.s.n.m. ....	60
Figura 3.6 Condiciones iniciales a una altura de 500 m.s.n.m.....	62
Figura 3.7 Gráficas de torque, potencia y pérdidas mecánicas a una altura de 500 m.s.n.m. ....	62
Figura 3.8 Valores iniciales a una altura de 750 m.s.n.m. ....	64
Figura 3.9 Gráfica de torque, potencia y pérdidas mecánicas a una altura de 750 m.s.n.m. ....	65
Figura 3.10 Valores iniciales a una altura de 1000 m.s.n.m.....	67
Figura 3.11 Gráficas de torque, potencia y pérdidas mecánicas a una altura de 1000 m.s.n.m. ....	67
Figura 3.12 Valores iniciales a una altura de 1250 m.s.n.m.....	69
Figura 3.13 Gráficas de torque, potencia y pérdidas mecánicas a una altura de 1250 m.s.n.m. ....	69
Figura 3.14 Valores iniciales a una altura de 1500 m.s.n.m.....	71
Figura 3.15 Gráfica de torque, potencia y pérdidas mecánicas a una altura de 1500 m.s.n.m. ....	72
Figura 3.16 Condiciones iniciales a una altura de 1750 m.s.n.m. ....	74
Figura 3.17 Gráficas de torque, potencia y pérdidas mecánicas a una altura de 1750 m.s.n.m. ....	74
Figura 3.18 Condiciones iniciales a una altura de 2000 m.s.n.m. ....	76
Figura 3.19 Gráficas de torque, potencia y pérdidas mecánicas a una altura de 2000 m.s.n.m. ....	77
Figura 3.20 Condiciones iniciales a una altura de 2250 m.s.n.m. ....	79
Figura 3.21 Gráficas de torque, potencia y pérdidas mecánicas a una altura de 2250 m.s.n.m. ....	79
Figura 3.22 Gráficas de torque, potencia y pérdidas mecánicas a una altura de 2500 m.s.n.m. ....	81
Figura 3.23 Valores iniciales a una altura de 2750 m.s.n.m.....	83

Figura 3.24 Gráficas de torque, potencia y pérdidas mecánicas a una altura de 2750 m.s.n.m. ....	83
Figura 3.25 Valores iniciales a una altura de 3000 m.s.n.m.....	85
Figura 3.26 Gráficas de torque, potencia y pérdidas mecánicas a una altura de 3000 m.s.n.m. ....	86
Figura 3.27 Valores iniciales a una altura de 3250 m.s.n.m.....	88
Figura 3.28 Gráficas de torque, potencia y pérdidas mecánicas a una altura de 3250 m.s.n.m. ....	88
Figura 3.29 Valores iniciales a una altura de 3500 m.s.n.m.....	90
Figura 3.30 Gráficas de torque, potencia y pérdidas mecánicas a una altura de 3500 m.s.n.m. ....	90
Figura 3.31 Valores iniciales para una altura de 3750 m.s.n.m.....	92
Figura 3.32 Gráficas de torque, potencia y pérdidas mecánicas a una altura de 3750 m.s.n.m. ....	92
Figura 3.33 Valores iniciales a una altura de 4000 m.s.n.m.....	94
Figura 3.34 Gráficas de torque, potencia y pérdidas mecánicas a una altura de 4000 m.s.n.m. ....	94
Figura 3.35 Gráfica comparativa de la temperatura ambiente y temperatura del aire a la entrada de la admisión del motor.....	98
Figura 3.36 Gráfica de los resultados de la potencia efectiva obtenida en la investigación en función de la altura sobre el nivel del mar.....	99
Figura 3.37 Gráfica de los resultados de par motor obtenido en la investigación en función de la altura sobre el nivel del mar.....	100
Figura 3.38 Gráfica de los resultados de pérdidas mecánicas obtenidos en la investigación en función de la altura sobre el nivel del mar .....	100
Figura 3.39 Comparativa entre los valores según norma DIN70020 y los valores de potencia efectiva obtenidos en la investigación .....	103
Figura 3.40 Comparativa entre los valores según norma DIN70020 y los valores de par motor obtenidos en la investigación .....	105
Figura 3.41 Gráfica comparativa entre la potencia obtenida en la investigación con los valores corregidos según norma DIN 70020 e INEN 0960.....	106
Figura 3.42 Gráfica de los valores de par motor obtenidos en la investigación con los valores corregidos según norma DIN70020 e INEN0960.....	107

## RESUMEN

Este trabajo evalúa la variación de torque, potencia y pérdidas mecánicas de un motor de encendido provocado en función de la presión atmosférica y temperatura ambiente a través del método de aceleración libre. El análisis se realiza desde una altura de 0 hasta 4000 m.s.n.m., en intervalos de 250 m.s.n.m., en diferentes carreteras del Ecuador, tomando en cuenta como variables la presión y la temperatura ambiente. El motor en el que se realizan las pruebas está equipado con sistema de distribución variable CVV-T, cuatro cilindros, sistema de inyección secuencial multipunto y de 1400cc de cilindrada total. Para el desarrollo del método de aceleración libre se establece la constante del momento de inercia en función de los valores obtenidos en bancos dinamométricos y a través de prueba y error se calibra el momento de inercia específico que sirve para la investigación. Los valores obtenidos en la investigación se comparan con los valores que arroja la norma DIN70020 e INEN 0960, ya que son las únicas que pueden ser aplicable a alturas mayores a 2000 m.s.n.m., teniendo como resultado una buena aproximación de los productos de potencia y torque.

**Palabras clave:** M.E.P, potencia, presión atmosférica, aceleración libre, pérdidas mecánicas

## ABSTRACT

This work evaluates the changes of torque, power and mechanical losses of an ignition engine caused by the atmospheric pressure and environmental temperature using the free acceleration method. The analysis is performed from a height of 0 to 4000 m.o.s.l., every 250 m.o.s.l., across different Ecuadorian roads, taking into account as variables the pressure and the environmental temperature. The test has been doing in an engine which is equipped with CVV-T variable distribution system, four-cylinder, sequential multi-point injection system and 1400cc total displacement. For the development of the free acceleration method, it was established the moment of inertia as constant according to the values given obtained in dynamometric banks and using the test and error method the right moment of inertia needed for the research was calibrated. The values obtained in the research are compared with the values given by norm DIN70020 and INEN 0960, since it are the only ones that can be applied to heights over 2000 m.o.s.l., resulting in a good approximation of power and torque values.

**Keywords:** E.I.P., power, atmospheric pressure, free acceleration, mechanical losses



# **DETERMINACIÓN DE LA VARIACIÓN DE PAR MOTOR, POTENCIA Y PÉRDIDAS MECÁNICAS EN UN MOTOR DE ENCENDIDO PROVOCADO (MEP) EN FUNCIÓN DE LA PRESIÓN ATMOSFÉRICA Y TEMPERATURA AMBIENTE A TRAVÉS DEL MÉTODO DE ACELERACIÓN LIBRE.**

## **INTRODUCCIÓN**

El motor de combustión interna desde sus inicios hasta la actualidad ha venido evolucionando tanto en tamaño, materiales, gestión electrónica y sobre todo prestaciones y eficiencia, es así que una forma de caracterizar un motor es a través de los caballos de potencia que este puede entregar, es por eso que surge la presente investigación para desarrollar un método económico y de fácil aplicación para determinar el torque, potencia y pérdidas mecánicas, conjuntamente con la variación que estos parámetros sufren a medida que varía la presión atmosférica y temperatura para el funcionamiento del motor.

Se ha realizado un software y con la ayuda de una tarjeta de adquisición de datos se puede establecer comunicación con el computador a bordo del vehículo de pruebas para determinar los parámetros efectivos de potencia, par motor y pérdidas mecánicas.

Para la determinación del presente estudio cabe mencionar la utilización del método heurístico prueba y error, mediante el cual determinamos el valor del momento de inercia, con valores obtenidos en pruebas realizadas en bancos dinamométricos, para en lo posterior utilizar ese valor de momento de inercia para el desarrollo de la investigación.

## **Pregunta de Investigación**

¿Existe variación de potencia, par motor y pérdidas mecánicas, teniendo en cuenta la presión atmosférica y la temperatura ambiente en el motor de combustión interna, utilizando el método de aceleración libre?

## **Objetivo General**

- Determinar el par motor, potencia y pérdidas mecánicas de un motor de combustión interna MEP mediante el método de aceleración libre, y analizar su variación en relación a la presión atmosférica y temperatura ambiente.

## **Objetivos específicos**

- Determinar mediante el método de aceleración libre el par motor, potencia y pérdidas mecánicas generadas por un motor de combustión interna de encendido provocado.
- Entender la incidencia de parámetros tales como presión atmosférica y temperatura; en la variación del par motor, potencia y pérdidas mecánicas generadas por un motor de combustión interna de encendido provocado.
- Diseñar e implementar un software en un vehículo de pruebas para obtener la medición de potencia, torque y pérdidas mecánicas generadas por el motor de combustión interna.
- Realizar el proceso investigativo sometiendo el vehículo de pruebas a variación de presión atmosférica y temperatura.
- Generar un aporte técnico en el área automotriz, basándonos en la investigación y experimentación realizada.

## **Alcance**

- Se realizará pruebas de par motor y potencia en un dinamómetro de rodillos.
- Se realizará pruebas de torque y potencia a través del método de aceleración libre.
- Se evaluará los datos de par motor y potencia cada 250 m.s.n.m. con el método de aceleración libre a través de diferentes softwares desarrollados.

## 1. MARCO TEÓRICO

En el presente capítulo se detalla la fundamentación teórica en relación a parámetros tales como potencia, par motor, curvas multiparamétricas, principios y formas de obtención mediante procedimientos experimentales directos utilizando bancos dinamométricos y técnicas indirectas como el método de aceleración libre.

Un motor de combustión interna es considerado como un conjunto de elementos y mecanismos que transforman la energía química de un combustible en energía mecánica, esta energía mecánica toma una transformación de un movimiento lineal alternativo a un movimiento rotacional a través del mecanismo biela-manivela.

En función del proceso de combustión que se desarrolla en el interior del motor, se puede clasificar en dos grandes grupos los cuales son:

- Motor MEP
- Motor MEC.

El motor MEP que hace referencia a un motor de encendido provocado, basa su funcionamiento en un ciclo termodinámico denominado OTTO en honor a su inventor, entre las características diferenciadoras de este tipo de motor se tiene por ejemplo, el suministro de calor a volumen constante, que en este caso viene a ser el aporte de chispa a través de una bujía en el instante de la compresión, teniendo un incremento de presión en el interior de la cámara de combustión.

Un motor MEP utiliza en la actualidad se encuentra equipado por sistemas de inyección electrónica, tanto de inyección indirecta como de inyección directa, teniendo variaciones en la formación de la mezcla.

Teóricamente un motor MEP con inyección electrónica indirecta, utiliza una mezcla homogénea entre el combustible y el aire que viene a ser el fluido operante para la combustión en el interior del motor.

Por su parte si posee un sistema de inyección directa, la mezcla puede variar entre homogénea y estratificada en relación de los parámetros de funcionamiento y la gestión electrónica del sistema.

Es importante especificar que un motor MEP tiene la necesidad de un aporte de chispa para propagar la combustión y cumplir los diferentes procesos que son intrínsecos de un motor de combustión interna.

Al tratarse de un motor MEC que relaciona un encendido por compresión, la característica diferenciadora de este tipo de motor es que no necesita una chispa para propagar la combustión, caso específico en el que al instante de pulverizar el combustible en el interior del cilindro al final de la compresión, se autoinflama el combustible, siendo el principio de la propagación de la combustión en este tipo de motores.

## **1.1 Potencia y torque en motores de combustión interna**

La forma habitual de mostrar las prestaciones de un motor de combustión interna es a través de los valores de potencia y torque máximos y su evolución a lo largo de diferentes regímenes de giro.

Teniendo en cuenta estos valores, se puede determinar cuándo y en qué condiciones un motor tiene mejores tributos, para lo cual se debe tener clara la idea al momento de hablar de par motor o también llamado torque y la denominada potencia del motor

### **Torque o par motor en motores de combustión interna<sup>1</sup>**

Al referirnos a los diferentes parámetros reales que muestra un motor de combustión interna y que son aprovechados para la propulsión del vehículo, se debe considerar el parámetro efectivo denominado par motor o torque del motor, se trata del producto de una fuerza sobre una distancia específica, en el caso de un motor de combustión interna, es el resultado de la multiplicación de una fuerza ejercida sobre la cabeza del pistón y el radio de la manivela, o lo que es lo mismo, una distancia desde el centro de la muñequilla al centro de giro.

Debido al mecanismo biela – manivela, el torque se lo debe encontrar a través de la fuerza ejercida sobre la cabeza del pistón por los gases producto de la combustión, debe

---

<sup>1</sup> González, D. (2011). *Motores*. (pp. 54-57). (1ª edición). Madrid, España: Editorial Paraninfo.

ser la fuerza tangencial resultante aplicada perpendicularmente al radio de la manivela, a cierto régimen y carga del motor.

A continuación se muestra en la Figura 1.1 la descomposición de la fuerza ejercida sobre el pistón en un instante en el que su carrera se encuentra a la mitad entre el PMS y el PMI.

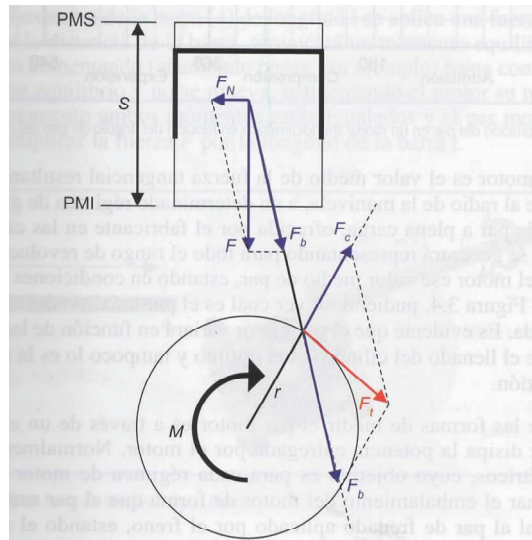


Figura 1.1 Descomposición de la fuerza sobre la cabeza del pistón a lo largo del mecanismo biela – manivela  
(Fuente: Gonzales, 2011)

El valor del torque es variable en el tiempo debido a la posición en la que se encuentre el mecanismo biela – manivela y por la acción de la presión ejercida en la cabeza del pistón producto de la combustión de los gases, por consiguiente el valor obtenido del par motor es el total del número de cilindros que se encuentre constituyendo el motor de combustión interna.

Es importante la obtención del par efectivo puesto que es el punto de partida para los parámetros efectivos y fundamentalmente para la potencia efectiva. El torque representa en un motor la capacidad tractora del mismo y es un indicador importante para la capacidad de aceleración.<sup>2</sup>

<sup>2</sup> Leucona, A; Rodríguez, P. (2013). Parámetros básicos. En: Payri, F; Desantes, J. (ed.), *Motores de combustión interna alternativos*. (pp. 57-60). (3ª reimpresión). Barcelona, España: Editorial Reverté.

## Potencia de un motor de combustión interna

La potencia se define como el trabajo realizado por unidad de tiempo, al hablar de motores de combustión interna, se tiene algunas clases de potencia en función de los parámetros diferenciadores que se estén analizando.

Al no tomar en cuenta parámetros reales de funcionamiento del motor de combustión interna, se habla entonces de una potencia teórica, la cual relaciona el trabajo teórico, el número de cilindros del motor y el número de revoluciones por minuto a las que está girando el motor, todo esto, dividido para el número de tiempos operativos.<sup>3</sup>

La ecuación que rige para la obtención de la potencia teórica se expresa de la siguiente manera.

$$N_t = \frac{2 i n Q_t n_t}{Z x 60}$$

Ecuación 1.1

Como la potencia teórica es la que debe tener el motor de una manera calculada, es obvio entender que esta va disminuyendo a medida que se consideran diferentes aspectos de funcionamiento, es así que se tiene otros tipos de potencia como la indicada y la efectiva.

La utilización de uno u otro tipo de potencia está en relación con los parámetros que se analicen en el funcionamiento del motor, es así que en el análisis de parámetros indicados, no se podrá hablar de una potencia real en el eje del motor, mientras que al relacionar la potencia efectiva del motor, se tomará en cuenta todas las pérdidas generadas por diferentes accionamientos y se tratará de una potencia disponible a la salida del motor.

Los parámetros indicados reciben su nombre del diagrama que representa la evolución de la presión instantánea en el interior del cilindro a lo largo del ciclo de trabajo en función del volumen del cilindro como se muestra en la Figura 1.2.

---

<sup>3</sup> Díaz, R. (2009) . *Termodinámica automotriz*. (pp. 180-181). (1ª edición). Riobamba, Ecuador: Editorial Ecopycenter.

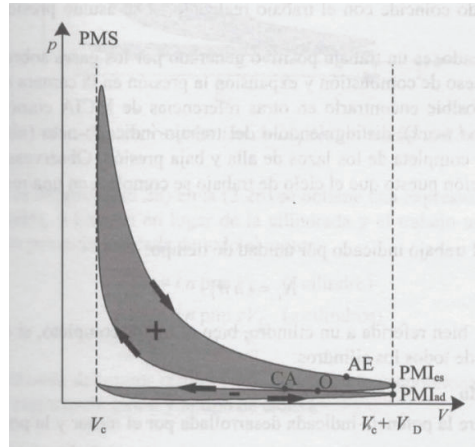


Figura 1.2 Ciclo indicado de un motor de cuatro tiempos  
(Fuente: Leucona;Rodríguez, 2013)

Dentro de los parámetros indicados, se estudia el llamado trabajo indicado que representa la integral del lazo de alta presión entre el punto muerto inferior de admisión y el punto muerto inferior de escape.<sup>4</sup>

$$W_i = \int_{PMI_{ad}}^{PMI_{es}} p \, dV > 0$$

Ecuación 1.2

La potencia indicada por lo tanto viene a ser el área representada por el trabajo indicado, realizado por el gas en el interior del cilindro durante un ciclo. Conocida también como el trabajo indicado por unidad de tiempo.

Otra manera de calcular la potencia indicada viene expresada por el producto de la potencia teórica con el rendimiento indicado, considerando que el rendimiento indicado para efectos de cálculo deberá estar en un valor adimensional, en la Ecuación 1.3 se presenta la relación entre la potencia teórica con la potencia indicada y el rendimiento indicado del motor.

$$N_i = n_i N_t$$

Ecuación 1.3

<sup>4</sup> Leucona, A; Rodríguez, P. (2013). Parámetros básicos. En: Payri, F; Desantes, J. (ed.), *Motores de combustión interna alternativos*. (pp. 57-60). (3ª reimpresión). Barcelona, España: Editorial Reverté.

Tomando en cuenta las denominadas pérdidas mecánicas en el funcionamiento del motor de combustión interna, se llega a la potencia denominada efectiva, que es aquella potencia que se obtiene en el eje del motor o también conocido como cigüeñal. Esta potencia es la real que arroja el motor en estudio a los diferentes regímenes de giro, hay que aclarar que un porcentaje de esta potencia es absorbida por la transmisión y los mecanismos de tracción o propulsión del vehículo hasta llegar a la potencia a la rueda, que se trata de la potencia que se tiene disponible al mover el vehículo en su totalidad.

La potencia efectiva se la puede calcular al conocer la eficiencia mecánica del motor o con el valor de las pérdidas mecánicas, simplemente se resta las pérdidas mecánicas de la potencia indicada como se muestra en la Ecuación 1.4

$$N_e = N_i - N_p$$

Ecuación 1.4

Al hablar de pérdidas mecánicas, se debe entender que son la suma de aquellas pérdidas que se generan al momento del funcionamiento del motor de combustión interna, tenemos pérdidas por fricción de componentes, pérdida por accionamiento de accesorios y pérdidas por bombeo. El rendimiento mecánico no es más que la expresión de proporción del trabajo indicado, definiendo su obtención a través de la siguiente ecuación.<sup>5</sup>

$$n_m = 1 - \frac{W_{pm}}{W_i} = 1 - \frac{N_{pm}}{N_i}$$

Ecuación 1.5

Otro de los parámetros efectivos a tomar en cuenta es la presión media efectiva, se trata de la presión contante que se obtiene al momento de la carrera de expansión luego de la combustión en el motor, y el trabajo que produce esta presión, es entendido como el trabajo efectivo del motor. La presión media efectiva se puede calcular a través del valor de la potencia efectiva, puesto que se trata del verdadero aprovechamiento de energía que genera el movimiento del motor considerando las pérdidas mecánicas. Por lo tanto a través de la Ecuación 1.6 se tiene el cálculo de la presión media efectiva.<sup>6</sup>

---

<sup>5</sup> Leucona, A; Rodríguez, P. (2013). Parámetros básicos. En: Payri, F; Desantes, J. (ed.), *Motores de combustión interna alternativos*. (pp. 61-63). (3ª reimpresión). Barcelona, España: Editorial Reverté.

<sup>6</sup> González, D. (2011). *Motores*. (pp. 60-63). (1ª edición). Madrid, España: Editorial Paraninfo.



$$pme = \frac{N_e}{V_T \cdot n \cdot i}$$

Ecuación 1.6

Donde:

$N_e$  es la potencia efectiva expresada en W, KW o CV

$V_T$  es la cilindrada total en  $cm^3$

$n$  es el régimen de giro del motor en rpm

$i$  es el número de ciclos por cada revolución, siendo 0.5 para motores de cuatro tiempos y 1 para motores de dos tiempos.

## 1.2 Curvas características de motores de combustión interna

La manera más común de mostrar las prestaciones de un motor de combustión interna, es por medio de las curvas características, existen dos tipos de curvas características, las denominadas curvas de velocidad y las curvas multiparamétricas.

La diferencia entre estas dos clases de curvas que muestran los parámetros de funcionamiento y las prestaciones del motor ya sea MEP o MEC se tratan a continuación.

### Curvas de velocidad<sup>7</sup>

Se denomina curvas de velocidad, a las gráficas que exponen el parámetro de interés, en función del régimen de giro, es importante especificar que este tipo de curvas se las obtiene en un estado de carga constante del motor en funcionamiento.

Para el análisis de los motores de combustión interna son usuales las curvas obtenidas a plena carga, puesto que representan las máximas capacidades del motor, dentro de las

---

<sup>7</sup> Rodríguez, P; Nogueira, J. (2013). Curvas características y aplicaciones. En: Payri, F; Desantes, J. (ed.), *Motores de combustión interna alternativos*. (pp. 958-962). (3<sup>a</sup> reimpresión). Barcelona, España: Editorial Reverté.

curvas características de velocidad se muestran el par motor, potencia efectiva y consumo específico. La manera como se expone las diferentes curvas es a través de un gráfico en el cual se tienen dos escalas en las ordenadas, que representa la potencia y el par motor, y, una escala de régimen de giro en las abscisas como se muestra en la Figura 1.3

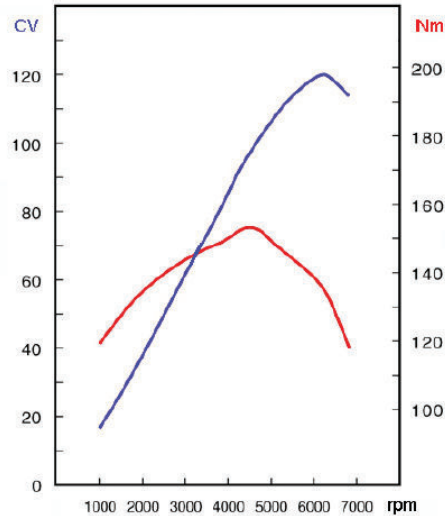


Figura 1.3 Curvas características de potencia y torque de un motor de combustión interna.  
(Fuente: Rodríguez; Nogueira, 2013)

### Curvas características multiparamétricas<sup>8</sup>

Este tipo de curvas son menos utilizadas pero dan mayor información sobre las prestaciones de un motor de combustión interna puesto que muestran la variación de uno o más parámetros de interés en función de más de una variable de operación, dichas curvas características se las obtiene a carga parcial y generalmente muestran curvas de isoconsumo, isopotencia, pme, entre otros.

En la Figura 1.4 se tiene un claro ejemplo de un mapa de curvas multiparamétricas de un motor de combustión interna que en este caso se trata de un MEP sobrealimentado.

<sup>8</sup> Rodríguez, P; Nogueira, J. (2013). Curvas características y aplicaciones. En: Payri, F; Desantes, J. (ed.), *Motores de combustión interna alternativos*. (pp. 962-965). (3ª reimpresión). Barcelona, España: Editorial Reverté.

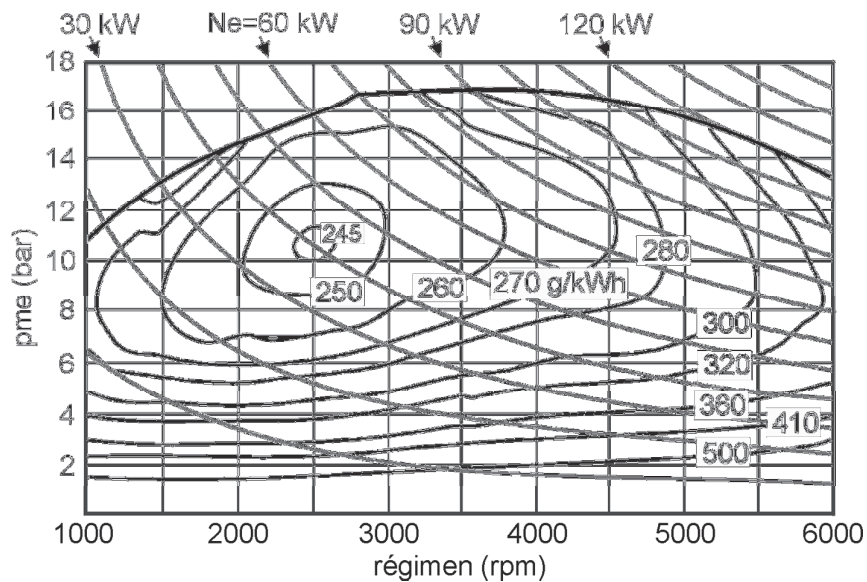


Figura 1.4 Mapa de curvas multiparamétricas de un motor de combustión interna MEP  
(Fuente: Rodríguez; Nogueira, 2013)

### 1.3 Métodos de obtención de torque y potencia en motores de combustión interna

Existen algunos métodos para obtener la evolución y valores máximos de torque y potencia en motores de combustión interna, de tal manera que los clasificaremos en dos formas de obtención, dentro de las más precisas están relacionadas con los métodos de obtención directa, mientras que los llamados métodos de obtención indirecta son fiables en relación de la precisión del cálculo que se debe realizar. A continuación se explica en que consiste cada uno de los métodos más utilizados para motores de combustión interna.

#### Obtención de potencia y torque por el método directo de frenos de fricción

Se trata de un método ya en desuso en la actualidad, su funcionamiento basa en un árbol de transmisión que en un extremo se encuentra adaptado al eje del motor y que es arrastrado por el mismo, y, por el otro extremo termina en un rotor. Sobre dicho rotor se encuentran unos frenos del tipo zapatas.

A medida que el motor gira a cierto número de revoluciones, las zapatas se acercan al rotor para generar una fuerza de fricción, esta fuerza de fricción de las zapatas por lo tanto va a generar un momento de frenado que hará girar a todo el sistema, como se muestra en la Figura 1.5 el momento de frenado tratará de hacer girar a todo el sistema, de tal manera que se aplica una fuerza de equilibrio al final de la longitud del brazo del sistema, como resultado del equilibrio se tiene que la fuerza aplicada al extremo del sistema, multiplicada por la barra de longitud conocida va a generar un momento equilibrador, el cual se traduce como el momento o par motor del MCI.

Una vez obtenido el torque del motor, el cálculo de la potencia se lo realiza al multiplicar el valor del par motor con el número de revoluciones del motor a lo largo de la evolución de la prueba.

Este tipo de freno de fricción, lleva también el nombre de freno de Prony, al ser un método demasiado rudimentario ya no es actualmente utilizado y se ha visto reemplazado por equipos más sofisticados que arrojan resultados más confiables, a continuación se muestra un esquema del freno.

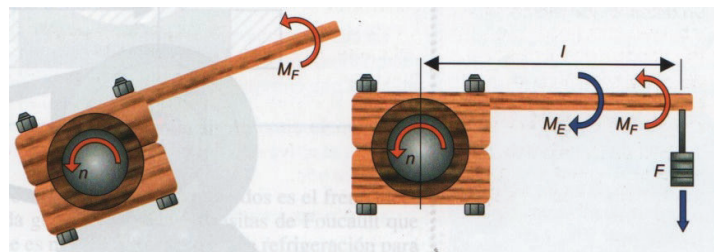


Figura 1.5 Esquema del funcionamiento del freno de fricción  
(Fuente: Gonzáles, 2011)

### **Obtención de potencia y torque por el método de freno hidráulico**

Este método se trata de una evolución del freno de Prony, con la variación que en lugar de utilizar zapatas de fricción, se recurre a la utilización de agua como elemento de fricción, el eje del motor se encuentra asociado a un rotor con unos álabes. Existe también un estator alrededor del rotor, a través de unos conductos el agua ingresa al interior del estator hacia el rotor y debido a la fricción el agua sale a mayor temperatura.

Entre el estator y el rotor, se encuentran unas cavidades que forman una turbina, el movimiento del agua se opone al giro del rotor, generando una resistencia, que se traduce en una reacción o par de reacción en el estator. Por lo tanto el par de reacción será función del par del motor, se tiene también una palanca de longitud conocida que en su extremo soporta una fuerza de peso determinado para que el sistema se encuentre en equilibrio. En la Figura 1.6 se aprecia un esquema de freno hidráulico con todos sus componentes.

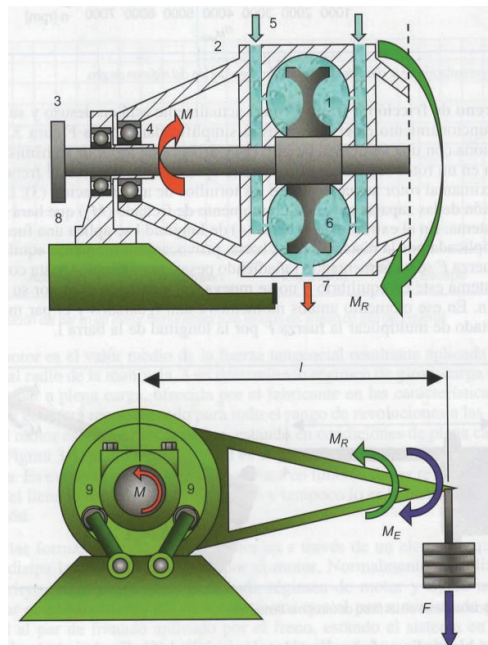


Figura 1.6 Funcionamiento de un freno hidráulico  
(Fuente: Gonzáles, 2011)

En el esquema del funcionamiento del freno hidráulico se puede apreciar cada uno de los componentes como es el rotor (1), estator (2), árbol de transmisión (3), rodillos (4), conductos (5,6,7), bancada (8), y, que producto de su funcionamiento se aprecia un momento de reacción ( $M_R$ ) y el momento de equilibrio ( $M_E$ ).<sup>10</sup>

## Obtención de torque y potencia por el método de freno eléctrico

Tiene el mismo principio de funcionamiento que sus antecesores, con la diferencia que se utiliza un generador, el cual se encuentra acoplado al eje del motor, la inducción eléctrica entre el rotor y el estator, hace que este último trate de girar, por lo cual se emplea unos contrapesos ensamblados en el extremo de una palanca de longitud conocida para poder determinar el momento de equilibrio que es proporcional al momento entregado por el motor térmico.

Existen algunos tipos de frenos eléctricos, entre los más utilizados en la actualidad se encuentran los frenos electromagnéticos, en los cuales la potencia absorbida genera corrientes parásitas que son disipadas en forma de calor, por lo que es necesaria la implementación de un sistema de refrigeración para el freno.

La mayor peculiaridad es que en este tipo de frenos, el generador puede funcionar como motor eléctrico, de tal manera que puede hacer girar al motor térmico sin combustión, para así poder calcular por arrastre las denominadas pérdidas mecánicas del motor de combustión interna.<sup>9</sup>

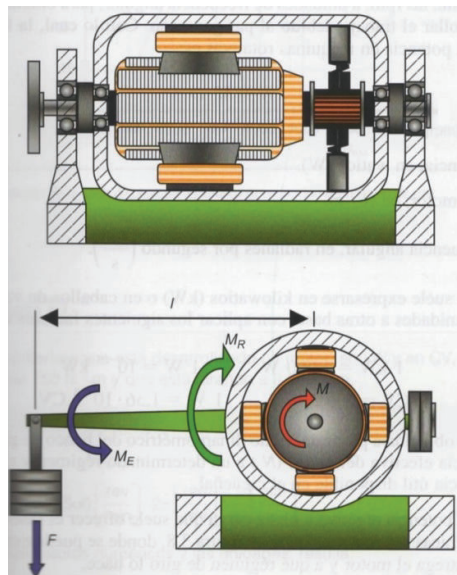


Figura 1.7 Funcionamiento de un freno eléctrico  
(Fuente: Gonzáles, 2011)

<sup>9</sup> Gonzáles, D. (2011). *Motores*. (pp. 58). (1ª edición). Madrid, España: Editorial Paraninfo.

## **Obtención de potencia y torque por dinamómetro de chasis**

Hasta el momento se ha revisado los diferentes métodos de obtención tanto de torque como de potencia con la peculiaridad de que son bancos de pruebas en los cuales se debe montar el motor térmico, implicando que este debe encontrarse fuera del vehículo.

Existe un método para poder calcular los parámetros del motor, sin necesidad de desmontarlo del vehículo, en este caso se presenta el método a través de un dinamómetro de chasis, se trata de poner en funcionamiento el vehículo previamente montado sobre unos rodillos que se encuentran acoplados a motores eléctricos, y se debe seguir ciertos procedimientos que va presentando el software que gobierna el dinamómetro y su utilización para la adecuada adquisición de los diferentes datos para el respectivo cálculo.

El dinamómetro de chasis es un equipo que permite medir la potencia y el par motor en las ruedas motrices del vehículo, su funcionamiento es similar al freno electromagnético citado anteriormente.

Esta herramienta resulta particularmente útil pues permite observar y probar en su conjunto los elementos que integran al automóvil por lo que los resultados de las pruebas y ensayos obtenidos reflejan de forma más cercana al comportamiento que el vehículo tendrá en condiciones reales de operación.<sup>10</sup>

## **Obtención de potencia y torque por el método de aceleración libre.**

En el caso de que se tenga un motor que genere un movimiento circular, se puede establecer un método de cálculo de su potencia en función del torque que puede generar el motor multiplicado por la velocidad angular del mismo.

Aprovechando este principio se utiliza un método indirecto para la obtención del momento angular y la potencia, es decir, el torque de un motor con movimiento circular está establecido por la multiplicación de su aceleración angular ( $\alpha$ ) con el momento de inercia del conjunto ( $I$ ).

---

<sup>10</sup> Ávila. A. (2016). Estudio e implementación del dinamómetro de chasis modelo X tracción 2 ruedas del fabricante dynocom. Memoria para optar al Título de Ingeniero en Mecánica Automotriz, Facultad de Ingeniería Automotriz, Universidad Internacional del Ecuador, Guayaquil, Ecuador.

$$M = I\alpha$$

Ecuación 1.7

Una vez establecido el momento angular, la potencia se la calcular mediante la ecuación que multiplica el momento angular (M) con la velocidad angular ( $\omega$ ) a la que se está comportando el motor. Es decir:

$$P = M\omega$$

Ecuación 1.8

La obtención del torque y la potencia mediante el método de aceleración libre basa su principio en las ecuaciones citadas anteriormente, establecido este principio, el método de aceleración libre consiste en acelerar el motor de combustión interna hasta el corte de inyección en estado de WOT y medir la evolución de la aceleración angular del cigüeñal desde un régimen de giro menor hasta uno mayor, es importante mencionar que en el caso de que el motor se encuentre montado sobre el vehículo, el automóvil debe permanecer en reposo.

Uno de los mayores inconvenientes de este método es la estimación del momento de inercia del conjunto motor, ya que es un valor que no es proporcionado por el fabricante y su cálculo experimental exacto es relativamente complejo, por lo que se establecen técnicas para estimar aproximadamente este valor.

Uno de las técnicas para establecer este valor de momento de inercia es tomar una medida del momento angular colocando un volante de inercia con su valor de inercia conocido y realizar una segunda medida del momento angular o torque con el volante de inercia original del motor, llegando así a un sistema de ecuaciones de las cuales se puede lograr establecer un aproximado del valor del momento de inercia del conjunto motor.

Dentro de las ventajas del método de aceleración libre, es el bajo costo y la adecuación que se debe realizar en el motor que se necesite medir, por otra parte si se analiza la desaceleración del motor cuando regresa de un estado de máximas revoluciones hasta ralentí, tomando en cuenta el corte de inyección que la gestión electrónica realiza, se puede establecer las pérdidas mecánicas que el motor de combustión interna posee.



## 2. METODOLOGÍA

Para la presente investigación se utilizó el método de aceleración libre utilizado para determinar la potencia, par motor y pérdidas mecánicas de un motor de encendido provocado a diferentes valores de temperatura ambiente y presión atmosférica.

Para este objetivo se utilizó una investigación no experimental con un diseño longitudinal puesto que se obtuvo la recolección de datos a través del tiempo en diferentes periodos y condiciones.

La investigación tiene un enfoque cualitativo puesto que para la recolección de datos se utilizó una hoja de registro de datos, que corresponden a la potencia efectiva, par motor y pérdidas mecánicas del motor de combustión interna, con el que se evaluó por medio de un análisis documental.

La muestra de la investigación es única que corresponde a un vehículo de la marca KIA modelo RIO R de año de fabricación 2014, el mismo que cuenta con un motor de 1400 centímetros cúbicos de cilindrada total, equipado con un sistema de distribución variable del tipo CVV-T.

Para el análisis de la información se desarrolló dos software de adquisición de datos, CAN Monitor y DynoRacer, el primero es para la adquisición de datos de la red CAN del vehículo y generar un archivo con cada uno de los valores de revolución del motor, y, el segundo procesa la información adquirida para el cálculo respectivo de potencia efectiva, torque y pérdidas mecánicas.

Se utilizó un análisis estadístico básico, para obtener los promedios de los diferentes resultados que arrojó la investigación, a través del software MatLab, se realizaron las gráficas de los datos para visualizar las curvas de tendencia del comportamiento de las variables medidas.

Para el desarrollo de la metodología mostrada, se analizaron los diferentes parámetros a tener en cuenta para obtención de momento de inercia, potencia, par motor y pérdidas mecánicas; se analiza el comportamiento del MEP a diferentes condiciones de presión atmosférica y temperatura partiendo desde 0 m.s.n.m., hasta 4000 m.s.n.m. con intervalos de 250 m.s.n.m.

## 2.1 Diseño e implementación del software y hardware

Se desarrollaron dos softwares; el denominado CAN MONITOR el mismo nos ayuda con la identificación de parámetros como: temperatura del refrigerante del motor en grados Celsius, temperatura del aire de admisión en grados Celsius, presión barométrica en KiloPascuales, velocidad del vehículo en kilómetros por hora y revoluciones del motor en RPM., el mismo utiliza la tarjeta DAQ para su funcionalidad almacenando una base de datos en cada una de las pruebas de aceleración libre.

El software denominado DYNO RACER se desarrolla utilizando Labview, en el mismo se utiliza la información del CAN MONITOR para obtener los valores de potencia, par motor y pérdidas mecánicas del MEP en estudio.

### Selección del tipo de señal a tomar como medida de revoluciones en el motor

Dentro de las consideraciones que se deben tener para que el método de aceleración libre realice el cálculo indirecto de torque y potencia, es que se debe poseer el dato de la evolución de la aceleración angular del cigüeñal del motor, por lo que dicha aceleración angular viene a ser calculada por la derivada de la velocidad angular en función del tiempo.

$$\alpha = \frac{\partial \omega}{\partial t}$$

Ecuación 2.1

Es por lo tanto imprescindible que se tenga el valor de giro del eje cigüeñal para poder determinar la aceleración angular y, así, que el método de aceleración libre tenga funcionalidad.

Entre los diferentes sensores que están interactuando en el funcionamiento del sistema de inyección electrónica a gasolina, tenemos los de posición y de fase, denominados CKP y CMP, sensores por los cuales la ECU determina el instante en el que se debe realizar tanto la inyección como la ignición.

En vista de que la computadora a bordo del sistema de inyección electrónica necesita el valor de número de revoluciones a las que se encuentra el motor, para determinar diferentes valores tanto de pulso de inyección, adelanto del salto de la chispa, corte de inyección, entre otros, es fundamental que el sensor CKP esté dando en todo momento la señal de giro del motor para las diferentes operaciones mencionadas.

Por lo antes citado, es preciso pensar que la mejor opción de tomar el número de revoluciones del motor es a través del sensor CKP, puesto que se encuentra dotando de información del giro del eje del cigüeñal constantemente hacia la PCM.

Existen dos tipos de señales que pueden emitir el sensor CKP en un sistema de inyección, estas señales son analógicas o digitales, tratándose del primer caso de un sensor inductivo y en el segundo caso de un sensor de efecto HALL.

Al querer utilizar la señal que envía el sensor CKP del vehículo de investigación, se puede observar a través del osciloscopio que se trata de un tipo inductivo, por lo cual el procesamiento de dicha señal sería relativamente complejo si queremos tomarla por separado del sistema de inyección, o a su vez si se desea colocar un nuevo sensor, debido a que se necesita el adecuado acondicionamiento de la señal para que pueda ser procesada y analizada.

En vista de lo analizado, se prefiere como mejor opción para la obtención de RPM, la utilización de una tarjeta de adquisición de datos que pueda conectarse directamente con la computadora a bordo del vehículo que comanda el sistema de inyección de combustible.

### **Selección de la tarjeta de adquisición de datos**

Teniendo en cuenta la relativa complejidad que se debe tener para el acondicionamiento y procesamiento de la señal del número de revoluciones del motor, se realizó una pequeña investigación acerca de las diferentes opciones de tarjetas de adquisición de datos que existen en el mercado nacional e internacional.

La empresa dedicada a la elaboración de las diferentes tarjetas de adquisición de datos, también denominadas DAQ, es la llamada NATIONAL INSTRUMENTS, dicha empresa

posee un gran stock de tarjetas con diferentes características dependiendo de la aplicación que se pueda dar, por lo que es necesario fijar los parámetros de utilización y aplicación para la selección más adecuada de la tarjeta para nuestro proyecto.

Es así que se llegó a establecer como mejor opción un conjunto de adquisición de datos que beneficia directamente el procesamiento e interpretación de la señal del sensor CKP independientemente del tipo de señal que este envíe a la ECU, pues el conjunto de adquisición de datos seleccionado tiene la novedosa función de conectarse en red CAN con los diferentes módulos electrónicos del Vehículo.

Como es de conocimiento general, la red CAN es muy utilizada en los vehículos actuales para ahorrar temas relacionados con conexiones, conductores eléctricos número de sensores utilizados, entre otros, puesto que una señal de un sensor específico, puede ser leída e interpretada por cualquier módulo electrónico que se encuentre anclado a la red.

La tarjeta a ser utilizada a lo largo de la investigación es la denominada DAQ NI 9862, la cual posee las siguientes características de funcionamiento y dimensiones.

Características Especiales	
Sincronización de Hardware	Sí
Frecuencia de Sincronización	20 MHz
Registro de Tiempo en Hardware	Sí
Resolución de Estampa de Tiempo	1 $\mu$ s
Soporte para Tramas Remotas	Sí
Soporte en Modo Avanzado	Modo Sleep / Wakeup Modo de Auto-Recepción (Echo) Modo para Escuchar Únicamente
Especificaciones Físicas	
Longitud	7.9 cm
Altura	2.2 cm
Ancho	8.9 cm
Conector de E / S	D-Sub de 9 pines
Temperatura de Operación	-40 °C - 70 °C

Figura 2.1 Características DaQ 9862  
(Fuente: <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/es/nid/209347>)

Esta tarjeta para su adecuado funcionamiento necesita de algunos accesorios y un software que recomienda el fabricante, esto con la finalidad de dar un adecuado

acondicionamiento para su uso a lo largo de la investigación, a continuación se muestra en la Figura 2.2 el esquema de los accesorios necesarios para su utilización.

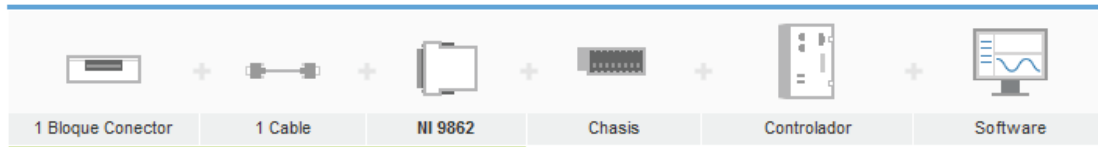


Figura 2.2 Esquema de equipos necesarios para la adquisición  
(Fuente: <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/es/nid/209347>)

El denominado chasis tiene ciertas características funcionales que el fabricante publica y que a continuación se muestra en la Figura 2.3 resumida y extraída de la página electrónica de la empresa NATIONAL INSTRUMENTS.

General	
Número de Ranuras	1
Sistema Operativo / Objetivo	Windows
Disparo Integrado	No
Requerimientos de Potencia	
Potencia Total Disponible	2.6 W
Rango de Entrada de Voltaje	4.75 V - 5.25 V
Contadores / Temporizadores	
Contadores	4
Tamaño	32 bits
Impacto y Vibración	
Impacto Operacional	30 g
Vibración Aleatoria	5 Hz - 500 Hz
Rango Aleatorio de Frecuencia de Operación	0.3 g

Figura 2.3 Características de funcionamiento Chasis  
(Fuente: <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/es/nid/209347>)

La conexión entre la tarjeta de adquisición de datos y la red CAN del vehículo se lo debe realizar a través del conector de diagnóstico que viene equipado en el propio automóvil en sistemas OBD2. Las características que debe reunir el conector o llamado DLC es que aparte de ser un sistema OBD2, este tenga conexión CAN.

Para saber si un sistema tiene conexión CAN por medio del DLC se debe verificar los pines activos de dicho conector en el vehículo, los cuales se muestran en la Figura 2.4 con total claridad para su identificación.

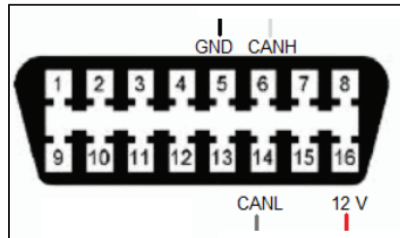


Figura 2.4 DLC con conexión CAN

(Fuente: <http://www.mecanicaenaccion.com/obdii-acerca-de-los-codigos-de-falla/>)

Los pines correspondientes a la red CAN son el 6 que está relacionado con CANH o llamada también “CAN HIGH” y el pin 14 de CANL o especificado como “CAN LOW”, a parte de los pines activados 4 y 5 que corresponden a tierra de chasis del vehículo y señal de tierra respectivamente, finalmente el pin 16 que todos los conectores de diagnóstico OBD2 tiene activado y pertenece a alimentación eléctrica de 12 voltios.

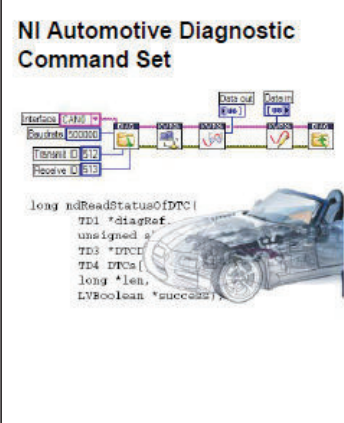
Teniendo en cuenta la forma específica y estandarizada que posee un DLC OBD2, se necesita un cable de conexión entre el conector de diagnóstico del vehículo y nuestra tarjeta de adquisición de datos, cable que la empresa fabricante de la tarjeta NI 9862 también oferta como un accesorio adicional, el cual por un extremo tiene el conector DB9 para acoplarse a la tarjeta de adquisición y por el otro extremo el conector OBD2 para el DLC del vehículo como se puede observar en la Figura 2.5 mostrada a continuación.



Figura 2.5 Cable de conexión de la tarjeta NI 9862 y el DLC OBD2  
(Fuente: <http://sine.ni.com/nips/cds/view/modelpopup/p/pcat/11984/lang/es>)

Finalmente se necesita una última conexión entre el chasis de la tarjeta y el ordenador, dicho enlace se lo hace a través de un cable con puestos USB convencional.

Por parte del fabricante es recomendado el software Labview para la adquisición de los datos y el adecuado funcionamiento de la tarjeta, con un módulo que el constructor vende por separado denominado “Automotive Diagnostic Comand Set”, el que interactúa con la adquisición de datos específicamente a través de la DAQ NI 9862 y fue desarrollado para el mundo automotriz, la Figura 2.6 muestra la presentación de dicho módulo.



The image shows the NI Automotive Diagnostic Command Set interface. On the left, there is a LabVIEW-style block diagram with 'Interface (C/C++)', 'Send (200000)', 'Receive (200000)', and 'Receive (200000)' blocks. Below the diagram is a code snippet for 'long rdReadStatusOfDTC()'. The code includes parameters for 'TD1 \*diagRef', 'unsigned s', 'TD3 \*DTCI', 'TD4 DTCs', 'long \*len', and 'LVBoolean \*success'. To the right of the code is a small image of a car. On the far right, there is a list of features and capabilities.

- Ability to implement automotive diagnostics in LabVIEW, LabWindows™/CVI, Visual C/C++ 6.0
- Compatibility with Windows 7/Vista/XP/2000 and LabVIEW Real-Time
- KWP2000 (ISO 14230), Diagnostics on CAN (ISO 15765, OBD-II), and Diagnostics over IP (ISO 13400)
- Transport protocols: ISO Transport Protocol 15765-2 and Volkswagen TP 2.0
- Compatible interfaces: NI-XNET CAN, CompactRIO CAN, USB CAN, and Series 2 NI CAN (PXI, PCI, PCMCIA)
- Examples for KWP2000 and UDS, including a software ECU simulator

Figura 2.6 Módulo Automotive Diagnostic Comand Set  
(Fuente: <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/es/nid/203554>)

Siguiendo el esquema antes citado, se tiene un conjunto de adquisición de datos denominado hardware para poder realizar la comunicación entre la red Can del vehículo y el ordenador, para posteriormente tomar la señal de rpm de la red y poder procesarla a nuestra conveniencia para establecer la aceleración angular y subsiguientemente la potencia y torque del motor de combustión interna.

### **Selección del tipo de motor y vehículo en el que se va a realizar la investigación.**

Como primordial consideración se debe tomar en cuenta que el vehículo que se debe seleccionar para la investigación tiene que poseer un sistema OBD2 con conexión CAN, se presentan dos opciones, la primera se trata de un automóvil de la marca Kia, modelo Rio R del año 2014 y un auto Volkswagen, modelo Gol Power del año 2014, ambos vehículos cuentan con Red Can y sistema OBD2.

Luego de realizar las primeras prácticas de conexión y comunicación con la tarjeta, se tiene resultados favorables con el vehículo Kia Rio R, además los parámetros de funcionamiento diferentes de los dos automóviles al momento de la aceleración libre. El vehículo Volkswagen Gol Power tiene una característica peculiar al momento de realizar pruebas de aceleración libre sin carga y vehículo estacionado, puesto que al contar con sistema de acelerador electrónico, la gestión electrónica limita la apertura de la lengüeta de aceleración hasta un régimen del motor de 4000 rpm, sin permitir que el motor llegue a sus rpm máximas.

Por parte de la gestión electrónica del vehículo Kia Rio R, a pesar de tener de igual manera acelerador electrónico, permite una aceleración libre del motor hasta el régimen máximo en el que se realiza un corte de inyección para protección del motor por parte del sistema de inyección electrónica. Motivos adicionales que aseguran una adquisición de datos coherentes para la investigación.

Se escogió entonces como vehículo de pruebas para la investigación al automóvil Kia Rio R, el cual posee un motor de 1400 cc con un sistema de distribución variable.



Figura 2.7 Vehículo Kia Rio R seleccionado para la investigación  
(Fuente: Autores)

El motor cuenta con doble árbol de levas en el cabezote y 16 válvulas, distribuidas en dos válvulas de admisión y dos de escape por cada cilindro.



El sistema de distribución variable con el que el motor se encuentra equipado es el denominado “CVVT”, sus siglas en inglés significan “Continuously Variable Valve Timing” que traducido al español se relaciona con un sistema de sincronización de variación de válvulas continuo. Este sistema se caracteriza de los otros de distribución variable existentes, porque varía el ángulo de fase de la leva continuamente en función de diferentes parámetros que procesa la unidad de control electrónica, para incrementar la eficiencia volumétrica del motor al momento del proceso de renovación de la carga, desencadenando una menor cantidad de emisiones contaminantes y obteniendo mayor aprovechamiento del combustible con mayor potencia y torque tanto a bajas como a altas revoluciones del motor.

En la Figura 2.8 se presenta el motor con el que se encuentra equipado el vehículo de investigación con las características ofrecidas por el fabricante.



Figura 2.8 Motor equipado en el vehículo de investigación  
(Fuente: <http://www.kia.com/pe/showroom/rio-hatchback/specification.html>)

### Selección del equipo para medir presión atmosférica, temperatura ambiente y altura sobre el nivel del mar

Dentro de los diferentes equipos que se tienen disponibles en el mercado nacional, se ha seleccionado en particular el denominado **KESTREL 4200**, debido a que posee características beneficiosas para la presente investigación.

En la Figura 2.9 se aprecia la presentación, así como todas las mediciones que realiza el equipo, motivos por los cuales se ha seleccionado para el trabajo presentado.



**Mediciones que realiza:**

Velocidad del Viento	Presión barométrica
Volumen de corriente de aire	Altitud
Temperatura	Altitud de densidad
Sensación Térmica	
Humedad relativa	
Índice de estrés térmico	
Temperatura del punto de rocío	
Temperatura de bulbo húmedo	
Índice de humedad	

Figura 2.9 Equipo KESTREL 4200 utilizado para la investigación  
(Fuente: Manual Kestrel)

**Diseño del software para la obtención de torque y potencia por aceleración libre.**

Para cumplir el objetivo de realizar el cálculo de par motor y potencia efectiva del motor de combustión interna del vehículo seleccionado, se ha desarrollado dos software que van a permitir dicho objetivo, los cuales los hemos llamado “CAN Monitor” y “DynoRacer”, a continuación detallamos cada uno de ellos, así como también su funcionalidad y actuación al momento de la adquisición y procesamiento de los datos.

**Desarrollo del software CAN Monitor**

Como se menciona en el apartado de la selección de la tarjeta de adquisición de datos, el fabricante recomienda una librería adicional para el software Labview, para que la tarjeta tenga su completa funcionalidad de adquisición.

El software Labview se encuentra a nuestra disposición con su licencia original, facilitado por la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

La librería a ser utilizada para el beneficio de la tarjeta de adquisición de datos, es la denominada “Automotive Diagnostic Tools”, librería que el fabricante vende por separado y que al tener un costo relativamente elevado, se sale del presupuesto total de la investigación.

La opción más adecuada fue ponernos en contacto con el representante de NATIONAL INSTRUMENTS en nuestro país, la empresa que representa al fabricante de la tarjeta es la llamada “DATA LIGHTS”, esta última empresa nos dotó de un software de adquisición el cual al ser ejecutable no se necesita la instalación de la librería “Automotive Diagnostic Tools”, esta variante resulta más económica y se encuentra dentro del presupuesto total de la investigación.

Este primer software lo denominamos “CAN Monitor”, dentro de las características de este programa, se encuentra la adquisición de la información y comportamiento de los sensores de temperatura del refrigerante del motor en grados Celsius, temperatura del aire de admisión en grados Celsius, presión barométrica en KiloPascales, velocidad del vehículo en kilómetros por hora y el parámetro esencial para el desarrollo del cálculo de potencia y torque por aceleración libre como es las revoluciones del motor en RPM. En la Figura 2.10 se presenta la pantalla de inicio del software.

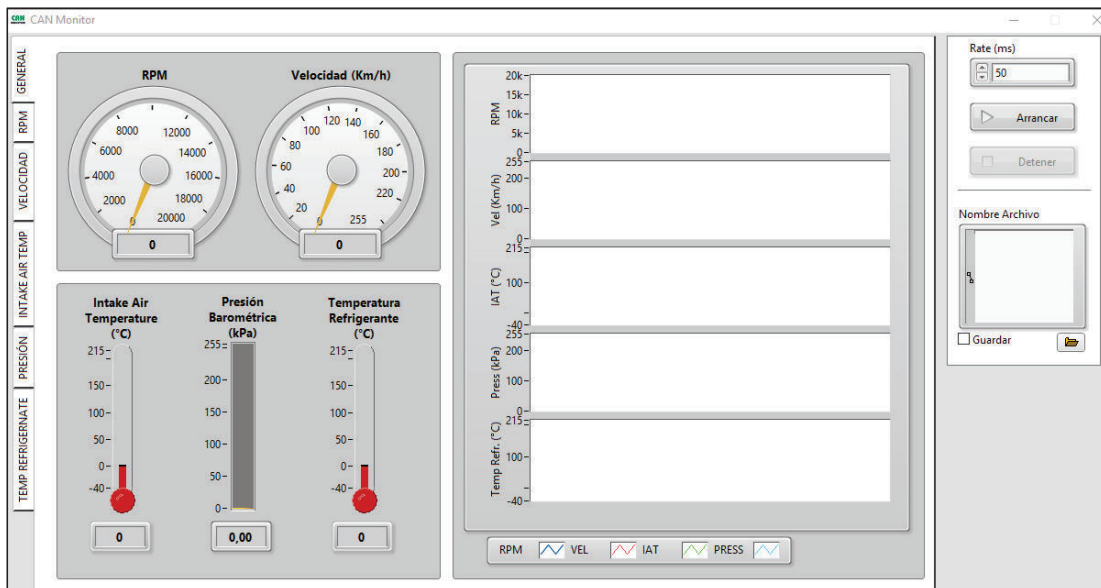


Figura 2.10 Software CAN Monitor para adquisición de datos  
(Fuente: Autores)

El software CAN Monitor, funciona cuando la tarjeta de adquisición de datos se encuentra conectada al DLC del vehículo, entre las características funcionales se tiene un ratio de adquisición de datos de 50 ms, se puede almacenar un archivo genérico, mismo que consta con una captura de los datos y valores adquiridos en filas y columnas. A continuación se observa en la Figura 2.11 el detalle de almacenamiento de los valores de cada uno de los sensores que lee el software CAN Monitor, dicho archivo se genera durante el tiempo que tarde en arrancar y detener la prueba, a través de los botones que muestra el software, por motivos de visualización de los datos, el archivo fue abierto como un bloc de notas.

Revoluciones	Velocidad	In Air Temp	Presión Bar.	Temp Refrig
660,000000	0,000000	56,000000	73,000000	95,000000
663,750000	0,000000	56,000000	73,000000	95,000000
662,500000	0,000000	56,000000	73,000000	95,000000
659,250000	0,000000	56,000000	73,000000	95,000000
660,000000	0,000000	56,000000	73,000000	95,000000
659,500000	0,000000	56,000000	73,000000	95,000000
660,750000	0,000000	56,000000	73,000000	95,000000
662,750000	0,000000	56,000000	73,000000	95,000000
665,000000	0,000000	56,000000	73,000000	95,000000
662,000000	0,000000	56,000000	73,000000	95,000000
660,250000	0,000000	56,000000	73,000000	95,000000
681,750000	0,000000	56,000000	73,000000	95,000000
854,750000	0,000000	56,000000	73,000000	95,000000
1211,500000	0,000000	56,000000	73,000000	95,000000
1522,500000	0,000000	56,000000	73,000000	95,000000
2069,500000	0,000000	56,000000	73,000000	95,000000
2599,500000	0,000000	56,000000	73,000000	95,000000
3110,000000	0,000000	56,000000	73,000000	95,000000
3685,000000	0,000000	56,000000	73,000000	95,000000
4228,750000	0,000000	56,000000	73,000000	95,000000
4781,500000	0,000000	56,000000	73,000000	95,000000
5338,000000	0,000000	56,000000	73,000000	95,000000
5868,500000	0,000000	56,000000	73,000000	95,000000
6381,500000	0,000000	56,000000	73,000000	95,000000
6482,250000	0,000000	56,000000	73,000000	95,000000

Figura 2.11 Archivo de adquisición de datos en aceleración y desaceleración del motor  
(Fuente: Autores)

Claramente se puede apreciar que la prueba se trata de una aceleración desde una velocidad angular de ralentí, hasta el corte de inyección que se genera alrededor de 6400 rpm, el vehículo ha permanecido estacionado durante la prueba puesto que la velocidad del VSS muestra 0 Km/h, la temperatura del aire de admisión permanece constante en 56°C, la presión barométrica de igual manera permanece constante en 73 KPa y el motor se encuentra en una temperatura óptima de funcionamiento de 95°C.

Este archivo nos servirá en lo posterior para leer los datos adquiridos y poder procesar la evolución de la velocidad angular para motivos de cálculos de aceleración angular durante el periodo que tarde la prueba y así poder determinar indirectamente el torque y potencia por el método de aceleración libre.

## Desarrollo del software DynoRacer

Teniendo como antecedente que la adquisición de los datos a través de la red CAN se los almacena en un archivo, pues es ese nuestro punto de partida para empezar la programación, diagramación e interpretación para el desarrollo del segundo software, el cual procesará los datos del archivo generado por CAN Monitor para realizar el cálculo de los puntos máximos de par motor y potencia efectiva al número de revoluciones correspondientes.

Como primer paso para el desarrollo del segundo software que en adelante lo llamaremos **DynoRacer**, es la lectura de los datos guardados en la primera columna del archivo generado por CAN Monitor correspondiente al número de revoluciones del motor.

DynoRacer es estructurado y programado en la plataforma de Labview, por lo que para la lectura del archivo guardado de la adquisición se necesita la utilización de un módulo que interprete la ubicación y lea adecuadamente el documento genérico almacenado, para la ordenada lectura de la adquisición de los datos por parte de Labview es obligatorio colocar la extensión .lvm al nombre del archivo guardado. Para cumplir el objetivo mencionado, se requiere un botón para que valide la lectura y un botón que realice la búsqueda de la ubicación del archivo que se vaya a analizar, En la Figura 2.12 se muestra la estructura del VI en Labview.

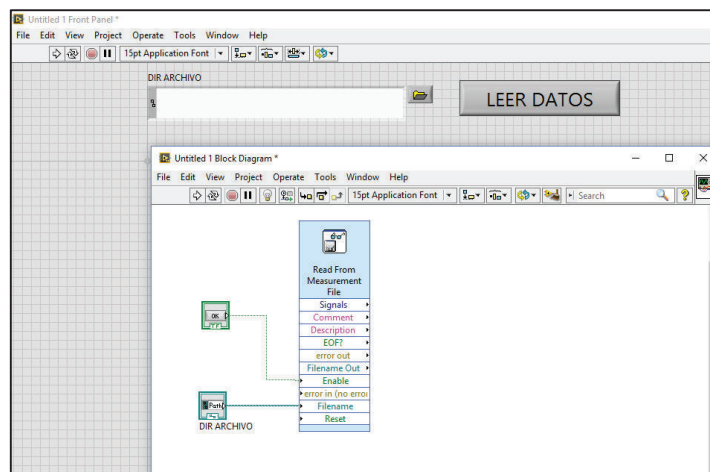


Figura 2.12 Diagramación del VI para la ubicación del archivo almacenado  
(Fuente: Autores)

Se desea realizar un gráfico de la evolución de la velocidad angular del motor a lo largo del periodo que dure la prueba de aceleración, para esto se coloca un graficador de forma de onda y se lo enlaza y configura de tal manera que grafique la primera columna de la matriz que se ha generado en el archivo guardado de la adquisición.

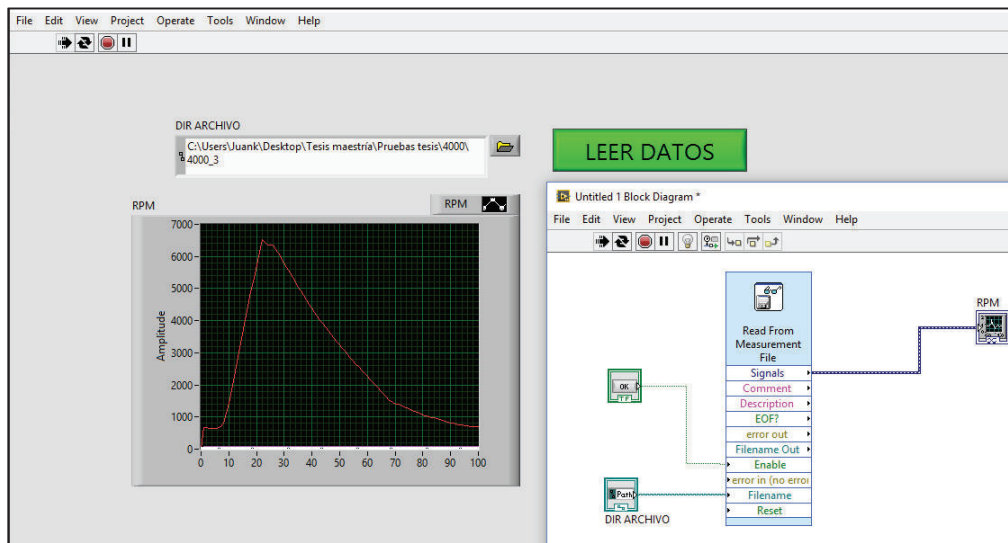


Figura 2.13 Programación del gráfico de revoluciones por minuto  
(Fuente: Autores)

La parte de la curva de la velocidad angular que se necesita para realizar el respectivo cálculo para la aceleración angular, es durante la evolución de la velocidad angular desde un estado de ralentí hasta el número de revoluciones máximas, antes del corte de inyección, en visto de aquello, se debe transformar la matriz que se tiene, en un vector y este a su vez dividirlo en dos partes, una parte de aceleración y una parte de desaceleración que corresponde al momento en que se quita por completo el pie del pedal del acelerador del vehículo y que estos datos nos servirá para calcular también las pérdidas mecánicas del motor, para dicho objetivo se utiliza un divisor de vectores a partir de la matriz obtenida, en la Figura 2.14 se presenta la división del vector aceleración como vector 1 y desaceleración como vector 2.

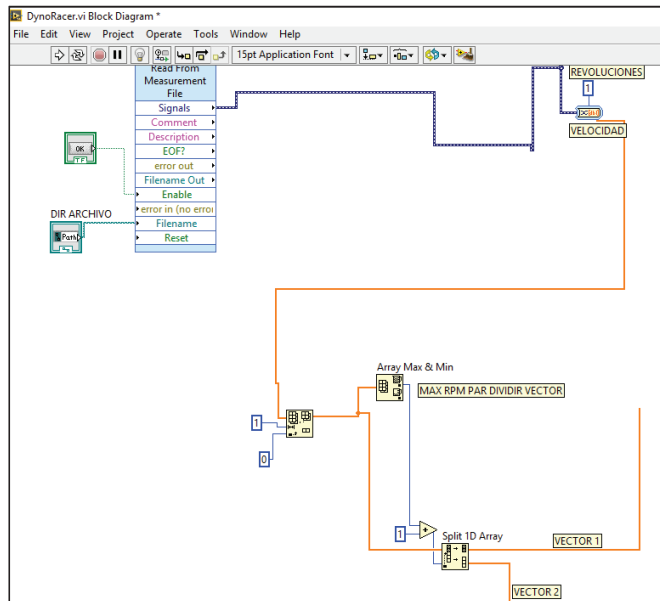


Figura 2.14 División de la matriz en vector de aceleración y desaceleración  
(Fuente: Autores)

Una vez que se tiene el vector de incremento de la velocidad angular desde ralentí hasta el corte de inyección, se genera la programación y cálculo para obtener la aceleración angular.

La aceleración angular se la calcula teniendo en cuenta la ecuación, que la aceleración angular es la primera derivada de la velocidad angular en función del tiempo, lo que es lo mismo tener una velocidad final y una velocidad inicial, realizar una resta entre estas dos velocidades y dividirla para un tiempo conocido.

Del software CAN Monitor se tiene el dato de que el ratio de muestreo de adquisición es de 50 ms, por lo que este tiempo es fundamental para realizar el cálculo de aceleración angular, pues es importante entender que la velocidad angular va aumentando paulatinamente desde ralentí y que cada 50 ms se va almacenando un dato de velocidad angular, por lo que en un tiempo de 50 ms se puede tener una velocidad final y una velocidad inicial, datos fundamentales para el cálculo de la aceleración angular, como la velocidad se encuentra en RPM es obligatorio transformar a unidades compatibles para el cálculo de torque, para esto es necesario utilizar la conversión que 1 RPM representa 0,10471976 rad/s.

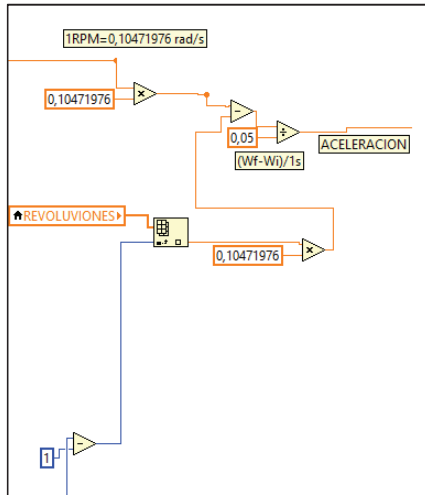


Figura 2.15 Cálculo de la aceleración angular  
(Fuente: Autores)

Una vez que se tiene los valores de aceleración y velocidad angular, se puede continuar con la programación para obtener el primer objetivo de la investigación como es el torque y potencia por aceleración libre.

El momento de inercia se lo maneja como una constante, en obligatorio insertar su valor en el software DynoRacer, el momento de inercia debe ser multiplicado por la aceleración angular para obtener el par motor y el torque calculado se lo debe multiplicar por la velocidad angular para conseguir el cómputo de la potencia efectiva del motor de combustión interna. A continuación se traducen estas ecuaciones en la programación gráfica que maneja Labview.

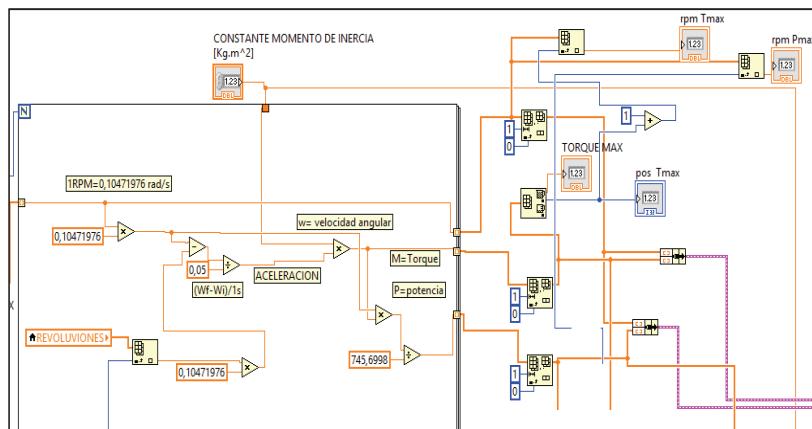


Figura 2.16 Programación del cálculo de torque y potencia  
(Fuente: Autores)



Como se muestra en la Figura 2.16, se puede apreciar también que se ha realizado el cálculo de las posiciones máximas tanto de torque y potencia a las RPM correspondientes y que en lo posterior van a ser graficadas cada una de estas curvas. También se puede apreciar que existe una constante de 745,6998, corresponde a la conversión de unidades para la potencia efectiva, ya que producto de la multiplicación de torque y velocidad angular, las unidades resultantes son en Vatios, pues es necesaria la utilización del factor de conversión para traducir las unidades en HP ya que en la investigación se maneja esta unidad de potencia muy conocida en motores de combustión interna.

Ahora trataremos el segundo vector que en un principio dividimos al comportamiento de la velocidad angular, se presentan los cálculos relacionados con la desaceleración libre del motor sin combustión para determinar las pérdidas mecánicas del motor.

Una vez que el motor llega a su régimen máximo de RPM la gestión electrónica realiza un corte de inyección para proteger el motor y evitar que sobre revolucione, la gestión electrónica también realiza una eliminación del suministro de combustible a través de los inyectores, en condiciones de desaceleración, en otras palabras, se corta el pulso de inyección cuando el motor gira libremente desde unas revoluciones máximas hasta el estado de ralentí, momento en el que la ECU surte nuevamente pulso de inyección para que ingrese el combustible conjuntamente con el aire en una mezcla estequiometría adecuada para evitar que el motor se apague.

Para el cálculo de las pérdidas mecánicas que adicionalmente se ha desarrollado en el software DynoRacer, se tomó los valores de desaceleración y se utilizó el cálculo similar al de la potencia efectiva para poder llegar a determinar cuántos HP pierde el motor, por las denominadas pérdidas mecánicas que corresponden al accionamiento de auxiliares, pérdidas por fricción, pérdidas por proceso de renovación de la carga, entre otras.

En la Figura 2.17 se muestra la programación gráfica utilizada para el conveniente cálculo de pérdidas mecánicas que se encuentra equipado nuestro software, en dicha programación se puede apreciar nuevamente la constante para el factor de conversión de Vatios a HP.

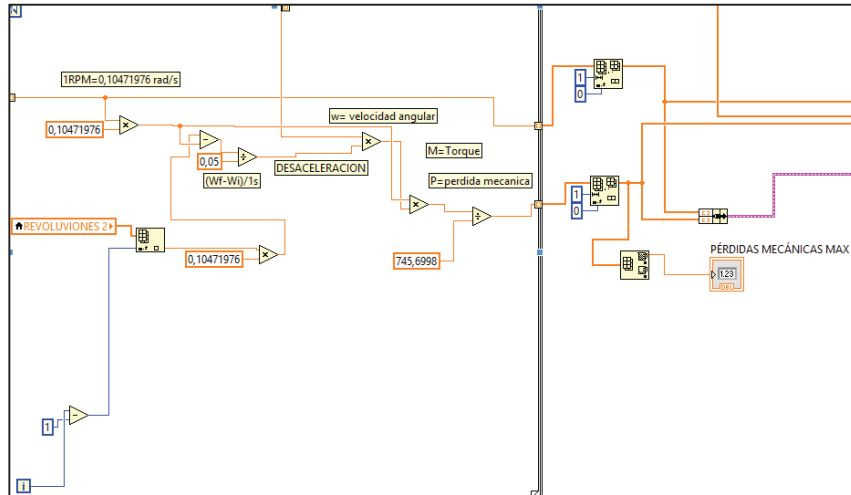


Figura 2.17 Programación del cálculo de pérdidas mecánicas  
(Fuente: Autores)

Cada uno de los valores tanto de potencia, torque y pérdidas mecánicas son graficados, de dichas gráficas se extraen los datos de potencia máxima, torque máximo y pérdidas mecánicas máximas para el concerniente análisis y estudio, en la Figura 2.18 se ve el total de la programación gráfica en el entorno Labview que se ha utilizado para el desarrollo del software DynoRacer.

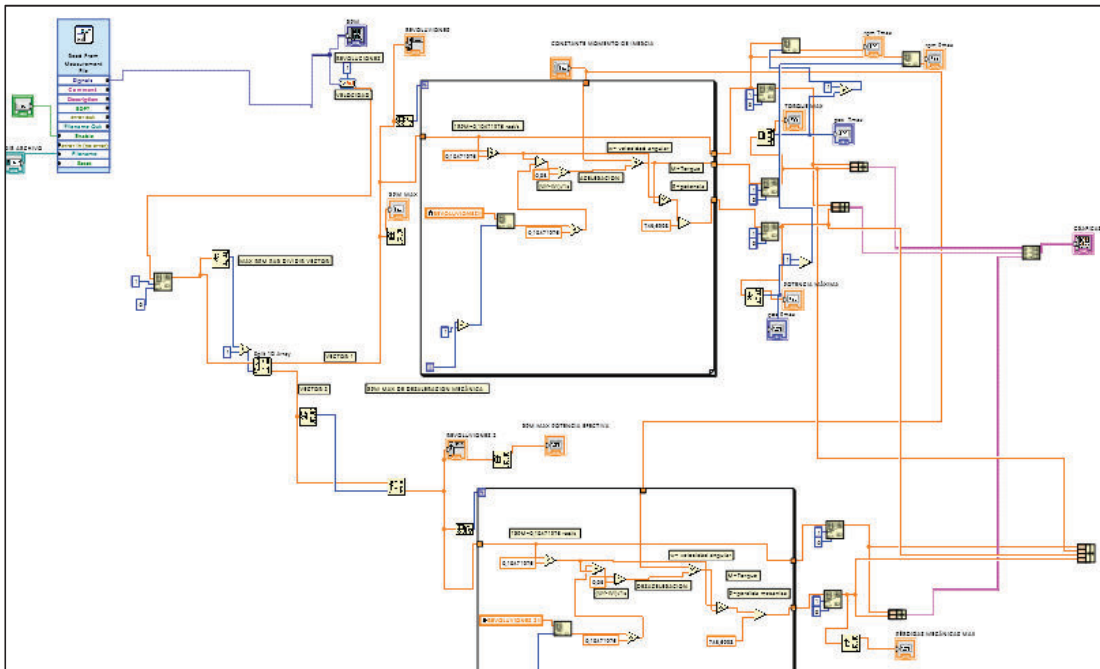


Figura 2.18 Programación total del software DynoRacer  
(Fuente: Autores)

Por su parte la pantalla de interacción en donde se visualiza tanto gráficas como valores máximos de las variables de torque, potencia y pérdidas mecánicas, se muestra seguidamente en la Figura 2.19.

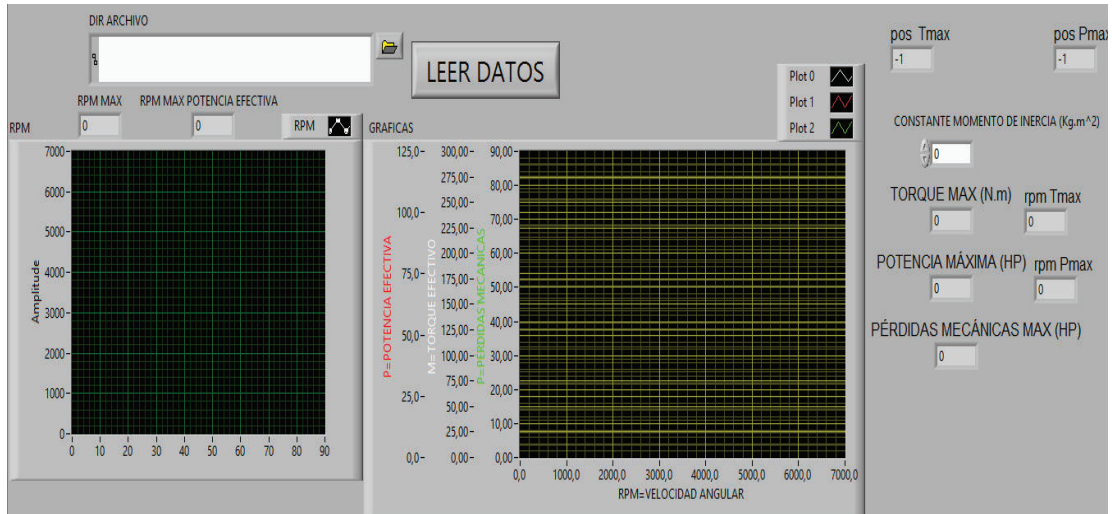


Figura 2.19 Pantalla del software DynoRacer  
(Fuente: Autores)

### Implementación del equipo de adquisición en el vehículo para medir el par motor, potencia y pérdidas mecánicas por el método de aceleración libre.

En primer lugar hay que ubicar la posición en la que se encuentra el conector DLC del vehículo para posterior realizar la conexión de la tarjeta de adquisición de datos con el conector de diagnóstico electrónico del automóvil.

En la Figura 2.20 se observa la ubicación del conector de diagnóstico del automóvil y el conector de la tarjeta de adquisición de datos listo para ser acoplado.



Figura 2.20 Ubicación del conector de diagnóstico del vehículo.  
(Fuente: Autores)

Una vez enlazada la tarjeta de adquisición de datos y la ECU del vehículo, se establece la comunicación ejecutando el software CAN Monitor y esperando que se enciendan los dos testigos luminosos en la tarjeta tal como muestra la Figura 2.21, indicando que existe comunicación y está lista para adquirir los datos.



Figura 2.21 Testigos de la tarjeta de adquisición iluminados indicando comunicación con la computadora a bordo del automóvil.  
(Fuente: Autores)

En la Figura 2.22 se aprecia el conjunto de adquisición conectado y ejecutándose sobre el vehículo de pruebas, es de vital importancia instalar los drivers o controladores que el fabricante de la tarjeta proporciona para que se ejecute la conexión y reconocimiento en el ordenador sin ningún tipo de inconveniente, puesto que al no estar adecuadamente instalados, la tarjeta no podrá conectarse con el software de adquisición.

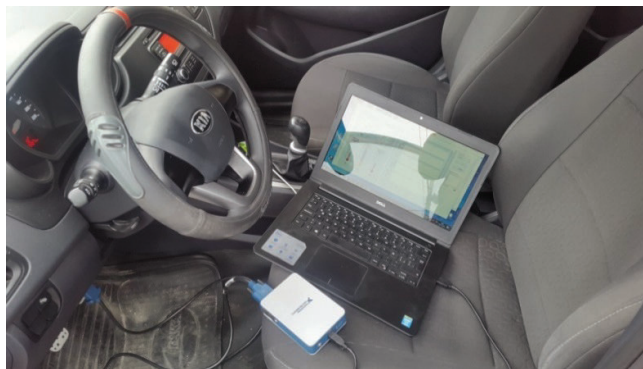


Figura 2.22 Equipo de adquisición utilizado en la investigación conectado en el vehículo de pruebas  
(Fuente: Autores)

Finalmente se realiza una prueba para comprobar las revoluciones que marca el tacómetro del tablero del automóvil sean las mismas que está adquiriendo el software. En la Figura 2.23 se aprecia la concordancia en el valor de revoluciones que nos muestra el software y que marca el tacómetro.



Figura 2.23 Comparativa de RPM entre el software de adquisición y el tacómetro del vehículo.  
(Fuente: Autores)

## 2.2 Determinación de las variables que intervienen en la potencia y torque de un motor de combustión interna.

Son múltiples las variables que se van a encontrar presentes y que van a intervenir directa o indirectamente en la evolución de la potencia de un motor de combustión interna, por lo tanto y para efecto de la presente investigación se han fijado dos fundamentales y de consecuencia directa en la potencia del motor.

Dentro de la clasificación de los motores de combustión interna según la forma como se introduce aire en el interior de los cilindros se tiene, motores atmosféricos y motores sobrealimentados.

Los denominados atmosféricos, tienen como variable crítica la cantidad de presión atmosférica a la que se encuentra operando, ya que a menor presión atmosférica, se tendrá menor cantidad de aire introducido al motor, por consecuencia se tendrá poca cantidad de oxígeno contenido en la mezcla aire – combustible y desencadenando una insuficiente combustión, viéndose reflejado en una baja potencia.

Por su parte los motores sobrealimentados poseen sistemas que obligan a tener mayor cantidad de aire en el llenado del cilindro, tratando de superar el inconveniente provocado por la falta de presión atmosférica.

En la presente investigación se estudia el torque y potencia de un motor atmosférico, por lo tanto, la primera variable que se analiza en la evolución de la potencia es la presión atmosférica, dicha presión está en una relación inversamente proporcional con la altura sobre el nivel del mar, mientras mayor sea la altura sobre el nivel del mar, menor será la presión atmosférica a la que trabajará un motor de combustión interna.

A parte de la presión atmosférica, la cantidad de oxígeno que se va a tener en el interior del cilindro durante la admisión, dependerá también de la densidad que tendrá el aire en ese tiempo del motor. La densidad como se conoce es una propiedad física que depende directamente de la temperatura, por lo tanto se estudia como variable importante en la potencia del motor la temperatura ambiente a la que se vaya a entrar funcionando el MCI.

### **Metodología para medir la potencia y torque por aceleración libre**

Una vez realizados los software que nos serán de vital importancia al momento de desarrollar el método de aceleración libre, procedemos con la metodología para extraer el torque y la potencia en nuestro vehículo de investigación, de tal manera que los procedimientos para la medición sean iguales en todos los casos de presión atmosférica.

Es importante recalcar que la tarjeta de adquisición de datos, el software que va a procesar la adquisición denominado CAN Monitor y el software para las gráficas y valores de torque y potencia, tienen una funcionalidad intrínseca, ya que están relacionados entre sí para tener un resultado final con valores fiables.

La metodología experimental que hemos desarrollado y establecido para la medición es que se manifiesta a continuación.

1. **Tarjeta de adquisición de datos:** Se conecta por medio del DLC al sistema CAN de toda la red del vehículo a través del cable SAEJ1962M-DE9M CAN OBD-II Cable.

Desde la tarjeta de adquisición hacia el ordenador, lo conectamos por medio de un cable USB y esperamos a que el indicador luminoso de la tarje nos muestre que se encuentra lista para adquirir los datos.

- 2. Software CAN Monitor:** Este primer software nos permite realizar la adquisición en tiempo real de diferentes datos del motor como son: revoluciones por minutos del cigüeñal, velocidad del vehículo, temperatura del aire de admisión, presión atmosférica y temperatura del refrigerante, como se muestra en la Figura 2.24.

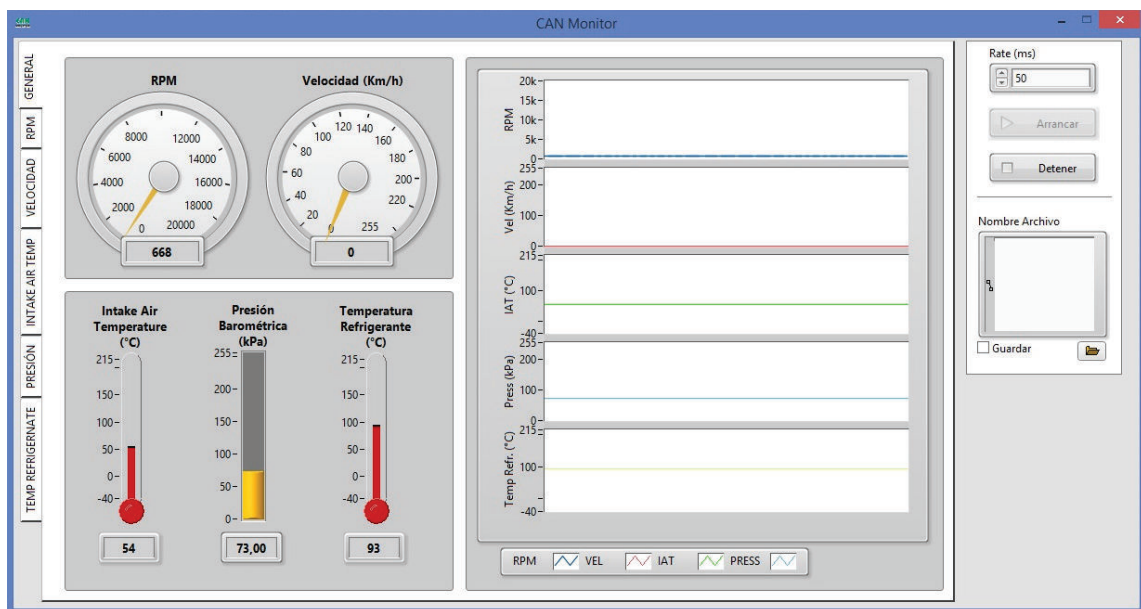


Figura 2.22.24 Pantalla de inicio software CAN Monitor  
(Fuente: Autores)

Todos estos datos se van a guardar en un archivo que posteriormente lo utilizaremos en el segundo software, los datos empezarán a guardarse desde que activamos el botón “Arrancar” del software hasta que activemos el botón “Detener” del mismo.

En este software podremos manipular la velocidad del ratio de muestreo, escalas de los valores de los diferentes sensores monitoreados y la ubicación del destino de nuestro archivo para ser guardado.

- 3. Software DynoRacer:** Este software será el encargado de cargar el archivo generado en el CAN Monitor para procesar la información de las revoluciones del

cigüeñal, así como también el ratio de muestreo para el cálculo pertinente de torque y potencia.

Al ejecutar este software, es necesario cargar el archivo generado por el CAN Monitor con la extensión **.lvm** para que pueda ser leído y procesado.

Una vez cargado el archivo procedemos a asignar un valor al momento de inercia del motor a través de la casilla “CONSTANTE MOMENTO DE INERCIA”, posterior a aquello debemos activar el botón “LEER DATOS” y se visualizará las diferentes gráficas de Torque, Potencia y Pérdidas Mecánicas, así como también se tendrá los datos máximos de estas variables a sus respectivos valores de velocidad del motor.

### **Determinación del número de pruebas a realizarse para obtener un valor promedio válido**

Para tener un resultado válido de las diferentes pruebas que se van a realizar, es fundamental seguir un procedimiento relacionado con el experimental para poder manifestar que el valor que arroje el software en función de las pruebas, sea un valor verdadero.

Para determinar cuántas pruebas específicamente se tiene que hacer para que su promedio sea un valor admitido, se sigue el procedimiento que se detalla a continuación.

Al software tener una conexión directa a una red de comunicación, y puesto que desde esta red se toma el valor de RPM, se puede considerar entonces una medición directa, esta medición directa es relacionada con el cálculo de torque y potencia, por lo que se toma la condición que rige cuantas pruebas se debe realizar para tener valores estadísticos con cierta validez

Al tratarse de varias medidas de una misma magnitud, en este caso torque, potencia y pérdidas mecánicas, el procedimiento dicta realizar tres pruebas de la magnitud a medir, se calcula el valor medio de estas tres medidas, dado por la siguiente ecuación.

$$X_3 = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 x_i$$

Ecuación 2.2



Y se calcula la dispersión total D de las mismas mediciones, es decir, la diferencia entre el valor máximo, menos el valor mínimo de las tres medidas, para finalmente calcular el tanto por ciento de la dispersión, que se representa con T en la siguiente ecuación.

$$T = \frac{D}{X_3} * 100$$

Ecuación 2.3

Por lo tanto, si el valor de T es menor o igual al 2%, se toma como valor verdadero al promedio de las tres mediciones, y solo se deben realizar un total de tres medidas.

Teniendo esta consideración y estudiando que el motor al cual vamos a someter a investigación posee un sistema de distribución variable, se procede a desconectar el actuador de la distribución variable para que la gestión electrónica no realice el desfase de la distribución y no se tenga variaciones de eficiencia volumétrica y por consiguiente medidas diferentes de potencia y torque.

Al desconectar el actuador de la CVV-T, el motor se va a comportar de igual manera en las diferentes pruebas que se realicen al acelerar o desacelerar, motivo por el que se tendrá valores similares de torque y potencia para poder determinar cuántas mediciones se debe hacer para que su valor promedio pueda ser considerado verdadero.

Una vez desconectado el actuador de la distribución variable, se procedió a realizar tres mediciones, cada medición se debe acelerar a fondo hasta el corte de inyección y retirar inmediatamente el pie del acelerador para que el motor regrese a ralentí, momentos durante los cuales se graban datos y se procesan en los diferentes software ya mencionados anteriormente.

En la Figura 2.25 se puede observar la desconexión del actuador de la distribución variable, para proceder a realizar las medidas y determinar cuántas pruebas son suficientes para considerar veraz el resultado de su promedio.

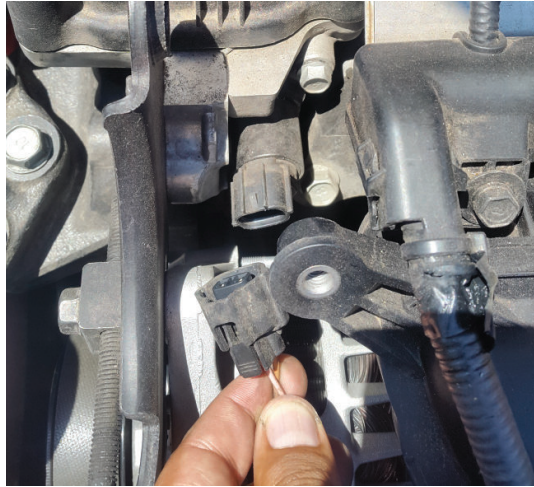


Figura 2.25 Actuador CVV-T desconectado  
(Fuente: Autores)

Luego de desconectar el mencionado actuador se procede a obtener tres mediciones de aceleración, teniendo en cuenta que durante estas pruebas el vehículo se encontraba a 73 KPa de presión atmosférica y 54°C de temperatura de aire de admisión. En la Figura 2.26 se visualiza los resultados de la primera prueba.

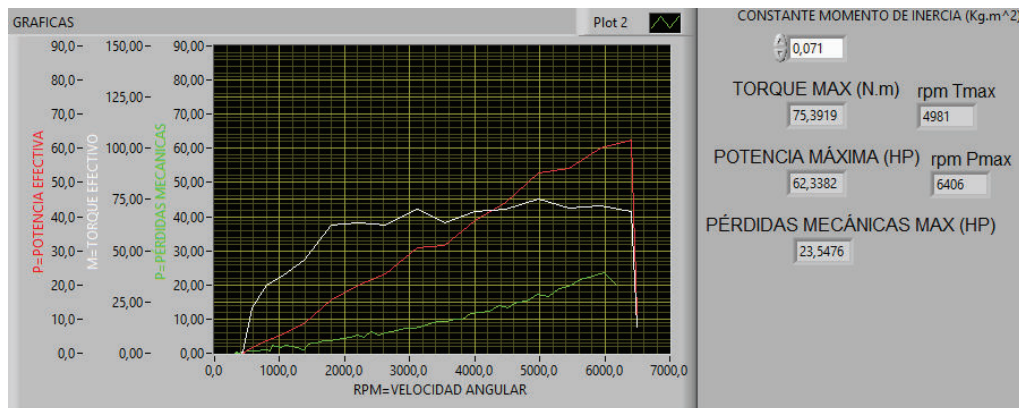


Figura 2.26 Gráficas de la primera prueba desconectado el actuador CVV-T  
(Fuente: Autores)

Por su parte en la Figura 2.27 se observa el comportamiento del motor y los valores de potencia, torque y pérdidas mecánicas de la segunda prueba, con el sistema de distribución variable inhabilitado.

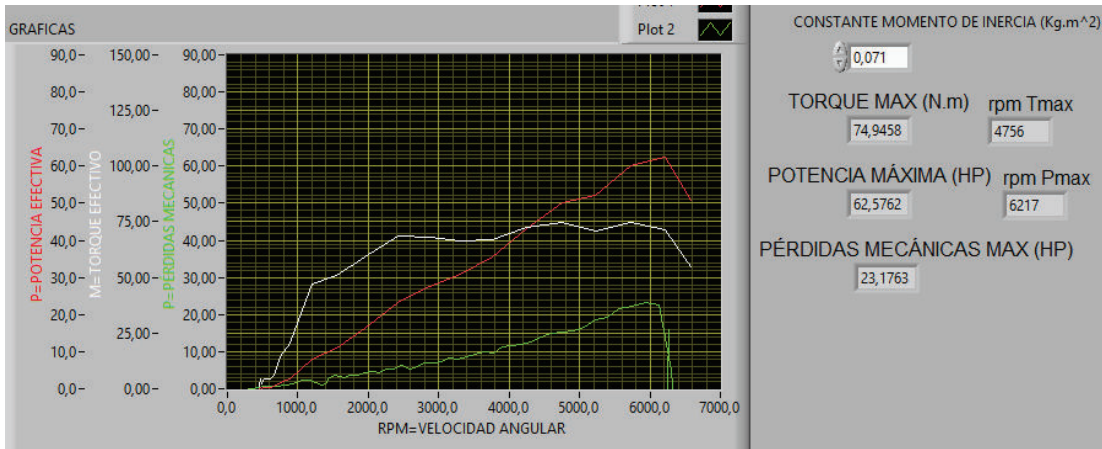


Figura 2.27 Gráficas de la segunda prueba desconectado el actuador CVV-T  
(Fuente: Autores)

Finalmente se muestra en la Figura 2.28 los resultados y las gráficas de la tercera prueba obtenida, luego de haber desconectado el sistema inteligente de distribución variable.

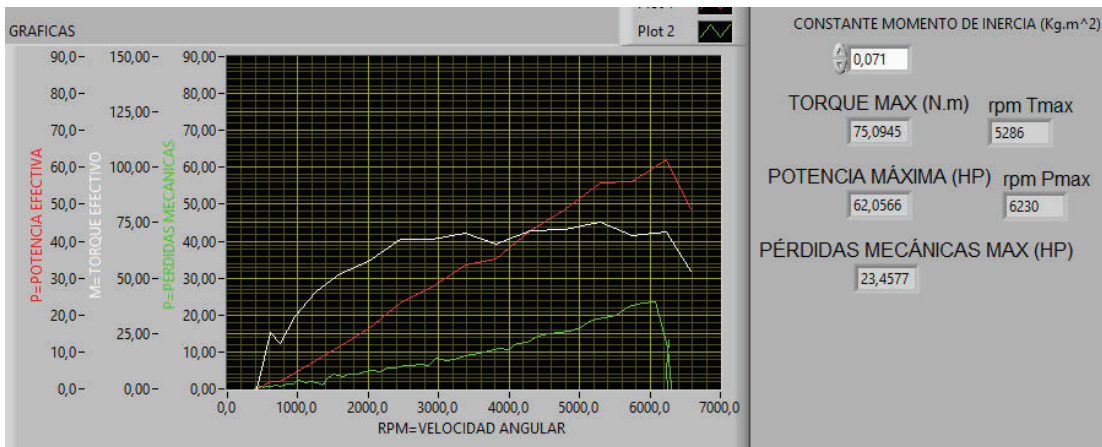


Figura 2.28 Gráficas de la tercera prueba desconectado el actuador CVV-T  
(Fuente: Autores)

Luego de haber mostrado los resultados de las pruebas iniciales realizadas sin la acción de la distribución variable, se procede a efectuar el análisis matemático para evaluar el número de experimentos que se debe hacer a cada altura sobre el nivel del mar como se describe en el procedimiento experimental.

Para los resultados de potencia se tiene lo siguiente.

Tabla 2.1 Valores de Potencia desconectado el actuador CVV-T

	Potencia (HP)
Prueba 1	62,3388
Prueba 2	62,5762
Prueba 3	62,0566

(Fuente: Autores)

Para determinar el tanto por ciento de la dispersión, se utiliza las Ecuaciones 2.2 y 2.3, Teniendo como resultado lo mostrado en el siguiente procedimiento matemático.

$$X_3 = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 x_i$$

$$X_3 = 62,32$$

$$D = \text{Valor máximo} - \text{Valor mínimo}$$

$$D = 62,5762 - 62,0566 = 0,5196$$

Por lo tanto de la Ecuación 4.2

$$T = \frac{D}{X_3} * 100$$

$$T = \frac{0,5196}{62,32} * 100$$

$$T = 0,83\%$$

Por lo tanto basándonos es el tanto por ciento de la dispersión se establece que tres pruebas son suficientes para poder tener un valor promedio veraz, ya que su valor está por debajo al 2%.

De igual manera se realizó el análisis con el valor de torque y pérdidas mecánicas con las mismas pruebas que se realizó el análisis de potencia, teniendo los siguientes resultados.

Tabla 2.2 Valores de Par Motor desconectado el actuador CVV-T

	Torque (N.m)
Prueba 1	75,3919
Prueba 2	74,9458
Prueba 3	75,0945

(Fuente: Autores)

Para estos valores se tiene:

X3	75,14
D	0,4461
T	0,5937

Por lo tanto y al igual que en el caso de la potencia, el valor del tanto por ciento de la dispersión es igual a 0,5937, que al ser menor al 2%, indica que es suficiente tres pruebas para llegar a un valor promedio estadísticamente válido.

Finalmente se tiene el análisis de las pérdidas mecánicas que se detalla en la Tabla 2.3.

Tabla 2.3 Valores de pérdidas mecánicas desconectado el actuador CVV-T

	Pérdidas Mecánicas (HP)
Prueba 1	23,5476
Prueba 2	23,1763
Prueba 3	23,4577

(Fuente: Autores)

En cuanto a las pérdidas mecánicas se tiene los siguientes resultados de tanto por ciento de dispersión.

X3	23,3938
D	0,3713
T	1,5872

En similar análisis, el valor de 1,5 es menor al 2% por lo que queda ratificado una vez más, que es suficiente realizar tres pruebas para tener un promedio veraz a lo largo de la

investigación. Es importante mencionar que en las pruebas una vez que se encuentre conectado el actuador de la distribución variable, los resultados pueden tomar valores relativamente distantes, pues esto se debe al comportamiento inteligente de la gestión electrónica para hacer activar la distribución variable y aumentar la eficiencia volumétrica, desencadenando diferentes potencias.

Como se puede apreciar, el valor del momento de inercia es arbitrario, por lo que en el presente capítulo se detalla cómo ha sido determinado.

### **Procedimiento a realizar en vehículo para la obtención de torque, potencia y pérdidas mecánicas del motor.**

Expuesto lo que va a hacer cada instrumento y software a ser utilizado para el método de aceleración libre, a continuación se detalla el procedimiento para la adecuada adquisición de los diferentes datos del motor.

- El vehículo deberá permanecer en reposo.
- El motor debe estar funcionando en el rango de temperatura normal de funcionamiento que oscila desde los 80°C hasta los 100°C.
- Una vez ejecutado el programa CAN Monitor, el motor encendido y estabilizado en ralentí empezamos la grabación de datos, para lo cual se lleva al acelerador a posición WOT instantáneamente hasta el corte de inyección, teniendo en cuenta que el vehículo deberá seguir en reposo.
- Luego de que la gestión electrónica del sistema de inyección realiza el corte de inyección, retiramos inmediatamente el pie del acelerador y esperamos que el motor se estabilice en ralentí nuevamente y detenemos la grabación de datos en el software CAN Monitor.
- Este procedimiento lo realizamos tres veces para tener tres archivos diferentes que serán analizados en el software DynoRacer para la obtención del torque, potencia y pérdidas mecánicas.
- Finalmente se realizará un promedio de las tres pruebas para determinar las variables de Potencia y Torque del vehículo de investigación.

Este procedimiento se lo realizará en cada una de las condiciones en las que se realice la investigación, para poder determinar la directa influencia de la presión atmosférica sobre la potencia efectiva y el par motor.

## 2.3 Determinación de la constante del momento de inercia.

Para poder tener un valor del momento de inercia acorde para las diferentes pruebas que se deben realizar en la investigación, se opta por realizar pruebas de torque y potencia en el dinamómetro de chasis que posee el “Centro de transferencia tecnológica para la capacitación e investigación en control de emisiones vehiculares”, conocido como CCICEV. Con los resultados arrojados en el dinamómetro, se realiza la comparativa con los resultados por aceleración libre, de tal manera que se sigue variando el valor del momento de inercia por prueba error, hasta poder regularlo con resultados similares, en las condiciones atmosféricas a las que se encuentra el CCICEV.

Expuesto el método de obtención del valor aproximado del momento de inercia, se tiene entonces en la Figura 2.29 los valores arrojados en las tres pruebas del dinamómetro de rodillos.

Hora inicio	8:00			Hora final	10:00	
PRUEBA DE TORQUE Y POTENCIA						
	Potencia			Torque		
	kW	hp	rpm	Nm	lbf.ft	rpm
Prueba 1	47,1	63,2	5850	121,6	89,7	4275
Prueba 2	46,2	62,0	5740	123,2	90,9	4270
Prueba 3	46,7	62,7	5735	124,3	91,7	4220
Norma de Corrección	SAE					

Figura 2.29 Resultados de potencia y torque en el dinamómetro del CCICEV  
(Fuente: CCICEV)

Los resultados mostrados en la Figura 2.29, muestra los valores de potencia efectiva sin corrección alguna, mientras que los datos de par motor, se encuentran corregidos por la norma SAE J1349, es por este motivo que los valores con los cuales se realiza la aproximación del valor del momento de inercia son en función del promedio de las potencias efectivas obtenidas en los tres disparos del dinamómetro.

Se tiene por lo tanto un promedio de 62,5 HP de potencia efectiva en el eje del motor a las condiciones atmosféricas de la ciudad de Quito, dicho esto, se generan las tres pruebas de aceleración libre para aproximar el valor del momento de inercia por prueba-error.

Con las tres pruebas de aceleración instantánea en las mismas condiciones atmosféricas en las que se realizaron las pruebas en el dinamómetro en el CCICEV, se sigue variando el valor del momento de inercia en el software hasta aproximarnos a los resultados arrojados en la prueba del dinamómetro. En la Figura 2.30, se puede apreciar los resultados por aceleración libre con un momento de inercia inicial de  $1 \text{ Kg.m}^2$ .

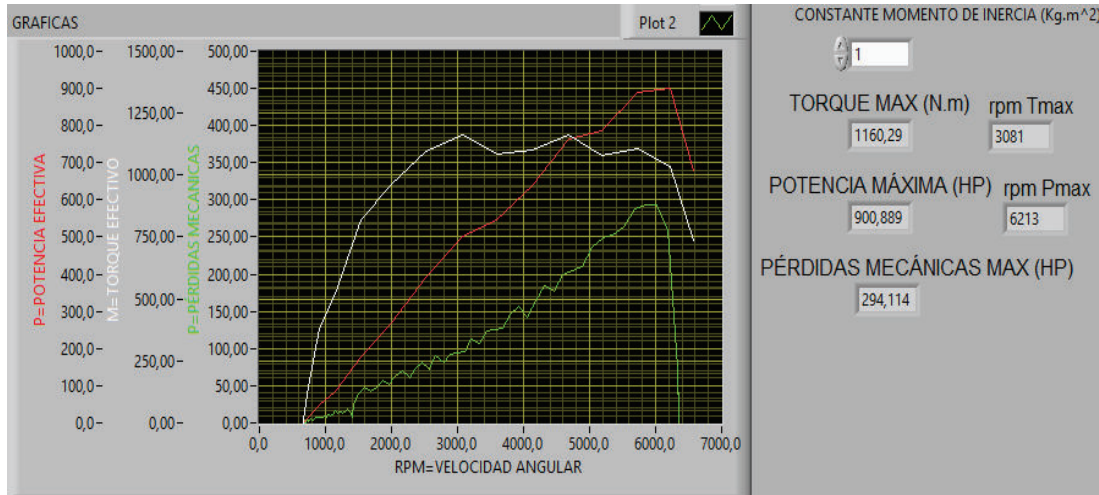


Figura 2.30 Gráficas de torque potencia y pérdidas mecánicas con un momento de inercia igual a  $1 \text{ Kg.m}^2$   
(Fuente: Autores)

Es evidente que se tiene resultados completamente incoherentes puesto que muestra una potencia de 900 HP, lo que indica un valor del momento de inercia inconsistente, puesto que debe estar bordeando los 62 HP.

Es así que luego de seguir variando por prueba error el valor del momento de inercia, se llega a un resultado aproximado de  $0,071 \text{ Kg.m}^2$ , valor con el cual los datos de potencia y torque son muy próximos a los arrojados en el banco dinamométrico como se puede apreciar en la Figura 2.31.



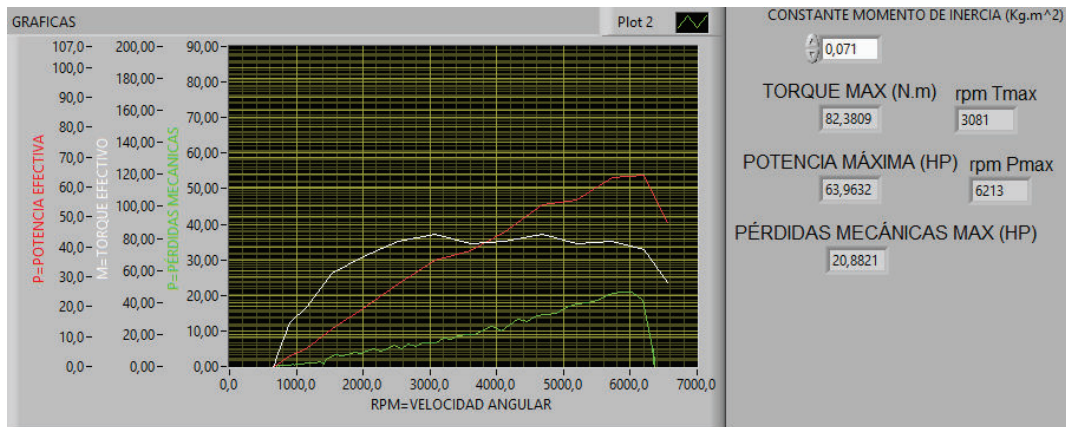


Figura 2.31 Gráficas de torque, potencia y pérdidas mecánicas con un momento de inercia igual a 0,071 Kg.m<sup>2</sup>  
(Fuente: Autores)

Con este valor del momento de inercia se analizan las tres pruebas de aceleración libre y se extrae el valor promedio para asegurarnos que la aproximación es útil para la investigación en función de los resultados obtenidos.

Tabla 2.4 Valores de potencia por aceleración libre en condiciones atmosféricas de Quito

	Potencia (HP)	RPM
Prueba 1	63,9632	6213
Prueba 2	62,531	6025
Prueba 3	64,0883	6200
PROMEDIO	63,53	6146

(Fuente: Autores)

Se puede observar entonces que existe una variación del 1,6% del promedio de potencias del método de aceleración libre y del método a través del dinamómetro, es así entonces que se establece como valor del momento de inercia 0,071 Kg.m<sup>2</sup>. Recalcando que se lo obtuvo en función de los valores de potencia que arrojó el dinamómetro del CCICEV ubicado en la ciudad de Quito. Para motivos de una mejor aproximación de este valor del momento de inercia, se opta también por realizar pruebas similares a las ya descritas, pero esta vez en el dinamómetro que posee la Escuela Superior Politécnica del Litoral "ESPOL".

La ESPOL se encuentra en la ciudad de Guayaquil, por lo que los datos arrojados en este dinamómetro, serán obtenidos a nivel del mar aproximadamente. Con este antecedente, se procede a realizar las pruebas en el dinamómetro teniendo los valores de potencia indicados en la Figura 2.32.

Hora de inicio	9:00			Hora final	14:00		
PRUEBA DE TORQUE Y POTENCIA							
	POTENCIA			TORQUE			
	kW	HP	rpm	N.m	lbf.ft	rpm	
Prueba 1	61,9	82,8	5000	122	90	4750	
Prueba 2	59,3	79,6	4773,75	120,39	88,8	4654,25	
Prueba 3	58,3	78,2	4467,5	126,36	93,2	4244,25	

Figura 2.32 Valores de potencia y torque obtenidos en el dinamómetro de la ESPOL  
(Fuente: ESPOL)

De igual manera se realizan tres pruebas de aceleración libre para que sean procesadas en el software DynoRacer, en la altura de la ciudad de Quito se llegó a la conclusión de un momento de inercia igual a 0,071 Kg.m<sup>2</sup>, por lo tanto se utiliza este mismo valor para visualizar los resultados de aceleración libre en condiciones de 0 m.s.n.m., En la Figura 2.33 se puede apreciar los valores arrojados por el software utilizado en el método de aceleración libre.

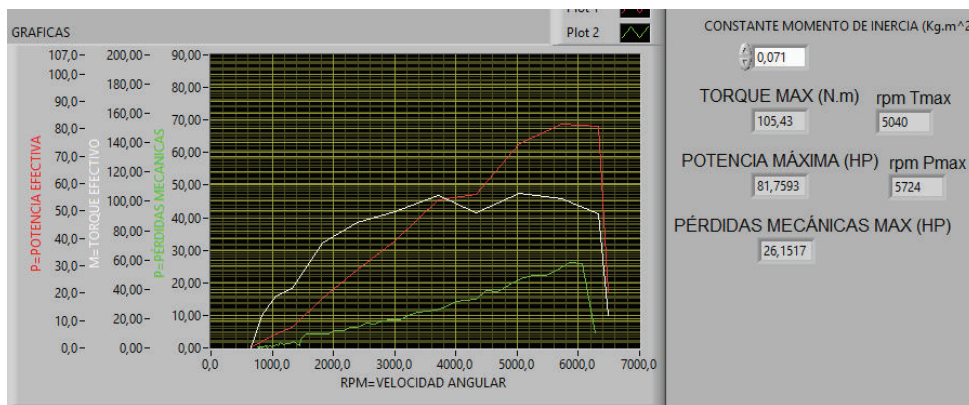


Figura 2.33 Gráficas de torque, potencia y pérdidas mecánicas a nivel del mar con un momento de inercia de 0,071 Kg.m<sup>2</sup>.  
(Fuente: Autores)

En la Tabla 2.5 se muestra cada uno de los resultados de potencia de las tres pruebas realizadas con aceleración libre, así como también su promedio, es así que se tiene un promedio de potencias de 80,24 HP a través del método de aceleración libre, mientras

que en el dinamómetro de la ESPOL se obtiene un promedio de 80,2 HP, generándose un error del 0,05%, pudiendo considerar despreciable dicho error.

Tabla 2.5 Valores de potencia y torque por aceleración libre en condiciones atmosféricas de Guayaquil

	Potencia (HP)	RPM
Prueba 1	81,7593	5724
Prueba 2	80,2663	6593
Prueba 3	78,6877	5599
PROMEDIO	80,24	5972,00

(Fuente: Autores)

En vista de los valores muy aproximados que se tiene por ambos métodos, se establece con seguridad que el valor del momento de inercia mostrado es muy próximo al real que pueda tener el motor en estudio. Se realiza la aproximación presentada, dado que el fabricante no proporciona el valor real del momento de inercia de los motores que produce.

### **3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

En el presente capítulo se manifiesta cada uno de los valores obtenidos en función de los procedimientos realizados, para la obtención de par motor, potencia efectiva y pérdidas mecánicas del motor de combustión interna seleccionado, así como también se realizan cada uno de los análisis y comparativas de los efectos que tiene la presión atmosférica y la temperatura ambiente para el correcto desempeño del motor de encendido provocado. Finalmente en la discusión se expresa las comparativas con normas existentes y aplicables a las diferentes alturas sobre el nivel del mar en las que se aplicó el método de aceleración libre.

#### **3.1 Medición y obtención de potencia y torque en el vehículo de investigación a diferentes valores de temperatura ambiente y presión atmosférica constante.**

Para iniciar las pruebas experimentales, se estudia en primer lugar la incidencia que puede llegar a tener la temperatura ambiente sobre la potencia, torque y pérdidas mecánicas en el vehículo de investigación.

Con el fin de poder establecer la incidencia de la temperatura ambiente, se realizan diferentes pruebas a una misma altura sobre el nivel del mar y a diferentes valores de temperatura ambiente, es así que se tiene pruebas a 5°C, 15°C y 25°C, a una altura constante de 2750 m.s.n.m.

En cada una de la pruebas, se monitorea también la temperatura del refrigerante que refleja la temperatura de operación del motor, así como también la temperatura del aire en la entrada del múltiple de admisión. Es importante resaltar que a medida que el motor llega a su temperatura normal de funcionamiento, el aire a la entrada del múltiple de admisión incrementa su temperatura comparada con la temperatura ambiente.

En la Figura 3.1 se presenta el monitoreo de los sensores de temperatura tanto del refrigerante como del múltiple de admisión, este monitoreo se lleva a cabo para cada una de las condiciones de temperatura antes descritas.

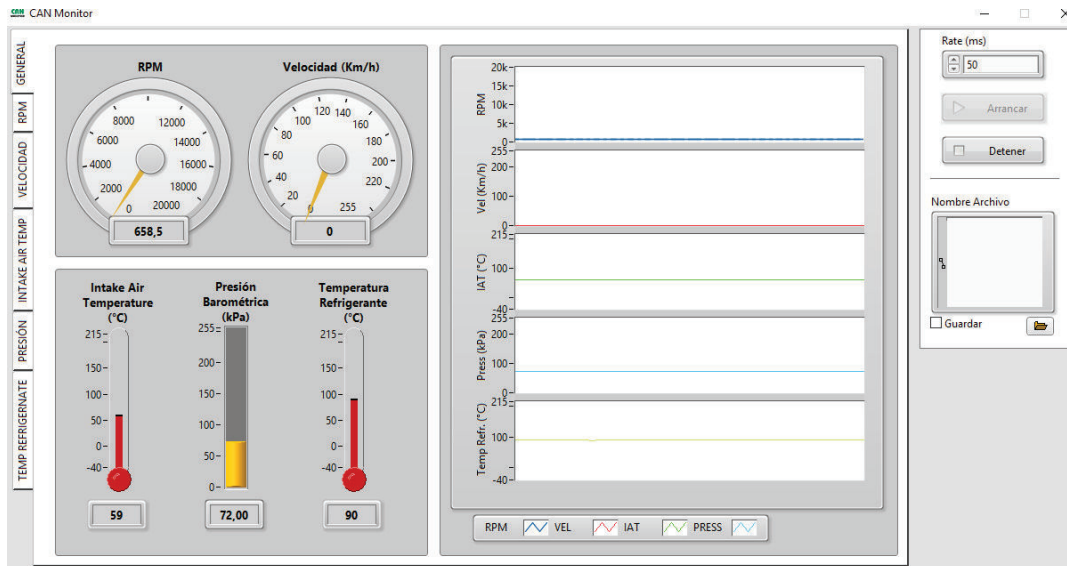


Figura 3.1 Monitoreo de temperaturas del refrigerante, múltiple de admisión y presión barométrica. (Fuente: Autores)

Para cada valor de temperatura ambiente, se escoge realizar pruebas por aceleración libre en dos valores de temperatura del refrigerante, una a 80°C y otra a 90°C, para poder visualizar el comportamiento de la potencia, torque y pérdidas mecánicas, así como también las variaciones que se tiene en la temperatura del múltiple de admisión. Teniendo las consideraciones citadas, en la Tabla 3.1 se visualiza los valores de potencia obtenidos a diferentes valores de temperatura ambiente y presión atmosférica constante, realizadas a una altura de 2750 m.s.n.m. que es a la altura que se encuentra la ciudad de Riobamba.

Tabla 3.1 Valores de potencia efectiva y temperatura ambiente, del refrigerante y aire en el múltiple de admisión

Temperatura Ambiente (°C)	Temperatura Múltiple de Admisión (°C)	Temperatura del Refrigerante (°C)	Potencia Efectiva (HP)
5	54	80	68,74
	59	90	60,11
15	54	80	63,02
	56	90	62,89
25	45	80	63,91
	57	90	63,39

(Fuente: Autores)

Como se puede apreciar en la Tabla 3.1 se tiene valores similares de potencia, independientemente de la temperatura del ambiente, estudiando la temperatura del aire en la entrada del múltiple de admisión se puede visualizar también que se encuentra en un promedio de 54 °C, sin tener dependencia directa de la temperatura ambiente, por lo tanto de esta manera queda demostrado y establecido que para el resto de la investigación no es incidente la temperatura ambiente en cada una de las pruebas a diferentes condiciones de altura sobre el nivel del mar, siempre y cuando el motor se encuentre funcionando entre los rangos de temperatura normal de funcionamiento que recomienda el fabricante que en este caso es entre 80 °C y 90 °C.

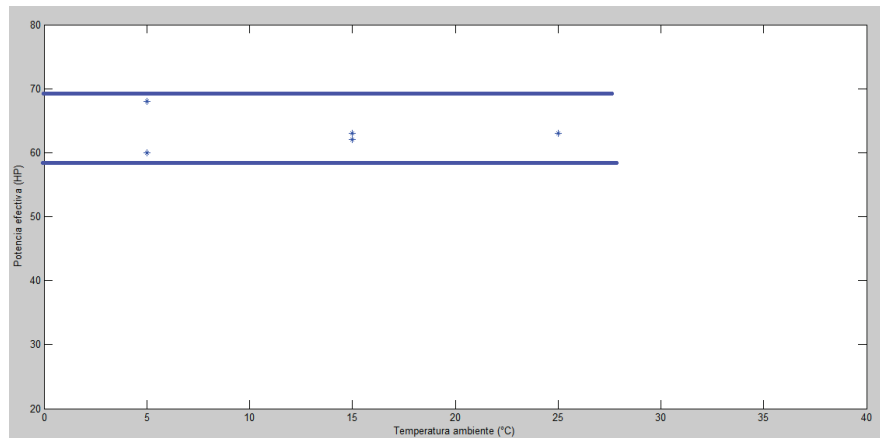


Figura 3.2 Gráfica de la incidencia de la temperatura ambiente con la potencia efectiva (Fuente: Autores)

Es evidente que la temperatura ambiente no afecta directamente al comportamiento de la potencia del motor, como se muestra en la Figura 3.2, se tiene una tendencia lineal entre los rangos limitados en color azul, desde un valor de 60 hasta 68 HP según la dispersión de los datos. Es de suma importancia citar una vez más, que la temperatura incidente en el desarrollo de la potencia y por la cual la ECU del vehículo establece estequiométricamente la mezcla es en función de la temperatura en el múltiple de admisión. Esto se cumplirá a lo largo de la investigación, siempre y cuando el motor se encuentre operando en los rangos de temperatura normales de funcionamiento, es decir entre 80 y 100 °C.

### 3.2 Medición y obtención de potencia y torque en el vehículo de investigación a diferentes valores presión atmosférica.

Como primeras condiciones que se tiene para la investigación desarrollada, son las condiciones ambientales a las que se va a realizar las diferentes mediciones, teniendo como referencia la altura sobre el nivel del mar ya que se va a tomar pruebas desde 0 m.s.n.m. hasta una altura de 4000 m.s.n.m. en intervalos de 250 m.s.n.m.

Las diferentes mediciones que se toman para la investigación son en la geografía de las carreteras de las tres regiones de Ecuador continental por las que transitan a diario automóviles.

#### Pruebas a 0 m.s.n.m.

Tomando en cuenta estos parámetros y que la constante del momento de inercia quedó establecida en  $0.071 \text{ Kg.m}^2$ , a continuación se muestra los valores obtenidos a una altura inicial de 0 msnm.

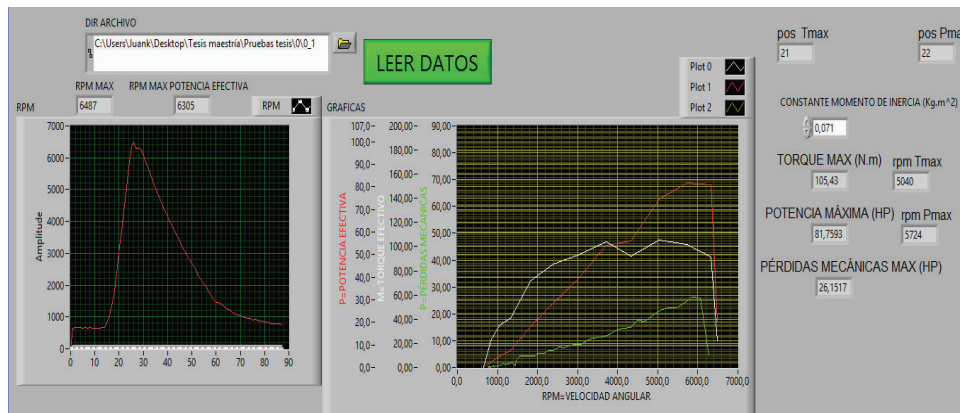


Figura 3.3 Gráficas de torque potencia y pérdidas mecánicas a 0 m.s.n.m. (Fuente: Autores)

Como se puede apreciar en la Figura 3.3, tenemos valores de torque y potencia muy cercanos a los que se obtuvo en las pruebas del dinamómetro a nivel del mar en la ciudad de Guayaquil en la ESPOL, esto gracias al adecuado valor del momento de

inercia que se estableció. Como podemos considerar en color rojo se muestra la evolución de la potencia efectiva a lo largo de los diferentes valores de rpm que adopta el motor, en color blanco está representado el par motor y finalmente en color verde se muestra las pérdidas mecánicas.

Ahora bien, estudiaremos la evolución de cada una de las curvas y por qué el software muestra los valores máximos tanto de potencia, par motor y pérdidas mecánicas.

Empecemos con el torque o par motor, como se puede visualizar en primer lugar las casillas correspondientes a los valores máximos de torque y rpm nos presenta un valor de 105,43 N.m a unas 5040 rpm, esto se debe a que el software está elaborado de tal manera que tome el valor del pico más alto que se encuentre a lo largo de toda la curva graficada, si nos fijamos y analizamos la curva de color blanco, se aprecia claramente que nuestro motor cuenta con un sistema de distribución variable, ya que la curva refleja la actuación de dicho sistema, esto es muy evidente debido a que luego de unas 3700 rpm se tiene una decaída de la eficiencia volumétrica por lo que es indudable una caída de torque, y es ahí en donde empieza a actuar el sistema de distribución variable teniendo como consecuencia que a partir de unas 4250 rpm nuevamente tenemos un incremento de la eficiencia volumétrica que se ve traducida en un segundo pico de ganancia de torque hasta alrededor de 5000 rpm, teniendo en este punto un pico mayor por muy poco al pico obtenido a 3700 rpm por lo que el software muestra el segundo pico como el torque máximo.

Es importante aclarar que este tipo de medición por aceleración libre al ser una medición indirecta de los parámetros efectivos del motor puede presentar este tipo de paradojas en las que tendremos el torque máximo según la curva, que se ubica a altas rpm.

Se da los casos en los que al momento de actuar la distribución variable, existen picos de mayor valor en la gráfica, en cuestión de milisegundos son percibidos por el software, motivo por el que se realizan tres mediciones para extraer un promedio tanto de torque, potencia, pérdidas mecánicas y rpm de los diferentes valores máximos mostrados en las diferentes curvas. Expuesto los detalles del software a continuación se muestra una tabla con los valores de par motor a las diferentes rpm en las tres pruebas de las que se extrajo los datos para su interpretación teniendo los siguientes resultados.



Tabla 3.2 Datos obtenidos de torque a una altura de 0 m.s.n.m.

	Torque (N.m)	RPM
Prueba 1	105,43	5000
Prueba 2	100,523	3700
Prueba 3	100,076	4000
PROMEDIO	102,01	4233,33

(Fuente: Autores)

A continuación realizaremos el estudio de la evolución de la potencia en la gráfica específica. Como se conoce la potencia es el producto del par motor con la velocidad angular del motor, por lo que tendremos reflejado la relación entre dichas variables de una manera gráfica.

En la Tabla 3.3 se muestran los valores de las tres pruebas realizadas de potencia y rpm en las condiciones a 0 msnm con una temperatura ambiente de 20°C.

Tabla 3.3 Valores obtenidos de potencia a una altura de 0 m.s.n.m.

	Potencia (HP)	RPM
Prueba 1	81,7593	5724
Prueba 2	80,2663	6593
Prueba 3	78,6877	5599
PROMEDIO	80,24	5972,00

(Fuente: Autores)

Como se puede apreciar claramente los resultados obtenidos por el método de aceleración libre y los diferentes software desarrollados coinciden sustancialmente con los datos que nos arroja las pruebas realizadas en el dinamómetro de la ESPOL, por lo que asumimos que se encuentra adecuadamente programado el software, y el modo de realizar las pruebas es el óptimo.

Finalmente tenemos el análisis de las pérdidas mecánicas que lo tenemos representado en la gráfica con color verde, la manera con la que el software calcula las pérdidas mecánicas está relacionada en el periodo de desaceleración que tiene el motor luego del corte de inyección por aceleración máxima, hasta que este vuelve a una velocidad de próxima a ralentí.

Luego de quitar el pie del acelerador en las máximas RPM que alcanza el motor, empieza el periodo de deceleración, en este estado del motor, la gestión electrónica corta el pulso de PWM a los inyectores y señal de activación a las bobinas, teniendo como consecuencia que no exista combustión dentro de los cilindros y que no se genere trabajo.

Es importante recalcar que al realizar una medida sin combustión dentro del motor, las cargas que actúan en los elementos móviles del motor, no son idénticas a las del funcionamiento normal cuando el motor genera trabajo, siendo este tema una incertidumbre en el cálculo de las pérdidas mecánicas por deceleración.

Así mismo es conveniente mencionar que su fácil instalación y cálculo, hace de este método muy eficiente para tener una idea clara de las pérdidas mecánicas que tenemos en el motor de investigación.

Se entiende por pérdidas mecánicas a las pérdidas por fricción, pérdidas de bombeo y pérdidas por accionamiento de auxiliares, por lo que a continuación se muestra en la Tabla 3.4 el promedio de las tres pruebas realizadas y los valores máximos de pérdidas mecánicas calculadas.

Tabla 3.4 Valores obtenidos de pérdidas mecánicas a una altura de 0 m.s.n.m.

Pérdidas Mecánicas (HP)	
Prueba 1	26,1517
Prueba 2	26,0894
Prueba 3	25,7719
PROMEDIO	26

(Fuente: Autores)

Sin duda alguna en las tres pruebas tenemos casi los mismos valores de pérdidas mecánicas, esto se debe a la manera de cálculo ya explicada anteriormente.

### Pruebas realizadas a 250 m.s.n.m.

Al igual que el caso anterior, para realizar los diferentes cálculos de las variables de la investigación, se toma un valor de momento de inercia de  $0.071Kg.m^2$ , para esta altura se tiene un valor de presión atmosférica de 97,6 KPa, una temperatura ambiente de 27°C, una temperatura del refrigerante del motor de 85°C y una temperatura del aire de admisión de 51°C, como se muestra en la Figura 3.4.

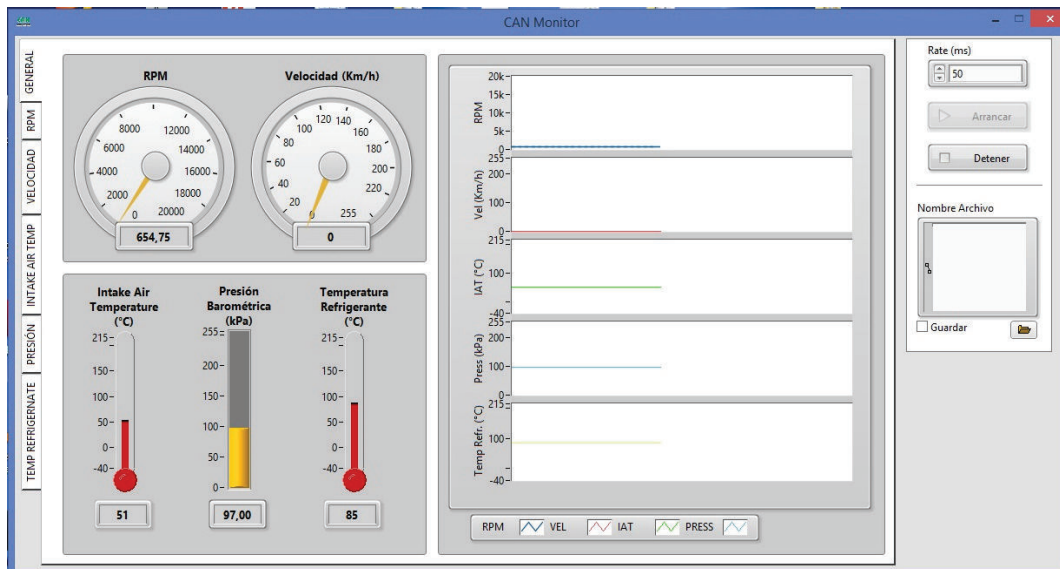


Figura 3.4 Condiciones iniciales a una altura de 250 m.s.n.m.

(Fuente: Autores)

Una vez realizadas las tres mediciones pertinentes en las mismas condiciones tanto de temperaturas como de presión atmosférica, se procede a analizar en el software DynoRacer para el respectivo cálculo de potencia, par motor y pérdidas mecánicas como se muestra en la ilustración siguiente.

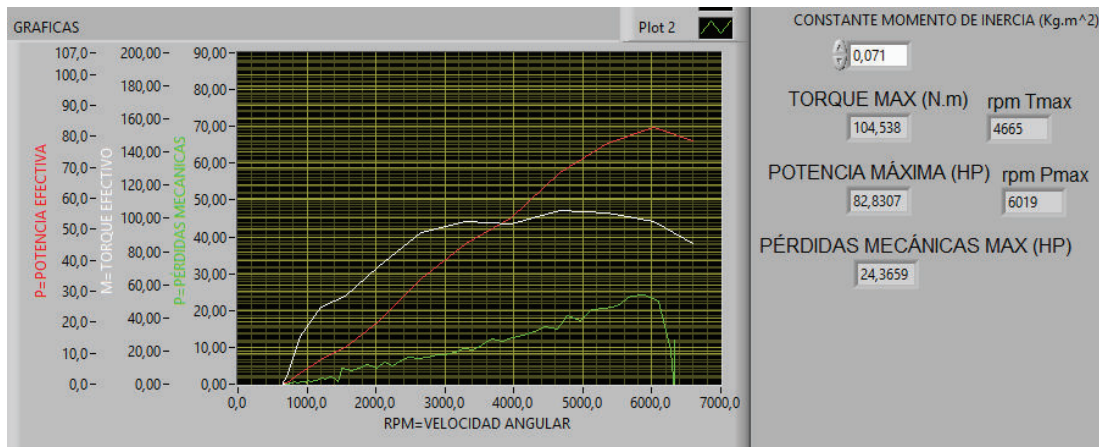


Figura 3.5 Gráficas de torque, potencia y pérdidas mecánicas a una altura de 250 m.s.n.m.  
(Fuente: Autores)

Es evidente que tenemos ya cierta disminución de la potencia y el torque con relación a la prueba a niveles del mar, por lo que a continuación se muestra la tabla de los valores máximos de nuestras variables con el promedio de datos de las tres mediciones realizadas. Es Así que en la Tabla 3.5 se presentan valores de par motor.

Tabla 3.5 Valores obtenidos de torque a una altura de 250 m.s.n.m.

	Torque (N.m)	RPM
Prueba 1	92,7901	4250
Prueba 2	104,538	4665
Prueba 3	99,9278	4000
PROMEDIO	99,09	4305

(Fuente: Autores)

Como valor promedio a una altura de 250 m.s.n.m., se presenta 99,09 N.m a unas 4305 rpm. Asumiendo que este método por el cual estamos obteniendo los datos mostrados es un método indirecto, los valores presentados son aproximados.

Por parte de los resultados de potencia a una presión atmosférica de 97 Kpa registrados por el barómetro del automóvil, equivalente a una altura de 250 m.s.n.m, se presentan los siguientes datos.

Tabla 3.6 Valores obtenidos de potencia a una altura de 250 m.s.n.m.

	Potencia (HP)	RPM
Prueba 1	72,281	6100
Prueba 2	82,8307	6019
Prueba 3	74,4702	6250
PROMEDIO	76,53	6123

(Fuente: Autores)

Para las condiciones atmosféricas citadas se tiene un promedio de potencia de 76,53 HP a unas 6123 rpm, teniendo ya una disminución en los valores promedios en comparación con una presión atmosférica de 101,3 KPa. Por su parte las pérdidas mecánicas muestran también una variación en sus datos promedios como se presenta en la Tabla 3.7.

Tabla 3.7 Valores obtenidos de perdidas mecánicas a una altura de 250 m.s.n.m.

Pérdidas Mecánicas (HP)	
Prueba 1	24,4951
Prueba 2	24,3659
Prueba 3	24,2626
PROMEDIO	24,37

(Fuente: Autores)

### **Pruebas realizadas a 500 m.s.n.m.**

Las condiciones ambientales que se presentaron al momento de la toma de datos para la prueba a esta altura son: presión atmosférica de 95 KPa, temperatura ambiente de 28°C, por su parte en el motor se consideró una temperatura del aire de admisión de 62°C, una temperatura del refrigerante del motor de 96°C.

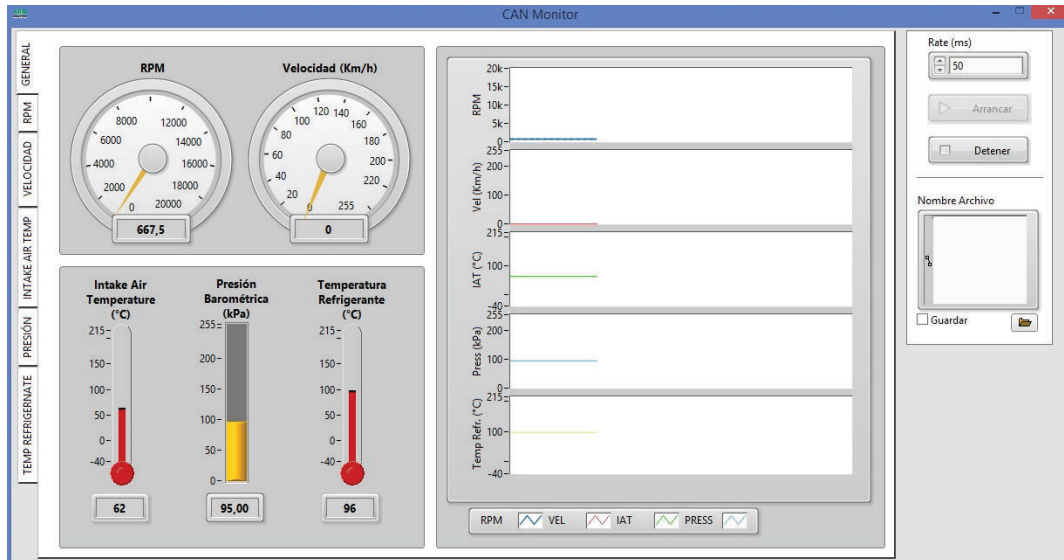


Figura 3.6 Condiciones iniciales a una altura de 500 m.s.n.m.  
(Fuente: Autores)

Como se sabe, al realizar los diferentes análisis de los datos recolectados por el software CAN Monitor, se procede a procesar en el software DynoRacer, es este preciso software el que nos permite visualizar el comportamiento de la evolución de la potencia en función de la aceleración a las condiciones atmosféricas citadas anteriormente, la tendencia se mantiene en la disminución paulatina de la potencia, torque y una disminución también del valor de las pérdidas mecánicas, como la Figura 3.7 así lo muestra.

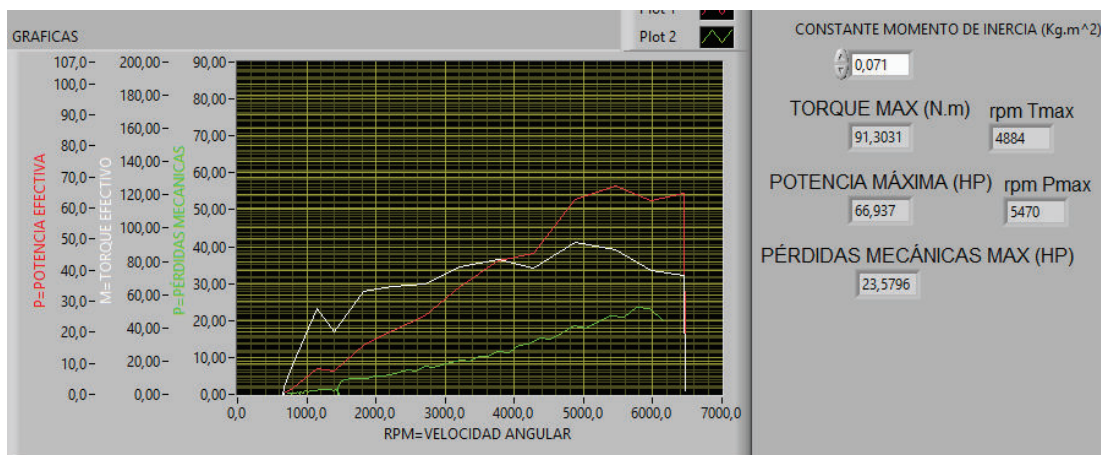


Figura 3.7 Gráficas de torque, potencia y pérdidas mecánicas a una altura de 500 m.s.n.m.  
(Fuente: Autores)

Como se supone la tendencia de los resultados apunta a una disminución de los promedios finales de par motor y potencia, así como también a las pérdidas mecánicas calculadas, no obstante como muestra la Tabla 3.8, la magnitud promedio de par motor es casi constante en relación a la calculada a una presión de 97,6 KPa.

Tabla 3.8 Valores obtenidos de torque a una altura de 500 m.s.n.m.

	Torque (N.m)	RPM
Prueba 1	91,3031	4560
Prueba 2	95,9128	3900
Prueba 3	93,0875	4000
PROMEDIO	93,43	4153

(Fuente: Autores)

Sin embargo se presenta la potencia con cierta disminución a las condiciones ambientales mencionadas, ya que como muestra la Tabla 3.9, se tiene un promedio total de potencia efectiva igual a 70,23 HP.

Tabla 3.9 Valores obtenidos de potencia a una altura de 500 m.s.n.m.

	Potencia (HP)	RPM
Prueba 1	66,937	5628
Prueba 2	74,8617	5331
Prueba 3	68,877	6349
PROMEDIO	70,23	5769

(Fuente: Autores)

Se tiene la tendencia a la disminución de potencia en función de la presión atmosférica, misma que se encuentra directamente relacionada con la altura sobre el nivel del mar a las que se sometieron cada una de las pruebas como vamos a seguir corroborando en las mediciones futuras.

Por su parte se tiene presente el fenómeno que a medida que se pierde potencia, disminuyen las pérdidas mecánicas, caso particular que se evidencia en la Tabla 3.10 del promedio de las pérdidas mecánicas.

Tabla 3.10 Valores obtenidos de pérdidas mecánicas a una altura de 500 m.s.n.m.

Pérdidas Mecánicas (HP)	
Prueba 1	23,5796
Prueba 2	23,7873
Prueba 3	23,9397
PROMEDIO	23,77

(Fuente: Autores)

Es indiscutible la relación que tiene la presión atmosférica con el tema de las pérdidas mecánicas como se ve reflejado en los valores obtenidos en las diferentes pruebas que estamos analizando.

### Pruebas realizadas a 750 m.s.n.m.

Para la altura de 750 metros sobre el nivel del mar, se mostraron condiciones ambientales de temperatura del aire igual a 26°C, 91 KPa de presión atmosférica, así como también una temperatura del aire de entrada al motor de 54°C, una temperatura del refrigerante del motor igual a 88°C, como se muestra en la Figura 3.8.

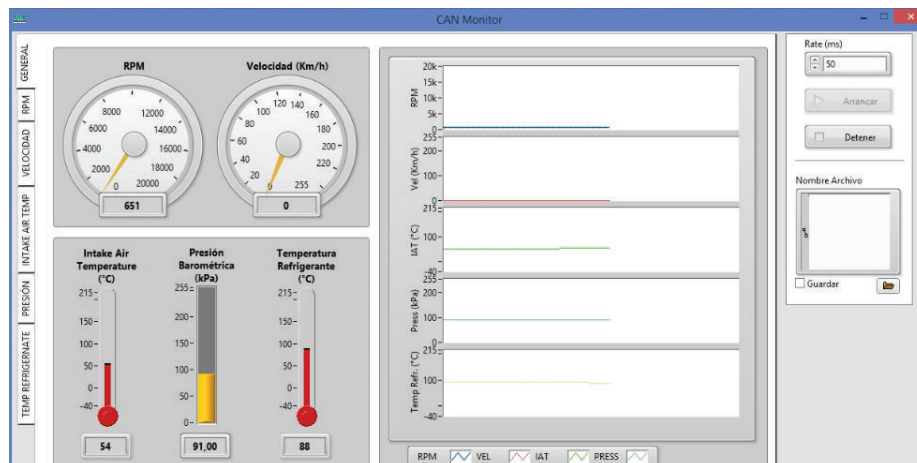


Figura 3.8 Valores iniciales a una altura de 750 m.s.n.m.  
(Fuente: Autores)

Teniendo en cuenta estas condiciones, se realiza las tres pruebas correspondientes para obtener el promedio de las variables medidas a lo largo de la investigación, habiendo



como resultado la familia de curvas con sus datos correspondientes mostrados en la Figura 3.9.

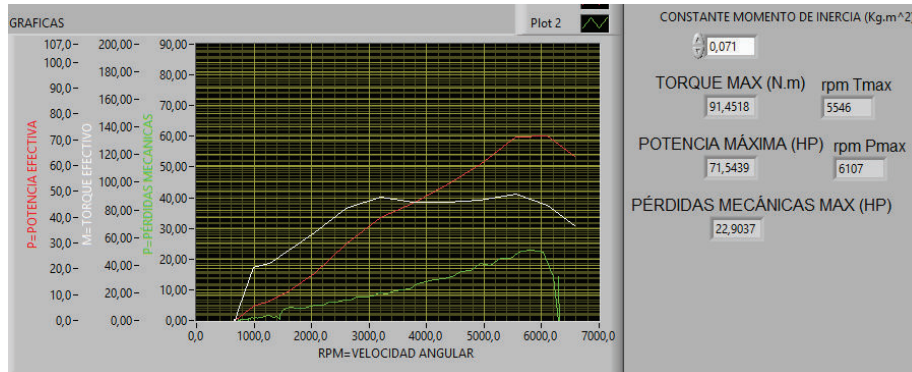


Figura 3.9 Gráfica de torque, potencia y pérdidas mecánicas a una altura de 750 m.s.n.m. (Fuente: Autores)

Deduciendo de las gráficas, es notoria la pérdida de potencia en comparación con alturas menores sobre el nivel del mar, así como también se ve reflejado este tema en el par motor, en la Tabla 3.11, se detalla los promedios del torque efectivo que nos arrojó el software.

Tabla 3.11 Valores obtenidos de torque a una altura de 750 m.s.n.m.

	Torque (N.m)	RPM
Prueba 1	94,7232	4548
Prueba 2	91,4518	4104
Prueba 3	91,8979	3700
PROMEDIO	92,69	4117,33

(Fuente: Autores)

De igual manera se presentan en la Tabla 3.12, los resultados relacionados con la potencia efectiva del motor a las condiciones atmosféricas ya citadas para estas tres pruebas en los diferentes software.

Una vez más se empieza a ver la gran importancia que tiene la utilización de un sistema de distribución variable para elevar la eficiencia volumétrica cuando el motor tiene menos cantidad de oxígeno en el aire contenido en su interior.

Tabla 3.12 Valores obtenidos de potencia a una altura de 750 m.s.n.m.

	Potencia (HP)	RPM
Prueba 1	73,0806	6317
Prueba 2	71,5439	6107
Prueba 3	69,2114	5763
PROMEDIO	71,28	6062,33

(Fuente: Autores)

Finalmente se realiza el análisis y tabulación de los valores de las pérdidas mecánicas, los mismos que se muestran en la Tabla 3.13, con su respectivo valor promedio.

Tabla 3.13 valores obtenidos de pérdidas mecánicas a una altura de 750 m.s.n.m.

Pérdidas mecánicas (HP)	
Prueba 1	25,9049
Prueba 2	22,9037
Prueba 3	22,692
PROMEDIO	23,83

(Fuente: Autores)

Es evidente que para estos casos, el único valor promedio que vemos que es afectado en mayor incidencia es sin duda, la potencia efectiva, y el torque, ya que las magnitudes de las pérdidas mecánicas están similares a la de las condiciones a 500 m.s.n.m.

### **Pruebas realizadas a 1000 m.s.n.m.**

En condiciones a 1000 m.s.n.m. se tiene una presión atmosférica de 89 KPa, una temperatura del aire del ambiente de 25°C, temperatura del refrigerante del motor de 84°C, temperatura del aire de admisión de 54°C. A continuación se puede visualizar estos datos en la Figura 3.10 obtenida del software Can Monitor.

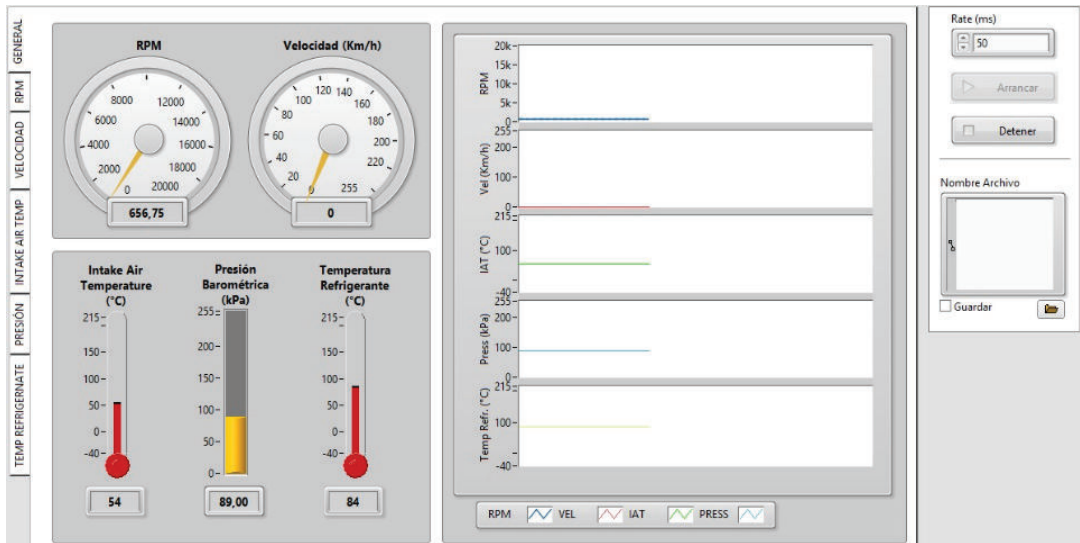


Figura 3.10 Valores iniciales a una altura de 1000 m.s.n.m.  
(Fuente: Autores)

Luego de realizar las pruebas correspondientes en las condiciones antes mencionadas, se tiene los siguientes resultados obtenidos en el software DynoRacer, los cuales muestran las gráficas de potencia, torque y pérdidas mecánicas.

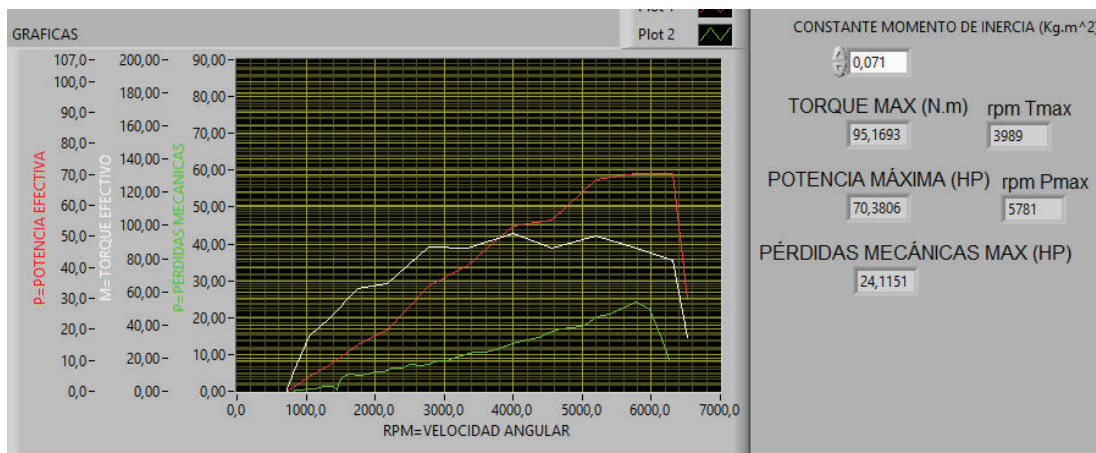


Figura 3.11 Gráficas de torque, potencia y pérdidas mecánicas a una altura de 1000 m.s.n.m.  
(Fuente: Autores)

Del resultado del análisis de las gráficas y valores que arroja el DynoRacer, se tiene valores incidentes directamente con el fenómeno que se está desarrollando de la presión atmosférica sobre el par motor efectivo, por lo que en la Tabla 3.14, se ven reflejados los valores de las tres pruebas realizadas y su promedio.

Tabla 3.14 Valores obtenidos de torque a una altura de 1000 m.s.n.m.

	Torque (N.m)	RPM
Prueba 1	97,3998	4355
Prueba 2	95,1693	4081
Prueba 3	98,4408	4019
PROMEDIO	97	4152

(Fuente: Autores)

La potencia efectiva también se ve afectada por la presión atmosférica, pero en este caso se puede apreciar que en algo trata de compensar la actuación de la distribución variable para que no sea drástica la caída de potencia, por lo que esto se ve reflejado en los valores en la Tabla 3.15.

Tabla 3.15 Valores obtenidos de potencia a una altura de 1000 m.s.n.m.

	Potencia (HP)	RPM
Prueba 1	78,7026	6496
Prueba 2	70,3806	6266
Prueba 3	75,9477	5620
PROMEDIO	75,01	6127

(Fuente: Autores)

Finalmente se tiene los valores de las pérdidas mecánicas que presentan un comportamiento de disminución a medida que se incrementa la altura sobre el nivel del mar, teniendo como resultado los presentes en la Tabla 3.16.

Tabla 3.16 Valores obtenidos de pérdidas mecánicas a una altura de 1000 m.s.n.m.

Pérdidas mecánicas (HP)	
Prueba 1	23,4191
Prueba 2	24,1151
Prueba 3	23,6873
PROMEDIO	23,74

(Fuente: Autores)

## Pruebas realizadas a 1250 m.s.n.m

Para esta altura sobre el nivel del mar se tuvo condiciones de presión atmosférica igual a 86 KPa, temperatura del ambiente de 26°C, temperatura del refrigerante del motor de 83°C, temperatura del aire de admisión igual a 54°C. Para corroborar esta información se muestra la Figura 3.12 que presenta la capturada del software CAN Monitor en la que muestra los valores mencionados.

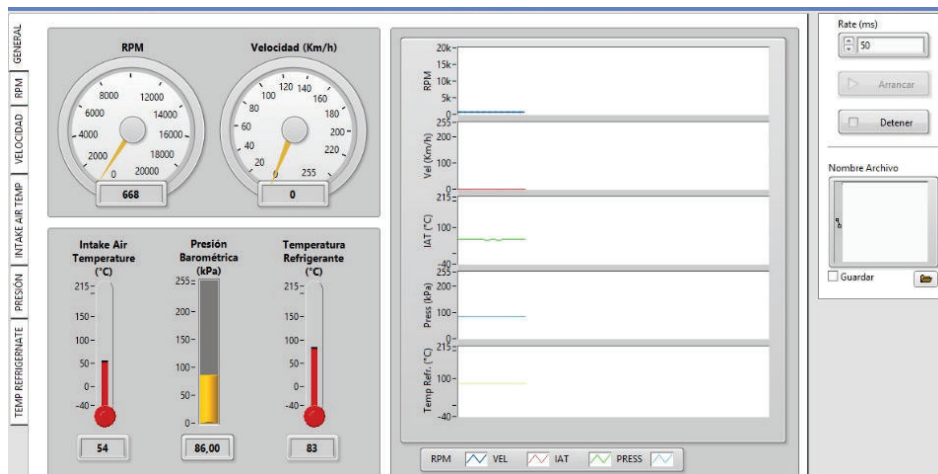


Figura 3.12 Valores iniciales a una altura de 1250 m.s.n.m.  
(Fuente: Autores)

Al procesar los datos a través del DynoRacer, se puede visualizar el patrón de disminución en las variables estudiadas en la presente investigación a causa de la incidencia directa del valor de la presión atmosférica, en la siguiente imagen se puede observar dicho efecto en las curvas analizadas.

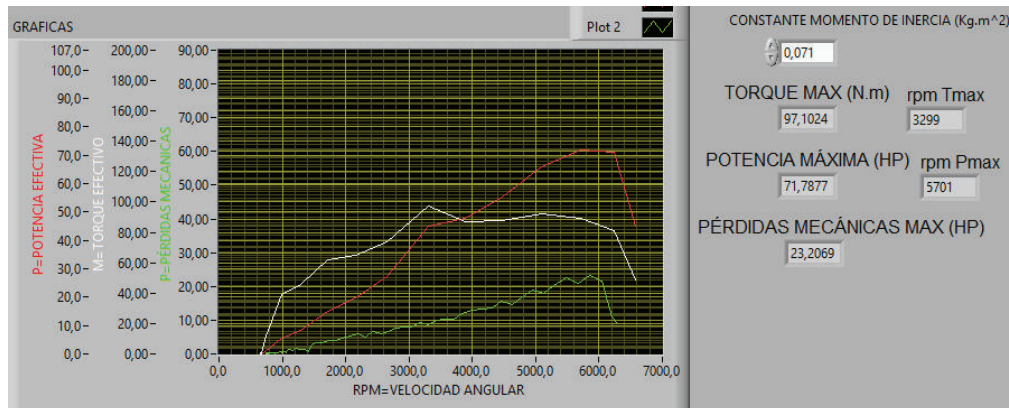


Figura 3.13 Gráficas de torque, potencia y pérdidas mecánicas a una altura de 1250 m.s.n.m.  
(Fuente: Autores)

En cuanto a los valores de par motor efectivo se aprecia que no hay disminución notoria en comparación con los valores a 1000 m.s.n.m., esto se debe a que una vez más la distribución variable compensa de cierta manera la incidencia de una menor presión atmosférica con un incremento de la eficiencia volumétrica en el llenado de los cilindros, por lo que se tiene los siguientes datos de torque efectivo.

Tabla 3.17 Valores obtenidos de torque a una altura de 1250 m.s.n.m.

	Torque (N.m)	RPM
Prueba 1	97,1024	3299
Prueba 2	97,1024	4105
Prueba 3	93,3849	4289
PROMEDIO	95,86	3898

(Fuente: Autores)

Al referirnos a la potencia efectiva arrojada en las condiciones que se tiene a 1250 m.s.n.m., se visualiza que sigue la tendencia a disminuir el promedio de potencia. La distribución variable trata de compensar en algo la disminución de la presión atmosférica pero los valores arrojados son menores en comparativa con los obtenidos a una altura de 1000 m.s.n.m., como se aprecia en la Tabla 3.18.

Tabla 3.18 Valores obtenidos de potencia a una altura de 1250 m.s.n.m.

	Potencia (HP)	RPM
Prueba 1	71,7877	5701
Prueba 2	69,613	5105
Prueba 3	71,5255	5615
PROMEDIO	70,98	5474

(Fuente: Autores)

Por su parte las pérdidas mecánicas se mantienen casi constantes, pero siempre teniendo un comportamiento descendente a medida que disminuye la presión atmosférica. Esto es apreciable en la Tabla 3.19 con sus valores.

Tabla 3.19 Valores obtenidos de pérdidas mecánicas a una altura de 1250 m.s.n.m.

Pérdidas mecánicas (HP)	
Prueba 1	23,2069
Prueba 2	23,0601
Prueba 3	23,4533
PROMEDIO	23,34

(Fuente: Autores)

### Pruebas realizadas a 1500 m.s.n.m

Para las condiciones a este nivel de altura se tiene una presión atmosférica de 83 KPa, una temperatura del refrigerante de 83°C, temperatura del ambiente de 21°C, temperatura del aire a la entrada de la admisión de 57°C. Una vez más es importante presentar los datos esta altura sobre el nivel del mar, extraídos del software CAN Monitor.

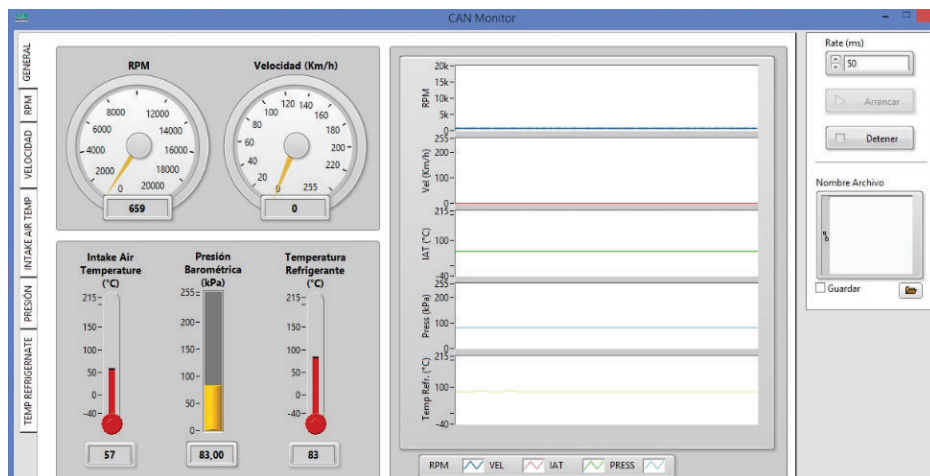


Figura 3.14 Valores iniciales a una altura de 1500 m.s.n.m.  
(Fuente: Autores)

Por su parte el análisis realizado en el software DynoRacer, nos muestra valores relativamente menores en comparativa con los obtenidos en alturas menores sobre el nivel del mar, a continuación podemos apreciar dichos valores con sus respectivas curvas, al igual que el número de revoluciones a los que tenemos los resultados máximos.

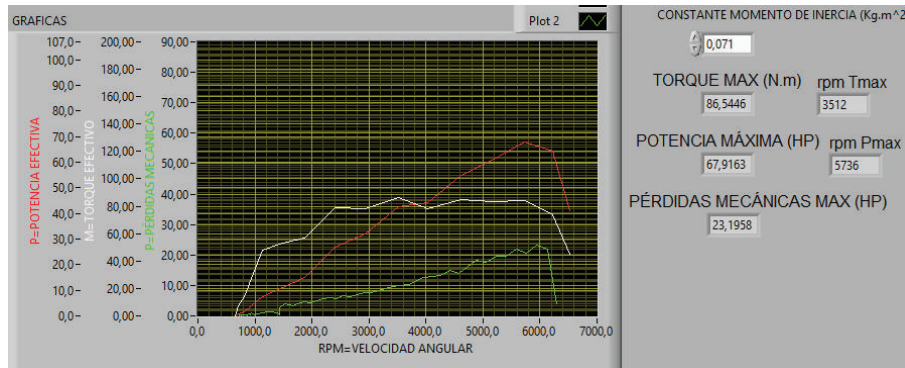


Figura 3.15 Gráfica de torque, potencia y pérdidas mecánicas a una altura de 1500 m.s.n.m.  
(Fuente: Autores)

Al tratarse del par motor, los valores que nos arroja en las tres pruebas realizadas a la altura actualmente tratada, tienen un promedio menor siguiendo con el comportamiento de disminuir la eficiencia volumétrica a medida que incrementa la altura, o a su vez, a medida que se tiene una disminución de la presión atmosférica, en la Tabla 3.20 se presentan los datos y el promedio.

Tabla 3.20 Valores obtenidos de torque a una altura de 1500 m.s.n.m.

	Torque (N.m)	RPM
Prueba 1	93,9797	4242
Prueba 2	85,2063	4641
Prueba 3	86,5446	3512
PROMEDIO	88,58	4131,67

(Fuente: Autores)

Por parte de la potencia efectiva del motor y al igual que con el resultado del par motor, se tiene la tendencia a disminuir su valor a medida que seguimos realizando las diferentes pruebas a alturas mayores con respecto al nivel del mar en las carreteras de Ecuador.

Recalcando una vez más que la distribución variable con la que se encuentra equipada el motor de pruebas trata de que la eficiencia volumétrica no caiga drásticamente, motivo por el cual la diferencia de potencia efectiva a estas condiciones no tiene mayor diferencia en comparativa con el promedio a alturas 250 metros menores, como se



muestra en la Tabla 3.21, los datos y promedios de la potencia efectiva son relativamente menores, pero siempre con la tendencia a disminuir a medida que decae el valor de la presión atmosférica.

Tabla 3.21 Valores obtenidos de potencia a una altura de 1500 ms.n.m.

	Potencia (HP)	RPM
Prueba 1	71,0308	6346
Prueba 2	67,3701	5761
Prueba 3	67,9163	5736
PROMEDIO	68,77	5947,67

(Fuente: Autores)

Para finalizar los resultados obtenidos a una altura de 1500 m.s.n.m., estudiamos el comportamiento de las pérdidas mecánicas que se dan en el motor, parámetro que también muestra una tendencia a disminuir su promedio a medida que el motor tiene menor eficiencia volumétrica a causa de la disminución de la presión atmosférica como se puede ver en la Tabla 3.22.

Tabla 3.22 Valores obtenidos de pérdidas mecánicas a una altura de 1500 m.s.n.m.

Pérdidas mecánicas (HP)	
Prueba 1	23,1825
Prueba 2	23,2178
Prueba 3	23,1958
PROMEDIO	23,2

(Fuente: Autores)

### **Pruebas realizadas a 1750 m.s.n.m.**

Para las presentes condiciones, se tiene una presión atmosférica de 81 KPa, una temperatura del refrigerante igual a 84°C, temperatura ambiente de 24°C, temperatura del aire a la entrada del motor de 51°C.

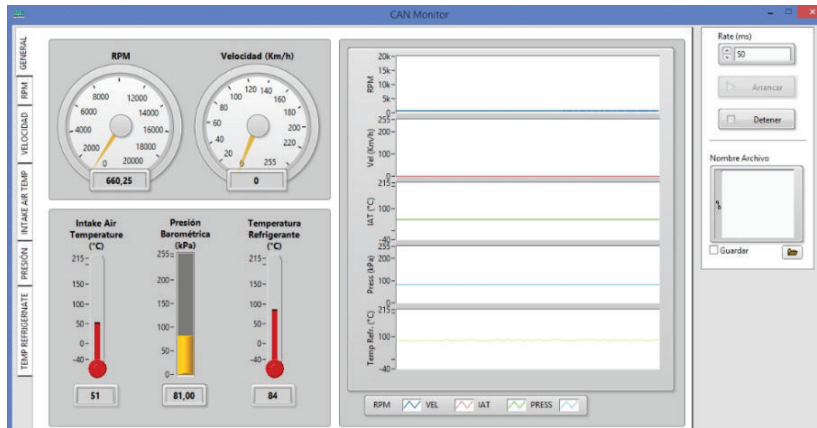


Figura 3.16 Condiciones iniciales a una altura de 1750 m.s.n.m.  
(Fuente: Autores)

En la Figura 3.17 se presenta las gráficas correspondientes a potencia, par motor y pérdidas mecánicas, valores que son producto de las tres pruebas realizadas a las presentes condiciones de presión y temperatura.

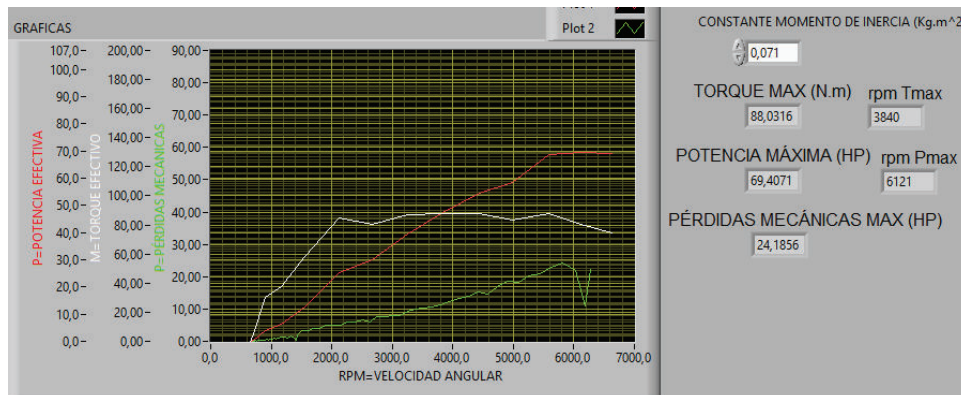


Figura 3.17 Gráficas de torque, potencia y pérdidas mecánicas a una altura de 1750 m.s.n.m.  
(Fuente: Autores)

Luego del análisis de las tres pruebas respectivas para obtener el promedio del par motor y como se puede visualizar en la Figura 3.17, se aprecia una vez más que la distribución variable entra a jugar un papel muy importante en el accionar de la distribución para compensar el insuficiente llenado del cilindro a causa de la disminución de la presión atmosférica, motivo por el cual los valores son muy próximos a los arrojados en condiciones de 1500 m.s.n.m., a continuación se tabulan los datos arrojados por el DynoRacer respecto al par motor.

Tabla 3.23 Valores obtenidos de torque a una altura de 1750 m.s.n.m.

	Torque (N.m)	RPM
Prueba 1	89,0725	4046
Prueba 2	88,0316	3840
Prueba 3	91,4518	4700
PROMEDIO	89,52	4195

(Fuente: Autores)

Es evidente que incluso el promedio de las potencias efectivas calculadas por el software y gracias a la acción de la distribución variable, no tiene la disminución respectiva de su valor total, sin embargo a lo largo del estudio de todos los valores promedios de todas las pruebas realizadas a las diferentes condiciones que vamos a seguir analizando, muestra siempre una tendencia a disminuir. A continuación mostramos tabulados los resultados y su promedio de la potencia efectiva del motor.

Tabla 3.24 Valores obtenidos de potencia a una altura de 1750 m.s.n.m.

	Potencia (HP)	RPM
Prueba 1	70,0194	6175
Prueba 2	69,4071	6121
Prueba 3	69,2008	6171
PROMEDIO	69,54	6156

(Fuente: Autores)

Como es de suponer y en base a los resultados que se siguen mostrando a lo largo de este capítulo, cuando la potencia y el torque toman valores que tienden a incrementarse, de igual manera las pérdidas mecánicas muestran valores en incremento, fenómeno que poco a poco vamos a estudiar y explicar su fundamento, a continuación se tiene los valores tabulados de las pérdidas mecánicas que en función de la potencia y torque obtenidos, tienen un valor relativamente mayor al promedio que arrojó las condiciones de 1500 m.s.n.m.

Tabla 3.25 Valores obtenidos de pérdidas mecánicas a una altura de 1750 m.s.n.m.

Pérdidas mecánicas (HP)	
Prueba 1	24,6386
Prueba 2	24,1856
Prueba 3	25,2589
PROMEDIO	24,69

(Fuente: Autores)

### Pruebas realizadas a 2000 m.s.n.m.

Para realizar las pruebas a una altura de 2000 m.s.n.m., se tienen un valor de la presión atmosférica de 78 KPa, una temperatura ambiente de 23°C, el refrigerante del motor está a una temperatura de 84°C, una temperatura del aire en la admisión de 47°C. Datos que se muestran en la Figura 3.18.

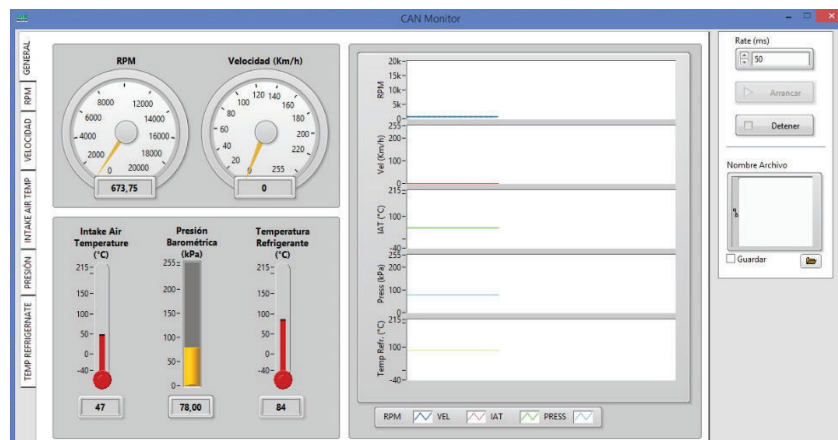


Figura 3.18 Condiciones iniciales a una altura de 2000 m.s.n.m.

(Fuente: Autores)

Una vez realizadas las diferentes pruebas a las condiciones antes mencionadas, se procede al estudio y análisis de las mismas en el software DynoRacer, por lo que a continuación se muestra las gráficas correspondientes a la potencia efectiva, par motor y perdidas mecánicas en las condiciones de estudio actuales.

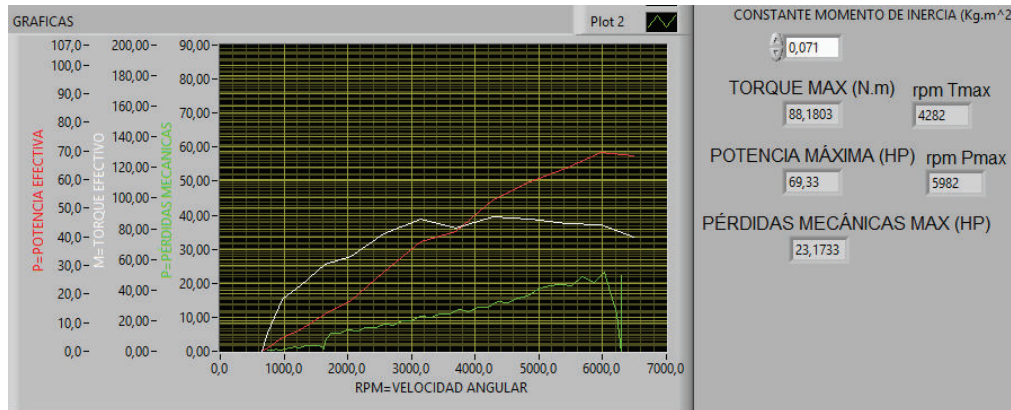


Figura 3.19 Gráficas de torque, potencia y pérdidas mecánicas a una altura de 2000 m.s.n.m.  
(Fuente: Autores)

En lo referente al par motor, los resultados arrojados por el software nos indican un leve crecimiento en el valor máximo, esto debido a que se tiene un pica atípico en la curva de evolución del torque, como claramente se puede apreciar en la gráfica, motivo por el cual es fundamental la toma de tres pruebas para obtener el promedio que resultados máximos y mostrar así un valor más próximo al real, a continuación se muestra los datos tabulados de dichas pruebas.

Tabla 3.26 Valores obtenidos de torque a una altura de 2000 m.s.n.m.

	Torque (N.m)	RPM
Prueba 1	92,4927	4334
Prueba 2	88,1803	4282
Prueba 3	89,0725	3934
PROMEDIO	89,67	4190

(Fuente: Autores)

Mientras que el torque muestra un ligero aumento en comparación con las condiciones anteriores, la potencia si muestra una disminución, esto se debe a que incide directamente un menor rendimiento volumétrico a medida que se incrementan las revoluciones en el motor y como se está analizando de igual manera, fundamentalmente se ve afectado por la disminución del valor de la presión atmosférica. En la Tabla 3.27 se detalla los resultados de las tres pruebas realizadas y su promedio.

Tabla 3.27 Valores obtenidos de potencia a una altura de 2000 m.s.n.m.

	Potencia (HP)	RPM
Prueba 1	68,2693	6180
Prueba 2	69,33	5982
Prueba 3	69,3294	6194
PROMEDIO	68,98	6119

(Fuente: Autores)

Por parte de las pérdidas mecánicas y siguiendo el patrón de comportamiento de las mismas, se tiene que a medida que disminuye la potencia, las pérdidas mecánicas también tienden a disminuir, lo mismo que se ve evidenciado en la Tabla 3.28, en la que se presenta los resultados y el respectivo promedio a las condiciones mencionadas.

Tabla 3.28 Valores obtenidos de pérdidas mecánicas a una altura de 2000 m.s.n.m.

Pérdidas mecánicas (HP)	
Prueba 1	21,9433
Prueba 2	23,1733
Prueba 3	22,89
PROMEDIO	22,67

(Fuente: Autores)

### **Pruebas realizadas a 2250 m.s.n.m.**

Los valores registrados para una altura de 2250 m.s.n.m., se tiene una presión atmosférica de 76 KPa, la temperatura del ambiente muestra un valor de 20°C, temperatura del refrigerante de 90°C, temperatura del aire de admisión de 54°C. En la Figura 3.20 se muestran las condiciones mencionadas extraídas del software CAN Monitor.

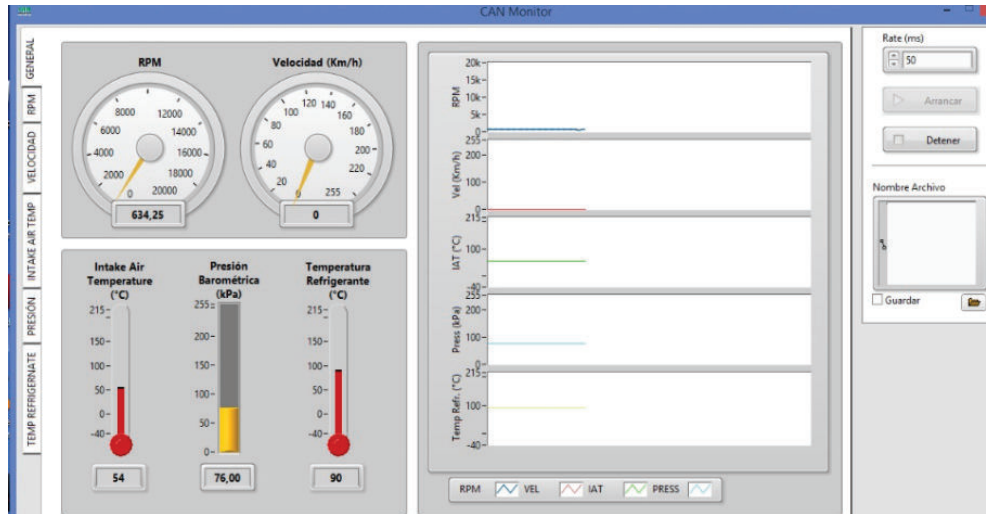


Figura 3.20 Condiciones iniciales a una altura de 2250 m.s.n.m.  
(Fuente: Autores)

Al referirnos a las diferentes curvas que nos muestra el software DynoRacer, se tiene constancia en la Figura 3.21, la que nos muestra la evolución tanto del par motor, como de la potencia y asimismo de las pérdidas mecánicas, que en comparación con las condiciones del ítem anterior, muestra una disminución en las tres variables medidas.

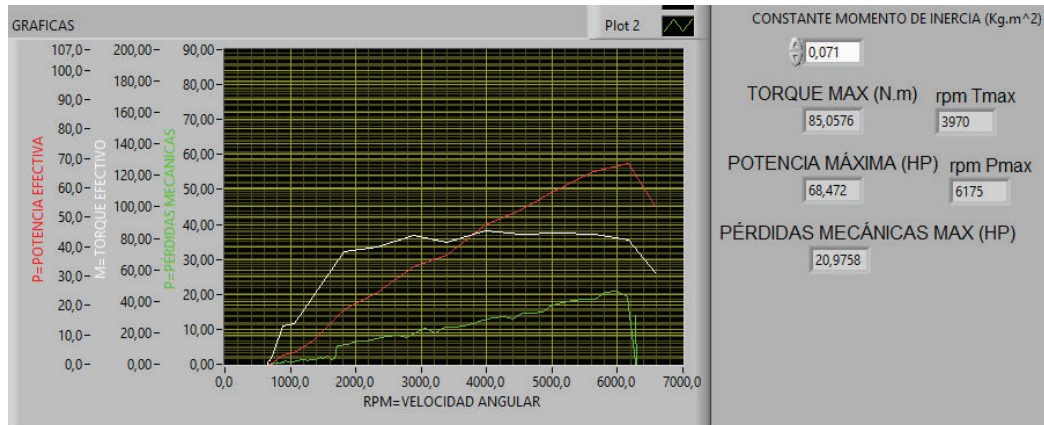


Figura 3.21 Gráficas de torque, potencia y pérdidas mecánicas a una altura de 2250 m.s.n.m.  
(Fuente: Autores)

El torque en este caso se ve ya afectado por el incremento de la altura en referencia al nivel del mar, lo que conlleva a una disminución en las tres pruebas realizadas y por lo tanto en su valor promedio, en la siguiente tabla se aprecia claramente estos resultados.

Tabla 3.29 Valores obtenidos de torque a una altura de 2250 m.s.n.m.

	Torque (N.m)	RPM
Prueba 1	85,5037	3919
Prueba 2	85,0576	3970
Prueba 3	86,0985	4975
PROMEDIO	85,55	4288

(Fuente: Autores)

Así como el par motor se ve afectado por las condiciones ya mencionadas a estos niveles de altura sobre el nivel del mar, la potencia de igual manera cumple la tendencia a disminuir, por lo que la eficiencia volumétrica también decae, aún con el funcionamiento la distribución variable. Presentamos los datos tabulados adjuntando el promedio de los mismos.

Tabla 3.30 Valores obtenidos de potencia a una altura de 2250 m.s.n.m.

	Potencia (HP)	RPM
Prueba 1	65,6604	6578
Prueba 2	68,472	6175
Prueba 3	69,0959	6049
PROMEDIO	67,74	6267,33

(Fuente: Autores)

Finalmente al analizar los resultados de las pérdidas mecánicas y como se ha venido hablando a lo largo del presente capítulos, estas tienden a disminuir a medida que la potencia también disminuye, en el capítulo del análisis de resultados toparemos más a fondo la causa que provoca dicho efecto. A continuación se muestra la tabulación de los datos y el promedio de las pérdidas mecánicas.



Tabla 3.31 Valores obtenidos de pérdidas mecánicas a una altura de 2250 m.s.n.m.

Pérdidas Mecánicas (HP)	
Prueba 1	20,5181
Prueba 2	20,9758
Prueba 3	21,8658
PROMEDIO	21,12

(Fuente: Autores)

### Pruebas realizadas a 2500 m.s.n.m.

Para las presentes condiciones, se tiene una presión atmosférica que está rondando los 75 KPa, una temperatura ambiente de 18°C y una temperatura del motor de 95°C.

Al analizar las diferentes pruebas con los datos adquiridos se tiene unas curvas de torque, potencia y pérdidas mecánicas como muestra la Figura 3.22.

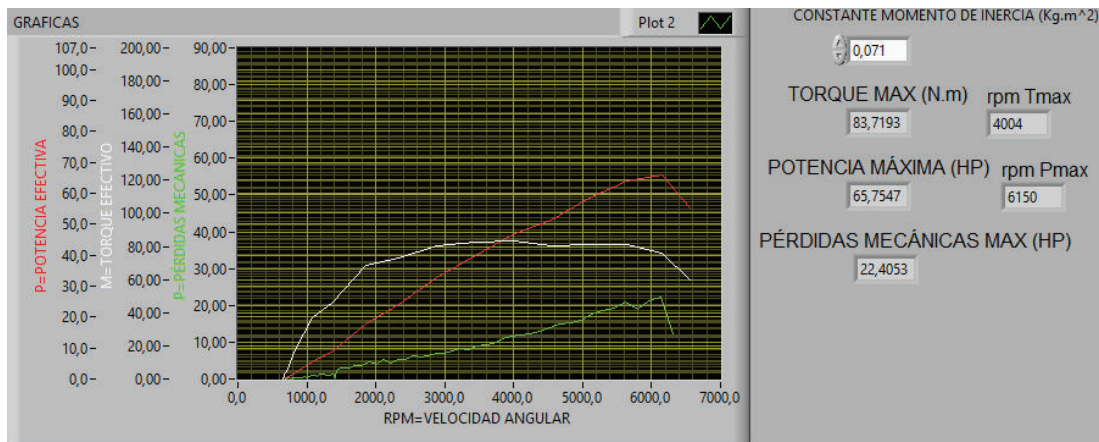


Figura 3.22 Gráficas de torque, potencia y pérdidas mecánicas a una altura de 2500 m.s.n.m.  
(Fuente: Autores)

Al analizar uno a uno los resultados y extraer los valores más representativos de cada prueba, se tiene una tabulación como se presenta en la Tabla para los datos de par motor.

Tabla 3.32 Valores obtenidos de torque a una altura de 2500 m.s.n.m.

	Torque (N.m)	RPM
Prueba 1	87,2881	4915
Prueba 2	85,5037	3685
Prueba 3	83,7193	4004
PROMEDIO	85,5	4201

(Fuente: Autores)

Con lo relacionado a la potencia se muestra disminución de la misma conforme se aumenta la altura sobre el nivel del mar o lo que viene a constituir una disminución de la presión atmosférica. Para las presentes condiciones, la Tabla 3.33 muestra los valores de potencia ordenados y tabulados.

Tabla 3.33 Valores de potencia a una altura de 2500 m.s.n.m.

	Potencia (HP)	RPM
Prueba 1	66,2291	5984
Prueba 2	68,3577	6381
Prueba 3	65,7547	6150
PROMEDIO	66,78	6172

(Fuente: Autores)

Por último se presentan los valores de pérdidas mecánicas para la altura en estudio, como se aprecia, es un valor fluctuante si lo comparamos con los valores a otras condiciones ambientales ya mostrados, al final se realizará un análisis completo y explicativos de este parámetro y su comportamiento a medida que varía la altura sobre el nivel del mar.

Tabla 3.34 Valores de pérdidas mecánicas a una altura de 2500 m.s.n.m.

Pérdidas mecánicas (HP)	
Prueba 1	22,8237
Prueba 2	22,0811
Prueba 3	22,4053
PROMEDIO	22,44

(Fuente: Autores)

## Pruebas realizadas a 2750 m.s.n.m.

Se tiene una presión atmosférica de 73Kpa a una altura igual a 2750 m.s.n.m., conjuntamente con una temperatura del ambiente de 20°C, una temperatura del refrigerante del motor de 93°C y temperatura del aire en la admisión de 54°C.

En la Figura 3.23 se logra apreciar los datos antes citados y que están siendo leídos por la ECU del vehículo.

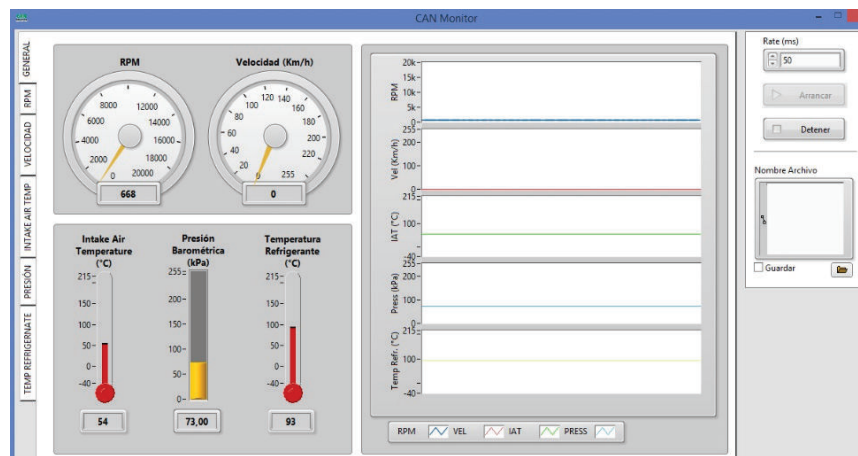


Figura 3.23 Valores iniciales a una altura de 2750 m.s.n.m.  
(Fuente: Autores)

Para que las pruebas sean analizadas en el software DynoRacer y como se ha comentado múltiples veces en este capítulo, se tomaron tres pruebas para llegar a un valor promedio, como se puede ver en la Figura 3.24, las curvas de potencia, torque y pérdidas mecánicas muestran ya un claro seguimiento de disminución de sus valores máximos.

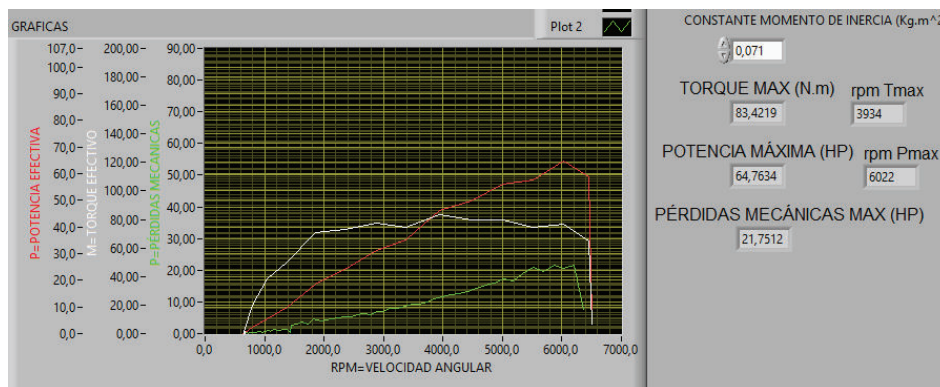


Figura 3.24 Gráficas de torque, potencia y pérdidas mecánicas a una altura de 2750 m.s.n.m.  
(Fuente: Autores)

Luego del respectivo análisis de los resultados de par motor, se tiene un claro patrón de disminución de su valor promedio como se viene comentando ya en el presente subcapítulo, los datos tabulados dan una muestra clara de la pérdida de torque a medida que seguimos realizando las pruebas a mayor altura sobre el nivel del mar.

Tabla 3.35 Valores obtenidos de torque a una altura de 2750 m.s.n.m.

	Torque (N.m)	RPM
Prueba 1	82,827	3050
Prueba 2	83,4219	3934
Prueba 3	79,4069	4354
PROMEDIO	81,89	3779

(Fuente: Autores)

Es a partir de esta altura, que la distribución variable no es muy incidente en los resultados finales obtenidos, puesto que en todos los casos para una mayor altura a 2700 m.s.n.m., los valores finales muestran un claro decrecimiento tanto de par motor como se trató anteriormente, como en la potencia que se evidencia en la Tabla 3.36.

Tabla 3.36 Valores de potencia a una altura de 2750 m.s.n.m.

	Potencia (HP)	RPM
Prueba 1	63,8298	6175
Prueba 2	64,7634	6022
Prueba 3	63,0422	6369
PROMEDIO	63,88	6189

(Fuente: Autores)

En cuanto a las pérdidas mecánicas, y al igual que en las otras dos variables analizadas en la presente investigación muestra una disminución en su valor promedio, en los datos de la Tabla 3.37 se visualiza dicho efecto en las diferentes pruebas realizadas y su promedio final.

Tabla 3.37 Valores obtenidos de pérdidas mecánicas a una altura de 2750 m.s.n.m.

Pérdidas mecánicas (HP)	
Prueba 1	21,9614
Prueba 2	21,7512
Prueba 3	21,4959
PROMEDIO	21,74

(Fuente: Autores)

### Pruebas realizadas a 3000 m.s.n.m.

Se pudo tener condiciones a la presente altura de 68 KPa como presión atmosférica, temperatura ambiente de 18°C, temperatura del refrigerante de 92°C, temperatura del aire en la admisión de 54°C, como se puede ver en la Figura 3.25 extraída del software CAN Monitor.

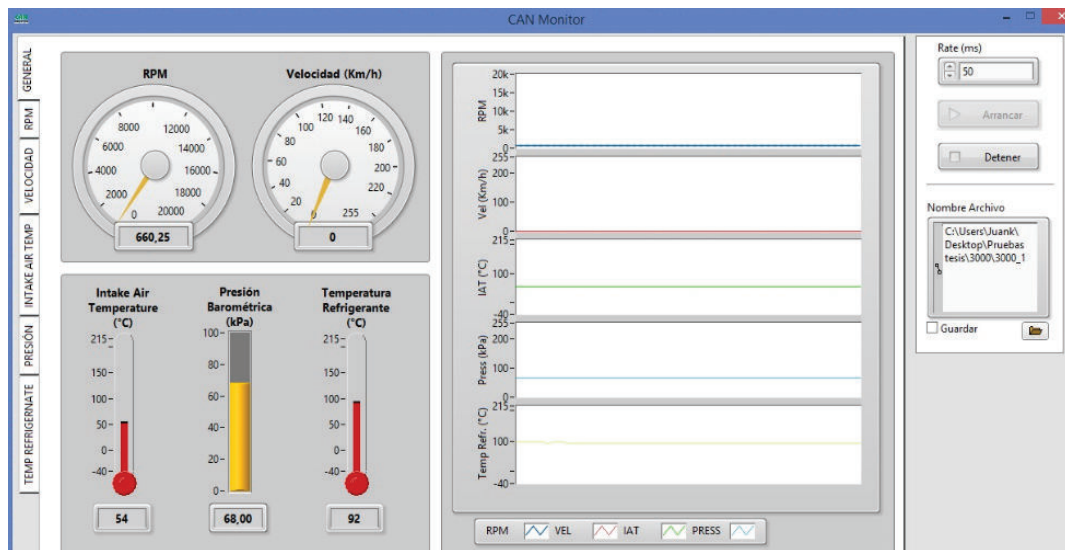


Figura 3.25 Valores iniciales a una altura de 3000 m.s.n.m.

(Fuente: Autores)

En cuanto al análisis de las diferentes curvas que se vienen estudiando, en la siguiente imagen se visualiza la clara disminución de sus valores máximos, con la ayuda del software DynoRacer se procede a realizar los diferentes análisis para lograr comprender de una manera gráfica como incide directamente la presión atmosférica con la potencia y par motor de nuestro motor de estudio.

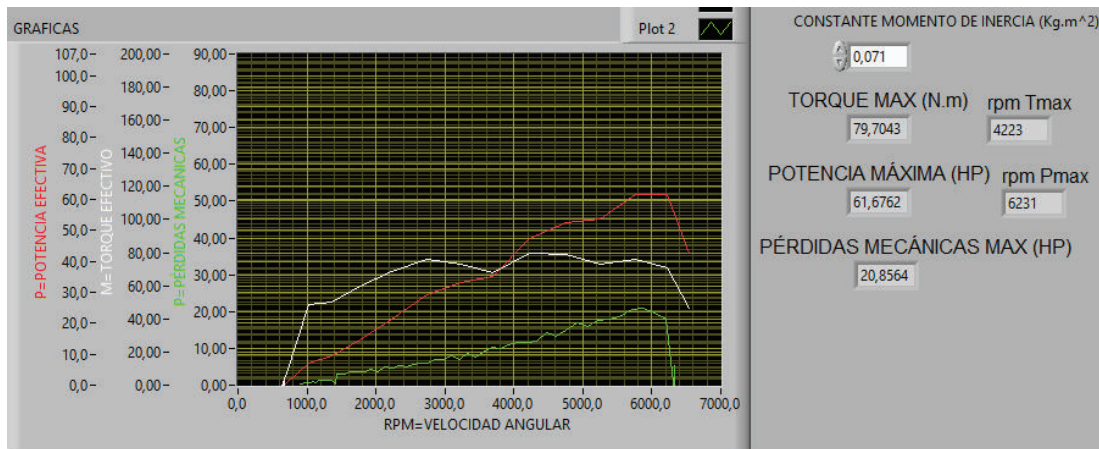


Figura 3.26 Gráficas de torque, potencia y pérdidas mecánicas a una altura de 3000 m.s.n.m.  
(Fuente: Autores)

En las pruebas que se tiene del torque del motor de nuestro vehículo de estudio, sigue el patrón de disminución de su valor promedio final, por lo que se sigue comprobando la directa afectación que presenta la eficiencia volumétrica en el par motor, aun cuando entra en funcionamiento la distribución variable con la que cuenta el motor de combustión interna.

Tabla 3.38 Valores obtenidos de torque a una altura de 3000 m.s.n.m.

	Torque (N.m)	RPM
Prueba 1	79,7043	4223
Prueba 2	78,9608	4052
Prueba 3	78,5147	4436
PROMEDIO	80,06	4168,87

(Fuente: Autores)

Al tratarse de la potencia efectiva que se tiene en el motor de pruebas, al igual que en los casos anteriores, muestra una disminución, con un patrón gráfico común como se verá en el capítulo de interpretación de resultados, se presenta entonces la Tabla 3.39 en la que se tiene los valores que arrojó el software en cuanto a las diferentes pruebas en las condiciones actualmente estudiadas.

Tabla 3.39 Valores obtenidos de potencia a una altura de 3000 m.s.n.m.

	Potencia (HP)	RPM
Prueba 1	61,6762	6231
Prueba 2	63,0473	6087
Prueba 3	60,5033	5925
PROMEDIO	62,67	6160,13

(Fuente: Autores)

A lo que las pérdidas mecánicas respectan, las pruebas muestran una disminución a medida que decae el valor de la presión atmosférica en función de una mayor altura sobre el nivel del mar, los datos resultantes se encuentran en la Tabla 3.40, en la que se observa dicho comportamiento de disminución.

Tabla 3.40 Valores obtenidos de pérdidas mecánicas a una altura de 3000 m.s.n.m.

Pérdidas mecánicas (HP)	
Prueba 1	20,8564
Prueba 2	20,4655
Prueba 3	20,3958
PROMEDIO	20,99

(Fuente: Autores)

### **Pruebas realizadas a 3250 m.s.n.m.**

Con una presión atmosférica de 66 KPa correspondiente a la altura de 3250 msnm, una temperatura del refrigerante del motor de 83°C, que indica que se encuentra dentro de la temperatura normal de funcionamiento, la temperatura del aire de admisión de 60°C, se procede a realizar las diferentes pruebas de la potencia y par motor.

A continuación se muestra los datos detallados anteriormente y que son procesados por los diferentes softwares a través de la captura de ventana del CAN Monitor.

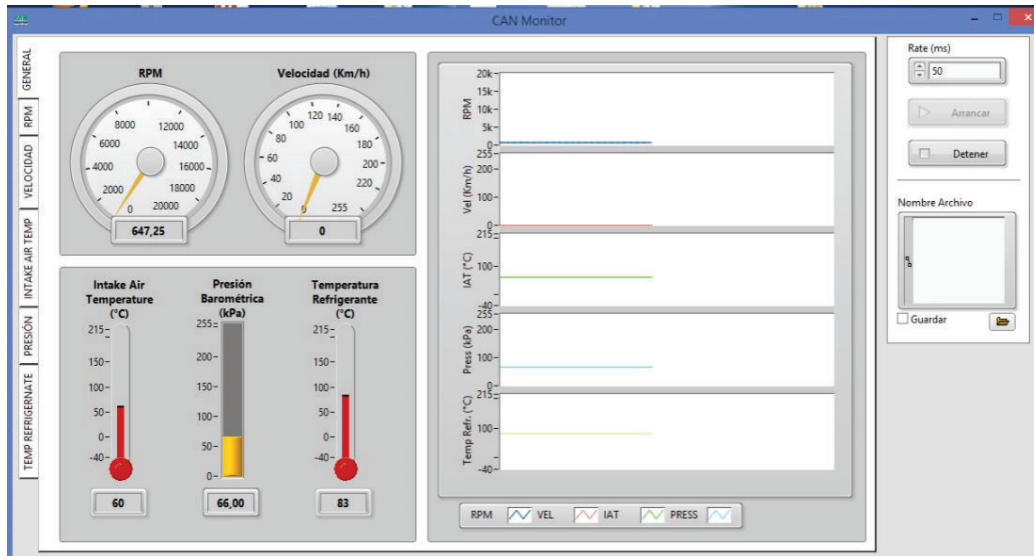


Figura 3.27 Valores iniciales a una altura de 3250 m.s.n.m.  
(Fuente: Autores)

Por parte de la evolución de la potencia y torque procesado con los datos capturados de la variación de la velocidad angular y con la ayuda del software DynoRacer, se procede a graficar y calcular los puntos de máxima potencia y par motor que desarrolla el vehículo de prueba, mostrando los siguientes resultados.

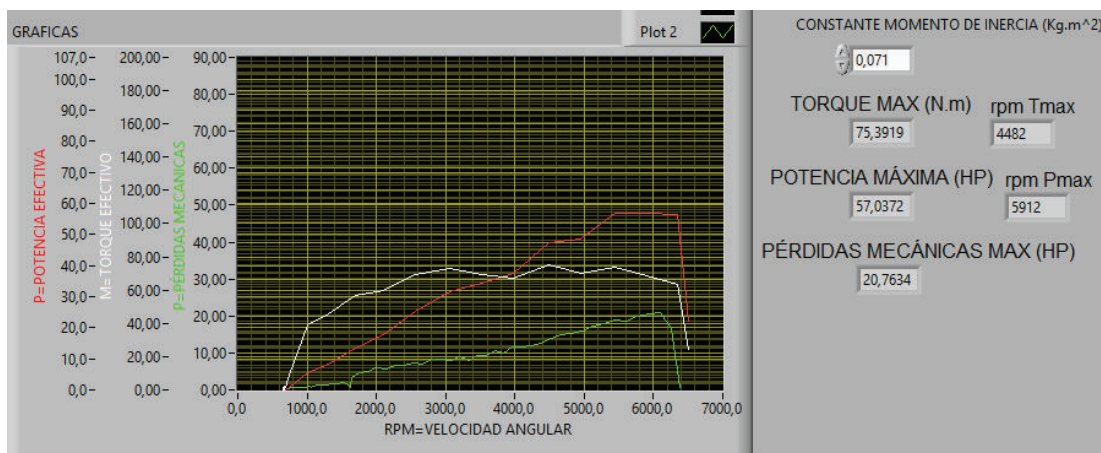


Figura 3.28 Gráficas de torque, potencia y pérdidas mecánicas a una altura de 3250 m.s.n.m.  
(Fuente: Autores)

Una vez procesadas las tres diferentes pruebas en las mismas condiciones atmosféricas, se muestra a continuación los datos obtenidos tanto de par motor, potencia y el valor de



pérdidas mecánicas, con la clara disminución del valor promedio de par motor debido la presión atmosférica.

Tabla 3.41 Valores obtenidos de torque a una altura de 3250 m.s.n.m.

	Torque (N.m)	RPM
Prueba 1	75,2432	4250
Prueba 2	75,3919	4482
Prueba 3	76,2842	4443
PROMEDIO	75,64	4392

(Fuente: Autores)

En cuanto a lo relacionado con la potencia, se presenta también una disminución del valor promedio, por lo que se ratifica la acción directa de las condiciones ambientales para el comportamiento del motor de combustión interna. En la Tabla 3.42 se exhiben los resultados obtenidos a la altura actualmente estudiada.

Tabla 3.42 Valores obtenidos de potencia a una altura de 3250 m.s.n.m.

	Potencia (HP)	RPM
Prueba 1	58,5358	6285
Prueba 2	57,0372	5912
Prueba 3	58,1401	6299
PROMEDIO	57,9	6165

(Fuente: Autores)

Al tener el análisis de las pérdidas mecánicas y asimismo su disminución del valor promedio, se encamina la explicación de este fenómeno al proceso de renovación de la carga que se da a cada ciclo nuevo admisión y escape del motor de combustión.

Tabla 3.43 Valores obtenidos de pérdidas mecánicas a una altura de 3250 m.s.n.m.

Pérdidas mecánicas (HP)	
Prueba 1	20,7318
Prueba 2	20,7634
Prueba 3	20,9619
PROMEDIO	20,82

(Fuente: Autores)

### Pruebas realizadas a 3500 m.s.n.m.

Los datos iniciales para el registro de las pruebas a la actual altura son de una temperatura del motor media indirectamente por el sensor ECT de 94°C, temperatura ambiente de 11°C, presión atmosférica de 65KPa y una temperatura del aire de admisión de 54°C como claramente se visualiza en la Figura 3.29 extraída del software Can Monitor.

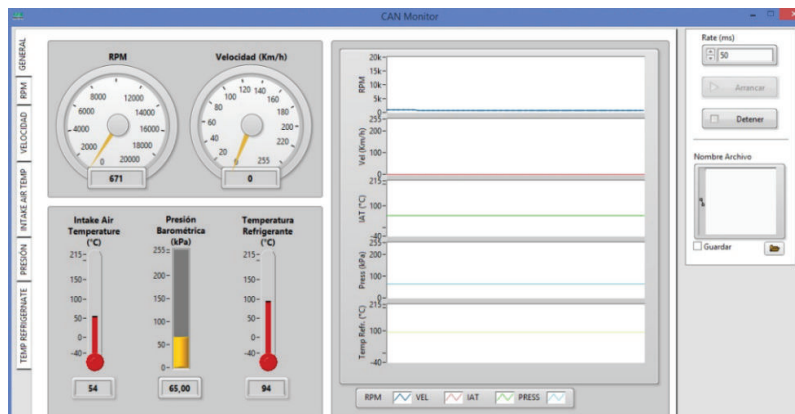


Figura 3.29 Valores iniciales a una altura de 3500 m.s.n.m.  
(Fuente: Autores)

Al momento que se procesaron los datos guardados desde el software Can Monitor en el DynoRacer, se puede visualizar que todos los valores en cada una de las pruebas siguen con la tendencia de disminución producto de que la eficiencia volumétrica disminuye como consecuencia de la cada vez menor cantidad de oxígeno contenido en el aire de ingreso en el proceso de admisión. A continuación se muestra en la Figura 3.30 el procesamiento de los datos en el software DynoRacer desarrollado para la investigación.

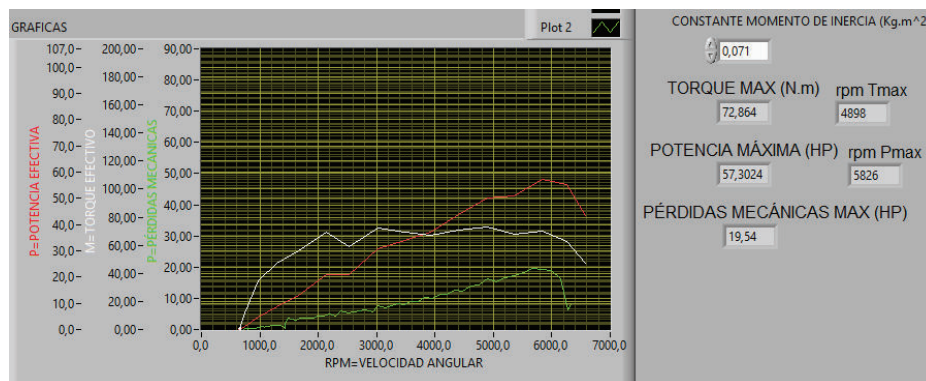


Figura 3.30 Gráficas de torque, potencia y pérdidas mecánicas a una altura de 3500 m.s.n.m.  
(Fuente: Autores)

A continuación se presenta en la Tabla 3.44 los valores individuales y promedio del par motor que se obtuvo a la altura de 3500 m.s.n.m, tabla en la que se interpreta la ya citada disminución del valor promedio en comparación con las pruebas de una altura 250 m.s.n.m. menores.

Tabla 3.44 Valores obtenidos de torque a una altura de 3500 m.s.n.m.

	Torque (N.m)	RPM
Prueba 1	72,7153	4160
Prueba 2	71,6744	4539
Prueba 3	72,864	4898
PROMEDIO	72,42	4532

(Fuente: Autores)

Al realizar la determinación de potencia y luego de tabularla, los datos arrojados muestran un valor promedio ligeramente menor en comparativa con las pruebas anteriores como se demuestra en la Tabla 3.45.

Tabla 3.45 Valores obtenidos de potencia a una altura de 3500 m.s.n.m.

	Potencia (HP)	RPM
Prueba 1	56,1422	6028
Prueba 2	57,4629	5905
Prueba 3	57,3024	5826
PROMEDIO	56,97	5920

(Fuente: Autores)

Finalmente las pruebas realizadas a la presente altura sobre el nivel del mar, arrojaron valores de pérdidas mecánicas inferiores, permitiendo interpretar dicha disminución relacionada con el proceso de renovación de la carga.

Tabla 3.46 Valores obtenidos de pérdidas mecánicas a una altura de 3500 m.s.n.m.

Pérdidas mecánicas (HP)	
Prueba 1	20,0042
Prueba 2	19,6374
Prueba 3	19,54
PROMEDIO	19,73

(Fuente: Autores)

### Pruebas realizadas a 3750 m.s.n.m.

Siguiendo con lo establecido en la presente investigación y con una altura de 250 m.s.n.m. mayor a las pruebas anteriores, las condiciones ambientales actuales son de una temperatura del refrigerante del motor de 93°C, una temperatura del aire de admisión de 63°C, la presión atmosférica se encuentra rondando los 62 KPa y una temperatura ambiente de 13°C. En la Figura 3.31 se confirma los datos antes detallados de las condiciones iniciales de las pruebas a la presente altura de referencia sobre el nivel del mar.

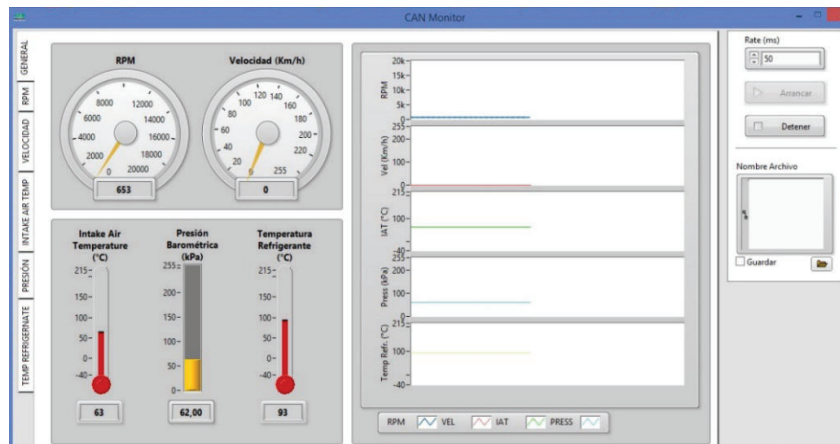


Figura 3.31 Valores iniciales para una altura de 3750 m.s.n.m.  
(Fuente: Autores)

Como se viene indicando en la exploración de resultados, las gráficas obtenidas en DynoRacer muestran valores que siguen la línea de tendencia de disminución mientras se incrementa la referencia de la altura sobre el nivel del mar, dichas gráficas se muestran en la Figura 3.32.

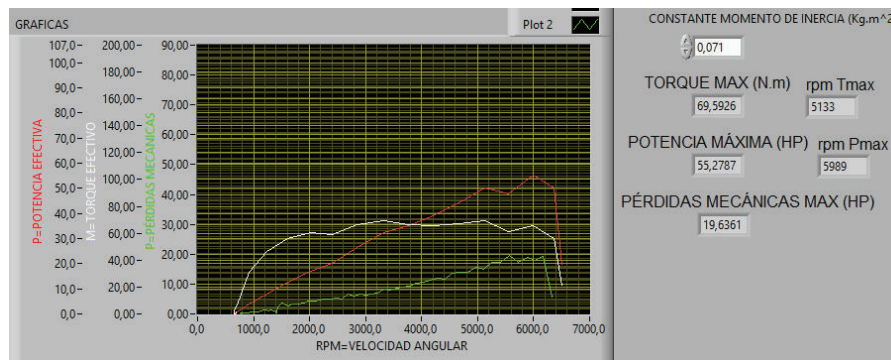


Figura 3.32 Gráficas de torque, potencia y pérdidas mecánicas a una altura de 3750 m.s.n.m.  
(Fuente: Autores)

Al tratarse del tema relacionado con el par motor, a continuación se muestra la tabulación de los valores obtenidos a través del procesamiento de los datos en el Can Monitor y DynoRacer respectivamente.

Tabla 3.47 Valores obtenidos de torque a una altura de 3750 m.s.n.m.

	Torque (N.m)	RPM
Prueba 1	73,9049	4780
Prueba 2	69,5926	4133
Prueba 3	69,89	3981
PROMEDIO	71,13	4298

(Fuente: Autores)

La potencia que se consiguió a la altura de 3750 m.s.n.m., es notablemente inferior al promedio de pruebas anteriores, a continuación se presenta los valores tabulados de las diferentes pruebas en las condiciones actualmente estudiadas.

Tabla 3.48 Valores obtenidos de potencia a una altura de 3750 m.s.n.m.

	Potencia (HP)	RPM
Prueba 1	53,9657	6153
Prueba 2	55,2787	5989
Prueba 3	53,9716	6067
PROMEDIO	54,41	6069,67

(Fuente: Autores)

Como último análisis, se muestra el valor de las pérdidas mecánicas que en este caso, presenta valores similares a los de las pruebas 250 m.s.n.m. menores como se visualiza en la Tabla 3.49.

Tabla 3.49 Valores obtenidos de pérdidas mecánicas a una altura de 3750 m.s.n.m.

Pérdidas mecánicas (HP)	
Prueba 1	20,0384
Prueba 2	19,6361
Prueba 3	19,5205
PROMEDIO	19,73

(Fuente: Autores)

### Pruebas realizadas a 4000 m.s.n.m.

Finalmente la última prueba de la investigación es la referente a la altura de 4000 m.s.n.m., para evaluar el comportamiento de torque y potencia del motor de combustión interna en estudio, para estas condiciones atmosféricas se tiene una temperatura del refrigerante del motor de 90°C, una temperatura del aire de admisión de 57°C, una temperatura del ambiente de 11°C y un valor de la presión atmosférica de 60KPa, como se puede observar en la Figura 3.33.

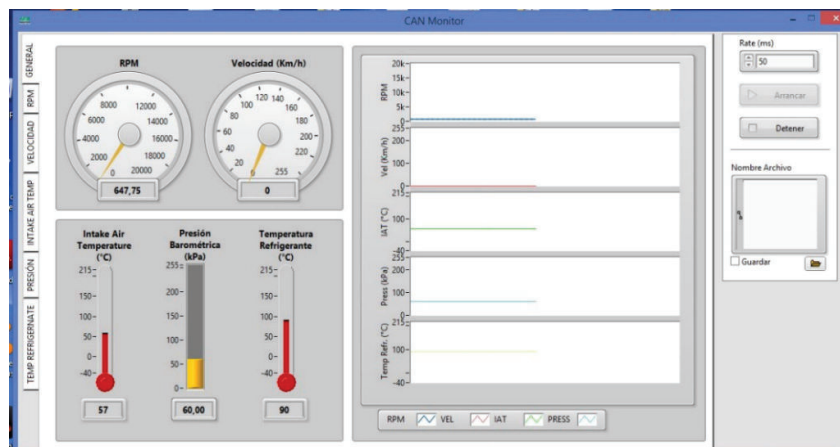


Figura 3.33 Valores iniciales a una altura de 4000 m.s.n.m.  
(Fuente: Autores)

Las gráficas referentes a la última prueba de la investigación arrojadas por el software DynoRacer, muestran ya una drástica disminución de todos sus valores tanto de par motor, potencia y pérdidas mecánicas, si como referencia ponemos a los promedios obtenidos en condiciones de 0 m.s.n.m. A continuación se muestra las gráficas de los resultados a 4000 m.s.n.m.

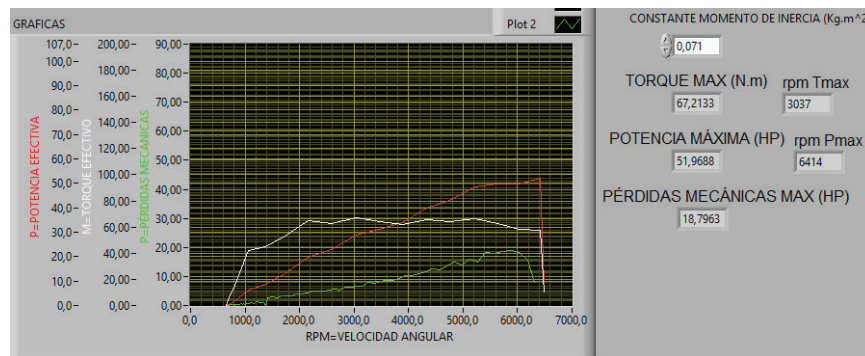


Figura 3.34 Gráficas de torque, potencia y pérdidas mecánicas a una altura de 4000 m.s.n.m.  
(Fuente: Autores)

Por parte del par motor, la disminución del torque del motor de combustión interna es apreciada por la baja eficiencia del rendimiento volumétrico a la presente altura sobre el nivel del mar, seguidamente se muestra la tabla de resultados de lo que viene a ser la última prueba de la experimentación presentada.

Tabla 3.50 Valores obtenidos de torque a una altura de 4000 m.s.n.m.

	Torque (N.m)	RPM
Prueba 1	68,4029	4387
Prueba 2	67,2133	3037
Prueba 3	67,8081	4727
PROMEDIO	67,81	4050

(Fuente: Autores)

Lo referente a la potencia, en las condiciones actuales indicadas, la distribución variable juega un papel fundamental para tratar de corregir las deficientes relaciones volumétricas reales y teóricas de aire de admisión que debe llenar cada uno de los cilindros, pero sin embargo no es suficiente para mantener el valor de potencia de las condiciones anteriores, por lo que se muestra una disminución del mismo como se observa a continuación en la Tabla 3.51.

Tabla 3.51 Valores obtenidos de potencia a una altura de 4000 m.s.n.m.

	Potencia (HP)	RPM
Prueba 1	50,9504	5851
Prueba 2	51,9688	6414
Prueba 3	51,8508	6146
PROMEDIO	51,59	6137

(Fuente: Autores)

Como último parámetro indicador del comportamiento del motor de combustión, se tiene las pérdidas mecánicas que han venido comportándose de tal manera que a un punto de referencia de menor altitud sobre el nivel del mar, estas pérdidas aumentan, y, mientras se incrementa el punto de referencia cierta altura sobre el nivel del mar, las pérdidas disminuyen. En la Tabla 3.52 se manifiestan los resultados a 4000 m.s.n.m.

Tabla 3.52 Valores obtenidos de pérdidas mecánicas a una altura de 4000 m.s.n.m.

Pérdidas Mecánicas (HP)	
Prueba 1	19,1024
Prueba 2	18,7963
Prueba 3	18,6522
PROMEDIO	18,85

(Fuente: Autores)

La tendencia directa de disminución de pérdidas mecánicas a medida que se incrementa la altura sobre el nivel del mar, tiene una relación estrictamente dependiente del proceso de renovación de la carga, motivo por el que se presenta mencionado fenómeno.

En el apartado referente al análisis de resultados se examinará más a detalle y por medio de tablas y gráficos como disminuye el valor de pérdidas mecánicas a lo largo de la investigación.

### **3.3 Discusión**

Luego de tener los diferentes datos de la investigación adecuadamente ordenados y procesados, se establece la relación directa que tiene la presión atmosférica sobre la potencia, torque y pérdidas mecánicas de un motor de combustión interna, que en nuestro caso se trata de un motor con sistema de distribución variable del tipo CVV-T.

Para las gráficas de los datos, se utiliza en el presente trabajo, el software Matlab, que al ser una herramienta matemática, puede proveer importantes facilidades para procesar los diferentes valores.

Lo primero que se establece es la relación que tiene la temperatura del ambiente con la temperatura del aire a la entrada del motor, ya que la gestión electrónica utiliza este dato para dosificar una mezcla estequiométrica en función de la cantidad de oxígeno realizando el cálculo de la densidad del aire a través de su temperatura, para posterior a aquello realizar el análisis de los valores captados a diferentes alturas sobre el nivel del mar.



## Evaluación de los resultados a diferente temperatura ambiente y presiones atmosféricas

Se tiene entonces valores diferentes en la entrada del múltiple de admisión del motor y en el ambiente, por lo que se realiza una tabla comparativa en la que se puede observar que la temperatura del aire a la entrada del múltiple de admisión no es directamente dependiente de la temperatura que se encuentra en el ambiente, por consiguiente y según los datos experimentales, la temperatura ambiente no tiene mayor consecuencia sobre la potencia del motor, ya que el aire que entra a cada uno de los cilindros tiene un promedio de 55°C, este valor resulta de las diferentes mediciones desde 0 m.s.n.m. hasta 4000 m.s.n.m. teniendo rangos de temperaturas ambiente desde 11 hasta 28°C como se puede apreciar en la Tabla 3.53.

Tabla 3.53 Comparativa de temperaturas del ambiente y aire a la entrada del múltiple de admisión

<b>Altura Sobre el nivel del mar (m.s.n.m.)</b>	<b>Temperatura ambiente (°C)</b>	<b>Temperatura del aire de admisión (°C)</b>
0	20	50
250	27	51
500	28	62
750	26	65
1000	25	48
1250	26	54
1500	21	57
1750	24	51
2000	23	47
2250	20	54
2500	18	54
2750	20	54
3000	18	54
3250	18	60
3500	11	54
3750	13	63
4000	12	57
4250	11	65

(Fuente: Autores)

Es así que para un mejor entendimiento de este fenómeno se realiza una gráfica en la que la temperatura ambiente se encuentra representada en color verde y la temperatura del aire a la entrada del múltiple de admisión está en color azul.

En la Figura 3.35 se evidencia claramente que la temperatura del aire a la entrada del motor no es dependiente de las condiciones atmosféricas, esta justificación se basa en que los diferentes procesos termodinámicos que experimenta el motor durante su funcionamiento y puesto que dicho motor debe llegar a una temperatura normal de funcionamiento que va desde 80 hasta 90 °C, va a existir transferencia de calor desde la fuente térmica hacia su alrededor , provocando un incremento de temperatura en el aire que se encuentra aspirando.

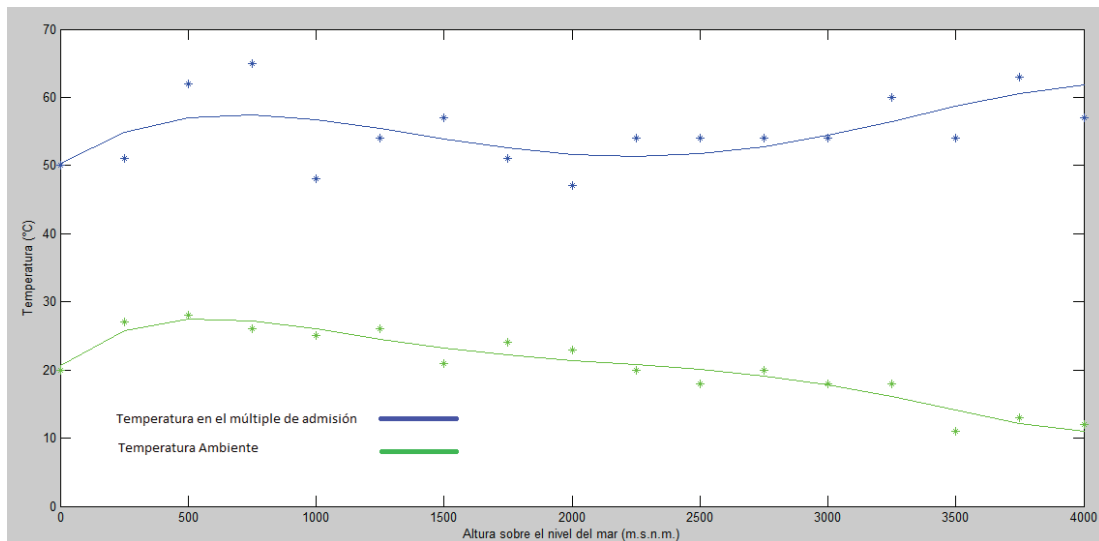


Figura 3.35 Gráfica comparativa de la temperatura ambiente y temperatura del aire a la entrada de la admisión del motor.  
(Fuente: Autores)

A continuación se establece los datos de potencia obtenidos en la investigación, todos relacionados con la altura sobre el nivel del mar, y la temperatura ambiente a las que se obtuvo cada prueba como se presentó en los apartados anteriores.

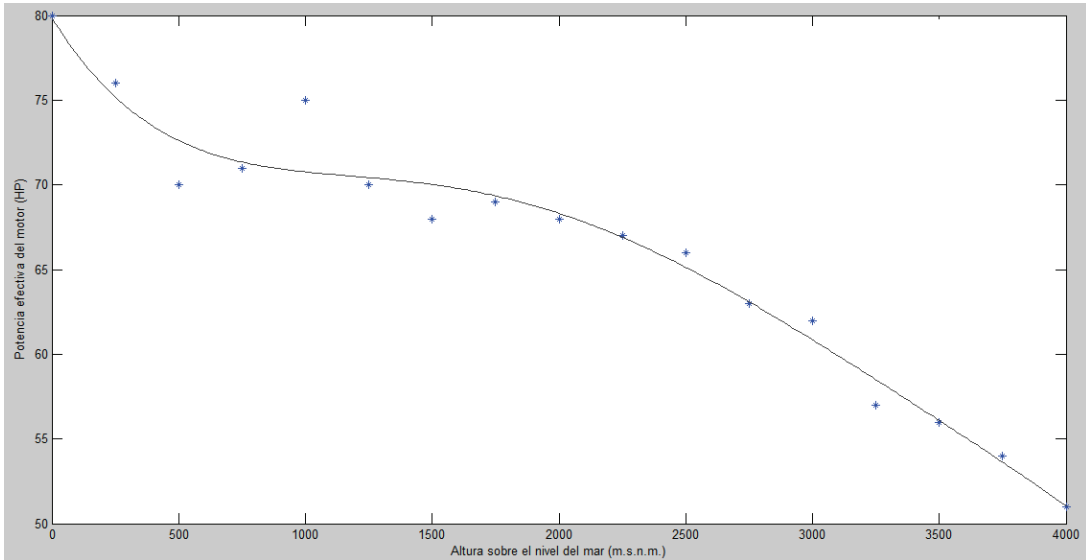


Figura 3.36 Gráfica de los resultados de la potencia efectiva obtenida en la investigación en función de la altura sobre el nivel del mar  
(Fuente: Autores)

En la Figura 3.36 se especifica el comportamiento de como disminuye la potencia efectiva del motor a medida que aumenta la referencia de la altura sobre el nivel del mar de los resultados obtenidos en las carreteras de Ecuador, estos resultados son los logrados por nuestro método desarrollado a través de la aceleración libre del motor.

Para los análisis de torque de la investigación y su comportamiento con la presión atmosférica relacionado con la altura sobre el nivel del mar, se visualiza en la Figura 3.37, cada uno de los valores y la manera como desciende el valor del torque a medida que disminuye la presión atmosférica, por consiguiente aumenta la altura sobre el nivel del mar.

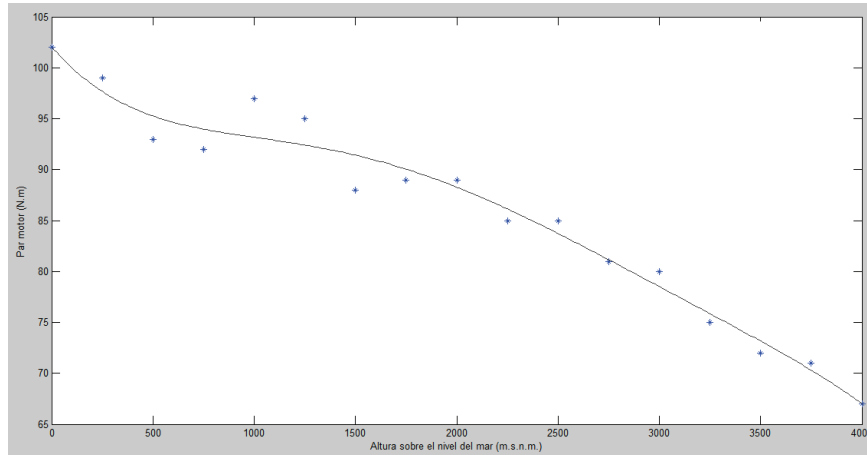


Figura 3.37 Gráfica de los resultados de par motor obtenido en la investigación en función de la altura sobre el nivel del mar.  
(Fuente: Autores)

Dentro de los análisis que se pretende en la investigación, consta también lo referente a las pérdidas mecánicas que desarrolla el motor a diferentes condiciones de presión atmosféricas, que está estrechamente relacionado con la altura sobre el nivel del mar como ya se ha venido explicando a lo largo del presente documento.

En la Figura 3.38 se muestra el comportamiento de los diferentes valores de pérdidas mecánicas que se presentaron en las condiciones de presión atmosférica, temperatura ambiente y altura sobre el nivel del mar en los que se realizaron las diferentes pruebas.

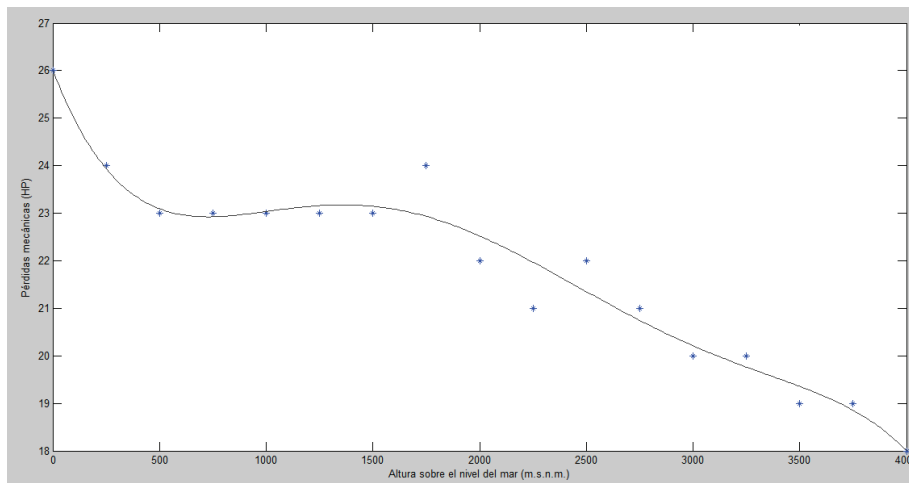


Figura 3.38 Gráfica de los resultados de pérdidas mecánicas obtenidos en la investigación en función de la altura sobre el nivel del mar  
(Fuente: Autores)

Con el fin de tener relación de los datos obtenidos en la presente investigación con los parámetros de diferentes normas existentes para obtener un factor de corrección de la potencia a diferentes alturas y temperaturas ambiente, se ve necesario la comparación de nuestros resultados con los valores que pueden arrojar las normas establecidas para el cálculo de torque y potencia en motores de combustión interna.

### **Evaluación de las normas DIN e INEN según los resultados de la investigación.**

Se cita algunas de las normas que rigen sobre los motores de combustión interna tanto MEP como MEC, dentro de las normas que se emplean en la presenta comparativa, se presenta la norma DIN70020, SAE J 1349 y la ISO 1585, cada norma tiene su método de obtención del factor de corrección que a continuación se detalla para finalmente estudiar la comparativa con nuestros resultados.

Para la DIN70020, se trata de una norma europea que establece la relación de presión atmosférica y temperatura ambiente, dejando de lado la humedad relativa del ambiente en donde se realiza la prueba.

La ecuación que se describe a continuación, muestra los parámetros para la obtención del factor de corrección, en donde los valores referenciales de presión y temperatura son respectivamente 1.01325 bar y 293 °K.

$$FC = \frac{p}{p_0} \cdot \sqrt{\frac{T_0}{T}}$$

Ecuación 3.1

Para las normas SAE J 1349 y la ISO 1585 se presentan restricciones para su aplicación, es así que para la SAE J 1349 se recomienda su utilización en condiciones de 0,095 a 1,01 bar de presión atmosférica y una temperatura ambiente de 288,5 a 316,3 °K, es decir es funcional para un rango de altura menores a 1000 m.s.n.m., por consiguiente no será útil para comparar con los valores de nuestra investigación.

Por su parte la norma ISO 1585, recomienda ser utilizada en rangos de presiones atmosféricas entre 0,8 a 1 bar y temperaturas ambiente de 288 a 308°K, o lo que

traducido a altura sobre el nivel del mar, hace referencia a alturas menores que 2000 m.s.n.m., por lo que al igual que la norma SAE J 1349, no son compatibles con el análisis de la presente investigación<sup>11</sup>.

Es así que la norma con la que vamos a comparar nuestros valores es la DIN70020, para tal acción, se determina uno a uno los factores de corrección en función de la presión atmosférica que detallamos en apartados anteriores y la temperatura ambiente a la cual se realizó cada prueba.

Una vez calculados los factores de corrección, se presenta en la Tabla 3.54 los valores de potencia corregidos según la norma DIN70020.

Tabla 3.54 Tabla comparativa de los valores de potencia obtenidos en la investigación con los resultados arrojados con el factor de corrección de la norma DIN70020

Presión atmosférica KPa	Presión atmosférica bar	Temperatura ambiente °C	Temperatura °K	Factor de corrección k	Potencia por aceleración libre	Potencia corregida
101,3	1,013	20	293	1,00	80,24	80,24
97	0,97	27	300	1,06	76,53	80,87
95	0,95	28	301	1,08	70,23	75,90
92	0,92	26	299	1,11	71,28	79,29
89	0,89	25	298	1,15	75,01	86,10
86	0,86	26	299	1,19	70,98	84,46
83	0,83	21	294	1,22	68,77	84,08
81	0,81	24	297	1,26	69,54	87,56
78	0,78	23	296	1,31	68,98	90,04
75	0,75	20	293	1,35	67,74	91,49
74	0,74	18	291	1,36	66,78	91,10
73	0,73	20	293	1,39	63,88	88,64
68	0,68	18	291	1,48	62,67	93,04
66	0,66	18	291	1,53	57,9	88,56
65	0,65	11	284	1,53	56,97	87,41
62	0,62	13	286	1,61	54,41	87,83
60	0,6	12	285	1,67	51,59	85,90

(Fuente: Autores)

<sup>11</sup> Sodré, J & Soares, S. (2003). *Comparison of Engine Power Correction Factors for Varying Atmospheric Conditions*. FIAT automóviles S.A.

Para una mejor interpretación de la comparativa, se presenta en la Figura 3.39 las gráficas en color azul de la potencia obtenida en la investigación y en color rojo las arrojadas como resultado del factor de corrección con la norma DIN70020.

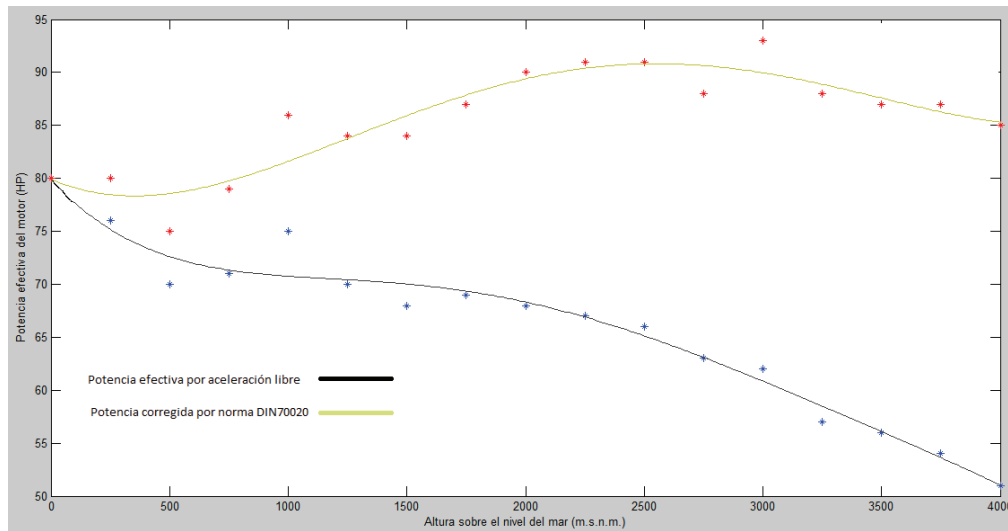


Figura 3.39 Comparativa entre los valores según norma DIN70020 y los valores de potencia efectiva obtenidos en la investigación  
(Fuente: Autores)

Asímismo se realiza un análisis tabulado de los valores de torque motor calculados con el factor de corrección en función de la presión y temperatura ambiente como dicta la norma mencionada.

En la Tabla 3.55 se puede observar los resultados y la comparativa con los valores obtenidos en la investigación en cuanto al par motor se refiere, en la misma se puede observar todos los valores de temperatura ambiente a los que se realizaron cada una de las pruebas desde una altura de 0 m.s.n.m. hasta 4000 m.s.n.m., de igual manera se muestran los datos de presión atmosférica transformados a bares, unidad necesaria para poder realizar el cálculo del factor de corrección como indica dicha norma.

Tabla 3.55. Tabla comparativa de los valores de torque obtenidos en la investigación con los resultados arrojados con el factor de corrección de la norma DIN70020

Presión atmosférica Kpa	Presión atmosférica bar	Temperatura del ambiente °C	Temperatura °K	Factor de corrección DIN70020	Torque por aceleración libre	Torque corregido
101,3	1,013	20	293	1	102,01	102,01
97	0,970	27	300	1,06	99,09	104,71
95	0,950	28	301	1,08	93,43	100,98
92	0,920	26	299	1,11	92,69	103,10
89	0,890	25	298	1,15	97,00	111,34
86	0,860	26	299	1,19	95,86	114,06
83	0,830	21	294	1,22	88,58	108,29
81	0,810	24	297	1,26	89,52	112,72
78	0,780	23	296	1,31	89,67	117,05
75	0,750	20	293	1,35	85,55	115,55
74	0,740	18	291	1,36	85,5	116,64
73	0,730	20	293	1,39	81,89	113,64
68	0,680	18	291	1,48	80,06	118,86
66	0,660	18	291	1,53	75,64	115,70
65	0,650	11	284	1,53	72,42	111,12
62	0,620	13	286	1,61	71,13	114,82
60	0,600	12	285	1,67	67,81	112,91

(Fuente: Autores)

En la Figura 3.40 se presenta la relación de la comparativa entre los valores de par motor de la investigación y los valores de torque que arroja el factor de corrección con la norma DIN 70020, se debe tener en cuenta que la norma está siendo aplicada en función de los valores obtenidos en la investigación, es decir a partir de cada uno de los resultados por aceleración libre que se recogió en la investigación, se aplica el factor de corrección según la norma y la ecuación correspondiente.



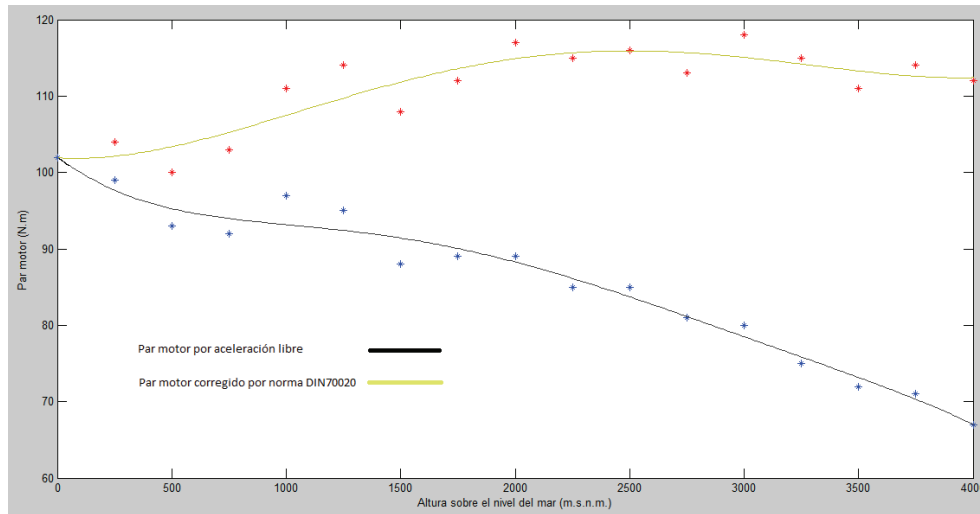


Figura 3.40 Comparativa entre los valores según norma DIN70020 y los valores de par motor obtenidos en la investigación  
(Fuente: Autores)

En color rojo se encuentran trazados los valores con el factor de corrección y en color azul los datos obtenidos en la investigación.

Finalmente se realiza una comparativa con la norma nacional INEN 0960, especifica una presión atmosférica inicial de 100 KPa y una temperatura ambiente de 25°C. Se tiene una variante puesto que para la utilización de esta norma, se realiza el cálculo del factor de corrección en función de la presión atmosférica en KPa y con la fórmula que se presenta a continuación.

$$K_a = \left(\frac{100}{p}\right) \left(\frac{T}{298}\right)$$

Ecuación 3.2

En la Figura 3.41 se presenta la comparativa de los valores de potencia obtenidos en el presente trabajo en color azul, los datos arrojados con el factor de corrección de la norma DIN 70020 en color rojo y los que presenta la norma ecuatoriana INEN 0960 en color verde.

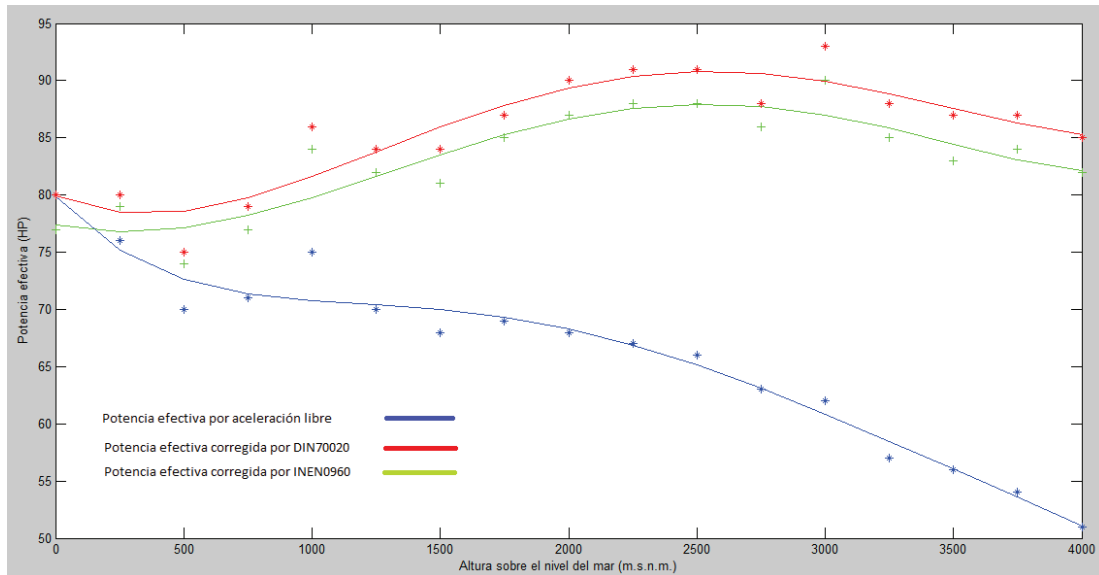


Figura 3.41 Gráfica comparativa entre la potencia obtenida en la investigación con los valores corregidos según norma DIN 70020 e INEN 0960 (Fuente: Autores)

Como se puede apreciar en la Figura 3.41, existe una pequeña variación entre los resultados de potencia efectiva corregida a través de la norma DIN70020 en color rojo y la INEN0960 en color verde, esto radica principalmente en la ecuación que se utiliza para el cálculo del factor de corrección en cada una de las normas.

Es así que al tener como referencia que a nivel del mar se debe tener una potencia alrededor de 80 HP, valor obtenido por dinamómetro en la ESPOL (ver Anexo1), la norma que más se aproxima a este valor es la INEN0960, como es evidente en la Figura 3.41, existe variaciones de los resultados entre una franja de límites desde 75 hasta 90 HP. Existe dicha variación por la caracterización del factor de corrección directamente afectado por la temperatura ambiente a la que se realiza la prueba. Como se ha citado en múltiples ocasiones en el presente trabajo, no se ha considerado de vital incidencia la temperatura ambiente.

Finalmente se realiza la comparativa de las dos normas ya mencionadas en relación a los valores que obtuvimos por el método desarrollado de aceleración libre, pero en esta ocasión con los resultados del par motor, en la Figura 3.42 se expresan los diferentes comportamientos según la norma utilizada, es así que para los valores de la DIN 70020 se encuentran graficados en color rojo, para la INEN 0960 en color verde y en azul los obtenidos en la investigación.

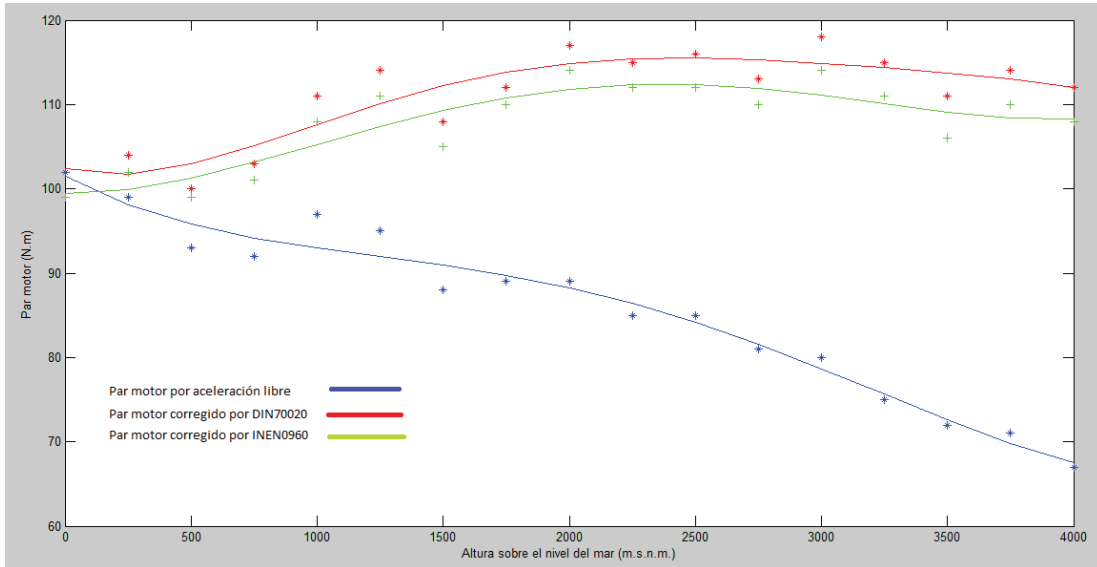


Figura 3.42 Gráfica de los valores de par motor obtenidos en la investigación con los valores corregidos según norma DIN70020 e INEN0960.  
(Fuente: Autores)

Igual al caso de la potencia efectiva, se presenta el gráfico de par motor, en el que una vez más se muestra una aceptable aproximación de los resultados corregidos de la investigación con la norma INEN0960, por lo tanto dicha norma es la que mejor se aplica para las diferentes condiciones de presión atmosférica en el territorio ecuatoriano.

#### 4. CONCLUSIONES

Con el desarrollo de la presente investigación, se cumplen los objetivos planteados, es así que se pudo establecer un protocolo de medición de torque, potencia y pérdidas mecánicas a través del método de aceleración libre detallado en 2.3.

Luego de realizar la investigación, queda en claro la alta incidencia que tiene la presión atmosférica sobre el parámetro efectivo del motor, caracterizado como potencia y torque, ya que a medida que incrementa la altura sobre el nivel del mar, disminuye la presión atmosférica, consecuentemente disminuye la eficiencia volumétrica afectando directamente a la combustión dentro de los cilindros del motor. Este fenómeno trata de ser corregido por la acción de la distribución variable con la que cuenta el motor en estudio, pero sin embargo no es suficiente para contrarrestar la disminución de cantidad de oxígeno que se tiene a mayores alturas con respecto a nivel del mar.

La variable temperatura ambiente no presenta incidencia significativa en el comportamiento del motor como se observa en las diferentes pruebas, debido a que la temperatura de aire de admisión por medio de procesos termodinámicos propios del funcionamiento del motor térmico, se sitúa constante en un promedio de 52°C; por tal razón no se la considera.

Como conclusión del análisis de los valores de las pérdidas mecánicas se tiene que a mayor presión atmosférica existe mayor pérdidas mecánicas, las mismas que van disminuyendo conforme se toman pruebas a mayores alturas sobre el nivel del mar, este efecto se manifiesta por el proceso de renovación de la carga o también llamado pérdidas por bombeo, puesto que es la única variante que se tiene a lo largo de los diferentes ensayos de la investigación, es decir, pérdidas por movimiento de auxiliares siempre serán constantes independientemente de la presión atmosférica, al igual que las pérdidas por fricción, ya que el motor debe estar funcionando en cierto rango de temperatura para obtener su potencia, quedando finalmente las pérdidas por bombeo como variable directa en función

de la presión atmosférica como se ve reflejado en el análisis presentado. Es importante acotar que el motor al contar con un sistema de distribución variable, disminuye notoriamente las pérdidas por bombeo que pudiera tener un motor que no contara con dicho sistema de distribución.

El método mostrado por aceleración libre para la obtención de torque, potencia y pérdidas mecánicas, es eficiente y se encuentra demostrado la necesidad de realizar tres pruebas para calcular un valor promedio, sin embargo es obligatorio acotar que al tratarse de un método en el cual es de vital importancia la manera de como el conductor acelere drásticamente desde una velocidad del motor de ralentí hasta el corte de inyección, puede tener sus errores al momento de adquirir los datos para su posterior procesamiento.

El presente método al conectarse por medio de una tarjeta de adquisición de datos con la computadora del vehículo, nos garantiza que el valor de rpm mostrado es el mismo que maneja la ECU para las diferentes gestiones electrónicas, ayudándonos a tener menor grado de error en el procesamiento de los datos.

Para el proceso investigativo fue favorable el haber realizado pruebas cada 250 m.s.n.m., para entender e interpretar adecuadamente cada uno de los valores que arrojó el software a través de los diferentes cálculos realizados. La variación de la presión atmosférica y la temperatura ambiente en las diferentes carreteras de las regiones de nuestro país, hacen trabajar al sistema de inyección electrónico, conjuntamente con la activación de la distribución variable, esto ha quedado demostrado en el análisis de resultados del presente estudio, teniendo datos importantes tanto para fabricantes de software de ECU's, ya que tiene aplicación en los mapas de inyección, como para preparadores de motores que optan por sistemas de inyección programable para sacar el máximo provecho llevando los motores al límite en una competencia deportiva, que día a día va ganando terreno en nuestro país.

La realización de pruebas en dos diferentes bancos dinamométricos a diferente presión atmosférica, permitió corroborar los resultados para una adecuada aproximación del valor del momento de inercia.

Finalmente es importante volver a mencionar que las diferentes normas existentes para utilizar un factor de corrección en función de la presión atmosférica y temperatura ambiente, no son aplicables para la topografía de Ecuador, ya que se tiene ciudades y carreteras por encima de los 2000 m.s.n.m., para lo cual las únicas normas que se pueden utilizar para tener un factor de corrección a condiciones por encima de la altura mencionada, es la DIN 70020 y la norma nacional INEN 0960, siendo esta última norma la que se acerca relativamente al rango de potencia nominal obtenidos en los bancos dinamométricos, en diferentes condiciones atmosféricas.

## Referencias Bibliográficas

- [1] Gonzáles, D. (2011). *Motores*. (pp. 54-57). (1ª edición). Madrid, España: Editorial Paraninfo.
- [2] Leucona, A; Rodríguez, P. (2013). Parámetros básicos. En: Payri, F; Desantes, J. (ed.), *Motores de combustión interna alternativos*. (pp. 57-60). (3ª reimpresión). Barcelona, España: Editorial Reverté.
- [3] Díaz, R. (2009). *Termodinámica automotriz*. (pp. 180-181). (1ª edición). Riobamba, Ecuador: Editorial Ecopycenter.
- [4] Leucona, A; Rodríguez, P. (2013). Parámetros básicos. En: Payri, F; Desantes, J. (ed.), *Motores de combustión interna alternativos*. (pp. 57-60). (3ª reimpresión). Barcelona, España: Editorial Reverté.
- [5] Leucona, A; Rodríguez, P. (2013). Parámetros básicos. En: Payri, F; Desantes, J. (ed.), *Motores de combustión interna alternativos*. (pp. 61-63). (3ª reimpresión). Barcelona, España: Editorial Reverté.
- [6] Gonzáles, D. (2011). *Motores*. (pp. 60-63). (1ª edición). Madrid, España: Editorial Paraninfo.
- [7] Rodríguez, P; Nogueira, J. (2013). Curvas características y aplicaciones. En: Payri, F; Desantes, J. (ed.), *Motores de combustión interna alternativos*. (pp. 958-962). (3ª reimpresión). Barcelona, España: Editorial Reverté.
- [8] Rodríguez, P; Nogueira, J. (2013). Curvas características y aplicaciones. En: Payri, F; Desantes, J. (ed.), *Motores de combustión interna alternativos*. (pp. 962-965). (3ª reimpresión). Barcelona, España: Editorial Reverté.
- [9] Gonzáles, D. (2011). *Motores*. (pp. 57). (1ª edición). Madrid, España: Editorial Paraninfo.
- [10] Ávila, A. (2016). *Estudio e implementación del dinamómetro de chasis modelo X tracción 2 ruedas del fabricante dynocom*. Memoria para optar al Título de Ingeniero en Mecánica Automotriz, Facultad de Ingeniería Automotriz, Universidad Internacional del Ecuador, Guayaquil, Ecuador.

- [11] Sodré, J & Soares, S. (2003). *Comparison of Engine Power Correction Factors for Varying Atmospheric Conditions*. FIAT automóviles S.A.
- [12] Alonso, J.(2009). *Técnicas del automóvil MOTORES*. España: Paraninfo Ediciones.
- [13] Lajara, J & Pelegrí, J. (2007). *LabVIEW Entorno gráfico de programación*. Barcelona: Marcombo Ediciones.
- [14] Águeda, E & Navarro, J. (2012). *Sistemas de transmisión de fuerza y trenes de rodaje*. Madrid: Paraninfo Ediciones.
- [15] Jóvaj, M. (1982). *Motores de automóvil*. Moscú. Traducido al español en Lima: Editorial Mir Ediciones.
- [16] RUIZ / BERMUDEZ / BROATCH / CLIMENT / LOPEZ / TORMOS. (2005). *Prácticas de motores de combustión*. México: Ediciones Serrano.
- [17] Aguiar, J & Delgado ,J. (2011). Notas sobre medidas e incertidumbres. Laboratorio de Física II (en línea). Disponible : [https://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=10&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjhnNiKuMrQAhWLZiYKHUwLAuIQFghHMAk&url=https%3A%2F%2Focw.uma.es%2Fingenierias%2Ffisica-ii%2Ffisica\\_ii%2Fpracticas%2FNotas\\_sobre\\_medidas\\_e\\_incertidumbre.pdf&usg=AFQjCNGeszu07ysD2HI-teHi6dsFakM5iQ,File:Notas\\_sobre\\_medidas\\_e\\_incertidumbre.pdf](https://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=10&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjhnNiKuMrQAhWLZiYKHUwLAuIQFghHMAk&url=https%3A%2F%2Focw.uma.es%2Fingenierias%2Ffisica-ii%2Ffisica_ii%2Fpracticas%2FNotas_sobre_medidas_e_incertidumbre.pdf&usg=AFQjCNGeszu07ysD2HI-teHi6dsFakM5iQ,File:Notas_sobre_medidas_e_incertidumbre.pdf)
- [18] Instituto Ecuatoriano de Normalización., NTE INEN 0960: 1984 Vehículos automotores. Determinación de la potencia neta del motor, 2<sup>da</sup> ed. Instituto Ecuatoriano de Normalización, 1984.



## **Anexos**

**ANEXO I. RESULTADOS DE LAS PRUEBAS EN DINAMÓMETRO  
EN LA ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

**ANEXO II. RESULTADOS DE LAS PRUEBAS EN DINAMÓMETRO  
EN EL CCICEV**

**ANEXO III. CARACTERÍSTICAS DEL INSTRUMENTO KESTREL  
UTILIZADO PARA MEDIR LA PRESIÓN ATMOSFÉRICA Y  
TEMPERATURA AMBIENTE**

## **ANEXO IV. NORMA INEN 0960**

**ANEXO V. PAPER DE LA COMPARACIÓN DE POTENCIA DEL  
MOTOR Y FACTORES DE CORRECCIÓN POR VARIACIÓN DE  
CONDICIONES ATMOSFÉRICAS**

**ANEXO VI. NOTAS SOBRE MEDIDAS DE INCERTIDUMBRE PARA  
DETERMINAR EL NÚMERO DE PRUEBAS A REALIZARSE EN UN  
EXPERIMENTO**

**ANEXO VII. IDENTIFICACIÓN DE PID's PARA LA  
PROGRAMACIÓN DE LA TARJETA DAQ NI 9862**