



# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

## **FACULTAD DE MECÁNICA**

### **CARRERA INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

#### **“OBTENCIÓN DE LA CURVA DE CONSUMO DE UN MOTOR CHEVROLET AVEO 1.6L MEDIANTE LA COMPARACIÓN DE DATOS ENTRE UN CAUDALÍMETRO Y UN SENSOR DE PRESIÓN”**

##### **Trabajo de Integración Curricular**

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

##### **INGENIERO AUTOMOTRIZ**

##### **AUTOR:**

**ALEX FABRICIO LEÓN SEIBA**

Riobamba-Ecuador

2022



# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

## **FACULTAD DE MECÁNICA**

### **CARRERA INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

#### **“OBTENCIÓN DE LA CURVA DE CONSUMO DE UN MOTOR CHEVROLET AVEO 1.6L MEDIANTE LA COMPARACIÓN DE DATOS ENTRE UN CAUDALÍMETRO Y UN SENSOR DE PRESIÓN”**

##### **Trabajo de Integración Curricular**

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

##### **INGENIERO AUTOMOTRIZ**

**AUTOR:** ALEX FABRICIO LEÓN SEIBA

**DIRECTOR:** Ing. PAÚL ALEJANDRO MONTÚFAR PAZ

Riobamba-Ecuador

2022

**©2022, Alex Fabricio León Seiba**

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, Fabricio Alex León, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación. El patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 02 de agosto de 2022

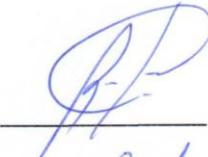


Alex Fabricio León Seiba

**CI: 060418744-3**

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD MECÁNICA**  
**CARRERA INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular: Tipo: Proyecto de Investigación, **OBTENCIÓN DE LA CURVA DE CONSUMO DE UN MOTOR CHEVROLET AVEO 1.6L MEDIANTE LA COMPARACIÓN DE DATOS ENTRE UN CAUDALÍMETRO Y UN SENSOR DE PRESIÓN**, realizado por el señor: **ALEX FABRICIO LEÓN SEIBA** ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtual el Tribunal Autoriza su presentación.

	<b>FIRMA</b>	<b>FECHA</b>
Ing. Juan Carlos Rocha Hoyos <b>PRESIDENTE DEL TRIBUNAL</b>		2022-08-02
Ing. Paúl Alejandro Montúfar Paz <b>DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN</b>		2022-08-02
Ing. Edison Patricio Abarca Pérez <b>MIEMBRO DEL TRIBUNAL</b>		2022-08-02

## **DEDICATORIA**

A mis padres Rocío y Mauro por sus enseñanzas y apoyo, agradezco infinitamente su confianza depositada en cada una de mis batallas, con sus palabras de aliento me han motivado a cumplir este sueño. Con todo mi corazón esta tesis va dedicada a mi esposa Verónica quien ha estado a mi lado todo este tiempo y a mi hijo Alex, tu sonrisa es mi motivo de superación.

Alex

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios por sus bendiciones y amor, por las fuerzas para cumplir mis metas.

A mi familia por sus ánimos que cada día me impulsa a ser un profesional y mejor persona.

A mi director de tesis Ing. Paúl Alejandro Montúfar Paz por guiarme y brindarme sus conocimientos para culminar este proyecto.

A la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO, por haberme abierto sus puertas para adquirir conocimientos y darme la oportunidad de convertirme en un profesional.

Alex

## TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xi
INDICE DE ANEXOS .....	xii
RESUMEN.....	xiii
SUMMARY .....	xiv
INTRODUCCIÓN .....	1

## CAPÍTULO I

<b>1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL .....</b>	<b>2</b>
1.1. Antecedentes .....	2
1.2. Planteamiento del problema.....	2
1.3. Justificación y actualidad .....	3
1.4. Objetivos .....	3
1.4.1. <i>Objetivo general</i> .....	3
1.4.2. <i>Objetivos específicos</i> .....	3
1.5. Hipótesis.....	4
1.6. Estado del arte .....	4
1.6.1. <i>Banco dinamométrico</i> .....	4
1.6.2. <i>Partes fundamentales del banco</i> .....	5
1.6.3. <i>Parámetros principales del motor de combustión interna (MCI)</i> .....	6
1.6.3.1. <i>Potencia</i> .. .....	6
1.6.3.2. <i>Torque</i> ... .....	7
1.6.3.3. <i>Consumo específico del combustible</i> .....	8
1.6.4. <i>Curvas características del motor de combustión interna</i> .....	9
1.7. Circuito de alimentación de combustible .....	10
1.7.1. <i>Depósito de combustible</i> .....	10
1.7.2. <i>Electrobomba</i> .....	11
1.7.3. <i>Filtro de combustible</i> .....	11
1.7.4. <i>Regulador de presión</i> .....	12
1.7.5. <i>Riel de inyectores</i> .....	13
1.7.6. <i>Inyectores</i> .....	14
1.8. Etapas de funcionamiento del sistema de inyección indirecta de combustible....	15

1.8.1.	<i>Ralentí</i> .....	15
1.8.2.	<i>Arranque en frío</i> .....	15
1.8.3.	<i>Aceleración</i> .....	16
1.8.4.	<i>Plena carga</i> .....	16
1.8.5.	<i>Corte de inyección</i> .....	17
1.9.	<b>Sensores</b> .....	17
1.9.1.	<i>Sensores de medición de flujo o caudal</i> .....	18

## CAPÍTULO II

2.	<b>MARCO METODOLÓGICO</b> .....	19
2.1.	<b>Tipo de investigación</b> .....	19
2.2.	<b>Métodos de investigación</b> .....	19
2.3.	<b>Proceso de investigación</b> .....	19
2.4.	<b>Equipos y materiales</b> .....	20
2.4.1.	<i>Motor de pruebas</i> .....	20
2.4.2.	<i>Banco de pruebas. Dinamómetro</i> .....	21
2.5.	<b>Selección de componentes</b> .....	22
2.5.1.	<i>Medidor de caudal</i> .....	22
2.5.2.	<i>Componentes del sensor de caudal</i> .....	23
2.5.3.	<i>Sensor de presión</i> .....	24
2.6.	<b>Proceso de comunicación del sensor y el sistema de control</b> .....	25
2.7.	<b>Proceso de programación</b> .....	26
2.8.	<b>Tratamiento de información</b> .....	26

## CAPÍTULO III

3.	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS</b> .....	27
3.1.	<b>Instalación de sensores</b> .....	27
3.2.	<b>Comprobación de sensores</b> .....	28
3.3.	<b>Caudal de combustible</b> .....	30
3.4.	<b>Consumo de combustible</b> .....	32
3.5.	<b>Análisis estadístico de pruebas</b> .....	34
3.5.1.	<i>Estadística descriptiva</i> .....	34
3.5.2.	<i>Métodos de los mínimos cuadrados</i> .....	35
3.6.	<b>Discusión</b> .....	38

<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>41</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>42</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	
<b>ANEXOS</b>	

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-2:</b>	Características técnicas. Motor Aveo 1,6 L.....	20
<b>Tabla 2-2:</b>	Características del dinamómetro .....	21
<b>Tabla 1-3:</b>	Revisión de componentes .....	28
<b>Tabla 2-3:</b>	Medición de presión .....	30
<b>Tabla 3-3:</b>	Medición de caudal.....	30
<b>Tabla 4-3:</b>	Señal del sensor de caudal a diferentes regímenes de giro.....	31
<b>Tabla 5-3:</b>	Tratamiento de datos .....	34
<b>Tabla 6-3:</b>	Comparación de datos .....	39

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1-1:</b>	Banco de pruebas Borghi y Saveri FA-200 .....	4
<b>Figura 2-1:</b>	Partes del banco de prueba dinamométrico.....	5
<b>Figura 3-1:</b>	Panel de control del banco de pruebas .....	6
<b>Figura 4-1:</b>	Diagrama explicativo de la medición.....	6
<b>Figura 5-1:</b>	Configuración de tanque de combustible.....	11
<b>Figura 6-1:</b>	Electrobomba de tanque de combustible .....	11
<b>Figura 7-1:</b>	Configuración del filtro de combustible .....	12
<b>Figura 8-1:</b>	Apariencia del regulador de presión .....	12
<b>Figura 9-1:</b>	Ubicación del regulador en un circuito de alimentación de combustible .....	13
<b>Figura 10-1:</b>	Apariencia del riel de inyectores.....	13
<b>Figura 11-1:</b>	Ubicación del riel de inyectores en un circuito de alimentación del combustible...	14
<b>Figura 12-1:</b>	Inyector de gasolina .....	14
<b>Figura 13-1:</b>	Actuador de ralentí.....	15
<b>Figura 14-1:</b>	Esquema de funcionamiento del arranque de frío.....	16
<b>Figura 15-1:</b>	Esquema de la aceleración .....	16
<b>Figura 16-1:</b>	Esquema de funcionamiento de plena carga .....	17
<b>Figura 17-1:</b>	Esquema de funcionamiento del corte de inyección .....	17
<b>Figura 18-1:</b>	Tipos de medidores de caudal.....	18
<b>Figura 1-2:</b>	Proceso de investigación para la curva de consumo de combustible.....	20
<b>Figura 2-2:</b>	Motor de prueba. Aveo 1,6 L en mantenimiento .....	21
<b>Figura 3-2:</b>	Banco dinamométrico .....	22
<b>Figura 4-2:</b>	Sensor de caudal de efecto Hall .....	22
<b>Figura 5-2:</b>	Componentes del sensor de caudal de efecto Hall .....	23
<b>Figura 6-2:</b>	Ciclo de trabajo del sensor efecto Hall .....	24
<b>Figura 7-2:</b>	Sensor de presión .....	24
<b>Figura 8-2:</b>	Tarjeta de adquisición de datos NI USB 6009 del dinamómetro.....	25
<b>Figura 9-2:</b>	Proceso de recolección y almacenamiento de la información .....	25
<b>Figura 10-2:</b>	Módulo de programación en LabView .....	26
<b>Figura 1-3:</b>	Instalación de sensor de caudal de combustible.....	27
<b>Figura 2-3:</b>	Instalación de medidor de presión de combustible .....	28
<b>Figura 3-3:</b>	Medición de frecuencia del sensor de caudal.....	29
<b>Figura 4-3:</b>	Presión de combustible en el circuito .....	29
<b>Figura 5-3:</b>	Ciclo de trabajo y periodo de la señal del sensor de caudal a 3000 rpm.....	31

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1-1:</b>	Curvas características del MCI.....	9
<b>Gráfico 2-1:</b>	Curva de consumo de combustible.....	10
<b>Gráfico 1-3:</b>	Curva de consumo de combustible.....	33
<b>Gráfico 2-3:</b>	Curva de correlación. Prueba 1 .....	35
<b>Gráfico 3-3:</b>	Curva de correlación. Prueba 2 .....	36
<b>Gráfico 4-3:</b>	Curva de correlación. Prueba 3 .....	37
<b>Gráfico 5-3:</b>	Curva de correlación. Prueba 4 .....	38
<b>Gráfico 6-3:</b>	Curvas de operación del motor Aveo 1,6 .....	39

## **INDICE DE ANEXOS**

**ANEXO A:** PROGRAMACIÓN LABVIEW

**ANEXO B:** PRUEBAS DE SENSORES

**ANEXO C:** DATOS DE MEDICIÓN DE FLUJO DE COMBUSTIBLE

## RESUMEN

Este trabajo se enfocó en obtener la curva de consumo de combustible de un motor Chevrolet Aveo 1.6L mediante una recolección de datos con un caudalímetro y un sensor de presión para apreciar el desempeño del motor. Para el desarrollo de las pruebas se utilizó el motor Aveo 1,6 L, acoplado al banco dinamométrico marca Borghi & Saveri, modelo FA-200/30 SP, que opera bajo el principio de corrientes parásitas o de Foucault. Para la medición del caudal de combustible, se utilizó un sensor basado en efecto Hall, utilizable en Arduino o programación en lenguaje C apoyado en un medidor de presión de combustible. Los resultados obtenidos muestran al comparar el régimen de giro y consumo mínimo, como puntos de referencia fijos en la curva de consumo del motor Aveo 1,6, el menor error de datos se obtiene en la prueba 2, con un margen de error del 8,4% y 2% correspondiente al régimen de giro y consumo mínimo de combustible, a la vez, se destaca los resultados de error de la prueba 3, con valores de 9,2 % y 11% respectivamente. El método aplicado para la obtención de la curva de consumo de combustible alcanzó márgenes de errores dispares, en las pruebas 2 y 3, se obtuvieron errores cercanos al 10%, a la vez, en las pruebas 1 y 4 se obtuvieron errores del 81% y 54%. Finalmente, acorde a los resultados, el funcionamiento del sensor de caudal y de presión permiten la medición de datos cercanos a la realidad de operación del motor analizado, por lo que se recomienda elaborar un proceso de check-list, tanto para el motor Aveo 1,6 y el banco dinamométrico, para lograr una repetitividad y confiabilidad de las pruebas efectuadas.

**Palabras claves:** <BANCO DINAMOMÉTRICO>, <CONSUMO DE COMBUSTIBLE>, <MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA>, <SENSORES>, <CURVA CARACTERÍSTICA>

2010-DBRA-UTP-2022



## SUMMARY

This work focused on obtaining the fuel consumption curve of a Chevrolet Aveo 1.6L engine by collecting data with a flowmeter and a pressure sensor to assess the performance of the engine. For the development of the tests, the Aveo 1.6 L engine was used, coupled to the Borghi & Saveri dynamometric bench, model FA-200/30 SP, which operates under the eddy current or Foucault principle. For the measurement of the fuel flow, a sensor based on the Hall effect was used, usable in Arduino or C language programming supported by a fuel pressure gauge. The results obtained show when comparing the rotational speed and minimum consumption, as fixed reference points in the consumption curve of the Aveo 1.6 engine, the smallest data error is obtained in test 2, with a margin of error of 8.4% and 2% corresponding to the rotational speed and minimum fuel consumption, at the same time, the error results of test 3 stand out, with values of 9.2% and 11% respectively. The method applied to obtain the fuel consumption curve reached uneven error margins, in tests 2 and 3, errors close to 10% were obtained, at the same time, in tests 1 and 4 errors of 81% were obtained. and 54%. Finally, according to the results, the operation of the flow and pressure sensor allow the measurement of data close to the reality of the operation of the analyzed engine, for which it is recommended to develop a check-list process, both for the Aveo 1 engine, and the dynamometric bench, to achieve repeatability and reliability of the tests carried out.

**Keywords:** <BENCH DYNAMOMETRIC>, <FUEL CONSUMPTION>, <INTERNAL COMBUSTION ENGINE>, <SENSORS>, <CHARACTERISTIC CURVE>



Lic. Luis Francisco Mantilla Cabrera Mgs.

CI:0603747809

## INTRODUCCIÓN

El presente trabajo está orientado a obtener la curva de consumo de combustible del motor Aveo 1,6L utilizando el banco de pruebas dinamométrico disponible en el laboratorio de “Motores de Combustión Interna” de la ESPOCH, el empleo de estos equipos permite a los estudiantes de la Carrera de Ingeniería Automotriz, la medición de los parámetros de operación del motor de combustión interna ensamblado al banco de pruebas.

Como cualquier otra tecnología, los bancos dinamométricos surgen mediante la necesidad de cuantificar la potencia que genera la máquina, dichos bancos eran caros y poco exactos en sus mediciones, al comienzo los bancos dinamométricos realmente no fueron creados para realizar pruebas a los vehículos, si no, eran máquinas adaptadas para realizar dicha función (Balladares y Saeteros, (2016, p. 15).

Para mejorar la toma de datos en los bancos dinamométricos, se deben incorporar a estos, sensores o medidores que no se incluyen como partes originales, por lo que se cubren las necesidades que requiere el usuario y se incrementa la eficiencia del sistema de control.

Este trabajo utiliza un medidor de caudal y un sensor de presión, para cuantificar el consumo de combustible, utilizando la señal del sensor de caudal, se envía la información a la tarjeta de adquisición de datos NI USB 6009, a través de la programación en el entorno Labview, cuantifica las variables del motor Aveo 1,6 l, obteniendo los datos de potencia, torque y consumo de combustible, estos datos, se visualizan en una tabla de datos, para graficar las variables. Los datos obtenidos son comparados con la referencia del fabricante para validar la información recopilada.

# CAPÍTULO I

## 1 MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

### 1.1 Antecedentes

Acorde al trabajo de Palomo y Pilataxi (2012, p. 45), titulado: “Diseño y construcción de un sistema de medición de consumo específico de combustible con la utilización de un software para la optimización del dinamómetro del Laboratorio de Motores”, tiene por objetivo graficar la curva de consumo de combustible para cualquier motor de combustión interna. El trabajo para el diseño e implementación del software y tarjeta de adquisición de datos utiliza la plataforma LabView, para la obtención de datos se utiliza el dinamómetro, se considera apropiado medir el tiempo en que se consume un determinado volumen de combustible a diferentes revoluciones del motor. Los resultados obtenidos se grafican directamente en el programa LabView.

Otro trabajo desarrollado, por Marín y Toro (2018, p. 26) titulado “Caracterización de las curvas de presión, par y potencia de un motor de combustión interna monocilíndrico bajo diferentes regímenes de operación” tuvo como objetivo caracterizar las curvas de presión, potencia, par y consumo de un motor monocilíndrico funcionando con gasolina extra y corriente bajo diferentes condiciones de velocidad y carga. Para el desarrollo del trabajo utiliza un enfoque cuantitativo, basado en técnicas estadísticas para la recopilación, organización, análisis y presentación de datos. Se estudian las diferentes técnicas de diseño de experimentos y se selecciona la más adecuada para la realización del proyecto de investigación. Se instrumenta el motor y se adquieren las señales necesarias para el análisis requerido. Las gráficas del motor se obtienen con el tratamiento de datos con base a los procesos estadísticos y matemáticos.

### 1.2 Planteamiento del problema

Al momento de adquirir un vehículo el cliente tiene en consideración varias características y una de las más comunes es que el vehículo brinde un gran rendimiento con poco combustible dependiendo de las necesidades. Cada fabricante automotriz desea satisfacer las demandas de los usuarios es por ello que la competencia laboral entre ellas aumenta y por lo tanto ofrecerán un vehículo óptimo y rentable a la hora de conducir.

El análisis del comportamiento de un motor es fundamental para saber si cumple con las necesidades del cliente y principalmente que cumpla con las normas reguladoras de seguridad y cuidado del medio ambiente.

### **1.3 Justificación y actualidad**

En la sociedad actual el contar con un automóvil que satisfaga las necesidades funcionales como el sistema de alimentación de combustible que mejora y ha sido revolucionado hasta llegar a la inyección en lugar de carburador, es una tecnología que asegura un correcto funcionamiento, reduciendo la cantidad de visitas a talleres mecánicos y para las empresas se reduce el consumo de combustible. Por lo que, al realizar el presente estudio, se beneficia tanto el consumidor a pequeña como a gran escala. Es así que menor consumo de derivados de petróleo, induce un menor impacto ambiental por la presencia de gases de efecto invernadero.

Este proyecto servirá como una herramienta didáctica para poder aprender y entender cómo es el funcionamiento del motor de combustión interna y cómo se comporta el sistema de alimentación dentro de él, de una manera que se asemeja a la realidad, este análisis se lo realizara con la ayuda de un dinamómetro.

### **1.4 Objetivos**

#### ***1.4.1 Objetivo general***

Obtener la curva de consumo de un motor Chevrolet Aveo 1.6L mediante una recolección de datos desde un caudalímetro y un sensor de presión con el fin de apreciar el desempeño del motor.

#### ***1.4.2 Objetivos específicos***

- Analizar fuentes bibliográficas que ayuden a entender el método adecuado para la obtención de la curva de consumo.
- Poner a punto y realizar un mantenimiento del motor Chevrolet Aveo 1.6L para que tenga un óptimo funcionamiento al momento recolectar los datos necesarios.
- Montar el motor en el dinamómetro con motor Borghi y Saveri modelo FA 200 SP ubicado en los talleres de la Facultad de Mecánica para obtener la curva de consumo.
- Aplicar el método de obtención de datos para visualizar la curva de consumo, con base en el funcionamiento de un caudalímetro y un sensor de presión.
- Deducir el método más apropiado para obtener la curva de consumo.

## 1.5 Hipótesis

H1: Realizar un análisis comparativo entre los métodos de obtención de la curva de consumo por caudalímetro y por sensor de presión, los datos obtenidos serán semejantes a la realidad del desempeño del motor.

## 1.6 Estado del arte

### 1.6.1 Banco dinamométrico

Para el estudio experimental de los motores de combustión interna, se hace necesario encontrar las características de operación acorde a la aplicación o para la mejora de los parámetros establecidos. El banco dinamométrico es el equipo apropiado para el análisis de la operación de cualquier motor de combustión interna. En el año de 1821, se inventó el freno de Prony, bajo cuyo principio de accionamiento operan los dinamómetros actuales (González, 2015, p. 25).

En la figura 1-1, se identifica el banco dinamométrico disponible en la Facultad de Ingeniería de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), que permite la obtención de datos, tales como, torque, potencia, régimen de giro y consumo de combustible.

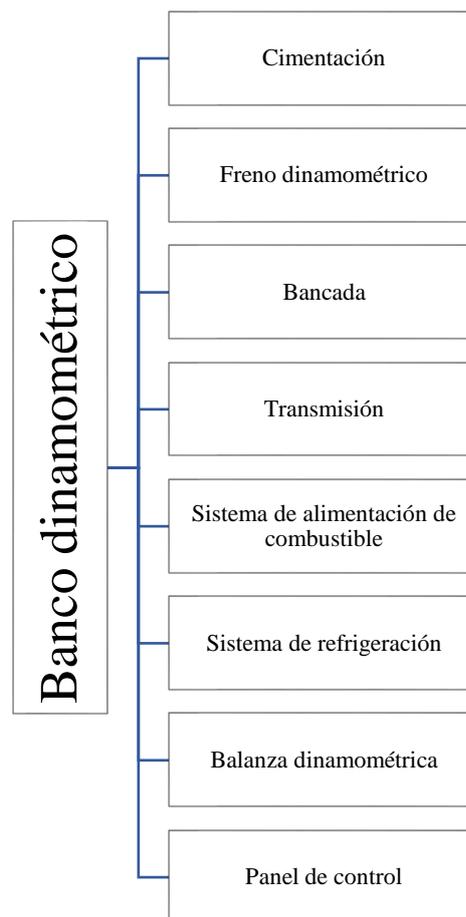


**Figura 1-1:** Banco de pruebas Borghi y Saveri FA-200

Fuente: Balladares y Saeteros (2016)

### 1.6.2 Partes fundamentales del banco

Los componentes de un banco dinamométrico varían acorde al tipo y modelo. Cada tipo de dinamómetro emplea un principio de operación diferente, acorde a la necesidad y la tecnología incorporada. En el caso del banco de pruebas de la ESPOCH, corresponde a la marca Borghi & Saveri, modelo FA-200/30 SP, cuyos componentes se enumeran en la figura 2-1.



**Figura 2-1:** Partes del banco de prueba dinamométrico

**Fuente:** Balladares y Saeteros (2016,)

La operación del banco se controla con el panel que dispone de los diferentes indicadores de operación cuando se efectúan las pruebas del motor de combustión interna, este sistema opera con corriente continua gracias al transformador incorporado en el panel, en la figura 3-1 se observa dichos controles.



**Figura 3-1:** Panel de control del banco de pruebas

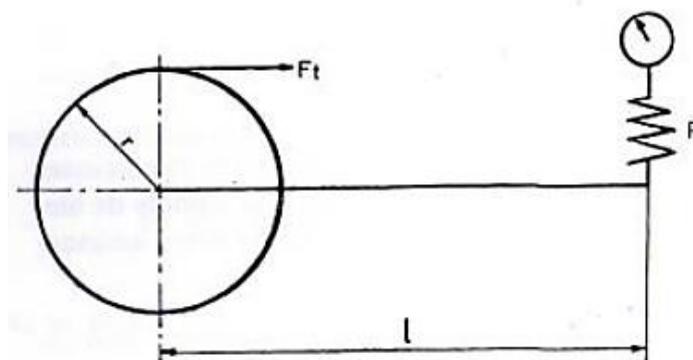
**Fuente:** Balladares y Saeteros (2016.)

### ***1.6.3 Parámetros principales del motor de combustión interna (MCI)***

Existen muchas propiedades que describen las características de un motor de combustión interna, tanto para su desempeño como su eficiencia. Los tres parámetros principales del MCI son: torque, potencia y consumo de combustible.

#### ***1.6.3.1 Potencia***

En un motor, la potencia indica la capacidad que tiene para realizar la fuerza con el par motor en un tiempo determinado, además representa la rapidez con que el motor trabaja, es decir, lo rápido que un motor puede aplicar un torque (Chancusi et al., 2013, p. 32). En el caso de la potencia efectiva, es un tipo de potencia que se desarrollada al quemar combustible internamente en el cilindro. Así también, se entiende como la potencia creada del torque actuante en el eje del cigüeñal, en la figura 4-1, se identifica la forma de medición.



**Figura 4-1:** Diagrama explicativo de la medición

**Fuente:** Díaz (1987)

Donde:

$r$  = Radio de la rueda aplicada al ciñegal [m]

$P$  = Fuerza [kgf]

$l$  = Longitud del brazo [m]

$F_t$  = Fuerza tangencial [kgf]

Si se toma un punto en la rueda y que cumpla un recorrido  $2\pi r$ , el trabajo de la fuerza tangencial será:

$$W_t = 2\pi r \cdot F_t \quad (1)$$

Donde se tiene que el producto entre ( $F_t \cdot r$ ) representa el toque desarrollado por el motor, que es el mismo que el momento resistente ( $P \cdot l$ ) producido por el banco dinamómetro.

Por tal motivo, el trabajo absorbido por el freno, se calcula con la ecuación:

$$r \cdot F_t = Pl \quad (2)$$

Por lo tanto, la potencia efectiva se expresará de la siguiente manera.

$$N_e = 2\pi l \cdot P \cdot n \quad (3)$$

Donde:

$n$  = régimen de giro del motor [r.p.m.]

$l$  = longitud [m]

$P$  = potencia [kgf]

#### 1.6.3.2 Torque

En un motor, no es más que la fuerza que se crea, cuando este, gira alrededor de un eje, es decir cuando realiza un trabajo. Este parámetro constituye esencial en el cambio de carga del motor (Balladares, et al., 2016.). Matemáticamente, esta relación se representa en la ecuación 4:

$$M = P \cdot d \quad (4)$$

Donde:

M = Torque [kgf.m]

P = Fuerza [kgf]

d = Distancia [m]

### 1.6.3.3 Consumo específico del combustible

El rendimiento del motor de combustión directa es proporcionalmente inverso al consumo específico del combustible, por tanto, a menor consumo del combustible, se tendrá un mayor rendimiento, este efecto influye en la reducción de las emisiones contaminantes gaseosas del motor vinculado a la combustión dentro del motor. Acorde a Díaz, se define como “la cantidad de combustible que se necesita suministrar al motor, para obtener una potencia en un determinado tiempo” (Díaz, 1987, p. 59).

El consumo de combustible, se puede expresar acorde a la ecuación 5.

$$C_s = 3,6 \frac{V_f \cdot \rho_b}{t} \quad (5)$$

Donde:

C<sub>t</sub> = Consumo de combustible [kg/h]

V<sub>f</sub> = Volumen del combustible [cm<sup>3</sup>]

t = Tiempo [s]

P<sub>b</sub> = Peso específico del combustible [g/ cm<sup>3</sup>]

El consumo estará dado por:

$$C_s = \frac{C_t}{N_e}$$

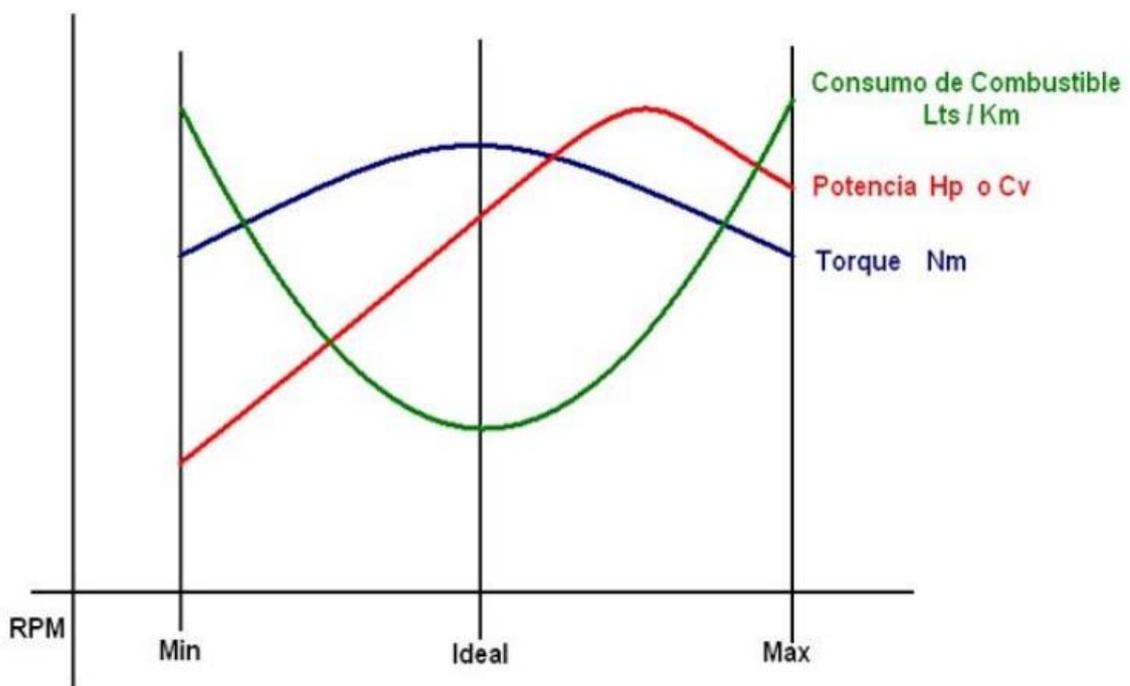
$$C_s = 3,6 \frac{V_f \cdot \rho_b}{t} \quad (7)$$

Los valores promedios de consumo específicos para motores Otto son de 280 a 320 g/kWh y motores Diésel de 180 a 280 g/kWh. El consumo de combustible varía en función del régimen de

giro del motor, siendo necesario, vencer la resistencia aerodinámica con el cuadrado de la velocidad.

#### 1.6.4 Curvas características del motor de combustión interna

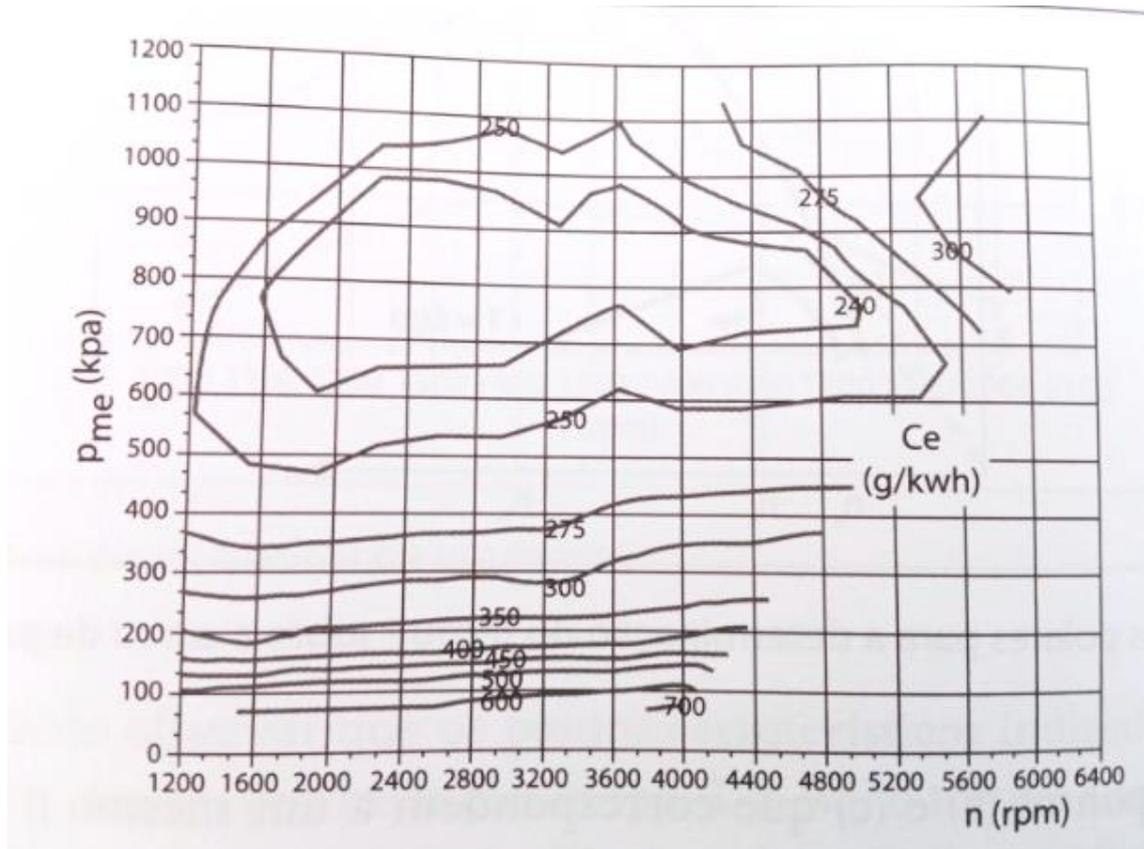
Los parámetros del motor se representan en función de sus condiciones de funcionamiento, para la visualización de la variación de los parámetros se construyen las curvas características a partir de pruebas efectuadas en bancos dinamométricos. En el gráfico 1-1, se visualiza las curvas obtenidas en motores en plena carga de potencia, torque y consumo en función del régimen de giro del MCI.



**Gráfico 1-1:** Curvas características del MCI

Fuente: Payri y Desantes (2011)

En el caso de las curvas de consumo de combustible, se recurre a agrupar la información de los diferentes ensayos de consumo de combustible en un único gráfico que se denomina como mapeo del motor (Yolanda et al, 2014, p. 34), como se examina en el gráfico 2-1. El compendio de la información en un solo gráfico, permite entender el consumo de combustible con la variación del régimen de giro del motor bajo condiciones de operación diferente.



**Gráfico 2-1:** Curva de consumo de combustible

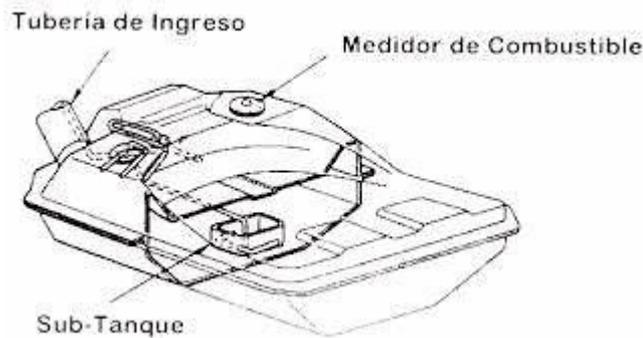
Fuente: Zhao (2009)

## 1.7 Circuito de alimentación de combustible

Este circuito permite el suministro de combustible en un vehículo a gasolina, se considera un circuito de baja presión, se mantiene estable la presión con valor que oscila entre 35 y 60 psi (Bauset et al, 2002, p. 35). Los componentes del circuito de alimentación de combustible es similar en los diferentes modelos de vehículos a gasolina.

### 1.7.1 Depósito de combustible

Constituye la reserva de combustible para el funcionamiento del vehículo. El depósito se conforma de una boca de llenado, un respiradero, un mecanismo para la medición de nivel y las conexiones de salida y retorno del combustible (Perez, 2011, p. 73). Acorde a las normativas actuales el respiradero está conectado a un componente denominado cánister, para el almacenamiento de los vapores de combustible, lo que impide la contaminación producto de la evaporación de combustible. En la figura 5-1, se describe este componente.

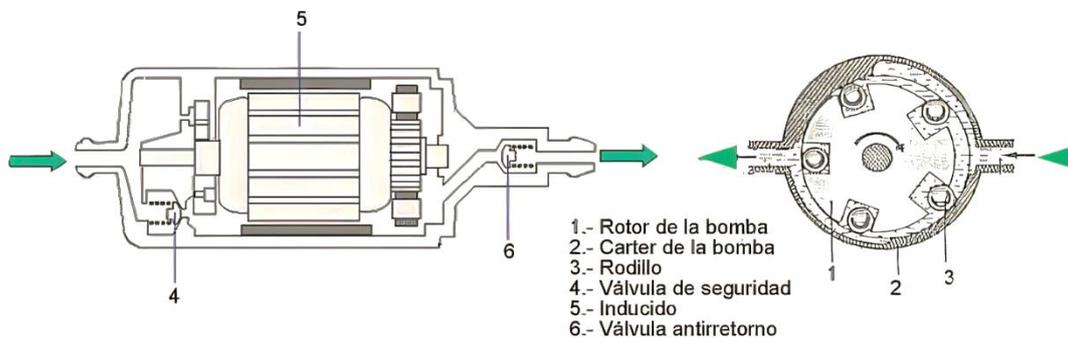


**Figura 5-1:** Configuración de tanque de combustible

Fuente: Bosch (2010)

### 1.7.2 *Electrobomba*

Este componente, permite el movimiento de combustible desde el depósito hacia los inyectores, su funcionamiento se da por un relé gobernado por la unidad de control. Es así que, el caudal de la electrobomba oscila entre los 60 a 200 l/h, a una presión entre 2 y 3,5 bares (Domínguez, 2011 p. 75). Existen diversos tipos de electrobombas acorde a la necesidad de la operación del circuito de alimentación. En la figura 6-1, se detalla los elementos de una electrobomba.

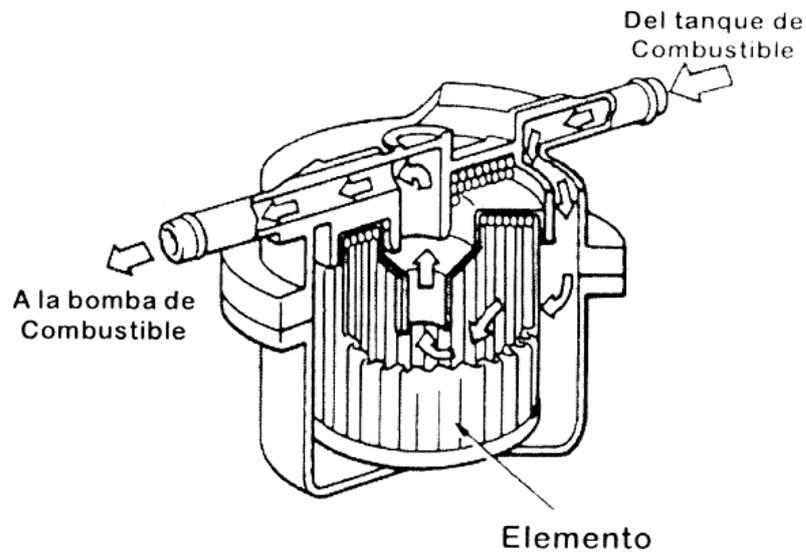


**Figura 6-1:** Electro bomba de tanque de combustible

Fuente: Bosch (2010)

### 1.7.3 *Filtro de combustible*

Este elemento se elabora a base de papel filtrante, que permite filtrar posibles contaminantes en el circuito de alimentación de combustible. Generalmente se ubica una flecha que indica la posición de montaje del filtro en el circuito (Alonso, 2018, p. 83). Las dimensiones del filtro, se determinan en función del caudal y tamaño del depósito de combustible. En la figura 1-9, se identifica el filtro de combustible.



**Figura 7-1:** Configuración del filtro de combustible

Fuente: Bosch (2010)

#### 1.7.4 Regulador de presión

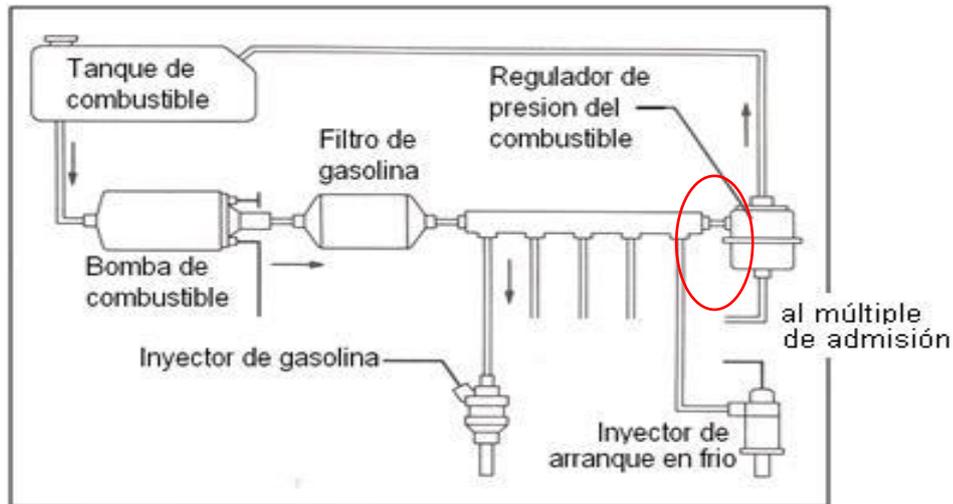
Este componente, permite conservar la presión del circuito de alimentación en el valor fijado acorde al diseño del vehículo, generalmente se ubica junto al riel de inyectores (Antamba, 2018, p. 12). En la figura 8-1, se expone el regulador de presión para un circuito a gasolina.



**Figura 8-1:** Apariencia del regulador de presión

Fuente: Bauset et al. (2002)

En la figura 9-1, se indica la ubicación del regulador en el circuito de alimentación de combustible. Este mecanismo asegura la presión constante al encender el vehículo.



**Figura 9-1:** Ubicación del regulador en un circuito de alimentación de combustible

Fuente: Bosch (2010)

### 1.7.5 Riel de inyectores

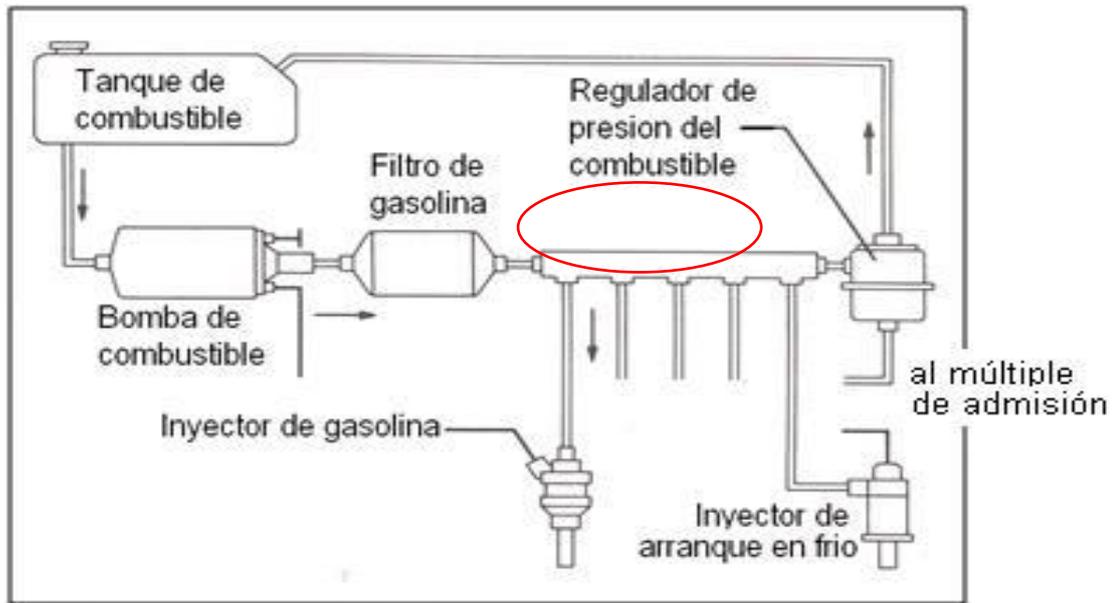
Este componente, es un mecanismo de tuberías de sección cuadrada o circular, fabricada en materiales, tales como aluminio o acero, cuya parte interna aloja el combustible que se suministra a los inyectores del circuito. En la figura 10-1, se identifica la riel y los inyectores.



**Figura 10-1:** Apariencia del riel de inyectores

Fuente: Payri et al. (2018)

En la figura 11-1, se muestra la ubicación del riel de inyectores en el habitáculo del motor. Actualmente, la ubicación del riel es compleja, en muchos casos dificulta los procesos de mantenimiento, por ello, la ubicación varía acorde al tipo de inyección de combustible.

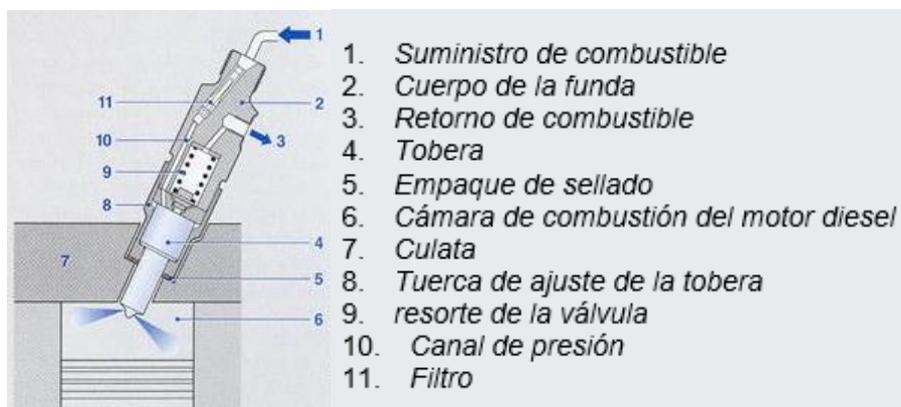


**Figura 11-1:** Ubicación del riel de inyectores en un circuito de alimentación del combustible

Fuente: Pérez (2011)

### 1.7.6 Inyectores

Este elemento permite inyectar el combustible a presión y pulverizado en el colector de admisión (González, (2015, p. 57). La abertura del inyector obedece a la señal enviada por la unidad de control, el principio de accionamiento es electromagnético, sea por una bobina o solenoide. Los inyectores se ubican acorde al tipo de inyección, número de válvulas y características del colector de admisión, el chorro inyectado de combustible, tiene un ángulo de cono que favorezca la homogeneidad y vaporización en el colector lo que facilita su posterior combustión (Perez, 2011, p. 73). En la figura 12-1, se enlista los componentes de un inyector de gasolina.



**Figura 12-1:** Inyector de gasolina

Fuente: Pérez (2011)

## 1.8 Etapas de funcionamiento del sistema de inyección indirecta de combustible

En un sistema de inyección indirecta el motor a gasolina presenta diferentes etapas de funcionamiento, cada modelo de vehículo tiene particularidades para efectuar la inyección de combustible. Las etapas de funcionamiento obedecen al régimen de giro, carga del motor y la mezcla aire-combustible.

### 1.8.1 *Ralentí*

Esta etapa de operación, permite compensar desajustes leves en el régimen de giro, así como, alteraciones causadas por el envejecimiento del motor, al comparar el régimen de giro real con el régimen teórico grabado en la memoria de la unidad de control del vehículo (Pérez, 2011, p. 73). En la figura 13-1, se identifica un actuador de ralentí.

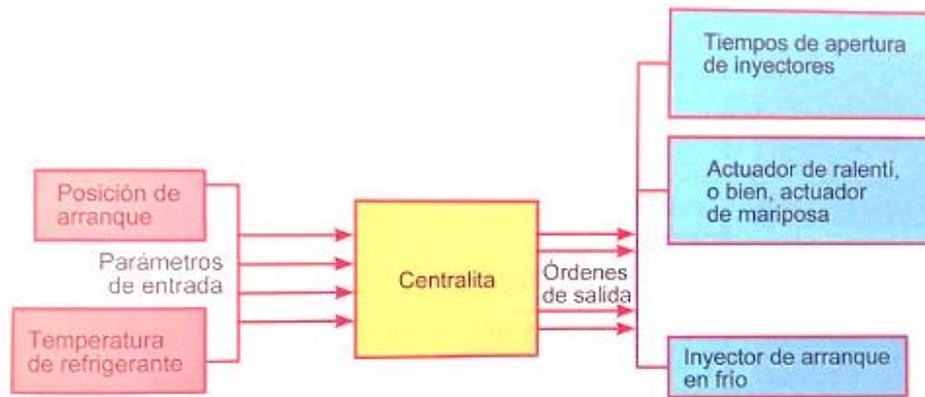


**Figura 13-1:** Actuador de ralentí

Fuente: Pérez (2011)

### 1.8.2 *Arranque en frío*

En esta condición, los inyectores modifican su abertura, para aumentar la aportación de combustible y disminuir el tiempo de arranque del motor. Esta operación se produce cuando el vehículo arranque luego de varias horas sin operar. En la figura 14-1, se explica el proceso de arranque en frío.

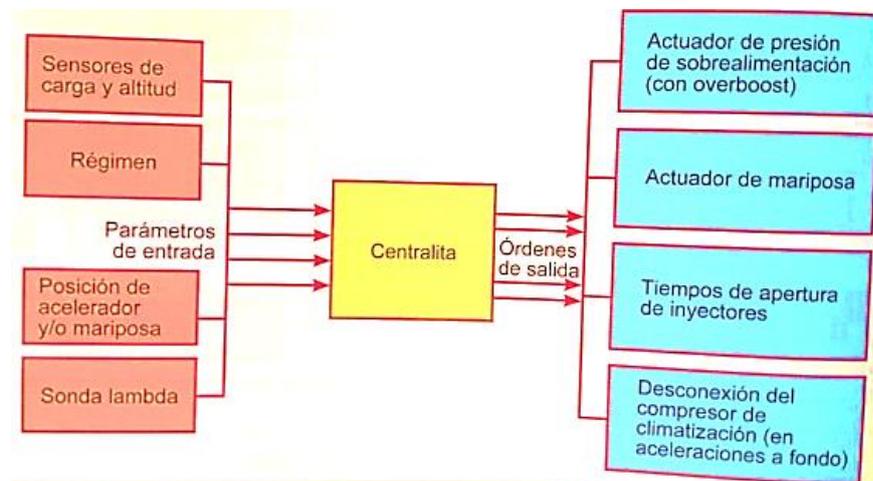


**Figura 14-1:** Esquema de funcionamiento del arranque de frío

Fuente: González (2015)

### 1.8.3 Aceleración

Para esta etapa, se combina las señales del sensor de carga y posición de la mariposa y/o aceleración, lo que facilita a la unidad de control del vehículo, identificar la fase de operación del motor, logrando el enriquecimiento de la mezcla aire – combustible. En la figura 15-1, se explica la etapa de aceleración.

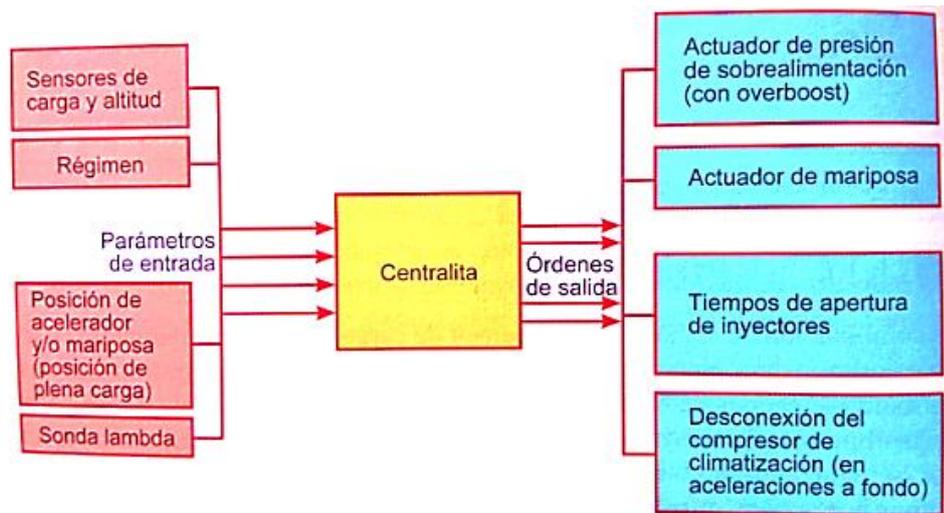


**Figura 15-1:** Esquema de la aceleración

Fuente: González (2015)

### 1.8.4 Plena carga

Para esta condición de operación, se requiere la activación del acelerador con más del 85% de su accionamiento, en este caso, se procede a prolongar el tiempo de apertura de los inyectores, lo que enriquece la mezcla aire combustible (González, 2015, p. 150). En la figura 16-1, se detalla el funcionamiento de la etapa a plena carga.

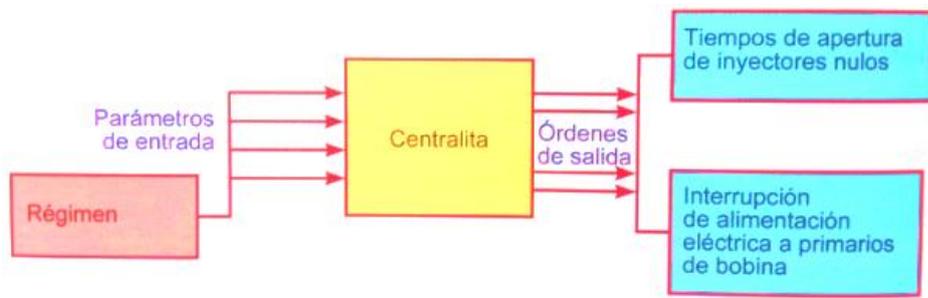


**Figura 16-1:** Esquema de funcionamiento de plena carga

Fuente: González (2015)

### 1.8.5 Corte de inyección

Constituye una medida de protección para el motor de combustión interna, que interrumpe el suministro de combustible cuando el motor alcanza un régimen de giro establecido por el fabricante (González, 2015, p. 151). Esta etapa previene daños prematuros en el motor producto del sobrecalentamiento. En la figura 17-1, se detalla el esquema de operación del corte de inyección.



**Figura 17-1:** Esquema de funcionamiento del corte de inyección

Fuente: González (2015)

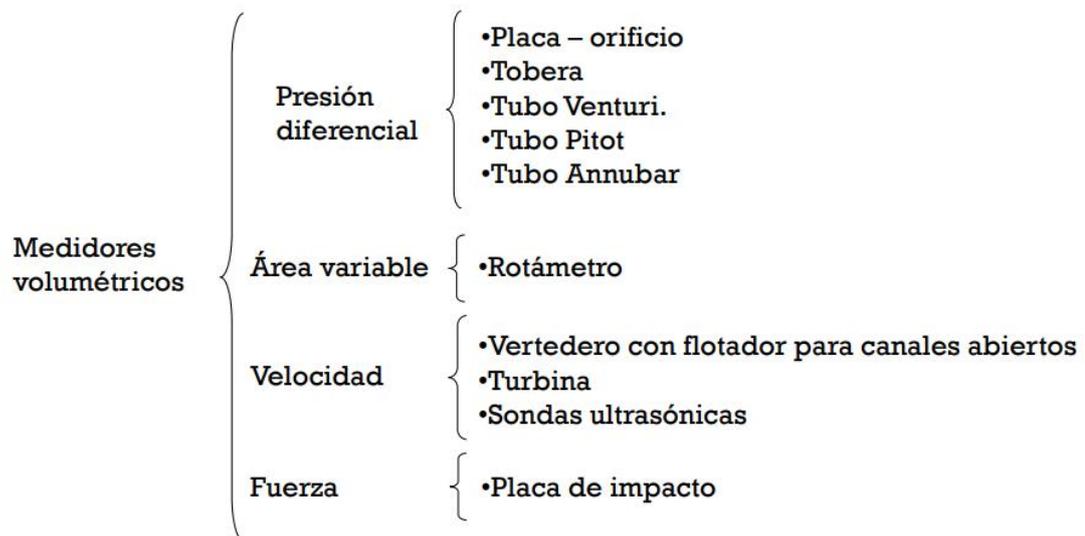
## 1.9 Sensores

Un sensor es un elemento que permite recibir una variable física y convertirla en una señal eléctrica acorde a los requerimientos del sistema o del usuario (Alonso, 2018, p. 34). Para la operación de un vehículo se requiere de una gran cantidad de sensores que reciben información y lo envían a la unidad de control, para el accionamiento de los actuadores que funcionan dentro del vehículo.

Las normativas de emisiones contaminantes han impulsado los cambios en los sistemas de inyección de combustible, influyendo en los cambios tecnológicos y avances electrónicos para el cumplimiento del nivel máximo de emisiones contaminantes (Payri et al., 2018, p. 25). En la actualidad, los vehículos que circulan en el ámbito europeo, cumplen los parámetros de la normativa Euro 6, en vigor desde septiembre de 2015.

### 1.9.1 Sensores de medición de flujo o caudal

Los sensores de caudal, permiten medir y monitorizar el caudal de los fluidos en diversas aplicaciones, por ejemplo, para medir el paso de combustible en el vehículo. Los sensores de caudal usan diferentes principios de medición. En la figura 18-20, se evidencia los tipos de medidores de caudal acorde al principio físico.



**Figura 18-1:** Tipos de medidores de caudal

Fuente: Echeverría (2018)

## CAPÍTULO II

### 2 MARCO METODOLÓGICO

#### 2.1 Tipo de investigación

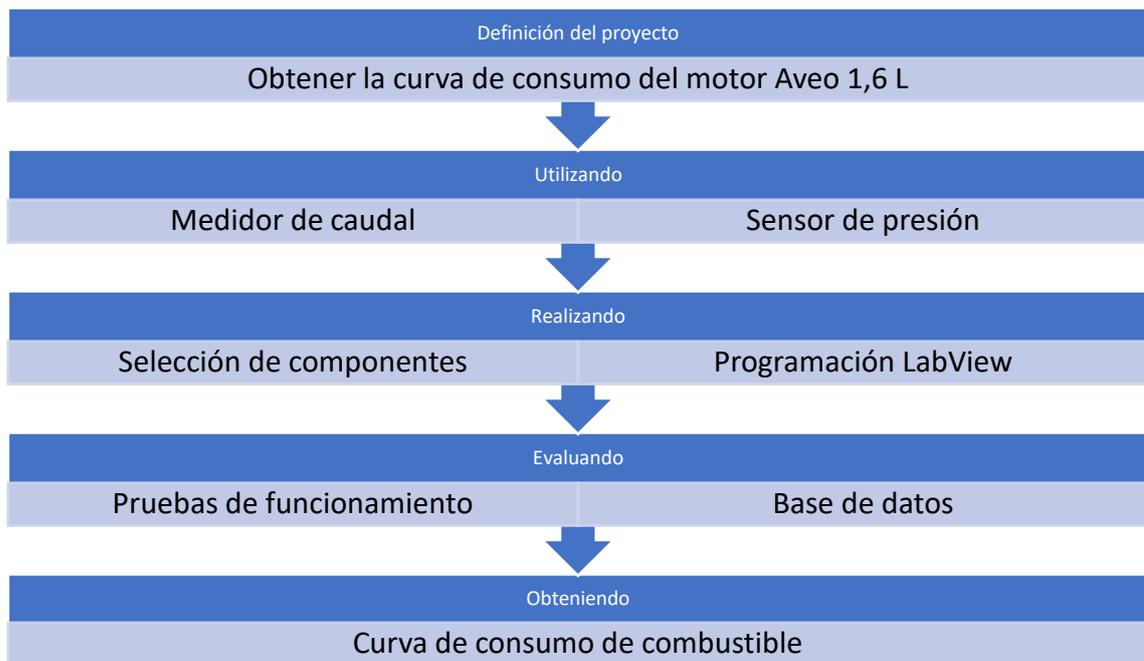
El proceso de investigación para el desarrollo de la curva de consumo de combustible del motor Aveo 1,6 l, es una investigación experimental porque se inducirá un cambio en el consumo por l que existe manipulación de la variable dependiente. Para obtener la información operativa del motor, se operó en el banco dinamométrico, alcanzándose a establecer las variables de investigación para diagramar la curva de consumo de combustible.

#### 2.2 Métodos de investigación

Para la investigación, se empleó un enfoque cuantitativo, para la recolección y análisis de datos del motor Aveo 1,6 L, además, se utilizó el método deductivo, el método comparativo y el método del análisis y síntesis. La combinación de los métodos de investigación permitió el desarrollo del proceso de investigación acorde a los objetivos planteados del proyecto.

#### 2.3 Proceso de investigación

Por medio de los métodos de investigación indicados, se plantea el procedimiento descrito en la figura 1-2, para obtener la información requerida del motor y diagramar la curva de consumo de combustible. Para la medición del caudal de combustible, se requiere la incorporación de un dispositivo apropiado, en el circuito de combustible del motor Aveo 1,6 L.



**Figura 1-2:** Proceso de investigación para la curva de consumo de combustible

Realizado por: León, A., 2022

## 2.4 Equipos y materiales

### 2.4.1 Motor de pruebas

Para el desarrollo de la curva de consumo de combustible, se utilizó el motor Aveo 1,6 L, las características del motor, se especifica en la tabla 1-2. Este motor está disponible en el Laboratorio de la Carrera de Ingeniería Automotriz de la ESPOCH.

**Tabla 1-2:** Características técnicas. Motor Aveo 1,6 L

Marca	Modelo	Año de modelo	Cilindraje	Sistema de inyección
Chevrolet	Aveo	2014	1600 cc	Multipunto Inyección Indirecta

Fuente: Chevrolet (2012)

Realizado por: León, A., 2022

En la figura 2-2, se identifica el motor Aveo, disponible en el Laboratorio correspondiente. Este motor se montó en el banco dinamométrico, antes de las pruebas descritas, el motor pasó un proceso previo de mantenimiento, que aseguró las condiciones operativas.



**Figura 2-2:** Motor de prueba. Aveo 1,6 L en mantenimiento

Realizado por: León, A., 2022

#### 2.4.2 Banco de pruebas. Dinamómetro

El banco dinamométrico disponible de la marca Borghi & Saveri, modelo FA-200/30 SP, opera bajo el principio de corrientes parásitas o de Foucault. Este principio es muy común, a la vez, es eficaz para una rápida manipulación. El mecanismo de freno del dinamómetro permite evaluar al motor a la carga apropiada y el máximo rendimiento (Chancusi, et al., 2013, p. 56). En la tabla 2-2, se identifica las características del banco dinamométrico.

**Tabla 2-2:** Características del dinamómetro

Característica	Referencia
Marca	Borghi & Saveri
Modelo	FA-200/30 SP
Refrigeración	Agua
Tipo de freno	Hidráulico
Tipo de aceite	Aceite hidráulico SAE 100

Realizado por: León, A., 2022

En la figura 3-2, se identifica el banco dinamométrico instalado en el laboratorio de la ESPOCH.



**Figura 3-2:** Banco dinamométrico

Realizado por: León, A., 2022

## 2.5 Selección de componentes

### 2.5.1 Medidor de caudal

Para la medición del caudal de combustible, se utilizará un sensor tipo electrónico con turbina, basado en efecto Hall, utilizable en Arduino o programación en lenguaje C. En este mecanismo, “el líquido circula a través del cuerpo del medidor de flujo haciendo girar la turbina o hélice que tiene dentro, a mayor flujo más rápido giran las aspas de la turbina” (Bosch, 2010, p. 24). Un imán situado en la turbina crea un pulso positivo cada vez que cruza por el sensor de efecto Hall. En la figura 4-2 se identifica el tipo de sensor.



**Figura 4-2:** Sensor de caudal de efecto Hall

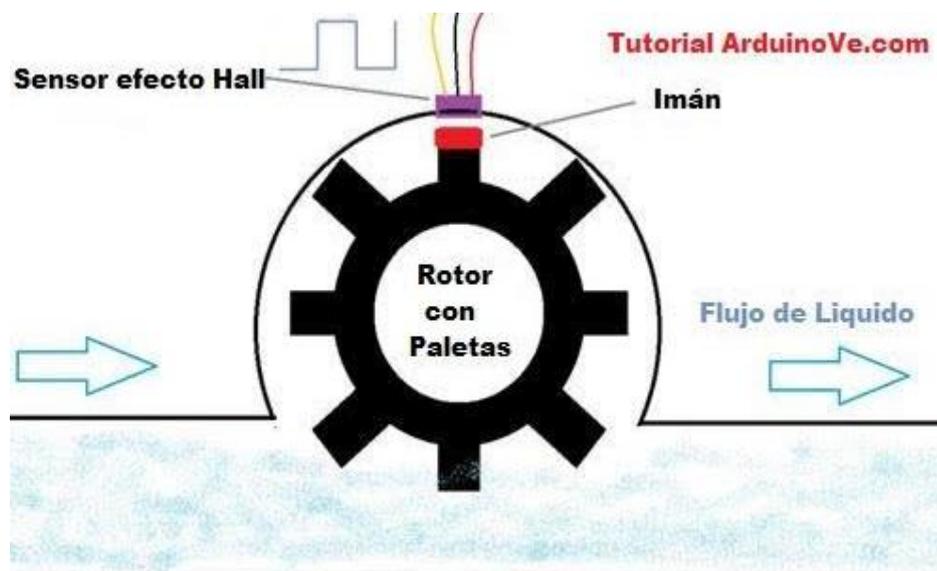
Fuente: Arduino (2021)

Las características del sensor de flujo Marca Sea Modelo YP-S402, utilizado en el proyecto son los siguientes:

- Rango de monitoreo del sensor de flujo es de 0,3 a 6 litros
- La precisión es 3%
- El modo de cableado es rojo +, negro -, salida de señal amarilla (señal de pulso NPN)
- La presión es 0,35 MPa
- Voltaje de trabajo el rango es 5~24V (corriente directa DC)
- La resistencia de aislamiento es de 100 MΩ
- La precisión es de 0,15 - 3 l/min  $\pm$  2%.
- Características del pulso de flujo:  $f = (73 * Q) \pm 2\%$  ( $Q = l / \text{min}$ )
- Pulso de salida de alto nivel:  $> 4.7V$  DC (voltaje de entrada 5V DC).
- Ciclo de trabajo del pulso de salida: 50%  $\pm$ 10%.

### 2.5.2 Componentes del sensor de caudal

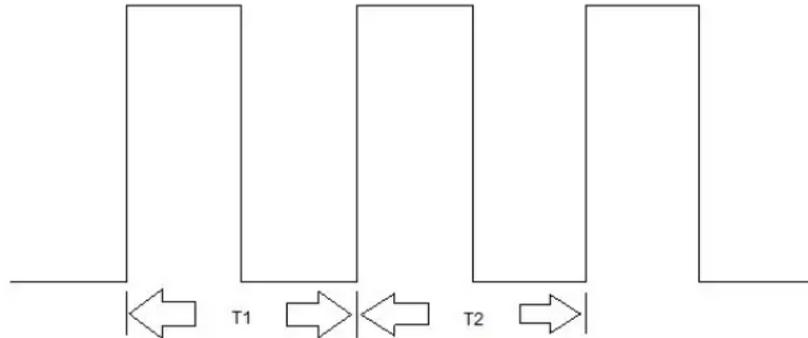
En la figura 5-2, se identifican los componentes del sensor de efecto Hall, utilizado en el trabajo para la medición del caudal de combustible. La medición del caudal se efectúa al completar el giro de rotor de paletas con la paleta del imán y el sensor receptor.



**Figura 5-2:** Componentes del sensor de caudal de efecto Hall

Fuente: Arduino (2021)

El trabajo del sensor se identifica con el ciclo de trabajo, acorde a la información del sensor, el ciclo de trabajo es del 50%. En la figura 6-2, se observa el ciclo de trabajo del sensor, cuya señal es digital. El tipo de señal emitido es periódico, es decir, los pulsos se repiten a intervalos de tiempo fijo, a estos intervalos se les denomina periodo (s). “Al momento que una señal digital cambia de un estado bajo a un estado alto, se le conoce como un impulso positivo. En el caso contrario, se le conoce como un impulso negativo” (Bosch, 2010, p. 35).



**Figura 6-2:** Ciclo de trabajo del sensor efecto Hall

Fuente: Arduino (2021)

### 2.5.3 Sensor de presión

Para realizar el control de presión en la línea de combustible, se pueden utilizar diferentes equipos. El sistema de combustible del motor Aveo, es una línea de baja presión, que mantiene constante la presión a lo largo de la operación del mismo, permite mínimas caídas de presión acorde al cambio brusco el régimen de giro del motor. Por ello, se utiliza el equipo medidor de presión de inyección de combustible con manómetro de 0-140 PSI, como se muestra en la figura 7-2.



**Figura 7-2:** Sensor de presión

Realizado por: León, A. 2022

## 2.6 Proceso de comunicación del sensor y el sistema de control

El proceso de recolección de información es viable por la conexión del sensor de caudal en la línea de combustible y la conexión de los pines correspondientes a la tarjeta de adquisición de datos NI USB 6009. En la figura 8-2, se identifica la tarjeta correspondiente.



**Figura 19-2:** Tarjeta de adquisición de datos NI USB 6009 del dinamómetro  
Realizado por: León, A., 2022

El dispositivo para la obtención de los datos de caudal, se debe instalar en la línea de combustible del motor, el proceso de la información se detalla en la figura 9-2.

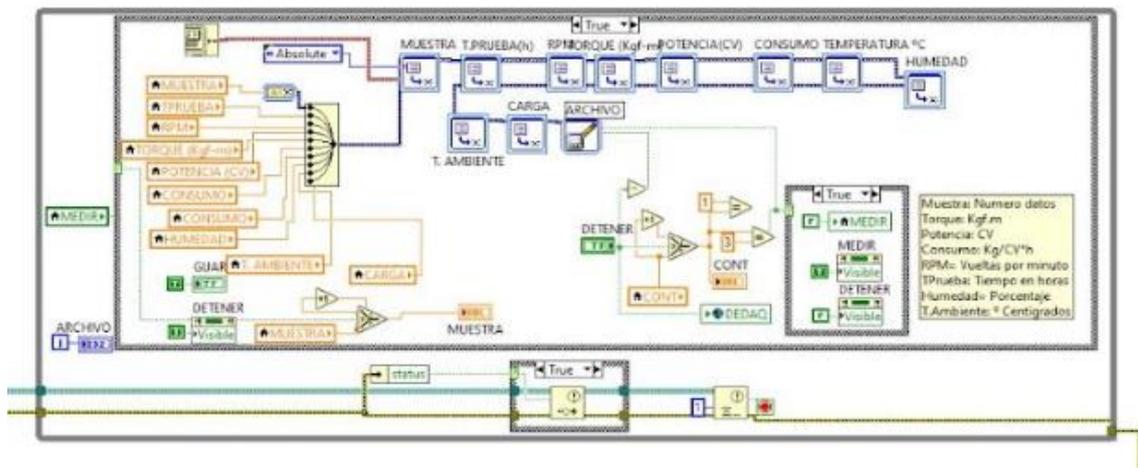


**Figura 20-2:** Proceso de recolección y almacenamiento de la información

Realizado por: León, A., 2022

## 2.7 Proceso de programación

Para procesar la información del sensor hacia la tarjeta y visualizar la información del consumo de combustible, se utiliza la interfaz gráfica del entorno del programa LabView. Este programa permite el procesamiento, visualización y control de las señales emitidas por los sensores hacia la tarjeta de datos, a la vez, permite una fácil integración con hardware, específicamente con tarjeta de medición, adquisición y procesamiento de datos (incluyendo adquisición de imágenes). También, está basado en la programación modular, lo que permite crear tareas muy complicadas a partir de módulos o submódulos mucho más sencillos, lo que facilita una programación rápida y productiva. En la figura 10-2, se identifica el bloque de programación para la obtención de los parámetros de operación del motor Aveo. En el Anexo 1, se muestran todos los bloques de programación para la operación y obtención de datos en el dinamómetro del laboratorio.



**Figura 10-2:** Módulo de programación en LabView

Realizado por: León, A., 2022

## 2.8 Tratamiento de información

Para analizar la información se efectuaron 4 pruebas de funcionamiento con el motor. Los datos recopilados se detallan en el anexo 3. El proceso de tratamiento de la información es el siguiente:

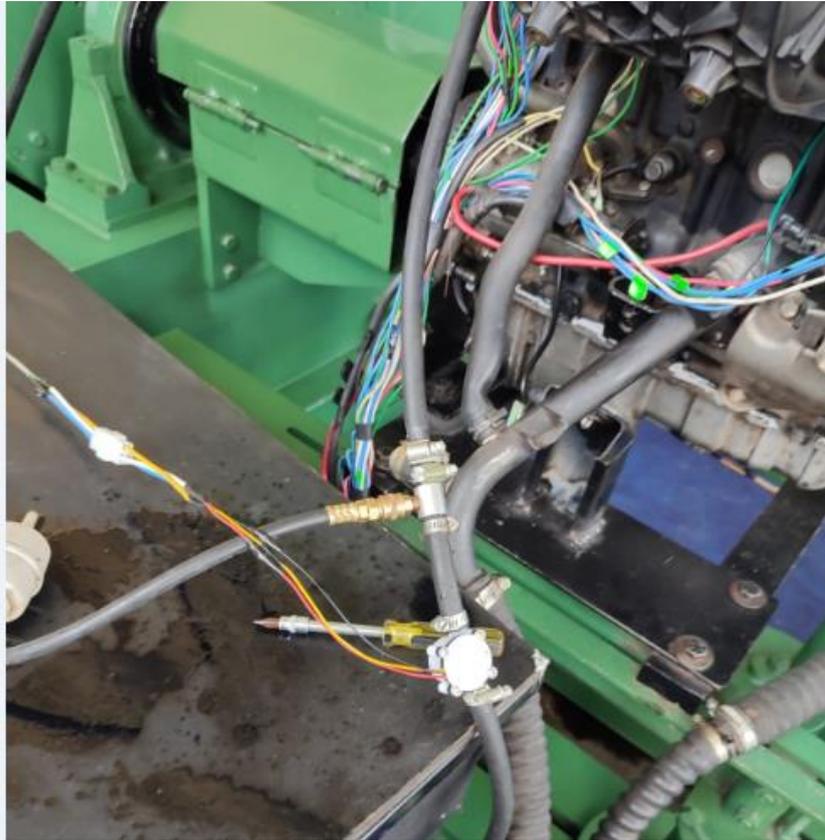
- Análisis estadístico de los datos de consumo de combustible y régimen de giro.
- Representación gráfica. Elaborar la curva de consumo para cada prueba.
- Aplicación del método de los mínimos cuadrados para obtener la curva de correlación de cada prueba.
- Comparar los resultados de la curva corregida.

## CAPÍTULO III

### 3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

#### 3.1 Instalación de sensores

Para el inicio de las operaciones del dinamómetro y el motor Aveo, se requiere una serie de revisiones del sistema de control. Para la operación del motor Aveo, se requirió la realización de trabajos de reparación y mantenimiento. En la figura 1-3, se visualiza la conexión del sensor en la línea de combustible, previo al sensor se ubica el tanque de alimentación del combustible.



**Figura 1-3:** Instalación de sensor de caudal de combustible

Realizado por: León, A., 2022

Para la regulación y control de la presión de combustible, se instala el manómetro de presión con los acoples necesarios en la línea de presión. En la figura 2-3, se identifica el medidor de presión.



**Figura 2-3:** Instalación de medidor de presión de combustible

Realizado por: León, A., 2022

En la tabla 1-3, se identifica las condiciones de los componentes antes del arranque de las pruebas de funcionamiento del motor Aveo acoplado al dinamómetro. Cada componente opera sin inconvenientes.

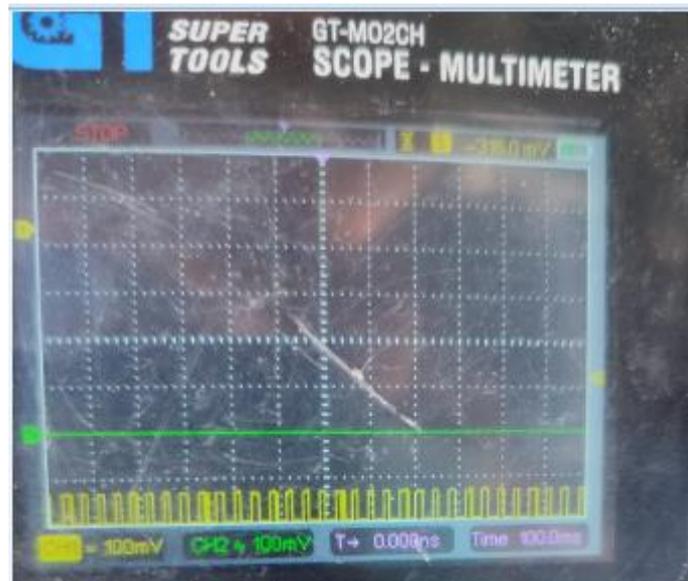
**Tabla 1-3:** Revisión de componentes

Componente	Estado	Observación
Banco dinamométrico	OK	Revisión de sensores y actualización de programación
Motor Aveo	OK	Proceso de mantenimiento para el motor
Sensor de caudal	OK	Acoplamiento, conexión y actualización en programación
Medidor de presión	OK	Acoplamiento sin fugas
Interfaz gráfica	OK	Actualización

Realizado por: León, A., 2022

### 3.2 Comprobación de sensores

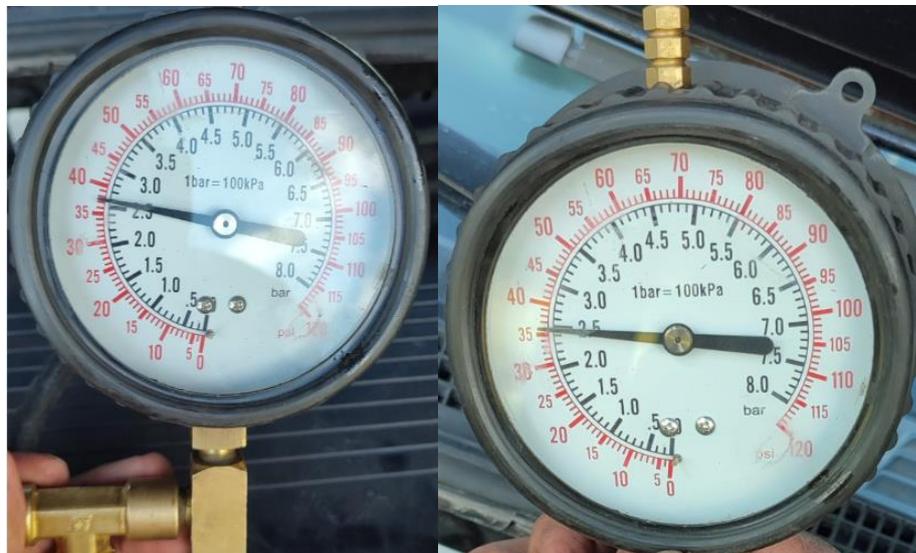
Para la comprobación del sensor de caudal, se utiliza un osciloscopio para la medición de frecuencia. En la figura 3-3, se identifica la variación de frecuencia al operar el sensor. En el anexo 2, se adjunta un registro fotográfico del proceso de medición de la frecuencia del sensor.



**Figura 3-3:** Medición de frecuencia del sensor de caudal

Realizado por: León, A., 2022

La operación del medidor de presión, se identifica al encender el motor Aveo, en la figura 4-3, se identifica el valor de presión al operar el circuito de combustible. Las conexiones son apropiadas ya que no se identifica ninguna fuga de combustible.



**Figura 4-3:** Presión de combustible en el circuito

Realizado por: León, A., 2022

En la tabla 2-3, se tabulan los datos medidos de la presión de combustible acorde a los diferentes regímenes de giro del motor Aveo, así también, la variación máxima de presión.

**Tabla 1-3:** Medición de presión

<b>Régimen de giro [rpm]</b>	<b>Presión [psi]</b>
850	37
1000	37
2000	37
3000	37
4000	38
5000	38
Caída máxima	3

Realizado por: León, A., 2022

### 3.3 Caudal de combustible

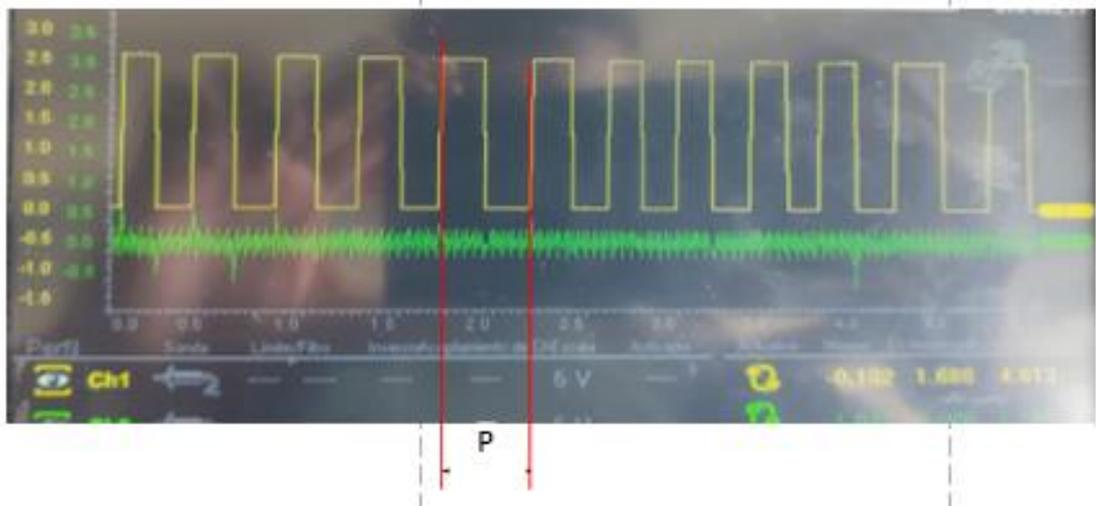
Para la comprobación de la operación del sensor de caudal, se midió la frecuencia de operación del sensor con el uso de un osciloscopio, a diferentes regímenes de giro. En la tabla 3-3, se tabulan los resultados de la operación del sensor acorde a las mediciones efectuadas. Para el cálculo del caudal, se utilizó la ecuación mostrada en la sección 2.5.1.

**Tabla 3-3:** Medición de caudal

<b>Régimen de giro [rpm]</b>	<b>Periodo [s]</b>	<b>Frecuencia [Hz]</b>	<b>Caudal [l/min]</b>
1000	0,5	2	0,03
2000	0,22	4,54	0,06
3000	0,06	16,66	0,22
4000	0,06	16,67	0,23
5000	0,05	20	0,27

Realizado por: León, A., 2022

En la figura 5-3, se muestra el ciclo de trabajo y el periodo de la señal periódica del sensor del caudal, utilizado en el trabajo.



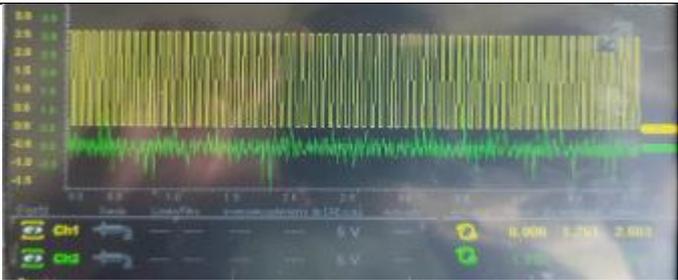
**Figura 5-3:** Ciclo de trabajo y periodo de la señal del sensor de caudal a 3000 rpm

Realizado por: León, A., 2022

En la tabla 4-3, se muestran los diferentes oscilogramas de la señal del sensor a diferentes regímenes de giro, para identificar la operación con las diferentes condiciones de trabajo.

**Tabla 4-3:** Señal del sensor de caudal a diferentes regímenes de giro

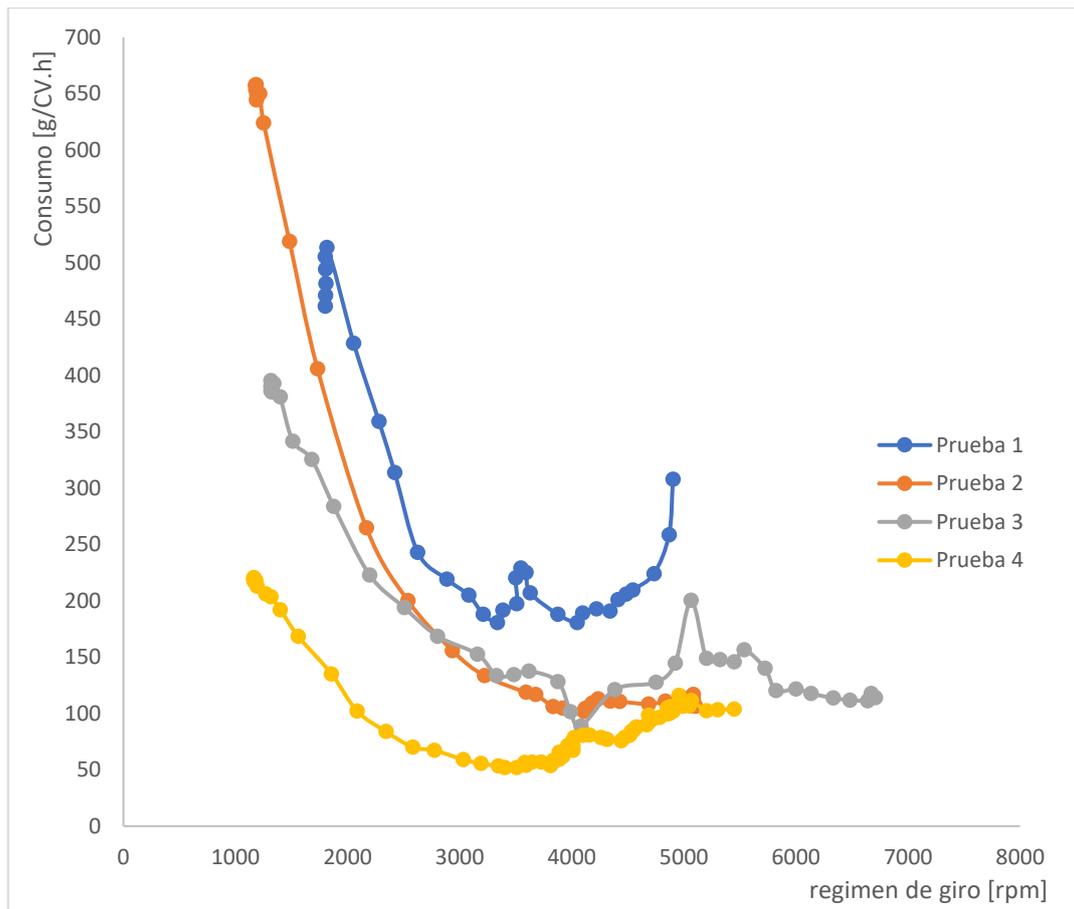
Régimen de giro [rpm]	Oscilograma
1000	
2000	

3000	
4000	
5000	

Realizado por: León, A., 2022

### 3.4 Consumo de combustible

La operación del motor acoplado al dinamómetro, permite recopilar la información de potencia, torque y consumo de combustible. Una vez ejecutado el procedimiento de encendido del dinamómetro, se tabulan los datos en un documento Excel, para el tratamiento posterior. En el gráfico 1-3, se ilustran los resultados de las 5 pruebas para el consumo de combustible. La unidad de medición es [g/CV.h].



**Gráfico 1-3:** Curva de consumo de combustible

Realizado por: León, A., 2022

Acorde a la información presentada, la curva de la prueba 1, tiene un comportamiento semejante a una curva ideal de consumo de combustible. En el caso de las curvas de la prueba 2 y 3, tienen un comportamiento parcialmente ideal. Los datos de la prueba 2 y 3, muestran comportamientos anormales en ciertos regímenes de giro.

Para la prueba 4, se identifica una curva con un comportamiento semejante a la curva ideal de consumo de combustible.

Acorde a la información graficada, el comportamiento de la curva de consumo tiene un comportamiento inicial de mayor consumo, es decir, al iniciar el régimen de giro, existe mayor consumo de combustible, esto se relaciona con la potencia del motor, ya que existe una relación inversamente proporcional con la potencia efectiva del motor, otro factor que incide en el aumento, es el rendimiento mecánico, en general existe mayor fricción en un régimen de giro bajo, afectando tanto al torque y el consumo de combustible en las condiciones de bajo régimen de giro.

Las condiciones ideales de consumo se identifican en el rango de 3000 a 4500 rpm, ya que existe un comportamiento de torque y potencia que favorecen el menor consumo de combustible, como se visualiza en la figura 1.5.

Al aumentar el régimen de giro, se incrementa la potencia requerida del motor, este comportamiento, combinado con el decrecimiento del rendimiento volumétrico del motor, incide en el requerimiento de mayor cantidad de combustible, ya que se producen aceleraciones para incrementar la velocidad lineal en el vehículo, esto genera una mayor necesidad de combustible, lo que se visualiza como un incremento en el consumo de combustible a mayor régimen de giro.

### 3.5 Análisis estadístico de pruebas

El propósito de este trabajo es realizar un análisis del método de obtención de datos para elaborar la curva de consumo del motor Aveo 1.6L, por ello, se utiliza la estadística para identificar este comportamiento.

#### 3.5.1 Estadística descriptiva

Los resultados de cada prueba se tabulan para el análisis correspondiente desde la perspectiva de la estadística descriptiva. Los resultados se muestran en la tabla 5-3.

**Tabla 5-3:** Tratamiento de datos

	Prueba 1		Prueba 2		Prueba 3		Prueba 4	
Media	3303,68	280,06	3316,77	273,10	3840,31	204,74	3523,57	109,25
Error típico	187,07	21,05	257,50	39,33	314,23	17,98	161,40	6,58
Mediana	3499,18	220,13	3875,73	115,74	3931,79	146,75	3931,79	89,94
Desviación estándar	1041,54	117,19	1545,01	235,97	1937,07	110,84	1397,74	56,95
Curtosis	-1,25	-0,50	-1,55	-1,09	-1,50	-0,99	-0,95	-0,25
Coefficiente de asimetría	-0,17	1,08	-0,36	0,92	-0,03	0,89	-0,70	1,11
Rango	3103,38	332,76	3926,67	556,23	5395,08	306,54	4285,90	168,64
Mínimo	1800,02	180,61	1178,29	101,74	1315,38	88,79	1164,26	51,85
Máximo	4903,40	513,37	5104,96	657,97	6710,46	395,33	5450,16	220,49
# datos	31,00	31,00	36,00	36,00	38,00	38,00	75,00	75,00

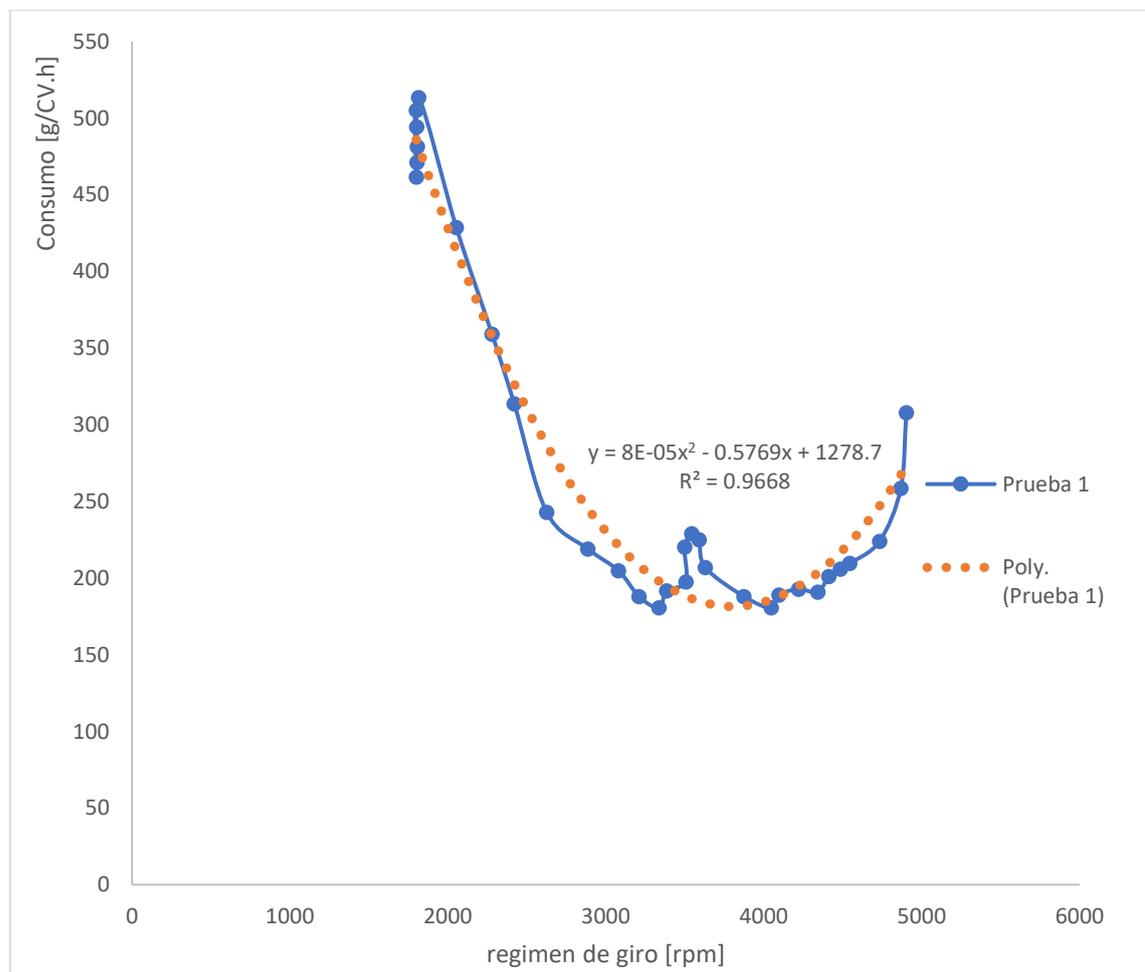
Realizado por: León, A., 2022

En la prueba 4, se identifica el doble de datos en relación a las otras pruebas. Existe un mayor rango en la prueba 3, es decir, se alcanza el mayor régimen de giro del motor en esta prueba, en cambio, el menor régimen de giro máximo se alcanzó en la prueba 1.

En la prueba 4, se identifica el menor consumo medio de combustible y en la prueba 1 y 2, se identifican los mayores valores de consumo medio de combustible. A la vez, la mayor desviación estándar del consumo de combustible se da en la prueba 2.

### 3.5.2 Métodos de los mínimos cuadrados

El uso del método de los mínimos cuadrados permite identificar la curva de correlación para el consumo de combustible para cada prueba. En el gráfico 2-3, se identifica los resultados de la prueba 1.



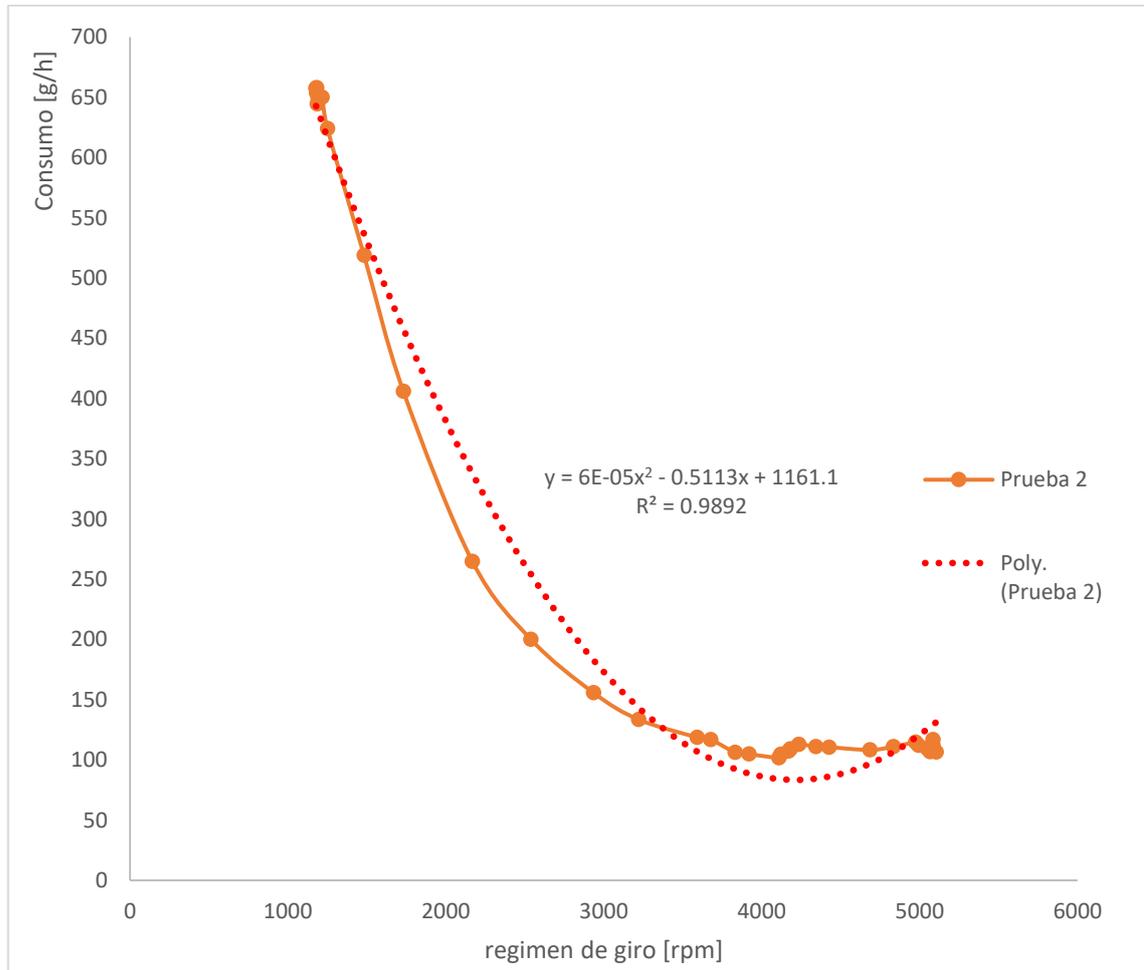
**Gráfico 2-3:** Curva de correlación. Prueba 1

**Realizado por:** León, A., 2022

En el caso de la prueba 1, el coeficiente de correlación muestra un valor de  $R^2 = 0,967$ , la tendencia de la curva es polinómica acorde al ajuste del método de los mínimos cuadrados. Existen valores

con dispersión de datos al inicio de la operación del motor, así como, en el rango de los 3500 a 3900 rpm. La tendencia de la curva se ajusta al modelo del consumo de combustible para un valor máximo de 4903, por ello, no evidencia un comportamiento de consumo para un rango de giro mayor.

En el gráfico 3-3, se identifica los resultados de la prueba 2.

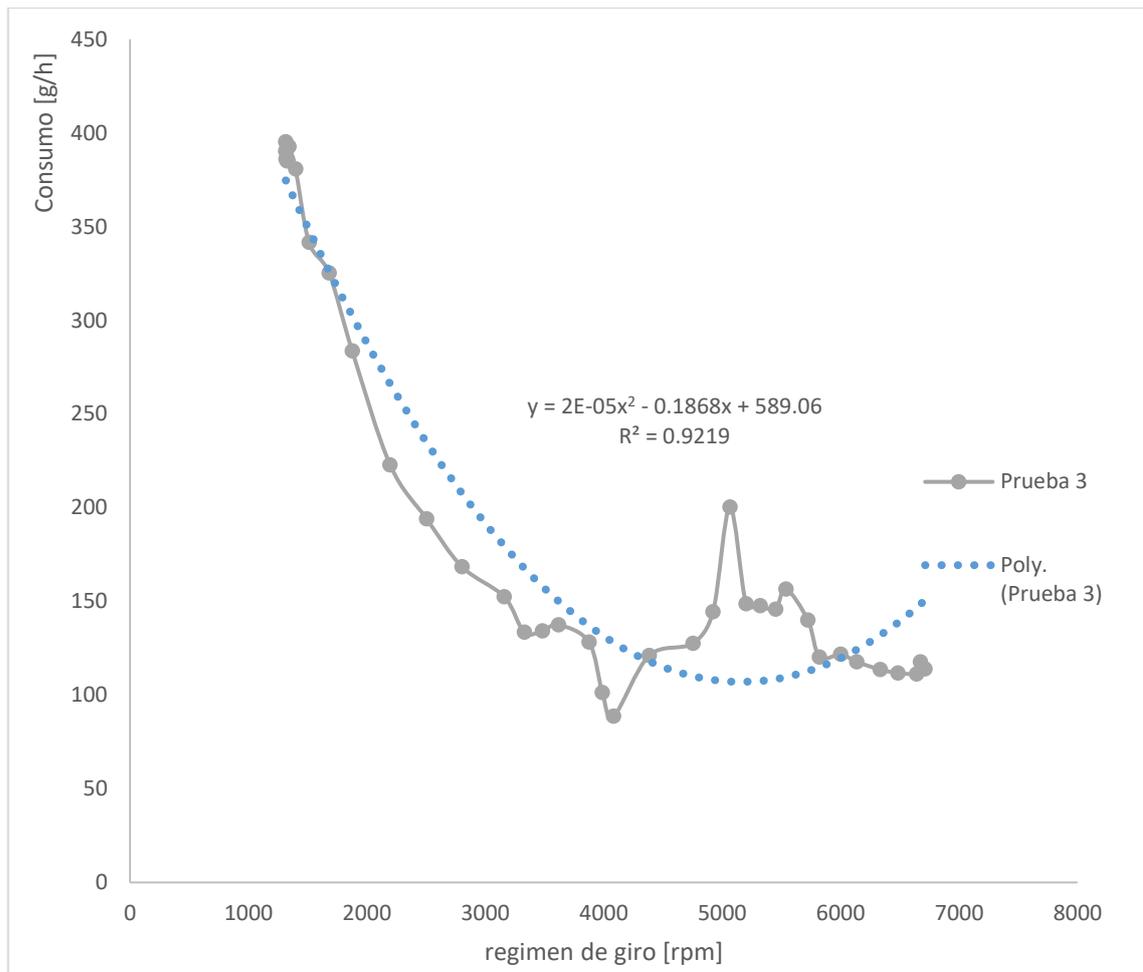


**Gráfico 3-3:** Curva de correlación. Prueba 2

**Realizado por:** León, A., 2022

En el caso de la prueba 2, el coeficiente de correlación muestra un valor de  $R^2 = 0,989$ , la tendencia de la curva es polinómica acorde al ajuste del método de los mínimos cuadrados. Existe una acumulación de datos en el rango de 4000 a 5000 rpm, alcanzando un valor máximo de 5085 rpm. La tendencia de la curva se ajusta al modelo del consumo de combustible, pero no evidencia un comportamiento para el rango mayor a 5000 rpm. La correlación de datos supera lo obtenido en la prueba 1.

En el gráfico 4-3 se identifica los resultados de la prueba 3.

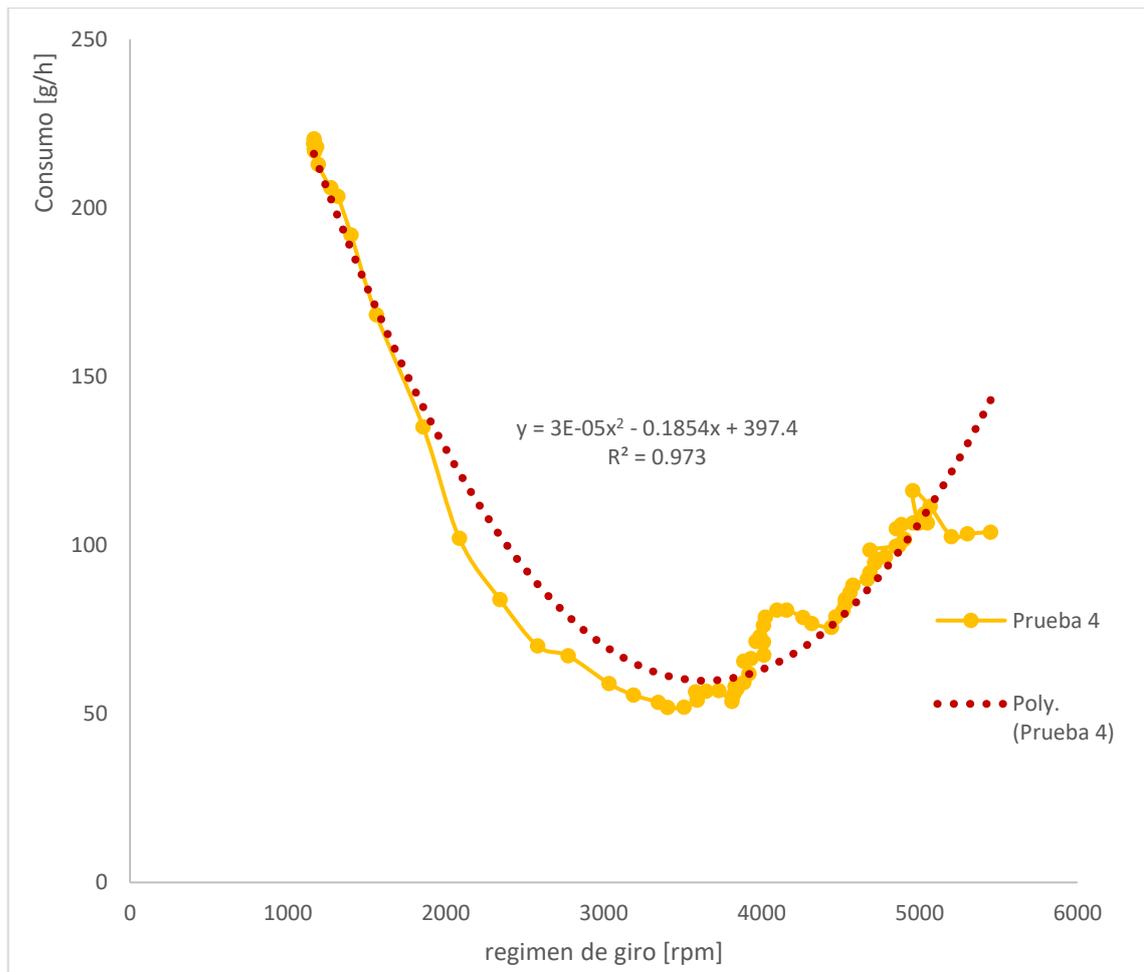


**Gráfico 4-3:** Curva de correlación. Prueba 3

**Realizado por:** León, A., 2022

En el caso de la prueba 3, el coeficiente de correlación muestra un valor de  $R^2 = 0,922$ , la tendencia de la curva es polinómica acorde al ajuste del método de los mínimos cuadrados. Existe una acumulación de datos entre los 1000 y 1500 rpm, también entre los 6000 y 6500 rpm. Esta prueba alcanza un régimen de giro máximo de 6710 rpm. La tendencia de la curva se ajusta al modelo del consumo de combustible. La correlación de datos es inferior a la prueba 1 y 2, pero tiene el más amplio rango de información desde 1100 a 6700 rpm.

En el Gráfico 5-3, se identifica los resultados de la prueba 4.



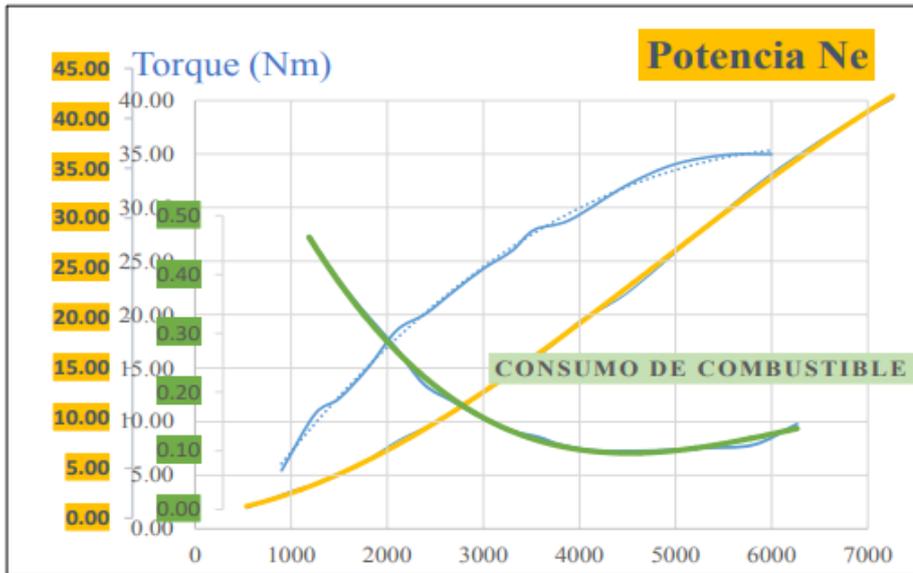
**Gráfico 5-3:** Curva de correlación. Prueba 4

**Realizado por:** León, A., 2022

En el caso de la prueba 4, el coeficiente de correlación muestra un valor de  $R^2 = 0,973$ , la tendencia de la curva es polinómica acorde al ajuste del método de los mínimos cuadrados. Existe una acumulación de datos entre los 1000 y 1500 rpm, también entre los 3000 y 6000 rpm. Esta prueba alcanza un régimen de giro máximo de 5490 rpm. La tendencia de la curva se ajusta al modelo del consumo de combustible. La correlación de datos es superior a las pruebas 1 y 3, tiene un buen rango de información. Esta curva tiene la mayor cantidad de datos para la construcción de la curva de consumo.

### 3.6 Discusión

Las pruebas de medición efectuadas en el dinamómetro muestran la operación del sistema sin inconvenientes, así también, la instalación del medidor de flujo y de presión envían la señal correctamente al sistema y control y se contabilizan los datos obtenidos. En el gráfico 6-3, se identifica la información del motor Aveo 1,6 l, tomado de los manuales de operación.



**Gráfico 6-3:** Curvas de operación del motor Aveo 1,6

Realizado por: León, A., 2022

En la tabla 6-3, se muestra los valores medidos y los valores obtenidos en las pruebas, para identificar los cambios de las pruebas experimentales con los datos del manual del fabricante.

**Tabla 6-3:** Comparación de datos

Parámetro	Manual	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4
Régimen de giro mínimo	1150	1800	1178	1315	1164
Régimen de giro máximo	6200	4903	5104	6710	5450
Consumo máximo	450	513	658	395	221
Consumo mínimo (CM)	100	181	102	89	52
Régimen de consumo mínimo (RCM)	4500	3337; 4047	4121	4084	3591
Coefficiente de correlación	1	0,97	0,98	0,92	0,97
Error RCM	0	25,8%; 10,8%	8,4%	9,2%	20,2%
Error CM	0	-81%	-2%	11%	48%

Realizado por: León, A., 2022

Al realizar el análisis comparativo de las curvas obtenidas, a nivel estadístico, tienen un coeficiente de correlación alto, es decir, los datos obtenidos son apropiados al comportamiento de una curva de consumo de combustible, existe deficiencias en algunas pruebas ya que no abarcan un rango de régimen de giro, pero los datos obtenidos son confiables para el análisis del desempeño del motor.

Al comparar el régimen de giro mínimo y consumo mínimo puntos de referencia fijos en la curva de consumo del motor Aveo 1,6, el menor error de datos, se obtiene en la prueba 2, con un margen de error del 8,4% y 2% correspondiente al régimen de giro mínimo y consumo mínimo de combustible. También, se destaca los resultados de error de la prueba 3, con valores de 9,2 % y 11% respectivamente.

Los datos comparativos permiten identificar que los datos obtenidos se asemejan a la realidad de la operación del motor. Es importante asegurar la repetitividad de las pruebas, en este caso de la prueba 2, para identificar el patrón apropiado de operación del banco dinamométrico al encender el motor Aveo 1,6.

Acorde a la información recolectada, el motor Aveo tiene los puntos de consumo mínimo en el rango de 3000 a 4500 rpm, con valores de 89 a 102 [g/CV.h], valores cercanos a la referencia del fabricante.

Al considerar los cambios de velocidad para subir o bajar pendientes, esto afecta la carga del motor, es decir, el régimen de giro va en aumento en las subidas, con la necesidad de mayor suministro de combustible a mayor carga del motor, esto implica un mayor consumo de combustible.

Al considerar descenso de pendientes, la carga del motor es menor, ello implica una reducción en la necesidad de inyección de combustible, favoreciendo a un menor consumo de combustible. Este aspecto está vinculado al mapeo del motor, en la mayoría de casos, siempre favoreciendo el menor consumo de combustible.

## CONCLUSIONES

- Los objetivos planteados en el proyecto, son alcanzados en el 100% dado el cumplimiento del alcance propuesto acorde a la problemática existente.
- La incorporación de un medidor de flujo y un medidor de presión en la línea de combustible del motor Aveo 1,6 facilitó la recolección de información hacia la tarjeta de datos NI USB 6009 lográndose la curva de consumo de combustible del motor.
- La recopilación bibliográfica ordenada y sistemática garantizó el análisis de los métodos para la obtención de la curva de consumo de combustible.
- Los procesos de mantenimiento y reparación aplicados al motor Aveo 1,6 L, permitió garantizar la repetición de las pruebas ejecutadas, como la operación dentro de los parámetros operacionales de diseño para la recolección de la información.
- El método aplicado para la obtención de la curva de consumo de combustible, alcanzó márgenes de errores dispares, en las pruebas 2 y 3, se obtuvieron errores en el margen del 10%, a la vez, en las pruebas 1 y 4 se obtuvieron errores del 81% y 54%.
- El procedimiento aplicado utilizando el medidor de flujo y la programación en LabView, es factible, para obtener datos confiables para el análisis del desempeño del motor, semejante a la realidad de diseño y operación.

## **RECOMENDACIONES**

- Es recomendable, identificar un patrón de procedimiento acorde a los resultados de las pruebas 2 y 3, dado su semejanza con los resultados de operación real del motor. Esto permite la reducción del porcentaje de error en los datos obtenidos.
- Elaborar un proceso de check-list, tanto para el motor Aveo 1,6 y el banco dinamométrico, para lograr una repetitividad y confiabilidad de las pruebas efectuadas.
- Para reducir los errores de medición, implementar un sensor de flujo con comunicación CAN, que informe directamente a la red de comunicación y control del motor Aveo.

## GLOSARIO

**Banco dinamométrico .** Equipo de análisis para los parámetros del motor de combustión de forma experimental.

**Circuito de alimentación de combustible.** Permite el suministro de combustible en un vehículo a gasolina, se considera un circuito de baja presión, se mantiene estable la presión con valor que oscila entre 35 y 60 psi.

**Curva característica del motor.** Es la representación gráfica de los parámetros operacionales del motor de combustión interna.

**Electrobomba.** Es el componente que permite el movimiento de combustible desde el depósito hacia los inyectores, su funcionamiento se da por un relé gobernado por la unidad de control.

**Medidor de caudal.** Es un sensor de tipo electrónico con turbina, basado en efecto Hall, utilizable en Arduino o programación en lenguaje C, para medir el flujo de un líquido.

**Motor de combustión interna.** de máquina que permite la transformación de energía química en mecánica para producir movimiento.

## BIBLIOGRAFÍA

**ALONSO PÉREZ, José Mauel.** *Técnicas del automovil* [blog]. Madrid : Paraninfo, 2018. [Consulta: 02 febrero 2022]. Disponible en: <https://www.paraninfo.es/catalogo/9788497327527/tecnicas-del-automovil--motores>.

**ANTAMBA GUASGUA, Jaime Fernando.** Diagnóstico de la condición operativa del motor por encendido provocado (MEP), según el tipo de gasolina empleado en las ciudades de Quito y Esmeraldas [En línea] (Trabajo de Titulación). (Maestría) Universidad Politécnica Nacional, Pichincha, Quito. 2018. pp. 7 - 21. [Consulta: 2022-09-20]. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/19300>.

**BALLADARES PICO, Luis Miguel, & SAETEROS AMOROZO, Darío Javier.** Implementación de un sistema de adquisición de datos y pruebas de funcionamiento de un banco dinamométrico [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Chimborazo, Riobamba. 2016. pp. 10-80. [Consulta: 2022-09-20]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/4656>.

**BOSCH.** *Manual de la técnica del automóvil*. España: Reverte, 2010. pp. 352-425.

**CHANCUSI SARZOSA, José Ignacio, & JAITIA CHICAIZA, Luis David.** Rehabilitación y mantenimiento del banco dinamométrico marca Borghi y Saveri modelo FA 200 SP de la Facultad de Mecánica-ESPOCH [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba. 2013. pp. 25-45. [Consulta: 2022-02-02]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/3138>.

**DIAZ, R.** *Motores de Combustión Interna*. Riobamba: 1987. pp. 45-75.

**DOMÍNGUEZ, J.** *Circuitos de fluidos, suspensión y dirección: electromecánica de vehículos* [En línea]. España: Macmillan Iberia S.A., 2011. pp. 126-145. Disponible en: [https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=8ywoT8m3LtIC&oi=fnd&pg=PR10&dq=Circuitos+de+fluidos,+suspensi%C3%B3n+y+direcci%C3%B3n:+electromec%C3%A1nica+de+veh%C3%ADculos&ots=dQM0J4QQ1c&sig=UxJkqWpuJgv9zQp6ZnIZb4GvTHA&redir\\_esc=y#v=onepag](https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=8ywoT8m3LtIC&oi=fnd&pg=PR10&dq=Circuitos+de+fluidos,+suspensi%C3%B3n+y+direcci%C3%B3n:+electromec%C3%A1nica+de+veh%C3%ADculos&ots=dQM0J4QQ1c&sig=UxJkqWpuJgv9zQp6ZnIZb4GvTHA&redir_esc=y#v=onepag).

**BAUSET, Santiago; et al.** *El mantenimiento de las flotas de transporte*. Barcelona: 2002. pp. 42-47.

**GONZÁLEZ, D.** *Motores térmicos y sus sistemas auxiliares*. Madrid: Paraninfo, 2015. Disponible en: [https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=19ASCgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR7&dq=Motores+t%C3%A9rmicos+y+sus+sistemas+auxiliares&ots=Kv1scNmPfm&sig=EbmV9ZOSspVG2iUFkmGVSfup8c4&redir\\_esc=y#v=onepage&q=Motores%20t%C3%A9rmicos%20y%20sus%20sistemas](https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=19ASCgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR7&dq=Motores+t%C3%A9rmicos+y+sus+sistemas+auxiliares&ots=Kv1scNmPfm&sig=EbmV9ZOSspVG2iUFkmGVSfup8c4&redir_esc=y#v=onepage&q=Motores%20t%C3%A9rmicos%20y%20sus%20sistemas).

**MARÍN ARIAS, Daniela. & TORO LADINO, Miguel.** Caracterización de las curvas de presión, par y potencia de un motor de combustión interna monocilíndrico bajo diferentes regímenes de operación [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira, Colombia. 2018. pp. 25-42. [Consulta: 2022-02-02]. Disponible en: <https://repositorio.utp.edu.co/items/46322f3c-46c8-4a5b-8bca-eb9fd779dce1>

**PALOMO PALOMO, Kléber Santiago, & PILATAXI YUNGAN, Edison Vladimir.** Diseño y construcción de un sistema de medición de consumo específico de combustible con la utilización de un software para la optimización del dinamómetro del laboratorio de motores diesel-gasolina [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Pichincha, Quito. 2012. p. 45-65. [Consulta: 2022-02-02]. Disponible en: <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/8105>

**PAYRI, F. & DESANTES, M.** *Motores de combustión interna alternativos*. Valencia: Reverte UPV, 2011.

**PEREZ, M.** *Sistemas auxiliares del motor*. Madrid: Paraninfo, 2011. Disponible en: [https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=5hpfAwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA130&dq=Sistemas+auxiliares+del+motor&ots=cVqVRaw-0F&sig=JtMtCXvCi4J1Vh9ZRC5fiasiJEA&redir\\_esc=y#v=onepage&q=Sistemas%20auxiliares%20del%20motor&f=false](https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=5hpfAwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA130&dq=Sistemas+auxiliares+del+motor&ots=cVqVRaw-0F&sig=JtMtCXvCi4J1Vh9ZRC5fiasiJEA&redir_esc=y#v=onepage&q=Sistemas%20auxiliares%20del%20motor&f=false).

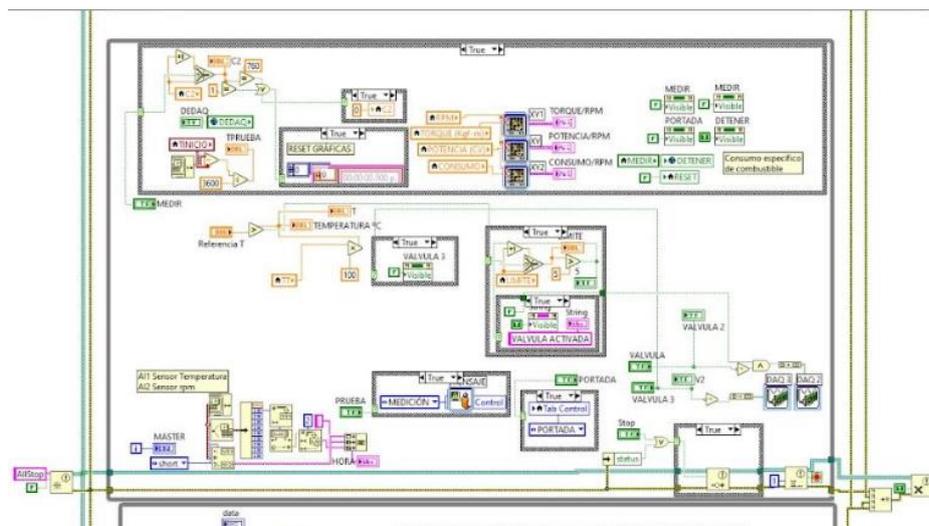
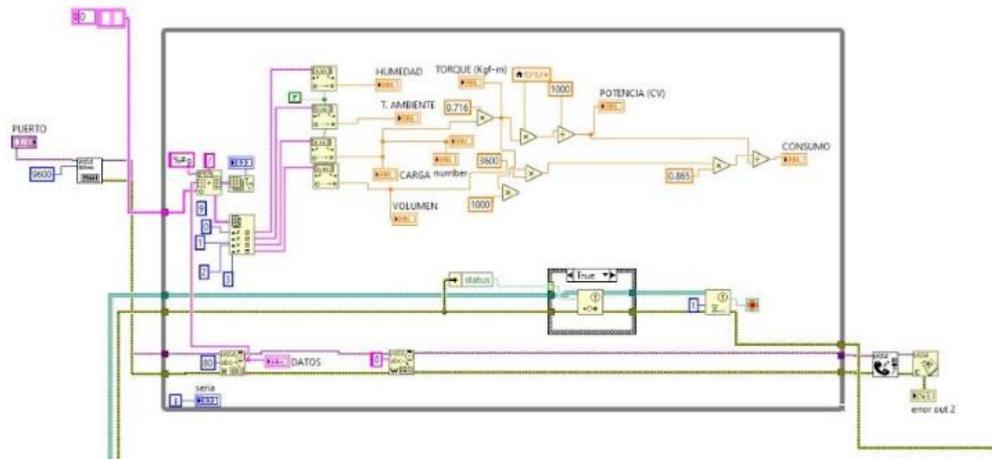
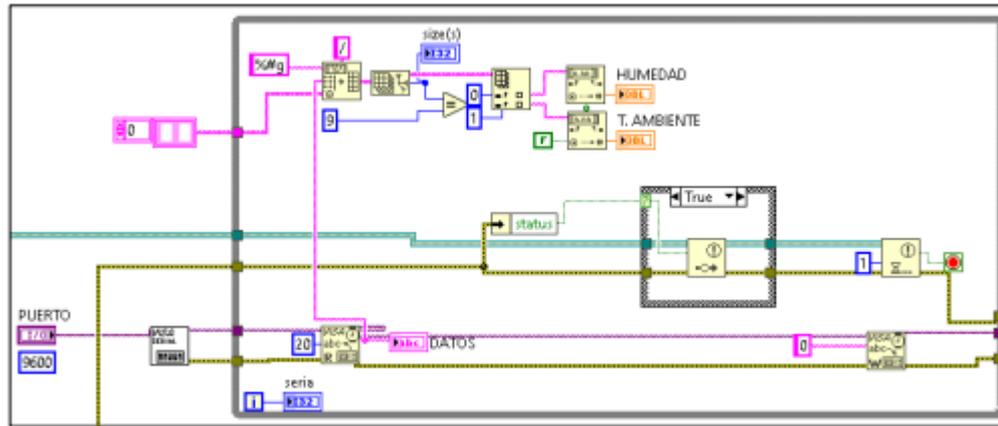
**PAYRI, R.; BRACHO, G.; GIMENO, J.; & BAUTISTA, A.** *Rate of injection modelling for gasoline direct injectors*. Energy Conversion and Management. pp. 424-432.

**YOLANDA, M.; MORALES, R.; GUZMAN, H.** *Caracterización de un Motor de Combustión Interna con Dos Tipos de Combustible*. México: Instituto Mexicano del Transporte, 2014. p. 25.

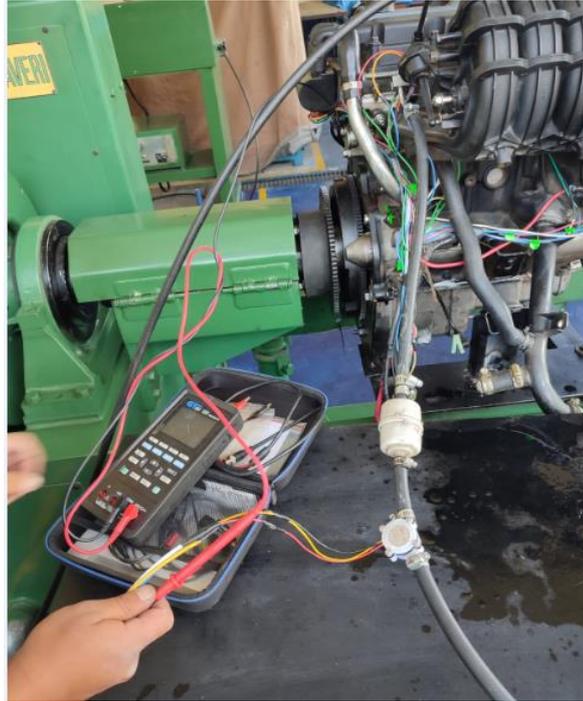
**ZHAO, H.** *Advanced Direct Injection Combustion Engine Technologies and Development.* UK : Woodhead Publishing, 2009.

# ANEXOS

## A: PROGRAMACIÓN LABVIEW



**ANEXO B: PRUEBAS DE SENSORES**



**ANEXO C: DATOS DE MEDICIÓN DE FLUJO DE COMBUSTIBLE**

**PRUEBA 1**

MUESTRA	T.PRUEBA(h)	RPM	TORQUE	POTENCIA(CV)	CONSUMO	TEMPERATURA °C	HUMEDAD	T. AMBIENTE	CARGA(Kgf)
0	0,000676	1800,02074	0,554851	0,30788	505,108515	505,108515	90,6	18,3	0,43
1	0,000075	1802,39334	0,567071	0,31504	494,224013	494,224013	90,6	18,3	0,44
2	0,000142	1807,1517	0,582238	0,3222	481,349588	481,349588	90,6	18,3	0,45
3	0,000215	1804,71033	0,59494	0,32936	471,073003	471,073003	90,6	18,3	0,46
4	0,000275	1800,12826	0,607321	0,33652	461,469214	461,469214	90,6	18,3	0,47
5	0,000398	1814,29263	0,606575	0,33652	513,374128	513,374128	90,6	18,3	0,47
6	0,00062	2054,03053	0,726538	0,37232	428,608092	428,608092	90,6	18,3	0,52
7	0,000776	2280,05037	0,954002	0,4296	359,055861	359,055861	90,6	18,3	0,6
8	0,000869	2420,75585	1,091993	0,47256	313,683196	313,683196	90,6	18,3	0,66
9	0,000997	2625,82083	1,409641	0,55848	242,998119	242,998119	90,6	18,3	0,78
10	0,001162	2886,02887	1,705976	0,6086	219,041725	219,041725	90,6	18,3	0,85
11	0,001258	3081,00011	1,976245	0,65872	204,843042	204,843042	90,6	18,3	0,92
12	0,001349	3211,25436	2,154446	0,69452	187,899813	187,899813	90,6	18,3	0,97
13	0,001453	3336,67584	2,41378	0,73748	180,612975	180,612975	90,6	18,3	1,03
14	0,001551	3386,10696	2,436502	0,72316	191,709269	191,709269	90,6	18,3	1,01

15	0,0016 73	3507, 5943 7	2,52 3545	0,72316	197,4 36543	197,43654 3	90,6	18,4	1,01
16	0,0017 69	3499, 1751 6	2,40 4829	0,68736	220,1 32115	220,13211 5	90,6	18,4	0,96
17	0,0018 64	3545, 2802 7	2,44 8623	0,69452	228,9 12345	228,91234 5	90,6	18,4	0,97
18	0,0019 54	3590, 7591 5	2,62 9438	0,73032	225,0 13886	225,01388 6	90,6	18,4	1,02
19	0,0020 55	3629, 7823 1	3,00 9116	0,83772	206,9 71102	206,97110 2	90,6	18,4	1,17
20	0,0021 94	3875, 5783 6	3,47 9024	0,9308	187,9 66532	187,96653 2	90,5	18,3	1,3
21	0,0023 3	4047, 2586 4	3,96 5383	0,98808	180,6 18098	180,61809 8	90,5	18,3	1,38
22	0,0024 19	4096, 1621 9	3,78 9667	0,9308	188,9 92855	188,99285 5	90,5	18,3	1,3
23	0,0025 27	4221, 5257	4,03 8297	0,95944	192,7 79274	192,77927 4	90,5	18,3	1,34
24	0,0026 25	4342, 1834 2	4,24 1241	0,99524	190,8 9695	190,89695	90,5	18,3	1,39
25	0,0027 38	4413, 2067 5	4,33 541	0,99524	201,1 1592	201,11592	90,5	18,3	1,39
26	0,0028 3	4484, 8031 4	4,38 8663	0,98808	205,7 7111	205,77111	90,6	18,4	1,38
27	0,0029 73	4544, 9807	4,60 5783	1,01672	209,5 93008	209,59300 8	90,6	18,4	1,42
28	0,0030 71	4733, 6872 9	4,44 9162	0,95944	223,9 70246	223,97024 6	90,6	18,4	1,34
29	0,0031 97	4868, 3078 9	3,97 3489	0,81624	258,6 19075	258,61907 5	90,6	18,4	1,14
30	0,0032 92	4903, 4033 9	3,43 8662	0,70884	307,8 98855	307,89885 5	90,6	18,4	0,99

## PRUEBA 2

MUE STR A	T.PRUEBA(h)	RPM	TORQUE	POTENCIA(CV)	CONSUMO	TEMPERATURA °C	HUMEDAD	T. AMBIENTE	CARGA(Kgf)
-----------------	-------------	-----	--------	--------------	---------	----------------	---------	-------------	------------

0	0,0000 01	1191, 5881 6	1,96 5831	1,65396	649,4 65895	649,46589 5	90,4	18,3	2,31
1	0,0000 48	1192, 6700 3	1,97 0839	1,65396	647,8 15424	647,81542 4	90,4	18,3	2,31
2	0,0001 21	1186, 4673 6	1,98 1168	1,66112	644,4 38015	644,43801 5	90,4	18,3	2,32
3	0,0001 99	1180, 3402 3	1,94 202	1,63964	657,4 28964	657,42896 4	90,4	18,3	2,29
4	0,0002 87	1181, 4010 8	1,95 3927	1,65396	653,4 22721	653,42272 1	90,5	18,4	2,31
5	0,0004 13	1178, 2914 4	1,94 2091	1,6468	657,4 04685	657,40468 5	90,5	18,4	2,3
6	0,0004 94	1182, 3781 2	1,94 041	1,6468	657,9 74231	657,97423 1	90,5	18,4	2,3
7	0,0006 04	1216, 0163	1,96 406	1,66112	650,0 51466	650,05146 6	90,5	18,4	2,32
8	0,0006 95	1250, 3851	2,04 6067	1,6826	623,9 97027	623,99702 7	90,5	18,4	2,35
9	0,0008 19	1482, 1372 3	2,46 0861	1,81864	518,8 18388	518,81838 8	90,5	18,4	2,54
10	0,0009 32	1731, 6028 8	3,14 5977	2,01912	405,8 32583	405,83258 3	90,5	18,4	2,82
11	0,0010 49	2167, 9303 1	4,94 0202	2,4702	264,7 42191	264,74219 1	90,5	18,4	3,45
12	0,0011 73	2538, 2408 9	6,53 5448	2,81388	200,1 20952	200,12095 2	90,5	18,4	3,93
13	0,0012 87	2935, 6514 1	8,59 8882	3,08596	155,7 20238	155,72023 8	90,5	18,4	4,31
14	0,0014 12	3220, 4120 6	10,2 629	3,30076	133,5 06119	133,50611 9	90,5	18,4	4,61
15	0,0016 04	3590, 9896 6	12,0 6050 1	3,42964	118,7 71182	118,77118 2	90,5	18,4	4,79
16	0,0017 31	3677, 1199 7	12,5 2031 8	3,48692	116,8 96388	116,89638 8	90,5	18,4	4,87
17	0,0018 84	3831, 9147 4	14,3 6532 7	3,80196	106,2 18256	106,21825 6	90,5	18,4	5,31

18	0,0020 26	3919, 5463 7	15,1 5986 1	3,9022	104,7 59539	104,75953 9	90,5	18,4	5,45
19	0,0021 56	4108, 3849 1	15,9 1547	3,90936	101,7 4252	101,74252	90,5	18,4	5,46
20	0,0022 83	4120, 8020 8	15,7 9551 3	3,84492	104,4 86637	104,48663 7	90,5	18,4	5,37
21	0,0024 16	4169, 8603	15,9 6854 2	3,85208	107,2 54625	107,25462 5	90,5	18,4	5,38
22	0,0025 48	4182, 3019 5	15,9 8622 4	3,84492	109,0 83918	109,08391 8	90,4	18,3	5,37
23	0,0027 27	4235, 2872 7	16,2 8599 7	3,88072	112,8 12252	112,81225 2	90,4	18,3	5,42
24	0,0028 78	4342, 7454	17,1 1000 8	3,95232	111,0 19233	111,01923 3	90,4	18,3	5,52
25	0,0030 27	4427, 2530 6	17,4 7020 3	3,95948	110,5 12741	110,51274 1	90,4	18,3	5,53
26	0,0031 76	4684, 6559 4	18,4 0368	3,99528	108,2 91386	108,29138 6	90,4	18,4	5,58
27	0,0033 22	4833, 6797 4	18,8 0232 9	3,94516	110,9 63911	110,96391 1	90,4	18,4	5,51
28	0,0034 37	4974, 4270 3	18,4 7399 5	3,7948	114,6 21661	114,62166 1	90,4	18,4	5,3
29	0,0035 81	4992, 8092 5	19,1 5990 2	3,83776	112,1 43577	112,14357 7	90,4	18,4	5,36
30	0,0037 11	5104, 9602 4	20,4 9533 9	4,05972	106,3 55889	106,35588 9	90,4	18,4	5,67
31	0,0038 41	5066, 7154 7	20,7 2586 5	4,07404	106,6 75406	106,67540 6	90,4	18,4	5,69
32	0,0039 89	5086, 0977 4	20,4 6262 1	4,02392	109,5 6954	109,56954	90,4	18,4	5,62
33	0,0041 23	5048, 6265 8	20,7 6569 6	4,03824	109,4 69964	109,46996 4	90,4	18,4	5,64
34	0,0042 7	5085, 3633 8	20,5 3518	4,06688	112,2 15234	112,21523 4	90,4	18,4	5,68
35	0,0044 56	5084, 7431 6	20,2 5326	3,99528	116,8 523	116,8523	90,4	18,4	5,58

36	0,0046 22	4684, 5743 4	17,7 7867 7	3,6516	134,8 68302	134,86830 2	90,4	18,4	5,1
37	0,0047 66	4059, 4372 5	16,2 6209 1	3,78048	149,3 60866	149,36086 6	90,4	18,4	5,28
38	0,0049 17	3361, 1086 9	11,3 1378 9	3,20052	220,1 91485	220,19148 5	90,4	18,4	4,47
39	0,0050 85	2730, 4794 1	8,49 878	2,864	293,1 2442	293,12442	90,4	18,4	4
40	0,0052 7	2249, 9565 3	6,36 4828	2,5776	396,2 93501	396,29350 1	90,4	18,4	3,6

### PRUEBA 3

MUE STR A	T.PRUEBA(h)	RPM	TORQU E	POTEN CIA(CV )	CON SUM O	TEMPER ATURA °C	HUM EDA D	T. AMBI ENTE	CARG A(Kgf )
0	0,0054 85	1330, 7241	0,88 7859	0,66588	385,8 04471	385,80447 1	90,5	18,4	0,93
1	0,0000 69	1316, 7730 4	0,88 7022	0,67304	386,1 68395	386,16839 5	90,5	18,4	0,94
2	0,0001 51	1315, 3816 2	0,87 7644	0,66588	390,2 95023	390,29502 3	90,5	18,4	0,93
3	0,0002 25	1315, 5520 1	0,86 6468	0,65872	395,3 29	395,329	90,5	18,4	0,92
4	0,0002 93	1321, 7327 1	0,87 6	0,66588	391,0 27498	391,02749 8	90,5	18,4	0,93
5	0,0003 74	1324, 3001 7	0,88 9579	0,67304	385,0 58558	385,05855 8	90,5	18,4	0,94
6	0,0004 65	1341, 0655 4	0,87 2344	0,65872	392,6 66306	392,66630 6	90,5	18,4	0,92
7	0,0005 54	1397, 4063 7	0,89 9324	0,65872	380,8 8629	380,88629	90,5	18,4	0,92
8	0,0006 49	1511, 6651 5	1,00 2705	0,6802	341,6 15786	341,61578 6	90,6	18,4	0,95
9	0,0007 4	1680, 6609 4	1,14 8882	0,70884	325,2 55328	325,25532 8	90,6	18,4	0,99
10	0,0008 31	1876, 6632 7	1,31 7584	0,75896	283,6 09954	283,60995 4	90,6	18,4	1,06

11	0,0009 28	2195, 8536 2	1,67 6195	0,8234	222,9 33506	222,93350 6	90,6	18,4	1,15
12	0,0010 2	2505, 4910 7	2,08 6889	0,88784	193,9 82486	193,98248 6	90,6	18,4	1,24
13	0,0010 96	2803, 2932	2,40 269	0,9308	168,4 86171	168,48617 1	90,6	18,4	1,3
14	0,0011 88	3159, 0121 5	2,85 8625	0,97376	152,5 06904	152,50690 4	90,5	18,4	1,36
15	0,0012 63	3328, 6011 6	3,26 4501	1,01672	133,5 45668	133,54566 8	90,5	18,4	1,42
16	0,0013 68	3481, 6965 6	3,47 8249	1,00956	134,2 91696	134,29169 6	90,5	18,4	1,41
17	0,0014 61	3618, 9541 1	3,62 4096	1,00956	137,4 79818	137,47981 8	90,5	18,4	1,41
18	0,0015 41	3875, 4473 2	4,12 5478	1,1098	128,3 1967	128,31967	90,5	18,4	1,55
19	0,0016 43	3988, 1254 8	5,52 5834	1,41768	101,4 36276	101,43627 6	90,5	18,4	1,98
20	0,0017 19	4083, 6925 3	6,66 3364	1,67544	88,79 2984	88,792984	90,5	18,4	2,34
21	0,0018 16	4384, 6282 6	4,88 2639	1,17424	121,1 76265	121,17626 5	90,5	18,4	1,64
22	0,0019 6	4751, 9659 2	5,12 6582	1,12412	127,5 58683	127,55868 3	90,5	18,4	1,57
23	0,0020 53	4922, 7640 1	4,74 0709	0,97376	144,5 10016	144,51001 6	90,5	18,4	1,36
24	0,0021 5	5064, 9864 2	3,57 4708	0,716	200,3 57597	200,35759 7	90,5	18,4	1
25	0,0022 41	5201, 4563 3	5,02 5016	0,98092	148,7 27876	148,72787 6	90,5	18,4	1,37
26	0,0023 51	5322, 2508 5	5,27 1448	1,00956	147,6 8238	147,68238	90,5	18,4	1,41
27	0,0024 41	5449, 9966 7	5,55 2551	1,03104	145,8 1405	145,81405	90,5	18,4	1,44
28	0,0025 54	5538, 5578 5	5,56 8615	1,00956	156,5 77543	156,57754 3	90,5	18,4	1,41

29	0,0026 51	5723, 8505 9	6,44 9751	1,1456	140,0 14704	140,01470 4	90,5	18,4	1,6
30	0,0027 57	5821, 7133	7,77 0696	1,34608	120,2 20895	120,22089 5	90,5	18,4	1,88
31	0,0028 55	5999, 5805 4	7,92 6269	1,33892	121,7 89963	121,78996 3	90,5	18,4	1,87
32	0,0029 44	6134, 7397 2	8,19 871	1,3604	117,7 42915	117,74291 5	90,5	18,4	1,9
33	0,0030 59	6334, 6218 9	8,76 9242	1,40336	113,6 33542	113,63354 2	90,5	18,4	1,96
34	0,0031 85	6483, 2861 6	9,19 2561	1,42484	111,7 88218	111,78821 8	90,5	18,4	1,99
35	0,0033 14	6641, 3251 6	9,51 2156	1,44632	111,3 06001	111,30600 1	90,5	18,4	2,02
36	0,0034 28	6710, 4604 3	9,84 159	1,4678	113,9 08426	113,90842 6	90,5	18,4	2,05
37	0,0035 57	6673, 3174	9,79 2918	1,44632	117,6 54415	117,65441 5	90,5	18,4	2,02

#### PRUEBA 4

MUESTR A	T.PRUEBA(h)	RPM	TORQUE	POTENCIA(CV)	CONSUMO	TEMPERATURA °C	HUMEDAD	T. AMBIENTE	CARGA(Kgf)
0	0,0037 18	11 64	2,40 0917	2,06924	220,4 90789	220,49078 9	90,7	18,4	2,89
1	0,0000 6	11 66	2,41 7464	2,0764	218,9 81553	218,98155 3	90,7	18,4	2,9
2	0,0001 18	11 71	2,42 1594	2,0764	218,6 0811	218,60811	90,7	18,4	2,9
3	0,0001 88	11 66	2,43 4256	2,08356	217,4 70985	217,47098 5	90,7	18,4	2,91
4	0,0002 49	11 65	2,41 3223	2,06924	219,3 66416	219,36641 6	90,7	18,4	2,89
5	0,0003 24	11 64	2,41 7502	2,0764	218,9 78119	218,97811 9	90,7	18,4	2,9
6	0,0003 97	11 64	2,41 7515	2,0764	218,9 76921	218,97692 1	90,7	18,4	2,9
7	0,0004 88	11 69	2,44 2356	2,09072	216,7 49703	216,74970 3	90,7	18,4	2,92
8	0,0005 65	11 67	2,43 193	2,08356	217,6 78964	217,67896 4	90,6	18,4	2,91
9	0,0006 5	11 69	2,42 9978	2,08356	217,8 53861	217,85386 1	90,6	18,4	2,91
10	0,0007 26	11 81	2,42 7834	2,0764	218,0 46211	218,04621 1	90,6	18,4	2,9

11	0,0007 99	11 92	2,48 6784	2,10504	212,8 77388	212,87738 8	90,6	18,4	2,94
12	0,0008 81	12 70	2,56 9962	2,12652	205,9 87496	205,98749 6	90,6	18,4	2,97
13	0,0009 52	13 15	2,75 5644	2,16948	203,4 08007	203,40800 7	90,6	18,4	3,03
14	0,0010 27	14 00	2,91 9481	2,2196	191,9 93015	191,99301 5	90,6	18,4	3,1
15	0,0011 18	15 60	3,32 9638	2,34132	168,3 42621	168,34262 1	90,7	18,4	3,27
16	0,0012 3	18 56	4,14 9842	2,5418	135,0 70195	135,07019 5	90,7	18,4	3,55
17	0,0013 24	20 85	5,49 4059	2,83536	102,0 22939	102,02293 9	90,7	18,4	3,96
18	0,0014 31	23 43	7,05 5413	3,17188	83,85 9019	83,859019	90,7	18,4	4,43
19	0,0015 09	25 81	8,43 9993	3,34372	70,10 1954	70,101954	90,7	18,4	4,67
20	0,0016 01	27 75	9,26 6261	3,51556	67,21 1576	67,211576	90,7	18,4	4,91
21	0,0016 94	30 33	10,5 6134 5	3,6516	58,96 9763	58,969763	90,6	18,4	5,1
22	0,0017 85	31 89	11,7 6597 4	3,80196	55,57 8908	55,578908	90,6	18,4	5,31
23	0,0018 88	33 45	12,8 2994 2	3,87356	53,39 6966	53,396966	90,6	18,4	5,41
24	0,0019 63	34 03	13,2 1372 6	3,9022	51,84 6087	51,846087	90,6	18,4	5,45
25	0,0020 61	35 08	13,7 7761 2	3,938	51,98 4336	51,984336	90,6	18,4	5,5
26	0,0021 69	35 91	13,8 2801 6	3,9022	54,04 6797	54,046797	90,6	18,4	5,45
27	0,0022 86	35 81	14,3 1728 8	3,98812	56,54 9815	56,549815	90,7	18,4	5,57
28	0,0023 8	36 48	14,2 8074 9	3,98812	56,69 4504	56,694504	90,7	18,4	5,57
29	0,0024 84	37 28	15,3 3512 7	4,18144	56,85 7698	56,857698	90,7	18,4	5,84
30	0,0025 76	38 11	16,2 3230 5	4,31748	53,71 5108	53,715108	90,7	18,4	6,03
31	0,0026 91	38 21	16,7 9884 9	4,39624	55,61 0953	55,610953	90,7	18,4	6,14

32	0,0027 77	38 43	16,8 6575 6	4,38908	57,23 6686	57,236686	90,7	18,4	6,13
33	0,0028 92	38 32	17,1 4846 9	4,42488	58,10 8978	58,108978	90,6	18,4	6,18
34	0,0029 9	38 86	17,3 3883 7	4,4392	59,26 6951	59,266951	90,6	18,4	6,2
35	0,0031 01	39 20	17,0 9304 4	4,41056	61,94 0987	61,940987	90,6	18,4	6,16
36	0,0032 09	38 87	17,0 9253 2	4,41056	65,58 6538	65,586538	90,6	18,4	6,16
37	0,0033 36	39 32	17,3 7296 9	4,43204	66,32 027	66,32027	90,6	18,4	6,19
38	0,0034 51	40 12	17,5 5832	4,45352	67,39 3691	67,393691	90,6	18,4	6,22
39	0,0035 47	39 65	17,4 3858 2	4,41056	71,42 7828	71,427828	90,6	18,4	6,16
40	0,0036 56	39 89	17,5 0970 3	4,4034	72,91 6141	72,916141	90,6	18,4	6,15
41	0,0037 69	40 12	17,9 089	4,42488	71,29 081	71,29081	90,6	18,4	6,18
42	0,0038 98	40 12	17,5 7202 7	4,41772	76,20 1797	76,201797	90,6	18,4	6,17
43	0,0040 4	40 24	17,8 0925 9	4,4392	78,68 3789	78,683789	90,7	18,4	6,2
44	0,0041 51	40 96	17,7 5104 2	4,42488	80,69 6106	80,696106	90,7	18,4	6,18
45	0,0042 64	41 58	18,1 2533 1	4,4392	80,74 7765	80,747765	90,7	18,4	6,2
46	0,0043 77	42 61	19,0 1446 9	4,48932	78,60 9609	78,609609	90,7	18,4	6,27
47	0,0044 87	43 16	19,4 6592 5	4,49648	76,78 6487	76,786487	90,7	18,4	6,28
48	0,0046 02	44 42	20,1 6297 8	4,55376	75,67 632	75,67632	90,7	18,4	6,36
49	0,0047 08	44 70	20,1 6746 3	4,53944	78,74 7636	78,747636	90,7	18,4	6,34

50	0,0048 41	45 15	20,4 8699 7	4,59672	80,55 9391	80,559391	90,7	18,4	6,42
51	0,0049 73	45 30	20,6 9051 3	4,5824	82,77 7067	82,777067	90,7	18,4	6,4
52	0,0051 17	45 30	20,7 6025 5	4,56808	83,99 897	83,99897	90,7	18,4	6,38
53	0,0052 45	45 60	21,0 0348 8	4,57524	85,99 1431	85,991431	90,6	18,4	6,39
54	0,0053 42	45 77	20,8 5586 4	4,57524	88,09 3211	88,093211	90,6	18,4	6,39
55	0,0055 04	46 69	21,1 1946 2	4,53944	89,94 2634	89,942634	90,6	18,4	6,34
56	0,0056 76	46 85	21,3 4204 7	4,53944	91,92 2765	91,922765	90,6	18,4	6,34
57	0,0058 43	47 17	21,0 4009 5	4,475	94,72 2005	94,722005	90,6	18,4	6,25
58	0,0059 86	47 15	21,3 4839 7	4,5108	94,81 2738	94,812738	90,6	18,4	6,3
59	0,0061 58	47 82	21,2 8408 2	4,49648	96,56 2306	96,562306	90,6	18,4	6,28
60	0,0062 84	46 85	21,1 8224 4	4,48932	98,49 6645	98,496645	90,6	18,4	6,27
61	0,0064 53	48 50	21,2 4163 2	4,42488	99,68 7254	99,687254	90,6	18,4	6,18
62	0,0065 78	48 68	21,1 9950 7	4,33896	99,88 5343	99,885343	90,6	18,4	6,06
63	0,0067 69	49 03	21,1 1876 6	4,32464	101,7 41741	101,74174 1	90,6	18,4	6,04
64	0,0069 36	48 52	20,7 7528	4,26736	104,9 22774	104,92277 4	90,6	18,4	5,96
65	0,0070 81	48 85	20,8 3612	4,31032	106,1 10927	106,11092 7	90,6	18,4	6,02
66	0,0072 31	49 57	21,0 4085 6	4,2602	106,5 58402	106,55840 2	90,6	18,4	5,95
67	0,0073 75	50 48	21,3 3519 9	4,28884	106,5 4787	106,54787	90,6	18,4	5,99

68	0,0075 42	50 29	21,3 7512 3	4,28168	109,2 62527	109,26252 7	90,7	18,4	5,98
69	0,0077 07	49 93	22,2 1886 8	4,41772	106,5 14878	106,51487 8	90,7	18,4	6,17
70	0,0078 82	49 57	20,6 5081 6	4,18144	116,1 10665	116,11066 5	90,7	18,4	5,84
71	0,0080 78	50 66	22,0 6738 5	4,4034	111,4 79454	111,47945 4	90,7	18,4	6,15
72	0,0081 92	52 02	24,5 9993 2	4,71128	102,5 34428	102,53442 8	90,7	18,4	6,58
73	0,0083 19	53 03	24,9 9803 9	4,73276	103,3 9291	103,39291	90,7	18,4	6,61
74	0,0084 51	54 50	25,4 8478 8	4,76856	103,8 6196	103,86196	90,7	18,4	6,66