



# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

## **FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

### **“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS Y PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DE UN BANCO DINAMOMÉTRICO”**

**BALLADARES PICO LUIS MIGUEL  
SAETEROS AMOROZO DARÍO JAVIER**

## **TESIS DE GRADO**

Previa a la obtención del Título de:

# **INGENIERO MECÁNICO**

**RIOBAMBA – ECUADOR  
2016**

**ESPOCH**

Facultad de Mecánica

---

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS**

---

2014-11-06

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

**BALLADARES PICO LUIS MIGUEL**  
**SAETEROS AMOROZO DARÍO JAVIER**

Titulada:

**“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS Y**  
**PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DE UN BANCO DINAMOMÉTRICO”**

Sea aceptado como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

**INGENIERO MECÁNICO**

---

Ing. Marco Santillán Gallegos  
**DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA**

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

---

Ing. Ángel Jácome Domínguez  
**DIRECTOR DE TESIS**

---

Ing. Ángel Silva Conde  
**ASESOR DE TESIS**

# ESPOCH

Facultad de Mecánica

---

## CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

---

**NOMBRE DEL ESTUDIANTE:** BALLADARES PICO LUIS MIGUEL

**TÍTULO DE LA TESIS:** “IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS Y PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DE UN BANCO DINAMOMÉTRICO”

**Fecha de Examinación:** 2016-02-04

**RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:**

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Edwin Viteri Núñez <b>PRESIDENTE TRIB. DEFENSA</b>			
Ing. Ángel Jácome Domínguez <b>DIRECTOR DE TESIS</b>			
Ing. Ángel Silva Conde <b>ASESOR DE TESIS</b>			

\* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

**RECOMENDACIONES:** \_\_\_\_\_

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

---

Ing. Edwin Viteri Núñez  
**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**

# ESPOCH

Facultad de Mecánica

---

## CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

---

**NOMBRE DEL ESTUDIANTE:** SAETEROS AMOROZO DARÍO JAVIER

**TÍTULO DE LA TESIS:** “IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS Y PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DE UN BANCO DINAMOMÉTRICO”

**Fecha de Examinación:** 2016-02-04

**RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:**

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Edwin Viteri Núñez <b>PRESIDENTE TRIB. DEFENSA</b>			
Ing. Ángel Jácome Domínguez <b>DIRECTOR DE TESIS</b>			
Ing. Ángel Silva Conde <b>ASESOR DE TESIS</b>			

\* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

**RECOMENDACIONES:** \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

---

Ing. Edwin Viteri Núñez  
**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**

## **DERECHOS DE AUTORÍA**

El trabajo de grado que presentamos, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teóricos-científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad de los autores. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

---

**Balladares Pico Luis Miguel**

---

**Saeteros Amorozo Darío Javier**

## **DECLARACION DE AUTENTICIDAD**

Nosotros, Balladares Pico Luis Miguel y Saeteros Amorozo Darío Javier, declaramos que el presente trabajo de tesis es de nuestra autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autores, asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de tesis.

---

**Balladares Pico Luis Miguel**  
Cedula de Identidad: 180430711-2

---

**Saeteros Amorozo Darío Javier**  
Cedula de Identidad: 060305587-2

## **DEDICATORIA**

El esfuerzo y dedicación entregados en este proyecto, son el resultado del apoyo incondicional de mi familia.

Dedico este trabajo a mí querida madre Teresita Amorozo, a mi hermana Alejandra por su comprensión y cariño durante toda esta etapa. Una dedicatoria especial a la niña que día a día llena mi vida con su cariño y amor Rafaela Saeteros.

**Darío Javier Saeteros Amorozo**

El presente proyecto de titulación dedico a dios, a mi esposa Belén, a Steev mi hijo los mismos que fueron un impulso y un pilar fundamental para poder culminar mi carrera y seguir cumpliendo conjuntamente nuestros objetivos planteados como familia.

También a mis padres quienes fueron un apoyo incondicional en los momentos difíciles que pase en mi preparación como profesional y particularmente a mi madre que con buenos consejos me guio por un buen camino y poder culminar una meta importante en mi vida.

**Luis Miguel Balladares Pico**

## **AGRADECIMIENTO**

El agradecimiento es extensivo a todas aquellas personas que de una u otra forma colaboraron en la consecución de este objetivo; familiares, amigos y profesores. A mi madre por el cariño la paciencia y el apoyo que me ha brindado a lo largo de toda mi vida.

Quiero agradecer de manera muy especial a dos personas que fueron de vital importancia en este camino a mi padre César Saeteros y a mi tío Silvio Saeteros.

**Darío Javier Saeteros Amorozo**

Agradezco a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en especial a la escuela de Ingeniería Mecánica por acogerme en sus aulas y darme la oportunidad de obtener una profesión y poder desenvolverme en el ámbito laboral.

Una agradecimiento especial a mis padres mi esposa e hijo quienes día a día me brindaron su apoyo. De la misma manera a mis familiares, amigos y personas que desinteresadamente me dieron su apoyo incondicional cuando más lo necesitaba.

**Luis Miguel Balladares Pico**

## CONTENIDO

	Pág.
<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	
1.1 Antecedentes .....	1
1.2 Justificación.....	2
1.3 Objetivos .....	2
1.3.1 <i>Objetivo general.</i> .....	2
1.3.2 <i>Objetivos específicos:</i> .....	2
<b>2. MARCO TEÓRICO</b>	
2.1 Introducción .....	4
2.2 Banco dinamométrico .....	4
2.2.1 <i>Caracterización de un banco dinamométrico.</i> .....	5
2.2.2 <i>Partes fundamentales del banco dinamométrico.</i> .....	6
2.2.3 <i>Descripción del funcionamiento.</i> .....	11
2.3 Motores de combustión interna.....	13
2.4 Parámetros de funcionamiento.....	14
2.4.1 <i>El torque.</i> .....	15
2.4.2 <i>Consumo específico de combustible.</i> .....	15
2.4.3 <i>Potencia.</i> .....	16
2.5 Vibraciones en motores de combustión interna. ....	17
2.5.1 <i>Fuentes de vibraciones en motores de combustión interna.</i> .....	18
2.6 Señales.....	18
2.6.1 <i>Señales analógicas.</i> .....	19
2.6.2 <i>Señales digitales.</i> .....	19
2.6.3 <i>Circuitos electrónicos.</i> .....	19
2.7 Elementos de un circuito electrónico .....	20
2.7.1 <i>Elementos pasivos.</i> .....	20
2.7.2 <i>Elementos activos.</i> .....	20
2.8 Sensores.....	20
2.8.1 <i>Tipos de sensores.</i> .....	21
2.8.2 <i>Sensor de velocidad rotacional.</i> .....	21
2.8.3 <i>Sensor consumo específico de combustible.</i> .....	22
2.8.4 <i>Sensor de medición de distancia.</i> .....	22
2.9 Tarjeta NI-USB DAQ 6009 .....	23
<b>3. MONTAJE Y ACONDICIONAMIENTO DEL MOTOR DE PRUEBAS</b>	
3.1 Definición del problema.....	24
3.2 Montaje y acoplamiento del motor de pruebas Ducati.....	24
3.2.1 Acople flexible.. .....	25
3.2.2 <i>Brida de conexión motor – acople flexible.</i> .....	28
3.2.3 <i>Eje estriado.</i> .....	30
3.2.4 <i>Diseño de los soportes del motor.</i> .....	31
3.2.5 <i>Montaje del motor Ducati.</i> .....	36
3.3 Acondicionamiento del motor Ducati .....	36
3.3.1 <i>Inspección de los filtros de aceite, aire y combustible.</i> .....	37
3.3.2 <i>Sistema de alimentación de combustible.</i> .....	38

3.3.3	<i>Calibración de válvulas</i> .....	39
-------	--------------------------------------	----

#### **4. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS DEL BANCO DINAMOMÉTRICO**

4.1	Definición del problema.....	41
4.2	Selección de sensores.....	41
4.2.1	<i>Selección del sensor para la medición del número de revoluciones</i> .....	41
4.2.2	<i>Selección del sensor para el consumo de combustible</i> .....	42
4.2.3	<i>Selección del sensor para la determinación del Torque</i> .....	43
4.2.4	<i>Selección del sensor de presión del motor</i> .....	45
4.2.5	<i>Selección de la tarjeta de adquisición Ni-USB DAQ</i> ..	46
4.2.6	<i>Entradas y salidas digitales</i> . .....	47
4.2.7	<i>Entradas y salidas analógicas</i> .....	47
4.3	Requerimientos de entradas y salidas. ....	48
4.4	Diseño de circuitos impresos para el acondicionamiento de las señales. ....	49
4.4.1	<i>Etapa de aislamiento</i> . .....	50
4.4.2	<i>Acondicionamiento sensor de velocidad y sensor Sharp</i> .....	50
4.4.3	<i>Acondicionamiento del monitoreo y control de carga</i> ..	51
4.5	Montaje de elementos. ....	52
4.5.1	<i>Montaje de los sensores para la medición del nivel de combustible</i> .....	52
4.5.2	<i>Montaje del sensor de distancia SHARP</i> .....	53
4.5.3	<i>Montaje del sensor de revoluciones</i> ..	53
4.6	Programación en Labview.....	54
4.6.1	<i>Panel frontal</i> .....	54
4.6.2	<i>Diagrama de bloques</i> . ....	55
4.6.3	<i>Desarrollo de la programación</i> .....	55
4.7	Diseño de la interfaz gráfica. ....	62

#### **5. FASE EXPERIMENTAL**

5.1	Funcionamiento.....	65
5.1.1	<i>Manual de usuario</i> .....	65
5.2	Pruebas de laboratorio.....	69

#### **6. ANÁLISIS DE COSTOS**

6.1	Introducción .....	74
6.2	Costos.....	74
6.2.1	<i>Costos directos</i> . .	74
6.2.2	<i>Costos indirectos</i> .....	75
6.3	Costo total .....	76

#### **7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

7.1	CONCLUSIONES .....	77
7.2	RECOMENDACIONES .....	78

#### **BIBLIOGRAFIA**

#### **ANEXOS**

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pag.</b>
1	Datos técnicos motor Ducati..... 14
2	Clasificación de los sensores. .... 21
3	Valores máximos de trabajo banco dinamométrico..... 26
4	Holgura de válvulas ..... 40
5	Calibración de válvulas..... 40
6	Entradas y salidas digitales ..... 47
7	Entradas y salidas analógicas..... 48
8	Requerimientos de entradas y salidas ..... 49
9	Datos experimentales sensor SHARP..... 57
10	Datos de los parámetros medidos con un $V_f = 50 \text{ cm}^3$ ..... 70
11	Datos de los parámetros medidos con un $V_f = 100 \text{ cm}^3$ ..... 71
12	Costos sistema de adquisición de datos ..... 74
13	Costos de rehabilitación del banco binamométrico ..... 75
14	Total costos directos ..... 75
15	Costos indirectos..... 75
16	Costo total..... 76

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pag.</b>
1 Banco dinamométrico Borghi & Saveri FA-200/30 SPV.....	5
2 Cimentación.....	6
3 Bancada .....	7
4 Partes constitutivas de la transmisión.....	8
5 Sistema de alimentación de combustible.....	9
6 Balanza .....	10
7 Panel de control .....	10
8 Principio de funcionamiento freno por corrientes parasitas .....	11
9 Partes constitutivas del freno.....	12
10 Sistemas de refrigeración de un banco dinamométrico .....	12
11 Diagrama de la medición de la potencia efectiva. ....	16
12 Ejemplo de una señal analógica.....	19
13 Ejemplo de una señal digital.....	20
14 Esquema efecto Hall .....	22
15 Sensor medición de distancia.....	22
16 Tarjeta NI-USB DAQ 6009 .....	23
17 Estado de la brida .....	24
18 Acople flexible .....	25
19 Desaliniamiento angular .....	25
20 Factores de servicio .....	26
21 Datos de desempeño de los acoples tipo SAGA.....	27
22 Conexión brida .....	28
23 Diagrama de fuerzas de la brida .....	28
24 Análisis de la deformación .....	29
25 Análisis del factor de seguridad.....	30
26 Bocín del eje estriado.....	30
27 Planteamiento del problema de las bases del motor .....	31
28 Diagrama de fuerzas de la base .....	32
29 Catálogo del perfil .....	34
30 Puntos críticos en los soportes.....	35
31 Niple filtro de aceite .....	37
32 Filtro de combustible .....	38
33 Alimentación de combustible .....	39
34 Calibración de válvulas.....	40
35 Esquema Sensor de velocidad rotacional .....	42
36 Reóstato .....	42
37 Celda de carga.....	43
38 Potenciómetro de precisión.....	44
39 Sensor SHARP .....	45

40	Trompo de aceite .....	45
41	Proceso para la adquisición de datos .....	46
42	Entradas y salidas digitales .....	47
43	Entradas y salidas analógicas.....	48
44	Distribución de los puertos de la tarjeta NI USB-6009 .....	49
45	Etapas de aislamiento .....	50
46	LM324A .....	51
47	Acondicionamiento de monitoreo y control de carga.....	51
48	Montaje sensores de nivel.....	52
49	Sensor efecto Hall.....	53
50	Panel frontal.....	54
51	Diagrama de bloques .....	55
52	DAQ Assistant .....	56
53	Bucle “For” .....	57
54	Modelación matemática.....	58
55	Matlab script .....	58
56	Monitoreo de carga .....	59
57	Configuración del sumador .....	59
58	Bloque de R.P.M .....	60
59	Bloque de resultados.....	62
60	Interfaz gráfica 1 .....	62
61	Interfaz gráfica 2.....	64
62	Alineación del motor al banco dinamométrico.....	66
63	Acople del banco al motor de arranque .....	67
64	Control de carga.....	68
65	Indicadores de nivel.....	69
66	Gráfica del torque prueba 1 .....	70
67	Gráfica de la potencia efectiva corregida prueba 1 .....	70
68	Gráfica consumo específico prueba 1 .....	71
69	Grafica del torque prueba 2 .....	72
70	Grafica de Ne prueba 2 .....	72
71	Gráfica consumo específico prueba 2.....	72

## SIMBOLOGÍA

Ct	Consumo de combustible	cm <sup>3</sup> /h
Vf	Volumen de combustible	cm <sup>3</sup>
M	Torque	kgf.m
P	Fuerza	kgf
D	Distancia	m
T	Tiempo	segundos
pb	Peso específico combustible	g/cm <sup>3</sup>
Cs	Consumo específico combustible	kg/CV.h
Ne	Potencia efectiva	CV
r	Radio	M
l	Longitud del brazo	m
Ft	Fuerza tangencial	Kg
Wt	Trabajo tangencial	J
We	Trabajo absorbido por el freno	J
n	Número de revoluciones	Rpm
E	Módulo de elasticidad	Kg/cm <sup>2</sup>
I	Inercia	m <sup>4</sup>
y'	Angulo de giro	Radianes
y	Deformación	m
K	Factor de corrección	Adimensional
T	Temperatura	°C
H	Presión atmosférica	mm.Hg

## **LISTA DE ABREVIACIONES**

NI DAQ	Adquisición de Datos National Instruments
SAE	Sociedad de Ingenieros Automotrices
AISI	Instituto Americano del Hierro y el Acero
LED	Diodo Emisor de Luz
TTL	Transistor Transistor Lógico
NPN	Negativo Positivo Negativo
UTP	Par Trenzado no Blindado
VI	Instrumentos Visuales

## **LISTA DE ANEXOS**

**A** Guía de laboratorio

## **RESUMEN**

Se ha implementado un sistema de adquisición de datos y pruebas de funcionamiento de un banco dinamométrico, con la finalidad de obtener datos más fiables de los parámetros de cada motor, para lo cual primero se realizó un análisis del estado inicial de los equipos para su posterior rehabilitación, mediante un mantenimiento preventivo y correctivo del mismo; luego de tener un equipo en óptimo funcionamiento se seleccionó los distintos elementos electrónicos necesarios para la implementación de este sistema.

Este sistema ayudo a tener un mejor control de la carga proporcionada al motor mediante el freno dinamométrico; permitiendo así evaluarlo con más precisión, a la vez se redujo el tiempo de las prácticas en este laboratorio, precautelando la vida útil del motor de pruebas. Además los sensores utilizados ayudaron a una mejor y precisa adquisición de señales; las mismas que serán acondicionadas, procesadas y visualizadas digitalmente en una interfaz gráfica en el computador mediante el software Labview para la obtención de los datos, las gráficas características de torque, potencia y consumo específico de combustible del motor de pruebas. Con estos resultados los estudiantes pueden analizar el desempeño de los motores de combustión interna, que serán evaluados en este equipo.

Este proyecto contribuye al desarrollo tecnológico de la Facultad de Mecánica de la ESPOCH, para estar acorde con las exigencias de la educación superior actual del país.

Se recomienda cumplir con el manual de usuario establecido, para de esta manera evitar daños en los equipos y accidentes que perjudiquen a los usuarios.

## **ABSTRACT**

This research has implemented a system of data acquisition and functional tests on a dynamometer in order to get more reliable parameters for each engine. From the study, an analyses of the initial state equipment for later rehabilitation was carried out through a preventive and corrective maintenance; after the equipment is working in good conditions, several electronic elements necessary were selected for the implementation of this system.

This system helped to have a better control about supplied to the motor load through the dynamometric brake; which allowed a more accurately testing, also the time of practices in this laboratory was reduced, so guarding the engine life. Moreover, the sensors helped a better and accurate signal acquisition; these signals will be upgraded, digitally processed and displayed on a graphical interface on the computer using Labview software for data collection, graphic features torque, as well as, power and specific fuel consumption engine tests. With these results, the students can analyze the performance of internal combustion engines, which will be evaluated on this computer.

This research contributes to the technological development of the Faculty of Mechanics of the ESPOCH, to in order to satisfy with all requirements of the current higher education in our country.

After the research, it is recommended to meet with the established user manual, and thus prevent equipment damage and accidents that affect to the users.

# CAPÍTULO I

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1 Antecedentes

Los distintos talleres de la Facultad de Mecánica de la ESPOCH, poseen en su mayoría equipos de laboratorio con tecnología que no están acorde a las exigencias actuales de la educación superior.

Uno de los laboratorios con este problema es el de “Motores de Combustión Interna”, en el cual se puede encontrar el banco dinamométrico marca Boghi y Saveri, modelo FA 200 SP, el mismo que fue adquirido gracias al convenio ESPOCH – ITALIA, dicho equipo es utilizado por los estudiantes de la Facultad de Mecánica con el objetivo de conocer el funcionamiento, propiedades y características de los motores de combustión interna.

Un banco dinamométrico es un equipo destinado a la medición de la potencia de motores de combustión interna a diferentes velocidades. Además son maquinarias utilizadas para la medición de ciertos parámetros con el objetivo principal de mejorar la potencia, disminuir el consumo de combustible y por tanto minorar el impacto ambiental.

Algunos tipos de bancos poseen un mecanismo de freno dinamométrico que genera un par resistente que otorga carga al motor, siendo esta carga la que permite evaluar al motor a distintas condiciones operativas.

La realización de prácticas en los distintos bancos de pruebas que tiene a disposición la Facultad de Mecánica, ayudan a los estudiantes a entender y poner en práctica los conocimientos teóricos impartidos. Los bancos dinamométricos, son utilizados actualmente para realizar pruebas y recolección de datos de revoluciones por minuto (rpm), peso (kgf), volumen de combustible consumido por el motor ( $\text{cm}^3$ ), para un posterior cálculo de los parámetros de potencia, torque y consumo específico de combustible, estos datos ayudaran a comprender de mejor manera el funcionamiento de los motores de combustión interna.

La lectura de los datos en algunos bancos dinamométricos se los hace de forma manual y con equipos analógicos de poca precisión; se ha visto la necesidad de realizar la automatización de un banco dinamométrico para la adquisición de los parámetros mencionados empleando sensores que entreguen una señal eléctrica estándar para su posterior visualización en una interfaz gráfica.

## **1.2 Justificación**

Mediante este proyecto de tesis se pretende, que el usuario realice de una manera más rápida y precisa la obtención de los datos necesarios para el cálculo de la potencia, torque y consumo específico de combustible de un motor de combustión interna que posee el banco de pruebas para las diferentes cargas a las que será sometido dicho motor, para que posteriormente se elabore el respectivo informe de laboratorio.

A la vez se puede ayudar a optimizar el tiempo de utilización del banco de pruebas, para de esta manera tener un mayor número de estudiantes que se beneficien de estas prácticas; puesto que con los instrumentos analógicos las prácticas de laboratorio tardaban más tiempo, forzando al equipo y teniendo el riesgo de que se rompa algún componente del banco.

## **1.3 Objetivos**

**1.3.1** *Objetivo general.* Implementar un sistema de adquisición de datos y realizar pruebas de funcionamiento de un banco dinamométrico.

**1.3.2** *Objetivos específicos:*

- Estudiar las principales partes y el funcionamiento básico del banco dinamométrico, para así tener una idea clara de las variables que intervienen en este sistema.
- Dimensionar y acondicionar los sensores más adecuados para la adquisición de los parámetros.
- Efectuar la transmisión de las señales eléctricas obtenidas por los distintos sensores a través de la tarjeta de adquisición de datos NI DAQ 6009.

- Implementar una interfaz gráfica con la utilización del software LABVIEW para la visualización de los parámetros obtenidos.
- Realizar las pruebas necesarias al sistema de adquisición de datos del banco para su correcto funcionamiento.
- Elaborar una guía de laboratorio para la correcta utilización del banco.

## **CAPITULO II**

### **2. MARCO TEÓRICO**

#### **2.1 Introducción**

Uno de los campos más importantes en el área de la ingeniería mecánica es aquella que estudia los distintos tipos de motores de combustión interna, los cuales son utilizados como principal componente en diversas industrias.

Por tal razón es de gran importancia determinar de alguna manera los distintos parámetros que rigen el comportamiento de estos motores, con el fin de obtener la información necesaria que ayude a optimizar su desempeño a distintos niveles de trabajo; es así que se han diseñado maquinas que realizan este tipo de mediciones, sin embargo con el pasar del tiempo estas han dejado de entregar datos confiables debido a la forma en que son presentados a los usuarios, dado que estos son obtenidos de una manera analógica la misma que puede ser interpretada de acuerdo a la visualización de cada persona. Un claro ejemplo de este problema es el banco dinamométrico que dispone la Facultad de Mecánica de la ESPOCH.

En el presente proyecto se resolverá este problema desarrollando un sistema de adquisición de datos computarizado, que ayude a los estudiantes a tener datos más precisos y confiables, mediante la utilización de sensores y una interfaz gráfica que sea de fácil manejo e interpretación para los usuarios.

#### **2.2 Banco dinamométrico**

Es un equipo muy utilizado en el área automotriz ya que nos permite acoplar mediante un sistema de transmisión de fácil montaje cualquier tipo de motor de combustión interna para su análisis, obteniendo con este, datos de consumo específico de combustible, torque, revoluciones por minuto y potencia efectiva, los mismos que serán evaluados posteriormente al realizar las distintas curvas características. Los bancos dinamométricos son de gran ayuda en la industria debido a que ayudan a repotenciar motores, reduciendo así las emisiones de CO<sub>2</sub> en el ambiente.

Figura 1. Banco dinamométrico Borghi & Saveri FA-200/30 SPV



Fuente: Autores

Para tener un análisis completo y real de las condiciones de funcionamiento de estos motores, el banco dinamométrico está provisto de un freno de corrientes parasitas, el mismo permite simular las diferentes condiciones de carga a las que están expuestas los motores.

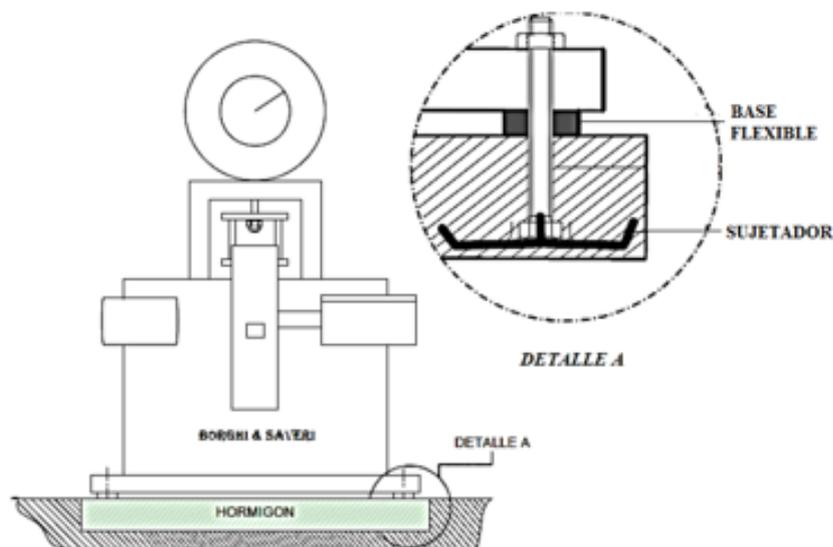
**2.2.1** *Caracterización de un banco dinamométrico.* Una de las principales características que posee un banco dinamométrico es el freno, ya que es el componente vital de la máquina, el mismo que tiene la función de proporcionar al motor la carga necesaria para evaluarlo a su máximo rendimiento. El freno que dispone este banco dinamométrico es de corrientes parasitas o de Foucault, este tipo de freno dinamométrico es el más común y eficaz que existe en el mercado por su fácil manipulación; además estos equipos tienen varias características propias como son:

- Alta velocidad de giro: solo limitada por los rodamientos y resistencia estructural del rotor.
- Escaso par residual: la potencia absorbida en vacío es muy pequeña, por lo que se pueden probar motores en un rango amplio de potencia.
- Ningún desgaste del rotor: El mantenimiento del freno se reduce a una limpieza eventual del circuito de agua o al cambio de rodamientos.

- Velocidad de respuesta muy elevada: Las variaciones de excitación en la bobina se traducen rápidamente en un cambio del par frenante.
- Distintos modos de regulación: Los frenos eléctricos son fáciles de regular a velocidad constante, o características intermedias entre ambas. En consecuencia, permiten el ensayo de cualquier motor térmico, eléctrico o de otro tipo.
- Facilidad de automatización: al ser la excitación del freno puramente eléctrica, es fácil su programación en ordenador.

**2.2.2 Partes fundamentales del banco dinamométrico.** Los bancos dinamométricos constan de un sin número de partes dependiendo del modelo y tipo de banco; sin embargo se va a citar los elementos más importantes que caracterizan al equipo de este proyecto como es el banco dinamométrico marca Borghi y Saveri modelo FA 200 SP. Las principales partes de un banco dinamométrico son:

Figura 2. Cimentación



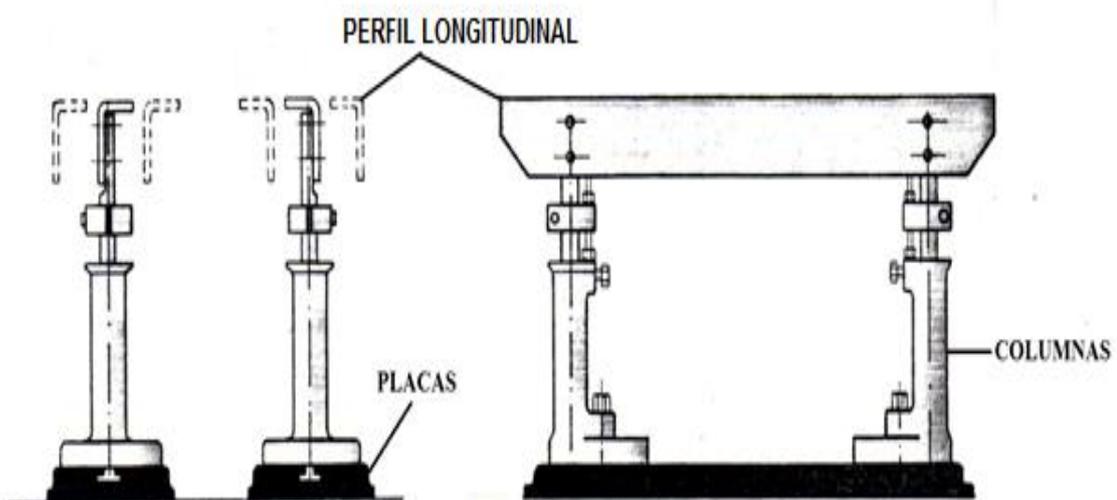
Fuente: (Borgi & Saveri S.R.L)

*Cimentación.* Es la parte que absorbe las vibraciones y momentos resultantes ocasionados por el motor de prueba. La cimentación es muy importante en el banco dinamométrico, a través de esta se eliminan las principales vibraciones ocasionadas por el funcionamiento del equipo. Está compuesta de varios elementos que permiten la adaptación al piso donde estará instalada la máquina.

Uno de los elementos esenciales que conforma la cimentación son los sujetadores, los mismos que irán empotrados en el pavimento y así evitar el desplazamiento del banco de pruebas en las diferentes direcciones debido a las fuerzas de inercia no equilibradas. Otro elemento es la base flexible que va ubicada entre el piso y la base del equipo, el cual nos ayuda a disminuir las vibraciones.

*Bancada.* La bancada es una estructura encargada de soportar y adaptar los distintos motores de combustión interna, para realizar el análisis de los mismos de una manera segura. La bancada de este modelo consta de tres partes muy esenciales como son:

Figura 3. Bancada



Fuente: (Borgi & Saveri S.R.L pp. 22-101)

- Dos placas de hierro fundido con ranuras para el deslizamiento y posterior ajuste de las columnas según el requerimiento del tipo de motor a prueba.
- Cuatro columnas de hierro fundido con un pasador ajustable de acero, el cual nos permite regular la altura del motor para su alineamiento con la transmisión.
- Dos perfiles longitudinales de acero con ranuras para el montaje de los diferentes tipos de motores de prueba.

Esta bancada está diseñada para soportar hasta un peso máximo de 1300 kg (Borgi & Saveri S.R.L). Esto nos hace notar que se puede anclar al freno grandes motores sea diésel

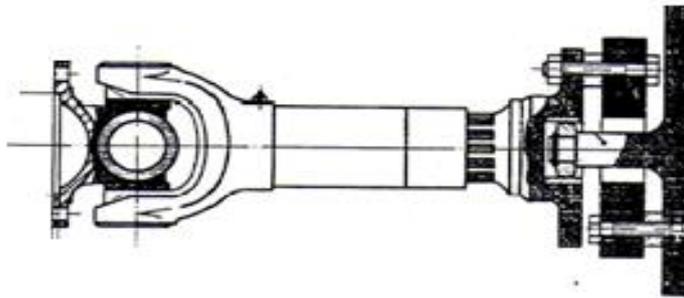
o gasolina, siempre y cuando se diseñe unas bases para poder acoplar a la bancada del banco y realizar las diferentes pruebas que sean necesarias.

*Freno dinamométrico.* El freno dinamométrico es una parte esencial del banco, el cual proporciona la simulación de una carga variable a la que estará expuesta el motor en su vida útil mediante un par resistente. Las principales partes de un freno dinamométrico se describen a continuación.

*Transmisión.* La transmisión permite acoplar el motor de prueba con el banco dinamométrico, mediante un amortiguador flexible el cual absorberá los movimientos axiales del eje y las fluctuaciones del par de torsión.

Otros accesorios que involucran la transmisión del motor con el freno dinamométrico son el cardan y la brida intermedia que se acoplará al motor y al acople flexible.

Figura 4. Partes constitutivas de la transmisión.



Fuente: (Borgi & Saveri S.R.L)

*Sistema de alimentación de combustible del motor.* Este sistema proporciona el combustible que será consumido por el motor durante la prueba, cabe aclarar que el combustible que se utilice ya sea diésel o gasolina debe ser medido, para tener un dato preciso y posteriormente calcular su consumo específico.

La alimentación del combustible desde el sistema de alimentación hacia el motor se debe realizar mediante una manguera hidráulica conectada directamente a la bomba de inyección del motor de pruebas, asegurándose así la medición del consumo exacto de combustible. Puesto que la conexión se la realiza directamente a la bomba se debe tener la precaución de siempre tener combustible en el sistema, evitándose una absorción de aire lo que causaría que el motor se apague.

Figura 5. Sistema de alimentación de combustible



Fuente: Autores

*Sistema de refrigeración del freno.* El sistema de refrigeración mediante una red de agua es indispensable, debido a que los frenos dinamométricos generan calor por la resistencia al movimiento que producen las corrientes parasitas. Este calor debe ser eliminado por la red de agua del sistema de refrigeración.

Este sistema consta de varios elementos como la adecuación de una cisterna conjuntamente con una bomba de succión, además el agua debe pasar por el ablandador o descalsificador cuya función es reducir en lo mínimo los minerales que contiene el agua y así evitar la corrosión en las tuberías y demás partes del freno. Es importante mencionar que el agua debe estar a una presión determinada caso contrario el par resistente variara y la medida a obtener no será la adecuada, esta presión es controlada por un presostato el cual nos indicara mediante una lámpara de alarma si no posee la suficiente presión.

*Balanza dinamométrica.* La balanza dinamométrica es el dispositivo o mecanismo que permite la visualización de la fuerza ejercida por el motor como resultado de la resistencia al freno, que se produce por las corrientes parasitas del freno dinamométrico, al aumentar las condiciones de carga y número de revoluciones se puede analizar al motor en condiciones muy cercanas a la realidad.

En este caso la fuerza estará presentada en kg, que al multiplicarla por la longitud del brazo que está ubicado desde el eje del freno hasta la balanza, dará como resultado el torque que emite el motor de prueba.

El número de divisiones de la balanza puede variar conforme con el modelo y la marca, el banco de pruebas posee una balanza con 500 divisiones, que permite tener una apreciación mínima de 0,1 kg y una máxima de 50 kg.

Figura 6. Balanza



Fuente: Autores

*Panel de control.* El panel de control es donde están ubicados todos los mandos para el funcionamiento del banco, es así que en este se puede encontrar accesorios electrónicos como potenciómetros, interruptores, pulsadores e indicadores de presión, temperatura, amperaje y número de revoluciones a las que está trabajando en su momento el motor de prueba.

Figura 7. Panel de control

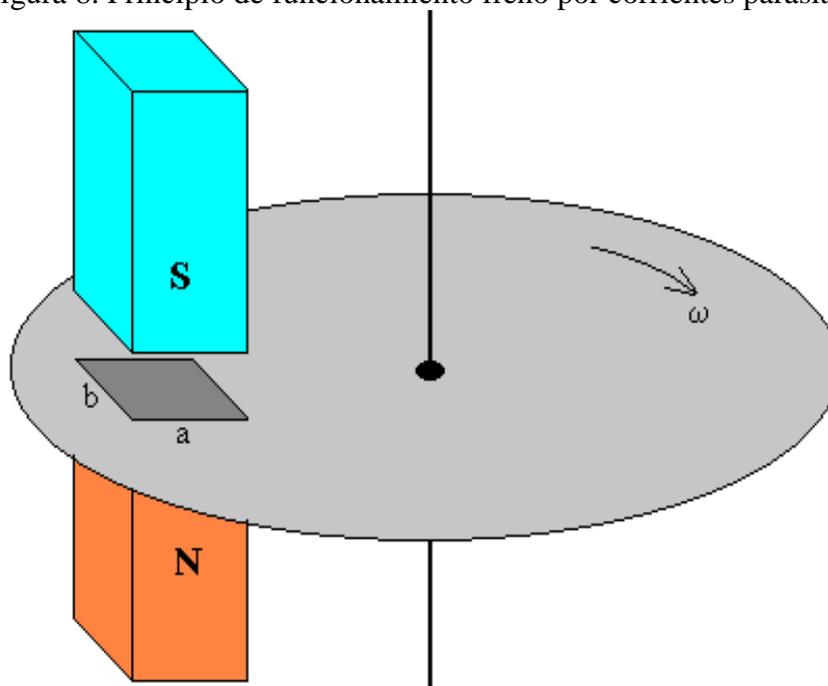


Fuente: Autores

En esta parte del banco también se tiene la alimentación eléctrica, ya que del panel se enciende todos los equipos que son parte del banco, de igual manera existe un transformador de corriente alterna a corriente continua

**2.2.3 Descripción del funcionamiento.** El funcionamiento de un banco dinamométrico en si se basa en el freno, ya que es el principal componente del mismo y el que proporcionara la carga para el motor de prueba y así obtener los diferentes parámetros a medir.

Figura 8. Principio de funcionamiento freno por corrientes parasitas

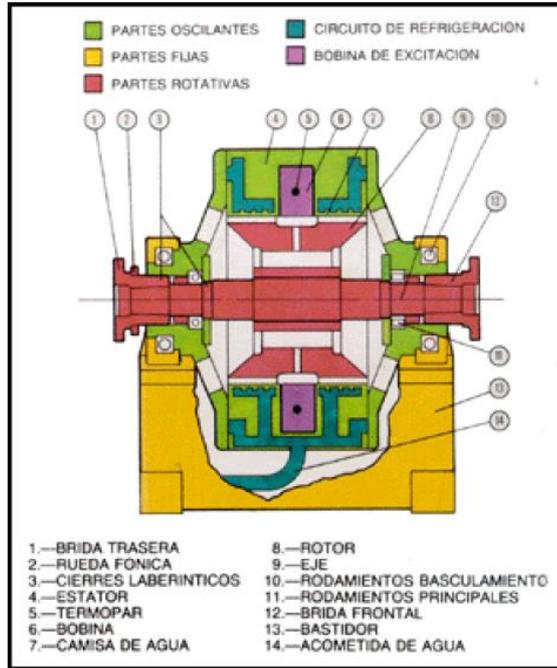


Fuente: (Franco García, 2009)

El freno dinamométrico del banco utilizadó en este proyecto es de corrientes parasitas o de corrientes de Foucault, cuyo principio básico es que cuando un conductor eléctrico se mueve en una región donde existe un campo magnético constante, produciendo así corrientes o una energía que es disipada en el conductor; debido a esta energía se produce una fuerza que disminuye la velocidad a la que está girando la placa metálica o el conductor.

En el banco dinamométrico marca Borghi & Saveri que es objetivo de este proyecto se tiene la carcasa del freno en donde está alojado el rotor, formado por dos semiejes y un disco polar el mismo que gira entre dos cámaras de refrigeración fijadas a la carcasa.

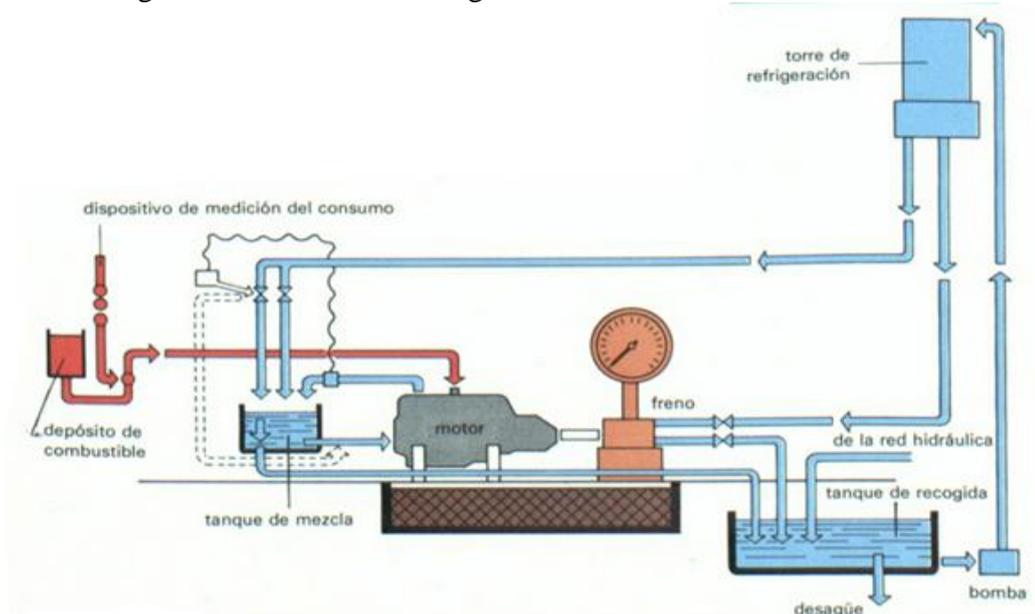
Figura 9. Partes constitutivas del freno



Fuente: (López Fernández , 2010)

En las cámaras de refrigeración circula un campo magnético generado por una bobina energizada con corriente continua; la rotación del disco polar corta las líneas de fuerza del campo magnético, generando en la capa superficial de las cámaras de enfriamiento las corrientes de Foucault, cuyos campos magnéticos se oponen a la rotación del disco ocasionando el frenado.

Figura 10. Sistemas de refrigeración de un banco dinamométrico



Fuente: (Hearst Magazines S.L, 2015)

Todo el funcionamiento del banco es controlado desde el panel de mando, puesto que es donde se puede visualizar varios datos como el amperaje que se va suministrando al freno, además el número de revoluciones por minuto que es medido por un sensor magnético a través de una rueda dentada colocada en el extremo del eje.

Los sistemas de refrigeración y de alimentación de combustible al motor también son de vital importancia. El sistema de refrigeración posee una red de agua la misma que se encarga de eliminar el calor ocasionado por el motor.

### **2.3 Motores de combustión interna**

Los motores de combustión interna son máquinas que adquieren energía mecánica mediante el proceso químico del combustible que arde en una cámara de combustión. Existen un sin número de motores, sin embargo citaremos a continuación los más comunes en el mercado.

*Motor ciclo Otto.* Este motor es de tipo alternativo de cuatro tiempos, son los más utilizados para los automóviles de cuatro ruedas, sin embargo el rendimiento de este motor es tan solo del 25%, es decir una cuarta parte se aprovecha en energía mecánica y el 75% se disipa en calor.

- *Primer tiempo (Admisión).*- Las válvulas de admisión se abren y las válvulas de escape se cierran para el ingreso del aire y el combustible a la cámara de combustión.
- *Segundo tiempo (Compresión).* La mezcla que se encuentra en la cámara es comprimida aumentando la presión lo que ayudara al sistema para que se produzca de manera eficaz el siguiente tiempo.
- *Tercer Tiempo (Combustión).* Una vez que la mezcla es comprimida la bujía se enciende haciendo saltar una chispa a la mezcla, produciéndose la combustión lo que hace que el pistón pase del punto muerto superior al punto muerto inferior.
- *Cuarto Tiempo (Escape).* Los gases producidos por la combustión son conducidos hacia afuera de la válvula de escape.

*Motor Diésel.* Este tipo de motor tiene una similitud al de ciclo Otto, su diferencia está en que el proceso de combustión se realiza a volumen constante, no así el de ciclo Otto que realiza a presión constante.

El rendimiento de estos motores supera a los de gasolina teniendo una eficiencia del 40%, sin embargo una de sus desventajas es que son relativamente más pesados que los de ciclo Otto. La mayor parte de motores a diésel son de cuatro tiempos, teniendo los mismos tiempos que el motor de gasolina.

En este tipo de motores se realiza los mismos cuatro tiempos de los motores del ciclo Otto, con la única diferencia que la combustión de la mezcla aire combustible ya no se la logra con el encendido de la bujía sino con la pulverización a grandes presiones.

El motor que utilizaremos para realizar las prácticas y el presente proyecto será un motor Ducati, que se encuentra en el laboratorio de motores de combustión interna de la Facultad de Mecánica de la ESPOCH, entre algunas de las características que se pudo obtener de dicho motor se lo puede apreciar en la siguiente tabla.

Tabla 1. Datos técnicos motor Ducati

<b>Nombre</b>	<b>Característica</b>
Marca	Ducati
Tipo de Combustible	Diésel
Peso	115 kg
Cilindrada	1000 cc.
Tipo de refrigeración	Aire
Potencia máxima	22 CV
Tipo de aceite	SAE 40

Fuente: Autores

## 2.4 Parámetros de funcionamiento

Los parámetros de funcionamiento del motor están basados principalmente en el torque, el consumo específico de combustible, la potencia y como adicional estaría las revoluciones por minuto a las que gira el motor; a continuación detallaremos los parámetros citados, para una mejor comprensión de las variables que intervienen para su interpretación.

**2.4.1** *El torque.* El torque no es más que la fuerza que produce el motor en el eje, mientras mayor es la fuerza de giro que produce el motor a un determinado número de revoluciones, el torque será máximo. Esta relación se le puede representar matemáticamente como:

$$M = P \times d \quad (1)$$

Dónde:

M = Torque [kgf.m]

P = Fuerza [kgf]

D = Distancia [m]

**2.4.2** *Consumo específico de combustible.* El consumo específico de combustible está relacionado directamente con el rendimiento del motor, puesto que mientras menor sea el consumo de combustible, mayor rendimiento tendrá el motor, esta disminución en el consumo de combustible del motor se traducirá en una menor emisión de gases productos de la combustión al ambiente

El consumo específico de combustible está dado por la cantidad de combustible que se necesita suministrar al motor, para obtener una potencia en un determinado tiempo. Estas relaciones se puede expresar de la siguiente manera. (Díaz, 1987 p. 59)

El consumo de combustible será

$$C_t = 3.6 \frac{V_f \cdot \rho_b}{t} \quad (2)$$

En donde:

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

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

t = Tiempo [s]

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

El consumo específico estará dado por:

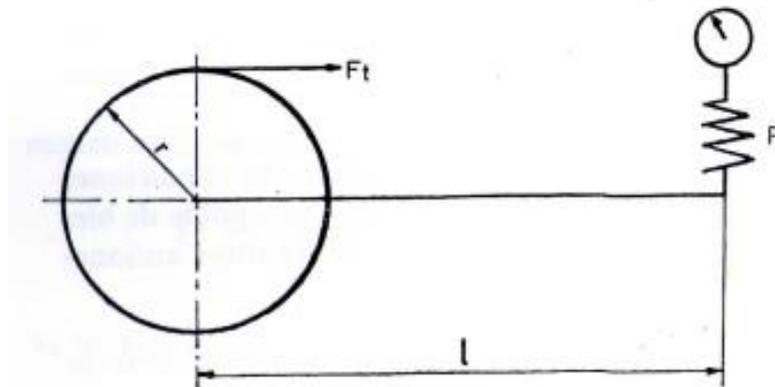
$$C_s = \frac{C_t}{N_e} \quad (3)$$

$$C_s = 3.6 \frac{V_f \cdot \rho_b}{t} \quad (4)$$

**2.4.3 Potencia.** La potencia de un motor de combustión interna es la rapidez con la que puede trabajar dicho motor, matemáticamente es trabajo que se realiza en un determinado tiempo. Si se requiere la potencia máxima no es más que el producto del torque por la velocidad de giro en que lo genera.

*Potencia efectiva.* Un tipo de potencia que nos será útil en nuestros cálculos es la potencia efectiva o potencia al freno, la misma que es aquella que es desarrollada por el combustible en el interior del cilindro. Otro de los conceptos sería la potencia generada del torque que está presente en el eje del cigüeñal.

Figura 11. Diagrama de la medición de la potencia efectiva.



Fuente: (Díaz, 1987)

Dónde:

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

$P$  = Fuerza [kgf]

$l$  = Longitud del brazo [m]

$F_t$  = Fuerza tangencial [kgf]

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

$$W_t = 2\pi r \cdot F_t \quad (5)$$

Tenemos que el producto entre  $(F_t \cdot r)$  Representa el torque desarrollado por el motor, que es el mismo que el momento resistente  $(P \cdot l)$  producido por el banco.

Por tanto el trabajo absorbido por el freno será:

$$W_e = 2\pi l \cdot P \quad (6)$$

Y por tanto la potencia efectiva será:

$$N_e = 2\pi l \cdot P \cdot n \quad (7)$$

Siendo  $n$  el número de revoluciones del motor en (r.p.m.),  $l$  en metros y  $P$  en kgf. La potencia en CV sería:

$$N_e = \frac{2\pi l \cdot P \cdot n}{75.6} \quad (8)$$

$$N_e = \frac{P \cdot l \cdot n}{716.2} \quad (9)$$

Donde  $P$  es la carga (fuerza) en kgf que se visualiza en la balanza del dinamómetro.

## 2.5 Vibraciones en motores de combustión interna

Se puede decir que todo cuerpo que posee una masa y elasticidad está sujeto a vibrar. La vibración generalmente se trata de un movimiento periódico ondulatorio; esto nos quiere decir que este movimiento se ira repitiendo varias veces en un intervalo de tiempo. Las vibraciones pueden ser medidas y caracterizadas midiendo la oscilación o desplazamiento alternante de ciertos puntos al paso de una onda elástica.

Para poder analizar las vibraciones en un motor de combustión interna, debemos tener en cuenta que el motor está compuesto de varios elementos entre los principales que estaría involucrados en este fenómeno sería los pistones, bielas y el cigüeñal, los mismos que no tienen el mismo movimiento, es decir los pistones tienen un movimiento rectilíneo a lo

contrario que el cigüeñal, que tiene un movimiento circular esta pudiera ser una de los principales factores para que ocurra la vibración debido a que por medio de las bielas se combinan estos dos tipos de movimientos generando este fenómeno.

Fuentes de vibraciones en motores de combustión interna. Las principales fuentes de vibraciones en un motor de combustión interna son las siguientes:

- Irregularidades en el momento torsor a la salida del cigüeñal.
- Existencia de fuerzas y momentos de fuerzas de inercia desbalanceados en el mecanismo biela – manivela.
- Carácter impulsivo de la fuerza de los gases en el cilindro.
- Cargas de impacto en pares cinemáticos del mecanismo biela – manivela y otros mecanismos auxiliares dadas por holguras tecnológicas y fuerzas variables. (Rofriguez Matienzo, 1998).

La vibración es uno de los fenómenos que afecta en gran medida la adquisición de los datos de carga en el mecanismo de la balanza dinamométrica, ocasionando que la pluma del mecanismo del banco oscile en exceso; dándonos de esta manera un valor erróneo, debido a que no se puede estabilizar la pluma de la balanza y no se puede tener una buena apreciación del dato exacto.

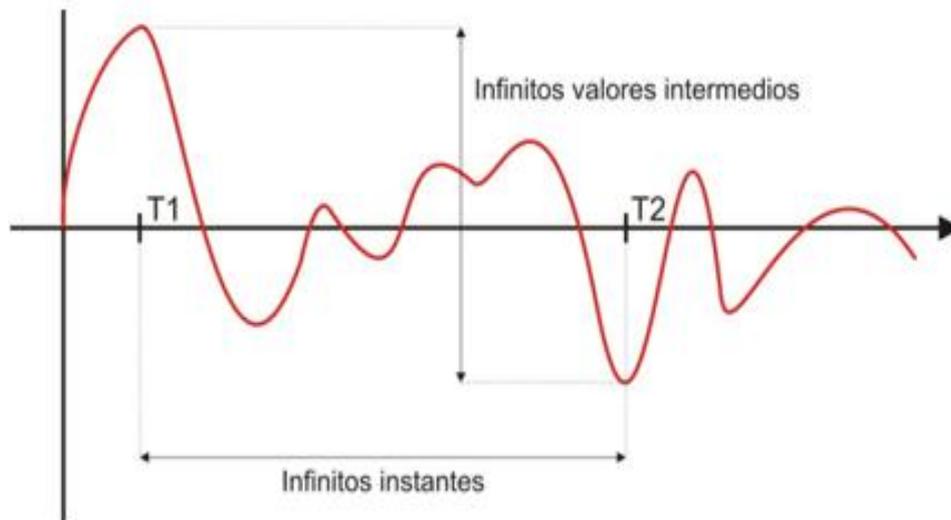
## **2.6 Señales**

Se define como señal a toda variación de voltaje o corriente que sea generada por medio de un fenómeno electromagnético, La señal puede generarse artificialmente por un circuito electrónico (oscilador). Sin embargo, en la mayoría de las aplicaciones prácticas, la señal eléctrica representa la variación de otra magnitud física en el transcurrir del tiempo, convertida en electricidad por un transductor.

Se considera como señal la información útil para el circuito, cualquier información indeseada, inútil o dañina, introducida involuntariamente en el sistema, es considerada ruido, estos deben ser eliminados del sistema. Existen dos tipos de señales que son:

**2.6.1** *Señales analógicas.* Las señales analógicas son aquellas señales que varían en función del tiempo; es decir que para cambiar de un estado máximo a su estado mínimo estas pasan a través de todos sus valores intermedios, siendo esta una señal continua.

Figura 12. Ejemplo de una señal analógica



Fuente: (González Fernández, et al., 2013)

**2.6.2** *Señales digitales.* Se denominan digitales a aquellas señales que varían en función del tiempo tomando únicamente dos valores; es decir que para cambiar de sus estados máximo a mínimo lo hacen mediante saltos o pulsos, obteniendo de esta manera gráficas de formas cuadráticas. (Ver Figura 13).

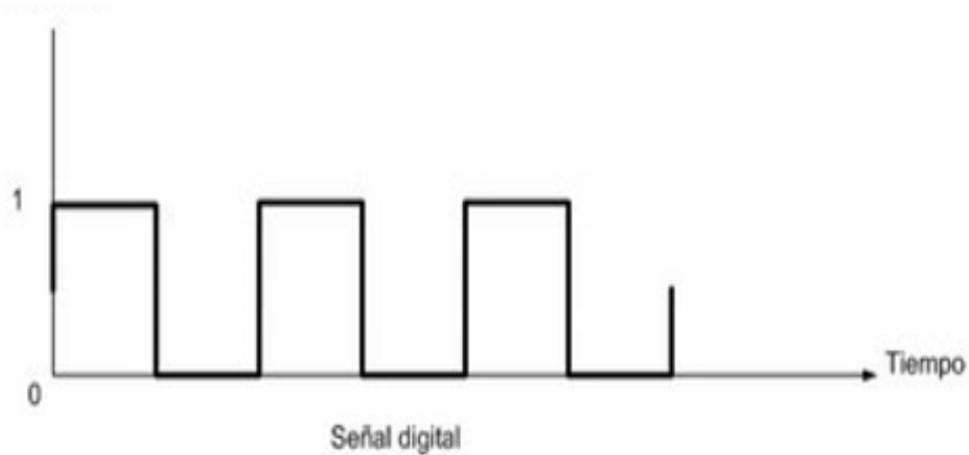
**2.6.3** *Circuitos electrónicos.* Son placas compuestas por materiales semiconductores, materiales activos y pasivos, cuyo funcionamiento depende del flujo de electrones para la generación, transmisión, recepción, almacenamiento de información, entre otros. (ECURED , 2010)

Se denomina circuito electrónico a una serie de elementos o componentes eléctricos o electrónicos, tales como resistencias, inductancias, condensadores, fuentes, y/o dispositivos electrónicos semiconductores, conectados eléctricamente entre sí con el propósito de generar, transportar o modificar señales electrónicas o eléctricas.

La principal aplicación de estos circuitos electrónicos es la de acondicionar, modificar, amplificar, filtrar es decir el procesamiento de las señales provenientes de los sensores.

En la siguiente grafica se puede observar el comportamiento de una señal digital a medida que el tiempo varía, se puede notar únicamente dos estados posibles.

Figura 13. Ejemplo de una señal digital



Fuente: (Tangient LLC, 2005)

## 2.7 Elementos de un circuito electrónico

Los elementos de un circuito electrónico según su funcionamiento se clasifican en pasivos y activos.

**2.7.1 Elementos pasivos.** Son aquellos elementos que únicamente reciben o absorben energía, como por ejemplo resistores, condensadores y bobinas.

**2.7.2 Elementos activos.** Son aquellos elementos que generan, amplifican o modifican una señal eléctrica, como por ejemplo diodos y transistores.

Un ejemplo de elemento pasivo sería el resistor y las fuentes de corriente y voltaje serían elementos activos. Los capacitores e inductores suelen estar dentro de estas dos categorías ya que absorben energía cuando se cargan y así mismo suministran energía cuando se descargan.

## 2.8 Sensores

Un sensor es un dispositivo que, a partir de la energía del medio donde se mide, da una señal de salida transducible que es función de la variable medida ( Pallás Areny , 2003).

Un sensor se diferencia de un transductor en que el sensor está siempre en contacto con la variable de instrumentación con lo que puede decirse también que es un dispositivo que aprovecha una de sus propiedades con el fin de adaptar la señal que mide para que la pueda interpretar otro dispositivo.

**2.8.1** *Tipos de sensores.* Desde el punto de vista de la ingeniería electrónica, es más atractiva la clasificación de los sensores de acuerdo con el parámetro variable: resistencia, capacidad, inductancia, añadiendo luego los sensores generadores de tensión, carga o corriente ( Pallás Areny , 2003). Para poder tener una idea más amplia se los ha clasificado mediante otros criterios como se muestra a continuación.

Tabla 2. Clasificación de los sensores.

<b>Criterio</b>	<b>Clases</b>	<b>Ejemplos</b>
Aporte de energía	Moduladores Generadores	Termistor Termopar
Señal de salida	Analógicos Digitales	Potenciómetro Codificador de posición
Modo de operación	De deflexión De comparación	Acelerómetro de deflexión Servo acelerómetro

Fuente: ( Pallás Areny , 2003)

En el presente trabajo se va a realizar la medida de 4 magnitudes físicas siendo estas: velocidad rotacional, nivel de combustible, presión de aceite y torque.

Para poder determinar estas magnitudes se utilizaron los siguientes sensores.

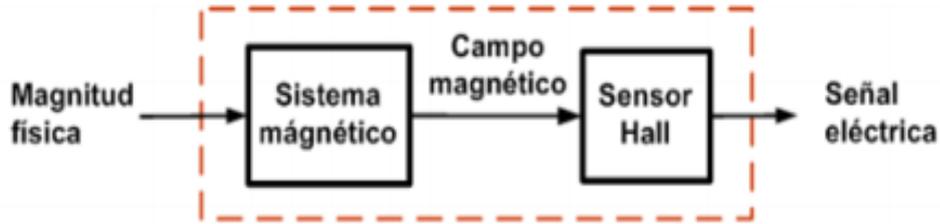
**2.8.2** *Sensor de velocidad rotacional.* Para poder determinar las revoluciones por minuto (RPM) a las que opera o trabaja el motor de pruebas utilizamos un sensor de efecto Hall.

El sensor de efecto Hall se basa en el principio de modificación del campo magnético por la presencia o ausencia de un objeto metálico.

Consiste en la producción de una caída de voltaje a través de un conductor o semiconductor con corriente, bajo la influencia de un campo magnético externo. Para esto es necesario que la dirección de campo magnético sea perpendicular a la dirección de flujo de la corriente. El efecto Hall se presenta en conductores y en semiconductores.

Las diferencias de potencial producidas en tiras metálicas son muy pequeñas. (Murdocca p. 2).

Figura 14. Esquema efecto Hall

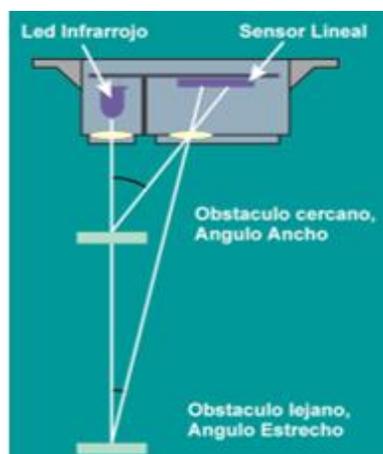


Fuente: Autores

**2.8.3** *Sensor consumo específico de combustible.* Existen muchos sensores para la determinación de volumen de combustibles, utilizados para aplicaciones industriales principalmente en vehículos, dado que en el presente proyecto se desea evaluar el comportamiento del motor a distintas revoluciones y condiciones de carga estos sensores son de poca ayuda para esta aplicación por lo que se optó por una adaptación al mecanismo de medición existente en el banco. En el capítulo 4 se detallara de mejor manera el sensor utilizado.

**2.8.4** *Sensor de medición de distancia.* Para la determinación del torque que proporciona el motor en sus distintas condiciones operativas; el Banco Dinamométrico está provisto de una balanza la misma que con un mecanismo adaptado al freno ejerce una fuerza que se ve reflejada en dicha balanza.

Figura 15. Sensor medición de distancia



Fuente: (Martin, 2008)

Este sensor es de tipo reflexivo, es decir determina la distancia de un objeto a través del ángulo que se genera a partir de un haz de luz infrarrojo que dispara este sensor y luego de rebotar en una superficie regresa a un sensor lineal integrado en el mismo, determinando de esta manera la distancia a la que se encuentra el objeto, dependiendo de la marca utilizada la señal de salida puede ser analógica o digital.

Este sensor es de tipo reflexivo, es decir determina la distancia de un objeto a través del ángulo que se genera a partir de un haz de luz infrarrojo que dispara este sensor y luego de rebotar en una superficie regresa a un sensor lineal integrado en el mismo, determinando de esta manera la distancia a la que se encuentra el objeto, dependiendo de la marca utilizada la señal de salida puede ser analógica o digital.

## 2.9 Tarjeta NI-USB DAQ 6009

NI-USB DAQ 6009 es una tarjeta creada por la Nacional Instruments utilizada principalmente para procesar , adquirir , analizar y presentar señales, sean estas analógicas o digitales provenientes de cualquier tipo de sensores y después ser transferidas a una computadora para su visualización o posterior utilización.

Figura 16. Tarjeta NI-USB DAQ 6009



Fuente: Autores

## CAPITULO III

### 3. MONTAJE Y ACONDICIONAMIENTO DEL MOTOR DE PRUEBAS

#### 3.1 Definición del problema

Dada las condiciones en las que se encontraba el banco dinamométrico era imposible la ejecución del presente proyecto, por lo que primero que todo se debe identificar los principales problemas y darles solución.

Por tal razón se realizó una inspección visual, para así poder determinar qué elementos y sistemas necesitaban de una solución correctiva y cuales simplemente necesitaban un mantenimiento preventivo.

#### 3.2 Montaje y acoplamiento del motor de pruebas Ducati

El montaje y acondicionamiento del motor de pruebas es de vital importancia para poder realizar las prácticas de una manera segura y precisa en el banco dinamométrico, ya que de esto depende el correcto funcionamiento de las principales partes del sistema de transmisión que acopla el motor al banco.

Al realizar una inspección visual de los principales componentes de la transmisión se pudo determinar los siguientes problemas.

Figura 17. Estado de la brida



Fuente: Autores

Figura 18. Acople flexible



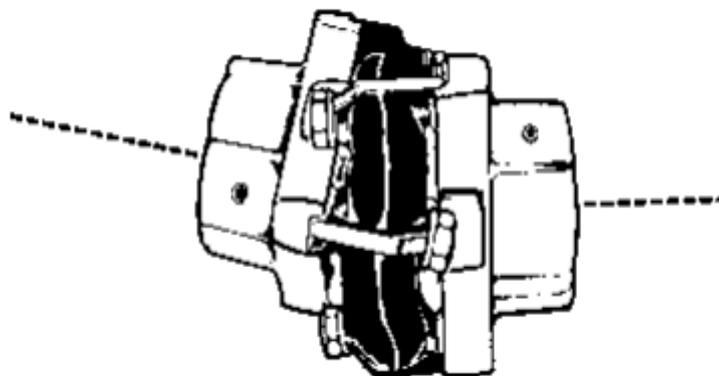
Fuente: Autores

Este problema surgió por un exceso de carga en las condiciones de trabajo del banco y también se debe a un mal diseño de la brida que acopla el motor a la transmisión del banco, ya que esta brida no permitía que el acople flexible cumpla con el objetivo para el cual estuvo diseñado.

**3.2.1** *Acople flexible.* La principal función de este tipo de acoples es permitir un determinado desajuste radial, angular o axial que se produce por una mala instalación o por el trabajo que realizan los componentes.

Actúan también a manera de un fusible mecánico protegiendo el eje del motor si se produce algún sobre esfuerzo al momento de realizar el par frenante ejercido por el banco dinamométrico.

Figura 19. Desalineamiento angular



Fuente: (LOVEJOY COUPLING SOLUTIONS , 2015 p. 23)

Para seleccionar el acople flexible que cumpla con todos los requerimientos técnicos se debe conocer los valores máximos a los que el banco dinamométrico marca Borgghi & Saveri FA-200/30 SPV puede trabajar, los mismos que se describen en la siguiente tabla:

Tabla 3. Valores Máximos de trabajo banco dinamométrico

Banco Dinamométrico	RPM (Max)	Torque Máximo (kg.m)	Potencia máxima
FA-200/30 SPV	12 000	60	197,4 HP

Fuente: (Borggi & Saveri S.R.L)

Con la ayuda del catálogo LOVEJOY para selección de acoples flexibles del tipo Saga, procedemos al cálculo y determinación del producto que mejor se adapte a nuestras condiciones de trabajo.

Primero se debe determinar el factor de servicio, con ayuda de la siguiente tabla:

Figura 20. Factores de servicio



**App**

---

**Application Service Factors**

	Service Factors				Service Factors		
	Electric Motor w/ Standard Torque	Electric Motor w/ High Torque	Turbines, Air & Hydraulic Motors		Electric Motor w/ Standard Torque	Electric Motor w/ High Torque	Turbines, Air & Hydraulic Motors
Agitators.....	1.25	1.50	1.00	Disc Feeder.....	1.25	1.50	1.00
Band Resaw (lumber).....	1.50	2.00	1.25	Dough Mixer.....	1.50	2.00	1.25
Barge Haul Puller.....	2.00	2.50	1.50	Draw Bench Conveyor & Main Drive.....	2.00	2.50	1.50
Barking (lumber).....	2.00	2.50	1.50	Dredges			
Bar Screen (sewage).....	2.00	2.50	1.50	Cable reef, Pumps.....	1.50	2.00	1.25
Batches (textile).....	1.25	1.50	1.00	Cutter head, Jig, & Screen Drives.....	2.00	2.50	1.50
Beater and Pulper (paper).....	1.50	2.00	1.25	Maneuvering & Utility Winch, Stacker.....	1.50	2.00	1.25
Bending Roll (metal).....	1.50	2.00	1.25	<b>Dynamometer.....</b>	<b>1.25</b>	<b>1.50</b>	<b>1.00</b>
Bleacher (paper).....	1.25	1.50	1.00	Dryers (rotary).....	1.50	2.00	1.25
Blowers				Edger (lumber).....	2.00	2.50	1.50
Centrifugal, Vane.....	1.25	1.50	1.00	Escalators <sup>1</sup> .....	1.25	1.50	1.00
Lobe.....	1.50	2.00	1.25	Extruders (metal).....	2.00	2.50	1.50
Bottling Machinery.....	1.25	1.50	1.00	Fans			
Brew Kettles (distilling).....	1.25	1.50	1.00				
Bucket Elevator or							

Fuente: (LOVEJOY COUPLING SOLUTIONS, 2015)

Con este factor de servicio se determina la potencia en HP por cada 100 RPM:

$$\frac{HP}{100 \text{ RPM}} = \frac{HP (100) (Factor \ de \ Servicio)}{RPM} \quad (10)$$

$$\frac{HP}{100 \text{ RPM}} = \frac{197,4 \text{ HP} (100) (1.50)}{12 \ 000} = 2,47$$

Este valor nos ayudara a determinar el acople que más se ajuste a nuestros requerimientos, teniendo en cuenta que se debe seleccionar aquel acople que iguale o supere el valor calculado en este caso el S-18 (Ver Figura 21), debemos verificar si los datos de este tipo de acople no exceda los valores máximos a lo que trabaja el banco dinamométrico de la tabla 3.

Figura 21. Datos de desempeño de los acoples tipo SAGA

**Saga Performance Data**

Size	HP/100 RPM for 1.0 Service Factor	Rated Torque for 1.0 SF		Max Shock Load		Dynamic Torsional Stiffness		Specific Torsional Stiffness	Max Speed RPM*	Approx Weight		Moment of Inertia WR <sup>2</sup> lb in <sup>2</sup>
		in-lbs	Nm	in-lbs	Nm	in-lbs/Deg	in-lbs/Rad			lbs	kg	
S-11	0.56	350	40	1,000	113	47	2,693	7.69	10,000	4.75	2.2	3.0
S-13	0.95	600	68	1,800	203	67	3,839	6.40	8,400	6.50	2.9	6.6
S-15	1.59	1,000	113	3,000	339	120	6,875	6.88	7,000	10.00	4.5	14.3
S-18	3.17	2,000	226	6,000	678	200	11,459	5.73	5,600	17.00	7.7	40.0
S-22	4.76	3,000	339	9,000	1 017	400	22,918	7.64	5,000	31.00	14.1	102.0
S-26	7.93	5,000	565	15,000	1 695	590	33,805	6.76	4,000	46.00	20.9	234.0
S-30	11.11	7,000	791	21,000	2 373	800	45,837	6.55	3,500	64.00	29.0	384.0
S-34	19.04	12,000	1 356	36,000	4 067	2,000	114,592	9.55	2,800	122.00	55.3	832.0
S-40	31.73	20,000	2 260	60,000	6 779	3,500	200,535	10.03	2,200	175.00	79.4	1,200.0

Fuente: (LOVEJOY COUPLING SOLUTIONS, 2015)

Este acople flexible no se encontró en el mercado ecuatoriano por lo que se vio la necesidad de importarlo desde los Estados Unidos.

Las características del Acople Flexible S-18 de la marca LOVEJOY son:

- Impide desalineaciones axiales que puedan afectar a los elementos a los que se encuentra acoplado.
- Este tipo de elastómero puede trabajar a temperaturas en el rango de -60 °F – 200 °F ( -51 °C – 93 °C)
- Permite un desalinamiento angular de 3°

- Tolerancia paralela de 1,5 mm, siempre y cuando las cargas sean bajas (LOVEJOY COUPLING SOLUTIONS , 2015 p. 23)

**3.2.2** *Brida de conexión motor – acople flexible.* La brida que se encontraba acoplada al motor había sufrido una deformación por lo que no podía ser utilizada, razón por la cual se construyó una nueva tomando en cuenta las dimensiones del eje del motor y del acoplamiento flexible.

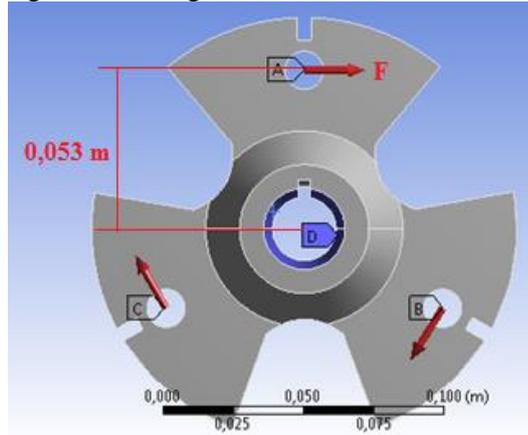
Figura 22. Conexión brida



Fuente: (LOVEJOY COUPLING SOLUTIONS , 2015)

Además se mejoró el diseño ya que la anterior no permitía que el acople flexible trabaje de manera aislada al resto de la transmisión; es decir que las cabezas de los pernos que sujetan el acople flexible con el cardan no tengan contacto con la brida (ver Figura 22).

Figura 23. Diagrama de fuerzas de la brida



Fuente: Autores

El material utilizado para esta nueva brida fue un acero AISI 1045, este es un material de mediana resistencia mecánica y elevada maquinabilidad utilizado ampliamente en transmisiones de potencia.

Para el diseño de la brida la cual va acoplada al motor, se determinó las fuerzas a las que está sometida, teniendo en cuenta el torque máximo que entrega el motor de las diferentes pruebas a las que fue sometido, para posteriormente realizar un análisis en el software ANSIS, es por esta razón que se determinara la fuerza en función del torque máximo del motor y de la distancia (Ver Figura 23).

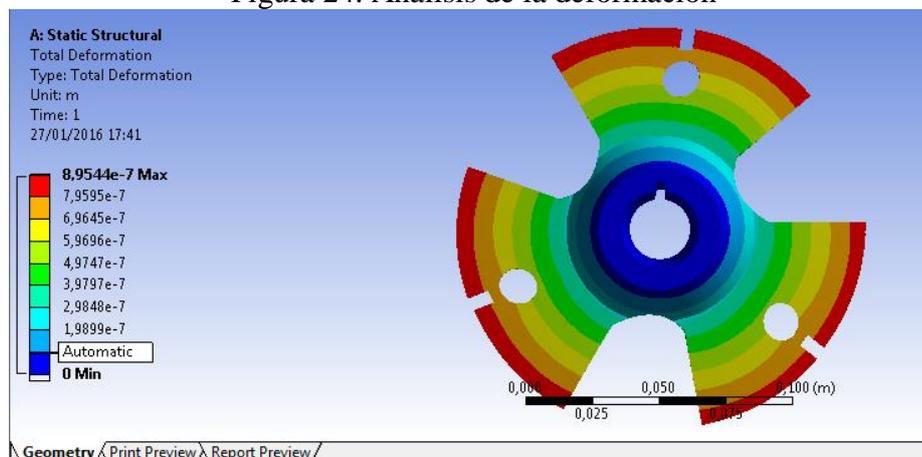
$$M = F d \quad (11)$$

$$F = \frac{M}{d} = \frac{3,285 \text{ kg.m}}{0,053 \text{ m}}$$

$$F = 61,981 \text{ kg}$$

Con el valor de la fuerza que se obtuvo se analiza en el software ANSIS teniendo los siguientes resultados.

Figura 24. Análisis de la deformación



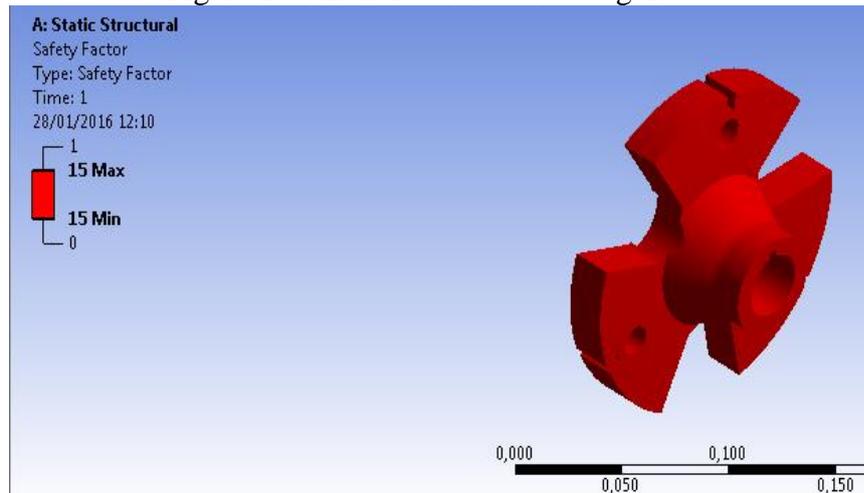
Fuente: Autores

Se determina que se tiene una deformación de  $8,9544 \text{ e}^{-7}$  en los puntos más críticos que son los visualizados de color rojo. Se puede considerar que dicha deformación es mínima y que no dará problemas en su funcionamiento.

Con este diseño se puede asegurar que la brida no sufrirá ningún tipo de deformación, siempre y cuando no se la exponga a largos ciclos de trabajo.

A continuación se realizó el análisis del factor de seguridad para corroborar este cálculo.

Figura 25. Análisis del factor de seguridad



Fuente: Autores

El factor de seguridad es mayor a 15, debido a que el software no arroja un factor mayor a este. Esto quiere decir que la brida está muy bien diseñada y podrá soportar el torque del motor de pruebas.

**3.2.3** *Eje estriado.* Mediante una inspección visual se pudo determinar que el eje estaba en buenas condiciones y no había sufrido ningún daño ni deformación a causa del mal acoplamiento y excesivo trabajo al que fue sometida la transmisión lo que ocasionó el daño de los elementos antes mencionados.

El único inconveniente que presentaba este eje es que no contaba con un bocín para estar centrado y alineado con el acople flexible, teniendo de esta manera mayor seguridad y un mejor desempeño del sistema de transmisión.

Figura 26. Bocín del eje estriado

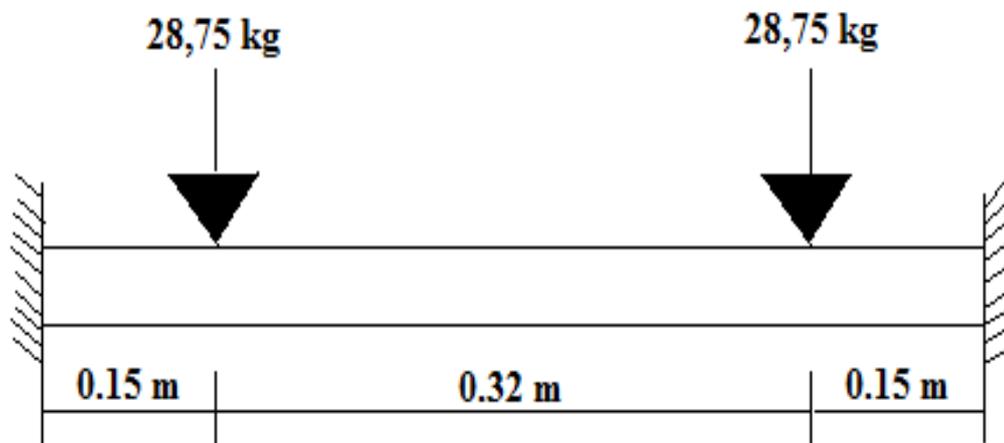


Fuente: Autores

**3.2.4** *Diseño de los soportes del motor.* Antes de realizar el montaje del motor a la bancada del banco dinamométrico se debe diseñar y construir soportes que sirvan de anclaje del motor a la bancada, puesto que las dimensiones del motor Ducati no son lo suficientemente grandes para un acoplamiento directo.

Es por esta razón que se optó por realizar los soportes teniendo en cuenta las dimensiones de la base del motor de prueba conjuntamente con la separación de los dos perfiles longitudinales de la bancada.

Figura 27. Planteamiento del problema de las bases del motor



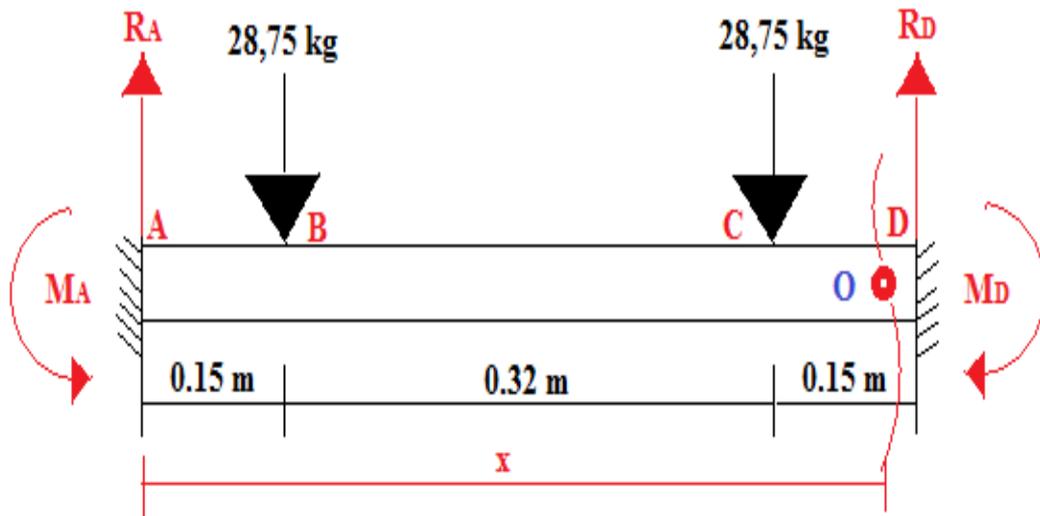
Fuente: Autores

Para el diseño de las bases del motor se analizó individualmente cada base; es decir se calculara la deformacion a la que estara expuesta cada una de las dos bases, asi como tambien se tendra en cuenta las dimensiones de las mismas en funcion del motor y de la bancada.

Como primer paso se realizara el planteamiento del problema teniendo como principal dato el peso del motor de pruebas, el cual es de 115 kg. Como se realizara el calculo individualmente para cada base, tendremos que el peso total se divide para cuatro, que son el numero de apoyos en donde estara montado el motor; es decir se plantea el diagrama mostrado (Ver Figura 27).

Una vez planteado el problema se tiene los parámetros que influyen en este sistema. Debido a que es un sistema hiperestático se resolverá por el método de la doble integral y así obtener la deformación a la que estará sometida.

Figura 28. Diagrama de fuerzas de la base



Fuente: Autores

A continuación se plantea la ecuación del método de la doble integral, al realizar sumatoria de momentos en el punto O.

$$E.I. y'' = -M_A + R_A x - 28,75 (x - 0,15) - 28,75 (x - 0,47)$$

Al integrar por primera vez se obtiene el ángulo de giro.

$$E.I. y' = -M_A x + \frac{R_A x^2}{2} - \frac{28,75 (x-0,15)^2}{2} - \frac{28,75 (x-0,47)^2}{2} + C \quad (12)$$

Al integrar por segunda vez se obtiene la ecuación de la deformación

$$E.I. y = -\frac{M_A x^2}{2} + \frac{R_A x^3}{6} - \frac{28,75 (x-0,15)^3}{6} - \frac{28,75 (x-0,47)^3}{6} + Cx + D \quad (13)$$

Se plantea la condición:

$$\text{Para } x = 0 \rightarrow \{y' = 0; \quad y = 0\}$$

Debido a que no se puede obtener valores negativos al tener distancias. Por tanto al reemplazar en las ecuaciones (12) y (13) se obtiene que:

$$C = 0; \quad D = 0$$

Ahora se plantea la condición:

$$\text{Para } x = 0,62 \rightarrow \{y' = 0; \quad y = 0\}$$

Esta condición se da debido a que la viga esta empotrada a los dos extremos, por tal razón en estos puntos no existe ángulo de giro ni deformación. Es así que las ecuaciones (12) (13) quedarían de la siguiente manera.

$$0 = -M_A x + \frac{R_A x^2}{2} - \frac{28,75 (x - 0,15)^2}{2} - \frac{28,75 (x - 0,47)^2}{2}$$

$$0 = -\frac{M_A x^2}{2} + \frac{R_A x^3}{6} - \frac{28,75 (x - 0,15)^3}{6} - \frac{28,75 (x - 0,47)^3}{6}$$

Al reemplazar  $x = 0,62$  en las ecuaciones se obtiene.

$$0 = -M_A (0,62) + \frac{R_A (0,62)^2}{2} - \frac{28,75 (0,47)^2}{2} - \frac{28,75 (0,15)^2}{2}$$

$$0 = -0,62M_A + 0,19R_A - 3,49$$

$$0 = -\frac{M_A 0,62^2}{2} + \frac{R_A 0,62^3}{6} - \frac{28,75(0,47)^3}{6} - \frac{28,75(0,15)^3}{6}$$

$$0 = -0,19M_A + 0,03R_A - 0,51$$

Al resolver el sistema formado por estas ecuaciones, se obtiene

$$0 = -0,62M_A + 0,19R_A - 3,49$$

$$0 = -0,19M_A + 0,03R_A - 0,51$$

$$M_A = 3,26 \text{ kg.m}$$

$$R_A = 28,75 \text{ kg}$$

Debido a que el sistema de fuerzas es simétrico se tiene también que:

$$M_D = 3,26 \text{ kg.m}$$

$$R_D = 28,75 \text{ kg}$$

Estos resultados se lo reemplazan en las ecuaciones iniciales.

$$E.I.y' = -0,62 (3,26) + 0,19 (28,75) - 3,49$$

$$E.I.y' = 1,03 * 10^{-3} \text{ kg.m}^2$$

$$E.I.y = -0,19 (3,26) + 0,03 (28,75) - 0,51$$

$$E.I.y = 2,17 * 10^{-4} \text{ kg.m}^3$$

Del catálogo se selecciona el perfil MC3 x 7,1, el mismo que tiene las dimensiones adecuadas para la adaptación del motor a la bancada, y se obtiene los siguientes datos:

$$I = 2,72 \text{ in}^4 = 1,132 * 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$E = 29000 \text{ ksi} = 20389017,8 \text{ kg/m}^2$$

Figura 29. Catálogo del perfil

Shape	Area, A	Depth, d	Web		Flange		Distance		t <sub>w</sub>	t <sub>f</sub>	Nominal WT, lb/ft	Shear Ctr, e <sub>o</sub>	Axis X-X				Axis Y-Y				Torsional Properties								
			Thickness, t <sub>w</sub>	Z <sub>x</sub>	Width, b <sub>f</sub>	Average Thickness, t <sub>f</sub>	A	J					Workable Sags	I	S	r	Z	I	S	r	x̄	Z	x <sub>p</sub>	J	C <sub>w</sub>	r̄ <sub>o</sub>			
																											in.	in.	in.
MC7-22.7 x13.1	5.67 5.61	7.00 7.00	7 7	0.503 0.352	1/2 3/8	3.60 3.45	3/4 3/8	0.500 0.500	1/2 1/2	4 1/4 4 1/4	2" 2"	1.23 1.18	6.50 6.50	22.7 19.1	1.01 1.15	47.4 43.1	13.5 12.3	2.67 2.77	16.4 14.5	7.24 6.06	2.83 2.55	1.04 1.04	1.04 1.08	5.38 4.85	0.477 0.579	0.625 0.407	58.3 49.3	3.53 3.70	
MC8-18 x15.3	5.29 4.49	6.00 6.00	6 6	0.379 0.340	3/8 3/8	3.50 3.50	3/8 3/8	0.475 0.385	1/2 3/8	4 1/4 4 1/4	2" 2"	1.20 1.20	5.53 5.62	18 15.3	1.17 1.16	29.7 25.3	9.89 8.44	2.37 2.38	11.7 9.91	5.88 4.91	2.47 2.01	1.05 1.05	1.12 1.05	4.68 3.85	0.644 0.511	0.379 0.223	34.6 30.0	3.46 3.41	
MC8-15.3 x15.1	4.79 4.44	6.00 6.00	6 6	0.375 0.316	3/8 3/8	3.00 2.94	3 3	0.475 0.475	1/2 1 1/8	3 3/8 3 3/8	1 3/4 1 3/4	1.03 1.01	5.53 5.53	16.3 15.1	0.930 0.982	26.0 24.9	8.66 8.30	2.33 2.37	10.4 9.83	3.77 3.46	1.82 1.73	0.887 0.883	0.927 0.940	3.47 3.30	0.465 0.543	0.336 0.285	22.1 20.5	3.11 3.18	
MC8-12	3.53	6.00	6	0.310	3/8	2.50	2 1/2	0.375	3/8	4 1/4	1 1/2	0.856	5.63	12	0.725	18.7	6.24	2.30	7.47	1.85	1.03	0.724	0.704	1.97	0.294	0.155	11.3	2.80	
MC8-7 x6.5	2.69 1.95	6.00 6.00	6 6	0.179 0.155	3/8 3/8	1.88 1.85	1 1/8 1 1/8	0.291 0.291	3/8 3/8	3 1/2 3 1/2	4 1/2 4 1/2	— —	0.638 0.630	5.71 5.71	7 6.5	0.583 0.612	11.4 11.0	3.81 3.66	2.34 2.38	4.50 4.28	0.603 0.565	0.439 0.422	0.537 0.539	0.501 0.513	0.865 0.836	0.174 0.191	0.0464 0.0412	4.00 3.75	2.63 2.68
MC4-13.8	4.03	4.00	4	0.500	1/2	2.50	2 1/2	0.500	1/2	1	2	—	0.652	3.50	13.8	0.643	8.85	4.43	1.48	5.53	2.13	1.29	0.727	0.849	2.40	0.508	0.373	4.84	2.23
MC3-7.1	2.11	3.00	3	0.312	3/8	1.94	2	0.351	3/8	1 3/8	1 1/2	—	0.657	2.65	7.1	0.574	2.72	1.81	1.14	2.24	0.666	0.518	0.562	0.653	0.998	0.414	0.0928	0.915	1.76

Fuente: Autores

Al despejar la deformación (y) de la ecuación (13) se tiene:

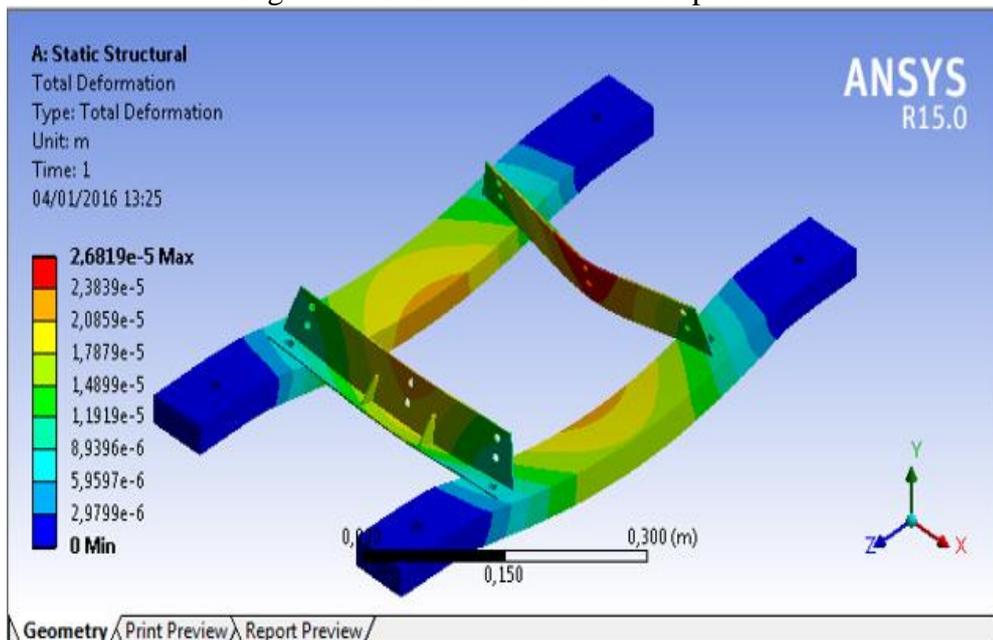
$$y = \frac{2,173 * 10^{-4} \text{ kg.m}^3}{E * I}$$
$$y = \frac{2,173 * 10^{-4} \text{ kg.m}^3}{20389017,8 \text{ kg/m}^2 * 1,132 * 10^{-6} \text{ m}^4}$$
$$y = 9,41 * 10^{-6} \text{ m}$$

Como se observa la deformación es mínima casi despreciable, por lo tanto se concluye que las bases pueden soportar fácilmente al motor de pruebas, se podría utilizar estas mismas bases para motores de mayores dimensiones verificando primero su resistencia en un programa de simulación como se realizó a continuación.

Se realizó una simulación en el Software Ansys, para así determinar en qué puntos los soportes sufrirían una mayor deformación.

Como se observa en la figura no existe una deformación que comprometa la resistencia de los soportes.

Figura 30. Puntos críticos en los soportes



Fuente: Autores

**3.2.5 Montaje del motor Ducati.** Una vez que se tenga los soportes del motor anteriormente diseñados, se procede a realizar el montaje del motor de pruebas a la bancada del banco dinamométrico, de la siguiente manera:

- Empernar los soportes al Motor Ducati.
- Con la ayuda de una pluma izar el motor ubicándolo sobre los perfiles longitudinales de la bancada, ubicando previamente cauchos en los extremos de los soportes que ayudaran a disipar las vibraciones ocasionadas por el funcionamiento del motor y aseguramos el motor a la bancada mediante pernos.
- Con la ayuda de las columnas de la bancada regular la altura y alineación del motor con el cardan del banco dinamométrico.
- Asegurarse de que todos los elementos de la bancada estén correctamente ajustados.
- Antes de colocar y ajustar todos los elementos de la transmisión, se debe engrasar el eje estriado, reduciendo así la fricción entre el eje y el cardan evitando el desgaste de estos elementos.
- Colocar y ajustar todos los elementos de la transmisión con los pernos y tuercas respectivos, cabe recalcar que se utilizaron tuercas de seguridad para evitar que estas sedan.
- Una vez ajustados todos los elementos comprobar la alineación de los ejes y si es necesario regulamos la altura del motor con ayuda de la bancada.

### **3.3 Acondicionamiento del motor Ducati**

Previo al encendido del motor se debe realizar un mantenimiento preventivo, para que este no sufra ningún daño al momento de analizar su desempeño en el banco dinamométrico, ya que el motor permaneció fuera de funcionamiento por algunos meses.

Para esto se realizó una inspección visual de los principales sistemas del motor, específicamente el estado de los filtros.

**3.3.1** *Inspección de los filtros de aceite, aire y combustible.* Una de las primeras acciones de este mantenimiento fue revisar el estado de los filtros de aceite, combustible y aire debido a que son de elevada importancia en el correcto funcionamiento de los sistemas de lubricación, admisión de combustible y aire.

*Filtro de aire.* El filtro de aceite en los motores Diésel juega un papel muy importante ya que la ignición en este tipo de motores se produce por el calentamiento del aire en la cámara de combustión a causa de la compresión ejercida por el pistón, entonces la cantidad de aire que entre al motor estará ligada a un buen funcionamiento del mismo.

Mediante una inspección visual del filtro de aire se pudo verificar que éste se encontraba en buen estado y no fue necesario reemplazarlo.

*Filtro de aceite.* Por las altas temperaturas que se producen dentro de la cámara de combustión y por la fricción de las piezas móviles que producen un mayor desgaste de estos elementos, el aceite cumple la función de refrigerar y lubricar al motor, es así que el buen estado del sistema de lubricación y refrigeración depende en gran medida del filtro de aceite. Luego de una revisión del filtro de aceite del motor, se pudo observar que se había ubicado un filtro de combustible en lugar de uno de aceite.

Para reemplazarlo y utilizar un filtro adecuado para el sistema de lubricación se tuvo que construir un nuevo niple, debido a que el original no tenía las dimensiones adecuadas para un filtro de aceite disponible en el mercado nacional, específicamente uno con rosca de  $\frac{3}{4}$ " de diámetro.

Figura 31. Niple filtro de aceite



Fuente: Autores

Se realizó también un cambio de aceite del motor, ya que este había perdido su viscosidad y no presentaba el nivel necesario, se utilizó un aceite SAE W 40, especificado en la placa de características del motor.

*Filtro de combustible.* El combustible en este caso el diésel tiene sólidos, partículas que podrían poner en riesgo el sistema de alimentación de combustible, principalmente en las cabezas inyectoras provistas de pequeños orificios por donde se inyecta el combustible a elevadas presiones en la cámara de combustión, si el filtro de combustible está en mal estado podría dejar pasar impurezas tapando estos orificios, evitando la inyección.

Para el desarrollo del presente proyecto se necesitó de un nuevo sistema de alimentación de combustible por lo que el filtro propio del motor fue deshabilitado, utilizándose para este fin un filtro de combustible ubicado en otra posición como se lo detallara a continuación.

Figura 32. Filtro de combustible



Fuente: Autores

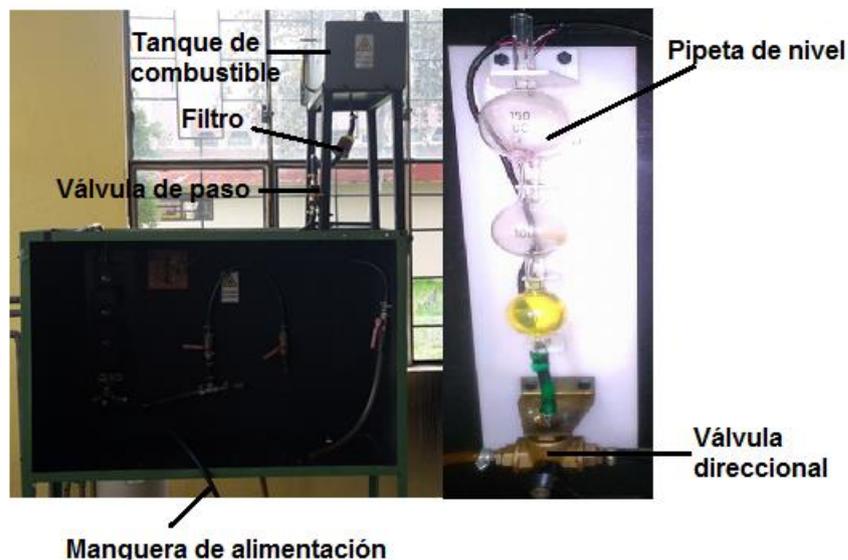
**3.3.2** *Sistema de alimentación de combustible.* El sistema de alimentación propio del motor consta de un tanque de combustible, seguido de un filtro, la bomba de inyección y los inyectores. Este sistema no permite la medición del combustible, por lo que el banco dinamométrico fue equipado con un sistema de medición de consumo de combustible, el mismo que consta de los siguientes elementos (Ver Figura 32):

- Tanque de combustible.
- Válvula de paso.

- Pipeta de Nivel.
- Válvula direccional.
- Manguera de alimentación.
- Bomba de inyección.

Mediante este sistema se puede determinar con exactitud el consumo de combustible del motor a diferentes velocidades y condiciones de trabajo, puesto que esta medición se la hace antes de la bomba de inyección, garantizando de esta manera la obtención del consumo real de combustible.

Figura 33. Alimentación de combustible



Fuente: Autores

**3.3.3 Calibración de válvulas.** Las válvulas en un motor de combustión interna tienen el objetivo principal de controlar y administrar el ingreso de aire, mezcla y el escape de los gases productos de la combustión; siendo así de gran importancia para un mejor rendimiento y potencia del motor y también, traduciéndose a su vez en un ahorro de combustible.

Por lo que su calibración es necesaria para garantizar el correcto desempeño y rendimiento del motor; esto se lo debe hacer de acuerdo a las especificaciones técnicas del fabricante. Dada la poca información sobre el motor Ducati disponible en el laboratorio, se realizó la calibración en base a especificaciones técnicas de motores de similares características, estas fueron:

- Admisión: 0,15 – 0,20 mm
- Escape: 0,20 -0,25 mm

Luego de verificar las holguras de las válvulas tanto de admisión y escape de los dos cilindros del motor se obtuvo los siguientes datos:

Figura 34. Calibración de válvulas



Fuente: Autores

Como se puede apreciar en la tabla 4, las válvulas no se encontraban calibradas según las especificaciones, habiendo demasiada holgura en las válvulas de admisión y muy poca en las de escape.

Tabla 4. Holgura de válvulas

Válvulas	Cilindro 1	Cilindro 2
Admisión	0,25 mm	0,2 mm
Escape	0,2 mm	0,18 mm

Fuente: Autores

Las válvulas tanto de admisión como de escape fueron calibradas con los siguientes espesores:

Tabla 5. Calibración de válvulas

Válvulas	Cilindro 1	Cilindro 2
Admisión	0,18 mm	0,18 mm
Escape	0,22 mm	0,22 mm

Fuente: Autores

## CAPITULO IV

### 4. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS DEL BANCO DINAMOMÉTRICO

#### 4.1 Definición del problema

El anterior sistema de visualización de datos del banco dinamométrico está basada en la utilización de instrumentos principalmente análogos, los mismos que tienen poca resolución y no pueden ser utilizados como parte de un sistema de adquisición de datos.

Por tal motivo se vio la necesidad de utilizar sensores que brinden una mayor exactitud confiabilidad y puedan ser usados en un sistema de adquisición de datos, para su posterior visualización en una interfaz gráfica.

#### 4.2 Selección de sensores

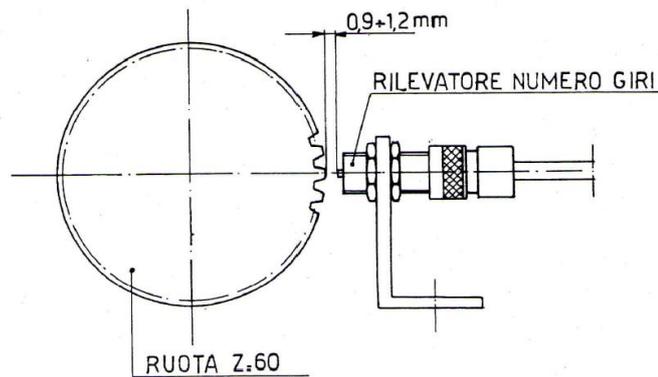
En el transcurso de la realización del presente proyecto se fue conociendo el funcionamiento del banco dinamométrico, para posteriormente buscar las mejores opciones en el ámbito de los sensores, sin embargo para los diferentes parámetros a medir se probó con varios sensores hasta llegar a los adecuados.

**4.2.1** *Selección del sensor para la medición del número de revoluciones.* Para la medición del número de revoluciones del motor se podría optar por una gran variedad de sensores, el banco dinamométrico posee ya un sensor de velocidad que se encuentra en buen estado y puede ser utilizado para la implementación de este sistema.

Este es un sensor de la marca ONO SOKKI, modelo MP-009 con las siguientes características:

- Juego entre sensor y la rueda dentada: 0,9 a 1,2 mm.
- Rango de medida: 50 – 15 000 rpm.
- Dimension: longitud 35 mm, rosca M16 x 1.
- Número de dientes: 60. (Borgi & Saveri S.R.L)

Figura 35. Esquema Sensor de velocidad rotacional



Fuente: (Borgi & Saveri S.R.L p. 15.121)

**4.2.2** *Selección del sensor para el consumo de combustible.* Para determinar que sensor cumple de mejor manera con los requerimientos de esta implementación se probó con algunas alternativas, para luego elegir la más idónea. A continuación se detallan estas alternativas y cuál de ellas fue empleada en este proyecto.

Alternativa 1: Reóstato. Los reóstatos son sensores empleados principalmente en la medición de nivel en los automóviles, los cuales mediante una boya varían la resistencia del sensor, el objetivo principal de esta medición es determinar el tiempo en que se consume un volumen específico de combustible para fines prácticos este volumen debe ser mínimo para que en la práctica no se deba esperar demasiado tiempo entre prueba y prueba, el volumen recomendado es de  $100 \text{ cm}^3$ .

La variación que entregaba el reóstato fue muy pequeña por lo que este sensor no es una buena opción para esta aplicación.

Figura 36. Reóstato



Fuente: Autores

Otro de los inconvenientes encontrados fue la necesidad de diseñar un nuevo tanque de combustible debido a la geometría y funcionamiento del sensor, es así que el nivel en el tanque no iba a variar y por ende el sensor no apreciaba dicha variación, es por esta razón que se descartó esta opción.

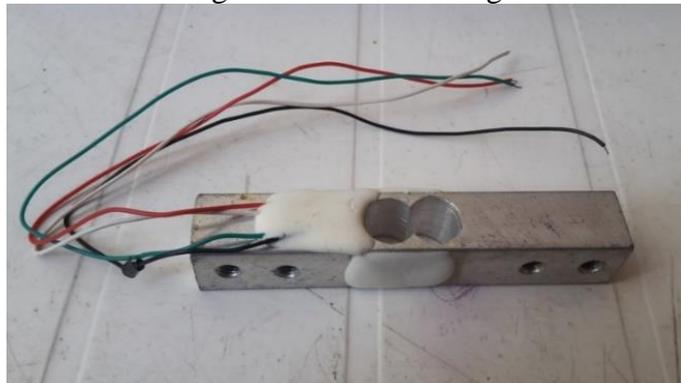
Alternativa 2: Fococeldas. Se decidió por la utilización de un diodo led conjuntamente con una fotocelda, la misma que divisa la intensidad de luz del diodo; es decir cuando se encuentra combustible entre la fotocelda y el led la intensidad del mismo será menor, y a lo contrario cuando no exista combustible entre estos dos elementos la intensidad del diodo es mayor.

La fotocelda detecta estos cambios de intensidad dando así una señal digital de verdadero o falso, esta señal nos servirá para poder activar o desactivar el cronometro contador del Labview según la necesidad, obteniendo así un tiempo real en el cual se demora en consumir el motor a los diferentes volúmenes que posee la probeta. Aquí presentamos las características de cada uno de los sensores descritos anteriormente:

**4.2.3** *Selección del sensor para la determinación del torque.* Para la determinación del torque se analizó las siguientes alternativas:

Alternativa 1: Celda de carga o galga estequiométrica. En primera instancia se vio la posibilidad de adaptarle al brazo proveniente del freno hacia la balanza una galga o celda de carga, la misma que no fue posible debido a que dicho sensor alteraba el funcionamiento del mecanismo de la balanza y por ende los datos de carga que nos daba la balanza no eran los reales.

Figura 37. Celda de carga



Fuente: Autores

Alternativa 2: Potenciómetro de precisión. Posteriormente se optó por el montaje de un potenciómetro de precisión en el eje principal de la pluma de la parte posterior de la balanza, el mismo que presento entre otros inconvenientes la interferencia del movimiento libre de la pluma, ya que la resistencia al giro que ejercía el potenciómetro a la pluma le impedía dar un dato real y retornar al punto de inicio de la balanza es decir al punto cero.

Este inconveniente se puede adjudicar a la variación del momento de inercia del eje de la pluma debido al peso del potenciómetro. De la misma manera se pudo identificar que en el extremo posterior de dicho eje, este giraba excéntricamente.

Figura 38. Potenciómetro de precisión



Fuente: Autores

Alternativa 3: Sensor de distancia SHARP. Luego de descartar las dos alternativas anteriores se decidió acoplar un sensor de distancia en la parte superior de la carcasa de la balanza, el cual nos medirá la distancia a la que se encuentra una placa de acrílico muy delgada ubicada en un mecanismo móvil dentro de la balanza, de esta manera no se interfiere en el funcionamiento de la balanza.

Esta distancia será relacionada mediante programación con el valor de carga que marque la pluma.

Las características que posee este sensor son las siguientes:

Sensor SHARP GP2Y0A41SK0F

- Sensor de medición de distancia que se une con el PSD, LED de infrarrojos

- Ciclo de medición Corto (16,5ms)
- Rango de medición de la distancia: 4 a 30 cm
- Tamaño del paquete (29,5 × 13,0 × 13,5 mm)
- Tipo de salida analógica (SHARP )

Figura 39. Sensor SHARP



Fuente: Autores

**4.2.4 Selección del sensor de presión del motor.** Este sensor es de gran importancia ya que ayuda a la determinación de la presión de circulación de aceite.

Alternativa 1

Figura 40. Trompo de aceite



Fuente: Autores

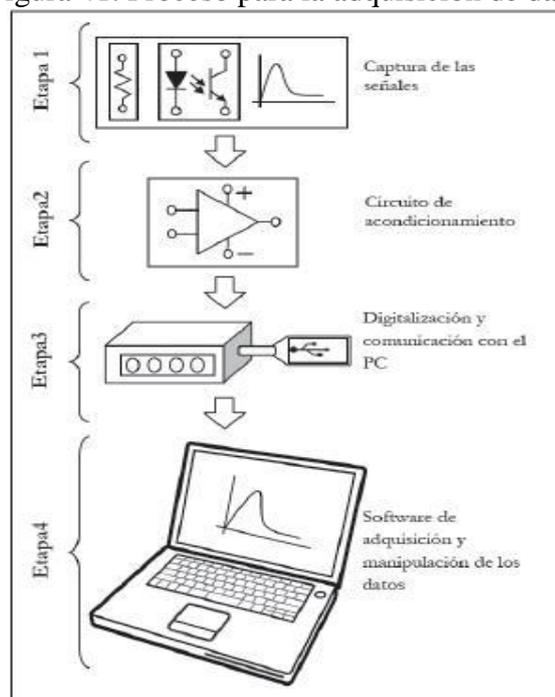
Trompo de aceite (Sensor de presión). Este tipo de sensor por lo general viene adaptado en cada uno de los motores, este sensor indicara la presión del aceite que posee el motor de pruebas, esto básicamente nos alertara en caso que el motor no tenga la suficiente

presión de aceite, lo que causaría una falta de aceite en el sistema pudiendo ocasionar daños significativos en el motor (ver figura 40).

**4.2.5 Selección de la tarjeta de adquisición Ni-USB DAQ.** Como habíamos descrito en capítulos anteriores, la tarjeta de adquisición de datos es una herramienta que nos permite enlazar la señal que entrega los sensores a un computador y poder visualizar dicha señal como se requiera según la necesidad.

La adquisición de datos teóricamente es un proceso de tomar medidas con una computadora de un fenómeno eléctrico o físico. Para poder llevar a cabo este proceso se necesita de varios elementos, como una PC, sensores, circuitos de acondicionamiento de señales y principalmente la tarjeta de adquisición de datos, todo esto se lo va realizando y ubicando por etapas, como podemos apreciar en la siguiente figura existen cuatro etapas en las que se desarrolla esta adquisición.

Figura 41. Proceso para la adquisición de datos

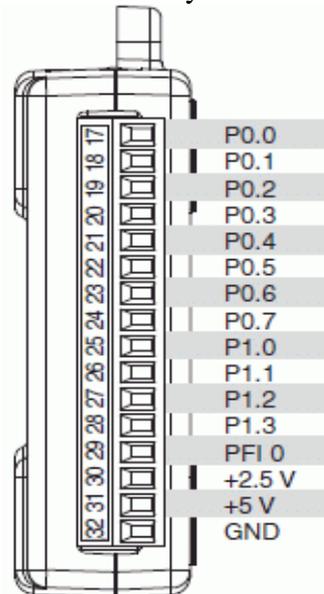


Fuente: (Osorio, et al., 2010)

Para la elaboración del proyecto se seleccionó la tarjeta de adquisición de datos Ni-USB DAQ 6009, debido a la disponibilidad en el mercado y su costo además que las entradas y salidas satisfacen nuestras necesidades. Existen otras características de esta tarjeta que citaremos a continuación.

**4.2.6 Entradas y salidas digitales.** Este modelo de tarjeta tiene varias entradas y salidas digitales, a continuación damos a conocer los datos técnicos de las entradas y salidas digitales que posee dicha tarjeta.

Figura 42. Entradas y salidas digitales



Fuente: (NATIONAL INSTRUMENTS )

Tabla 6. Entradas y salidas digitales

Entradas y salidas digitales	Descripción
Entradas	12
Salidas	12
Canales bidireccionales	12
Canales de entrada única	0
Canales de salida única	0
Niveles lógicos	TTL
Capacidad de corriente simple	8,5 mA
Capacidad de corriente total	102 mA
Máximo rango de entrada	0V – 5V
Máximo rango de salidas	0V – 5V

Fuente: (NATIONAL INSTRUMENTS )

**4.2.7 Entradas y salidas analógicas.** Las entradas y salidas analógicas a diferencia de las digitales se encuentran en puertos separados.

Las características de estas entradas y salidas analógicas están detalladas en la siguiente tabla:

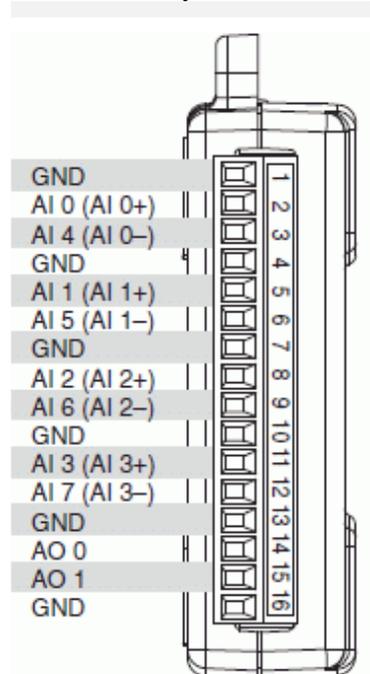
Tabla 7. Entradas y salidas analógicas

Entradas analógicas		Salidas analógicas	
Canales de un solo terminal	8	Número de canales	2
Canales diferenciales	4	Resolución	12 bits
Resolución	14 bits	Rango de Voltaje máximo	0V – 5V
Rango de Voltaje máximo	-10,+10 V	Precisión	7 mV
Precisión	7,73 mV	Rango de Voltaje máximo	0V – 5V
Rango de Voltaje mínimo	-1, +1 V	Precisión	7 mV
Precisión	1,53 mV	Razón de Actualización	150 S/s
Numero de Rangos	8	Capacidad de corriente simple	5 mA
Muestreo Simultaneo	No	Capacidad de corriente Total	10 mA
Memoria interna	512 B		

Fuente: (NATIONAL INSTRUMENTS )

Las entradas analógicas en la tarjeta de adquisición de datos se encuentran en los puertos del 1 al 16 como se puede apreciar en la siguiente figura:

Figura 43. Entradas y salidas analógicas



Fuente: (NATIONAL INSTRUMENTS )

### 4.3 Requerimientos de entradas y salidas

Los requerimientos que necesita cada uno de los sensores utilizados en el proyecto se los detalla en la siguiente tabla:

Tabla 8. Requerimientos de entradas y salidas

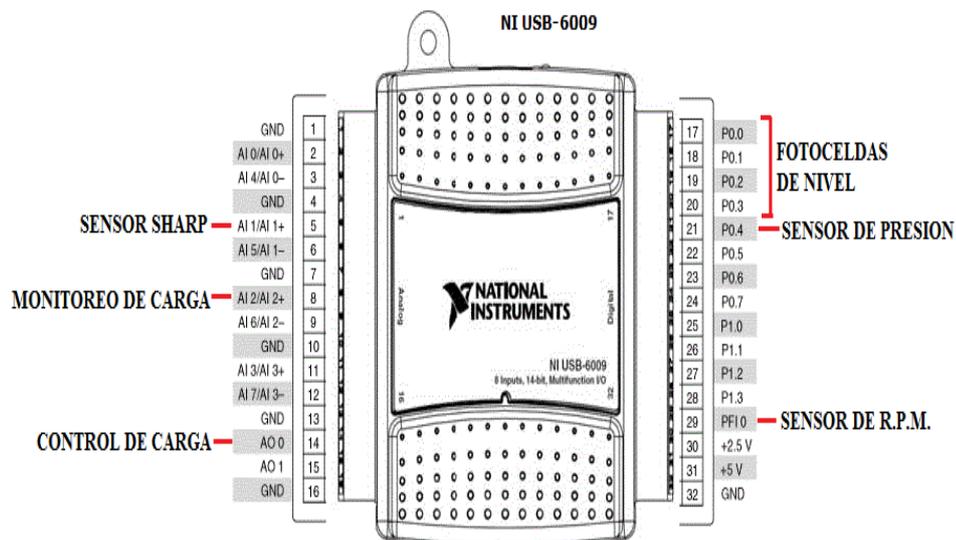
Elemento	Tipo	Numero de Pines	Entrada / Salida
Fotocelda – LED	Digital	4	Entrada
Sensor de distancia SHARP	Analógica	1	Entrada
Sensor para las revoluciones	Analógica	1	Entrada
Medidor de presión del motor	Digital	1	Entrada
Monitoreo de la carga	Analógica	1	Entrada
Controlador de la carga	Analógica	1	Salida

Fuente: Autores

Como se puede observar para la adquisición de datos de los diferentes parámetros de los motores ocupamos dos entradas digitales, tres entradas analógicas y una salida analógica; es decir nuestra tarjeta Ni-USB DAQ 6009 abastece para el objetivo planteado (Ver Figura 44).

En la siguiente imagen se observa un esquema de conexión de todos los sensores utilizados.

Figura 44. Distribución de los puertos de la tarjeta NI USB-6009



Fuente: Autores

#### 4.4 Diseño de circuitos impresos para el acondicionamiento de las señales

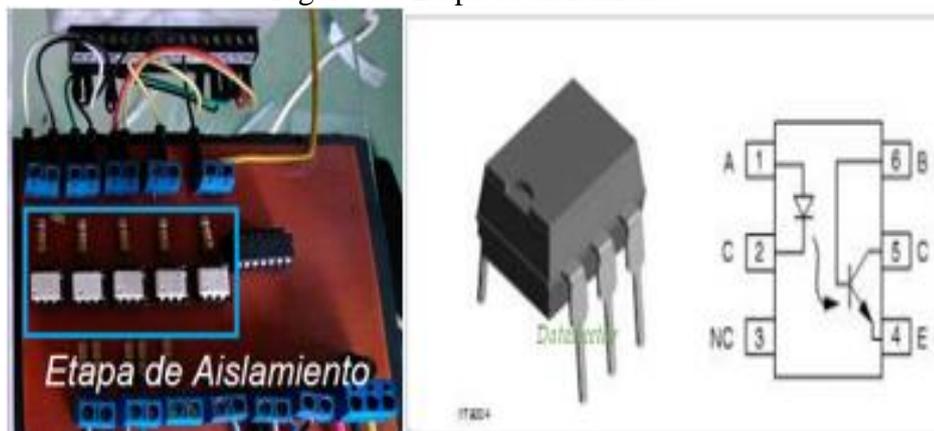
Los circuitos de acondicionamiento son muy importantes puesto que ayudan a dar un tratamiento óptimo a la señal sea esta digital o analógica para de esta manera ingresar los datos a la tarjeta DAQ NI 6009, y estos no afecten el funcionamiento de la misma.

**4.4.1** *Etapa de aislamiento.* Una de las razones para implementar la etapa de aislamiento es proteger la tarjeta de adquisición de datos, si se da el caso de algún corto circuito o fallo en las demás conexiones, estas no afecten a la tarjeta.

Para realizar este aislamiento se utilizó optoacopladores, los mismos que están compuestos internamente de un diodo emisor que envía señales de luz hacia un fototransistor (NPN), el cual entra en corte o saturación dependiendo de la luz emitida por el diodo. En el presente proyecto se utilizó un optoacoplador 4N25A.

Cabe recalcar que este aislamiento se realizó a los sensores de nivel puesto que estos están alimentados con un voltaje de 12V el cual es demasiado alto para el voltaje que permite la tarjeta de adquisición de datos.

Figura 45. Etapa de aislamiento

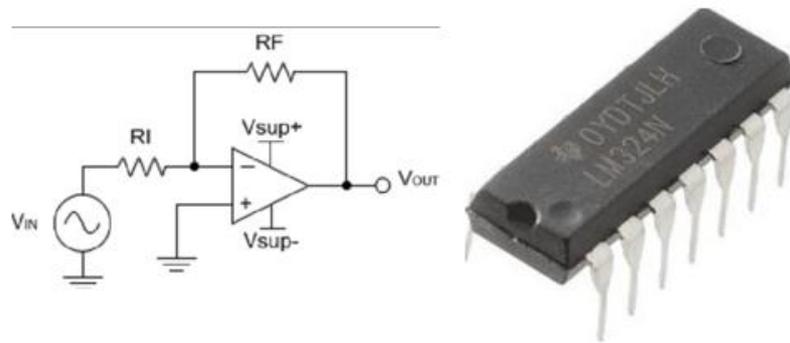


Fuente: Autores

**4.4.2** *Acondicionamiento sensor de velocidad y sensor Sharp.* Para este acondicionamiento fue necesario únicamente amplificar la señal del sensor, para lo cual utilizamos un LM324A, este es un Opam configurado como amplificador seguidor voltaje.

El LM324A cumple la función de intensificar la señal de los sensores, ya que estas son muy bajas y necesitan ser atenuadas para un mejor tratamiento por la tarjeta de adquisición de datos. Tiene ventajas sobre los amplificadores operacionales convencionales en aplicaciones de fuente sencilla de alimentación y puede trabajar con voltajes de alimentación desde 3V hasta 32V. Es de bajo consumo de energía (aproximadamente 1/5 del consumo de un LM741 convencional).

Figura 46. LM324A



Fuente: (Mecatrónica )

**4.4.3** *Acondicionamiento del monitoreo y control de carga.* El banco dinamométrico nos da 12V como valor máximo para el control de la carga que se le da al motor, esta variación se la realiza mediante un potenciómetro ubicado en el tablero principal.

Por tal motivo fue necesario acondicionar este voltaje para poder adquirirlo y procesarlo con la tarjeta DAQ NI 6009, para lo cual se utilizó un Opam amplificador con una ganancia de 1/3, para de esta manera asegurarnos un valor máximo de 4V siendo este un voltaje seguro para la tarjeta.

Figura 47. Acondicionamiento de monitoreo y control de carga



Fuente: Autores

En cuanto al control de la carga por medio de una de las salidas analógicas de la tarjeta DAQ NI 6009, se necesitaba incrementar el voltaje de salida máximo de la tarjeta de 5V a 12V, para lo cual utilizamos un Opam amplificador con una ganancia de 3.

## 4.5 Montaje de elementos

El montaje de elementos se lo realizó una vez que se probó el funcionamiento de todos los sensores de forma manual y haber comprobado la buena entrega de la señal de los mismos.

Para el montaje del sensor de presión solo se realizó la instalación del cable ya que como se dijo este dispositivo se encuentra ya acoplado en el motor.

**4.5.1** *Montaje de los sensores para la medición del nivel de combustible.* Para el montaje de estos elementos fue necesario elaborar unas bases de acrílico, las mismas que nos ayudaran alojar los sensores y mantenerlos estáticos para la obtención de la respectiva señal.

Estos sensores fueron ubicados en cada una de las divisiones de la probeta, las mismas que separan los diferentes volúmenes que se puede utilizar en las prácticas de laboratorio. Cabe aclarar que cada sección esférica de la probeta contiene 50, 100 y 150 cm<sup>3</sup> respectivamente, teniendo una capacidad máxima de 300 cm<sup>3</sup>; en la figura se puede apreciar las posiciones de los sensores y los diferentes volúmenes de la probeta.

Figura 48. Montaje sensores de nivel



Fuente: Autores

Para transmitir la señal que nos brinda los sensores hasta la placa de circuitos que se encuentra a la derecha de la probeta de medición, se utilizó cable UTP para posteriormente llevarla hasta el circuito principal donde se encuentra también la tarjeta de adquisición de datos mediante cable UTP de ocho hilos, el mismo que nos permite llevar la señal de los cuatro Fococeldas y a la vez el voltaje que se requiere para la alimentación de los mismos.

**4.5.2** *Montaje del sensor de distancia SHARP.* Para el montaje de este elemento fue necesario diseñar un soporte de pletina, puesto que el sensor debía estar a una distancia aproximada de 5 cm con respecto a la placa que se adaptó en el mecanismo móvil del interior de la balanza, para posteriormente mediante pernos fijarle a la parte superior de la carcasa de la balanza.

**4.5.3** *Montaje del sensor de revoluciones.* El montaje de este sensor no se lo realizo ya que se utilizó el mismo dispositivo que se encontraba instalado en el banco dinamométrico. Sin embargo simplemente se realizó una ranura al soporte, para poder acercar o alejar al sensor de la rueda dentada que es donde se aloja este dispositivo y poder tener un dato real del número de revoluciones por minuto a las que está girando el motor.

Se debe tener en cuenta para este montaje la holgura entre el sensor y la rueda dentada.

Figura 49. Sensor efecto Hall



Fuente: Autores

## 4.6 Programación en Labview

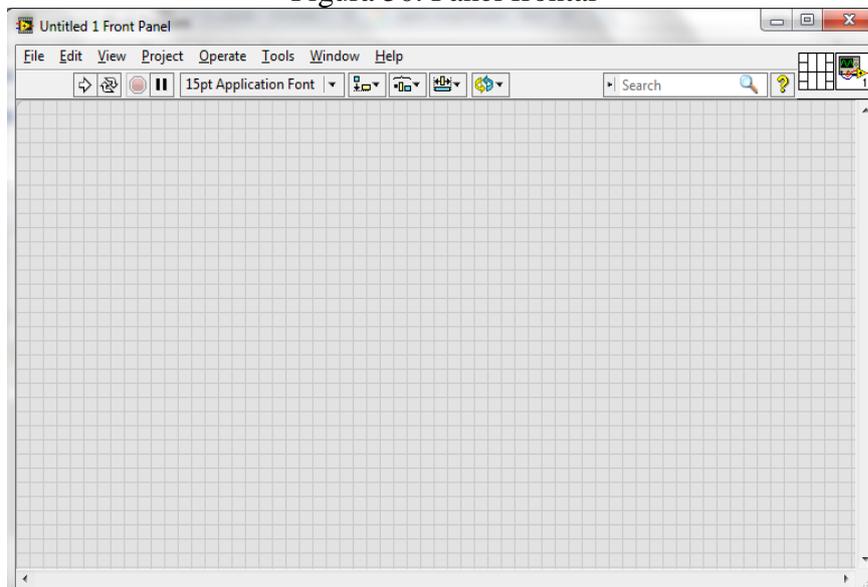
Una de las ventajas de la programación en este software es que sustituye el lenguaje de programación escrito por iconos, haciéndolo de esta manera de fácil comprensión y manejo. Es utilizado ampliamente en sistemas de monitoreo, medición y control de procesos específicamente en laboratorios.

La programación efectuada en este software se denomina VI (Instrumentos Visuales), está compuesta por un panel frontal y un panel de programación conocido también como diagrama de bloques.

**4.6.1 Panel frontal.** Es la interfaz gráfica donde el usuario puede visualizar o controlar los distintos parámetros del proceso, aquí se encuentran todos los indicadores es decir todos los elementos de visualización y los controles tales como botones, potenciómetros, pulsadores, etc.

Cada uno de estos iconos tiene su correspondiente en el diagrama de bloques, lo que nos permite realizar la programación y la interfaz gráfica de una manera simultánea.

Figura 50. Panel frontal

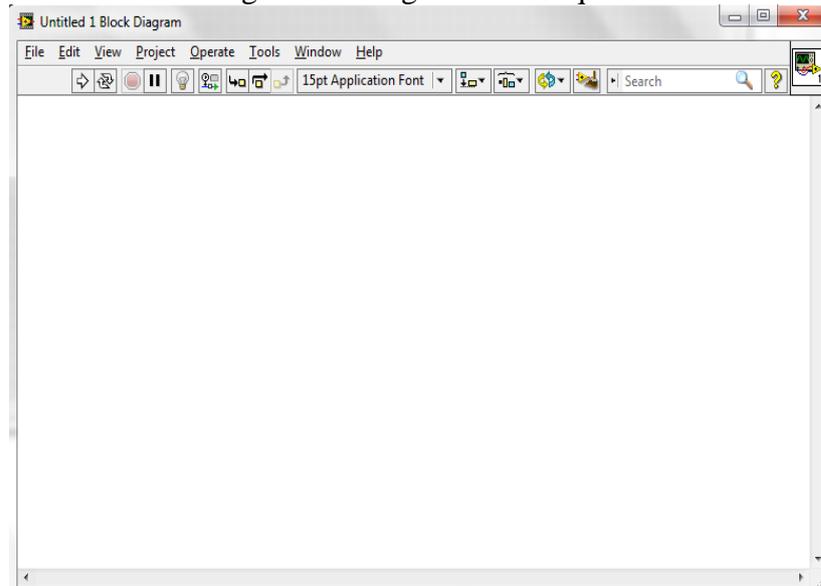


Fuente: Autores

Para tener acceso a las herramientas el usuario debe dar clic derecho en cualquier parte de la pantalla, con esto podrá visualizar y hacer uso de estas herramientas.

**4.6.2** *Diagrama de bloques.* Conocido también como panel de programación, en el cual podemos relacionar las entradas y salidas mediante iconos los cuales determinan la funcionalidad de la programación. Todos estos iconos están comunicados mediante líneas para poder desarrollar el programa, teniendo un flujo de izquierda a derecha de los datos. En este panel se encuentran todos los elementos necesarios para el tratamiento de las señales tanto de entrada como de salida.

Figura 51. Diagrama de bloques



Fuente: Autores

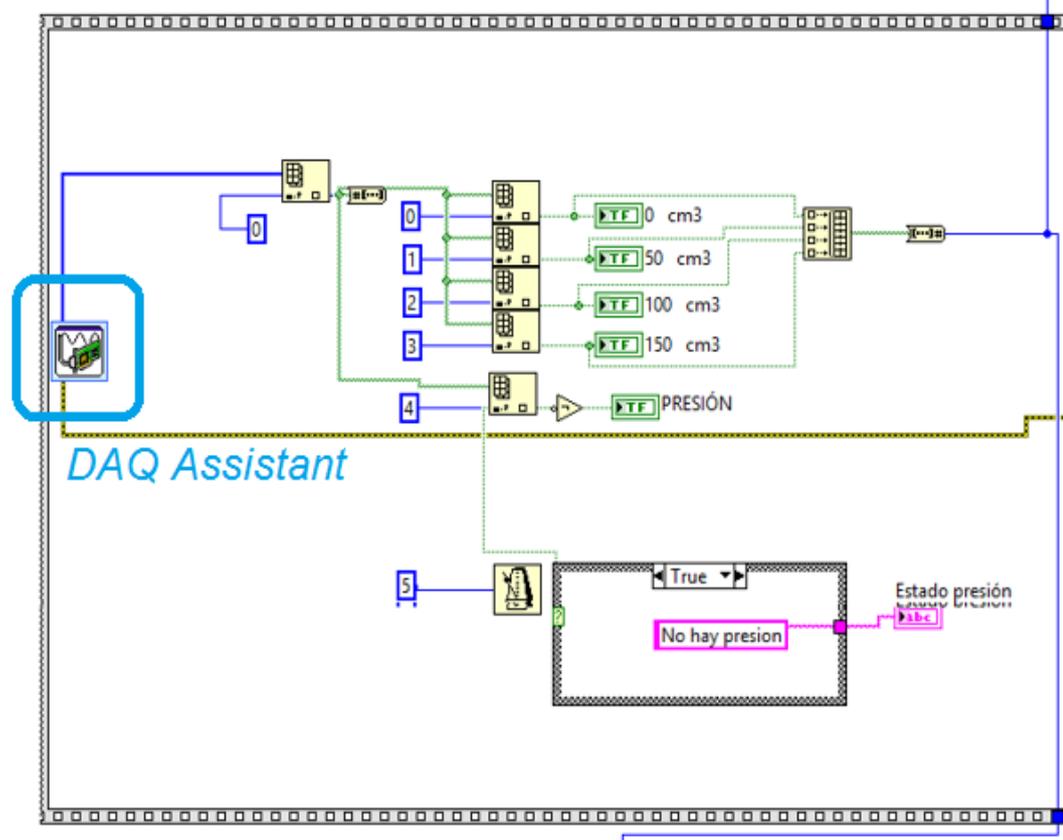
**4.6.3** *Desarrollo de la programación.* Esta programación se la realizó en el software Labview versión 2014, la misma que consta de 7 bloques en los cuales se programó cada una de las variables, así como también el procesamiento, visualización y control de las señales.

*Bloque de nivel de combustible y presión de aceite.* Para iniciar con este bloque es necesario configurar un DAQ Assistant y de esta manera asignar a las señales de nivel de combustible y presión de aceite una entrada digital específica de la tarjeta DAQ NI 6009 (ver figura), las configuraciones realizadas fueron las siguientes:

- Modo de configuración del canal: Referenciado a tierra (RSE)
- Selección de la escala: Voltaje
- Nivel máximo de la entrada de CAD: 5V
- Nivel mínimo de la entrada de CAD: 0 V

- Tipo de señal: Digital

Figura 52. DAQ Assistant



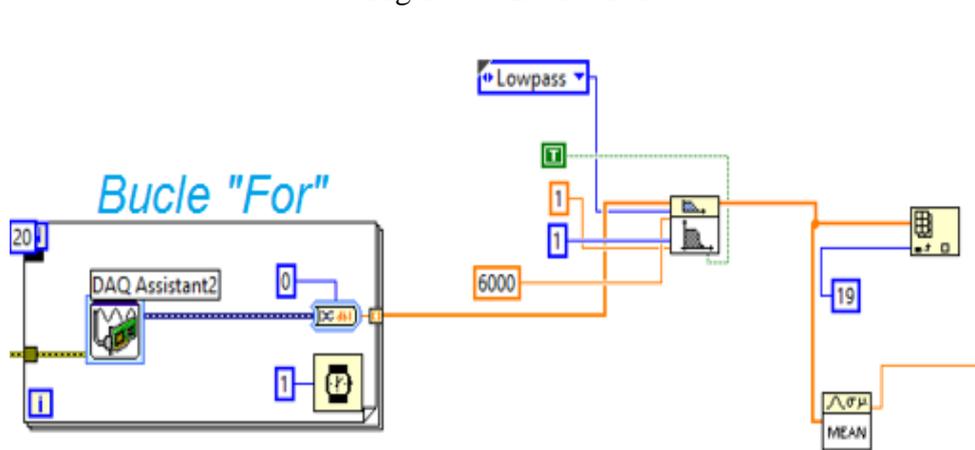
Fuente: Autores

*Bloque para la determinación del torque (M) sensor (SHARP).* Para adquirir la señal del sensor SHARP (analógico) debemos configurar un nuevo DAQ Assistant con los siguientes parámetros:

- Modo de configuración del canal: Referenciado a tierra (RSE)
- Selección de la escala: Voltaje
- Nivel máximo de la entrada de CAD: 5V
- Nivel mínimo de la entrada de CAD: 0 V
- Tipo de Señal: Analógica

Una vez configurado la adquisición de señal es necesario agregar un bucle “For” el mismo que sirve para repetir el código de su interior un número determinado de veces, en este caso realizara 20 lecturas, dándonos como valor de salida un promedio, esta señal es filtrada mediante una herramienta de filtrado del software Labview.

Figura 53. Bucle "For"



Fuente: Autores

Con ayuda del Software Matlab y mediante experimentación se obtuvo un modelo matemático, el mismo que sirve para que la dispersión de los datos provocada por la vibración de la balanza donde se encuentra montado este sensor se ajusten de una manera más exacta a una línea.

Los datos experimentales de voltaje obtenidos por el sensor se detallan a continuación:

Tabla 9. Datos experimentales sensor SHARP

<b>P [kg]</b>	<b>Voltaje [mV]</b>
0	251,78
0,5	253,41
1,0	253,67
1,5	255,12
2,0	256,08
2,5	256,83
3,0	258,12
3,5	258,48
4,0	260,29
4,5	261,66
5,0	261,97
5,5	263,28
6,0	263,64
6,5	265,29
7,0	267,00

Fuente: Autores

Con una rápida programación en Matlab se obtiene un modelo matemático que nos ayudara a tener una mayor precisión en los datos de salida del sensor.

Figura 54. Modelación matemática

```

Fitter_matlab_2.m x
1 - y = [[0:0.5:7]];
2 - x=[251.78 253.41 253.67 255.12 256.08 256.83 258.12 258.48 260.29...
3     261.66 261.97 263.28 263.64 265.29 267 ]
4 - p = polyfit(x,y,3)
5 - xp = 254:0.01:267.5
6 - yp = polyval(p,xp)
7 - plot(x,y,'x',xp,yp)
8 - poly2sym(p)

```

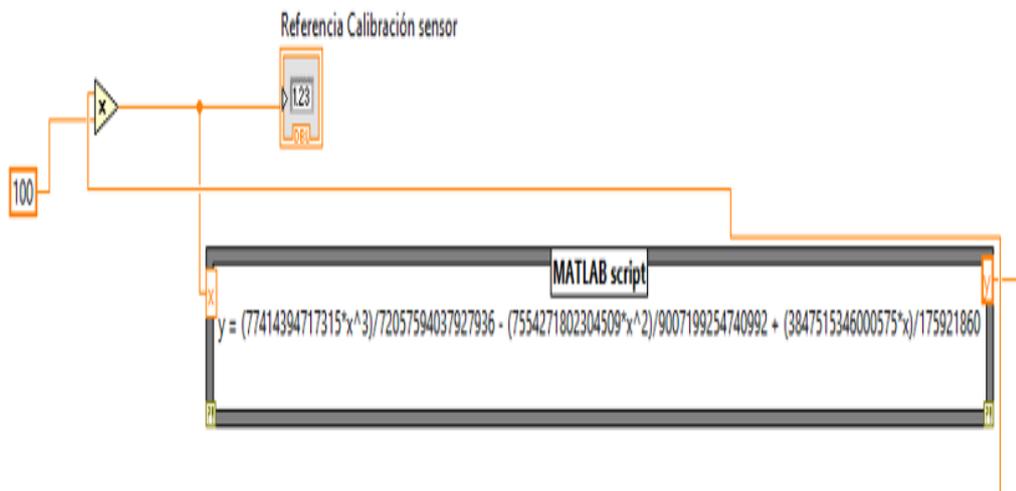
Fuente: Autores

La ecuación resultante de este análisis es:

$$y = (77414394717315 \cdot x^3) / 72057594037927936 - (7554271802304509 \cdot x^2) / 9007199254740992 + (3847515346000575 \cdot x) / 17592186044416 - 5235750040858919 / 274877906944$$

Con ayuda del comando Matlab Script de Labview podemos vincular esta ecuación a nuestra programación para así obtener un dato más confiable, este dato lo multiplicamos por la contante 0.716 para obtener el valor de Torque (M).

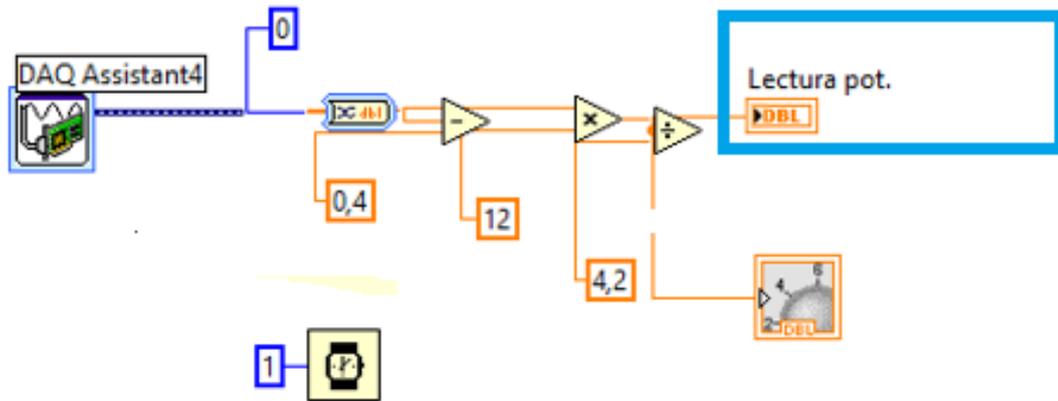
Figura 55. Matlab script



Fuente: Autores

*Bloque de monitoreo y control de carga.* Para este bloque únicamente se debe realizar la configuración de dos DAQ Assistant uno como entrada de datos y el otro como salida.

Figura 56. Monitoreo de carga



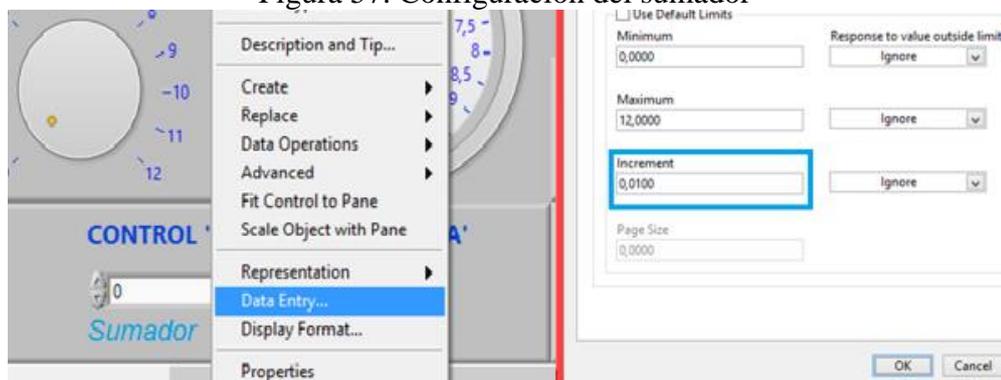
Fuente: Autores

Para el caso de monitoreo de la carga la señal se la debe direccionar a un indicador el cual permitirá la visualización el mismo en la interfaz gráfica.

Para el control de la carga fue necesario ubicar un sumador para de esta manera tener un control más preciso, con esto nos aseguramos de no disminuir drásticamente las revoluciones del motor, y así poder evaluarlo a más revoluciones. Después de varias pruebas se llegó a la conclusión de que el valor recomendable es para realizar este control 0,01, a continuación se muestra la configuración de este valor en el sumador.

1. Clic derecho sobre el sumador y seleccionar Data Entry.
2. Se desplegara una pantalla en la cual podemos ingresar el valor recomendado.

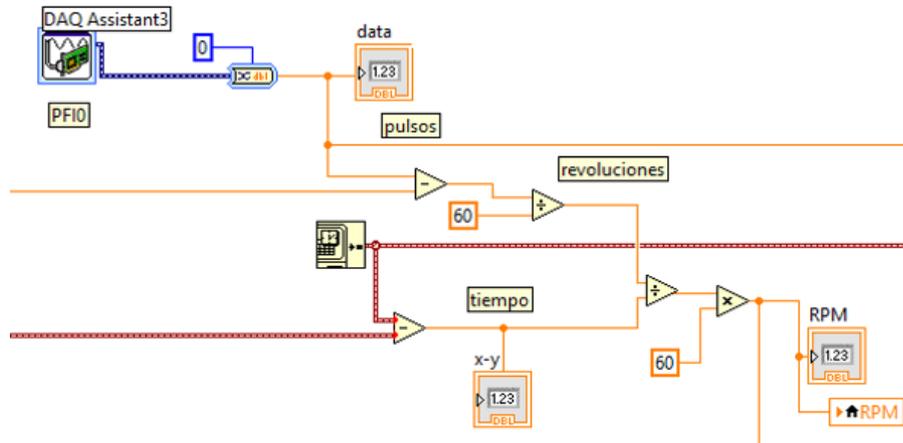
Figura 57. Configuración del sumador



Fuente: Autores

*Bloque de R.P.M.* Como en los anteriores bloques se debe configurar un DAQ Assistant de entrada de datos, y luego mediante comandos operacionales procesar la señal para su visualización en la interfaz gráfica.

Figura 58. Bloque de R.P.M



Fuente: Autores

*Bloque de Resultados.* Una vez procesadas todas las señales procedemos a determinar las variables que necesitamos generar para nuestros resultados siendo estas: Torque (M), Potencia Efectiva (Ne), Potencia Corregida (Ne), Consumo específico (Cs), las cuales estarán representadas en una tabla general en la interfaz gráfica, así como también serán generadas en una hoja de Excel.

Las operaciones matemáticas que se realizaron en esta programación fueron las siguientes:

$M = \text{Torque [kg.m]}$

$$M = 0,716 P \quad (14)$$

$Ne = \text{Potencia efectiva [CV]}$

$$Ne = \frac{M R.P.M}{716,2} \quad (15)$$

*Potencia Efectiva Corregida ( $\overline{Ne}$ ).* La potencia efectiva debe ser multiplicada por un factor de corrección K, que está en función de la temperatura ambiente y la presión

atmosférica de la ciudad de Riobamba. La ecuación que relaciona estas variables está dada en el Manual de funcionamiento de banco dinamométrico Borghi y Saveri, esta es:

$$K = \left( \frac{529+T}{529+15} \right) \left( \frac{760}{H} \right) \quad (16)$$

Donde:

K = Factor de corrección

T = Temperatura Ambiente Riobamba [°C]

H = Presión Atmosférica Riobamba [mmHg]

Datos:

T = 20 °C

H = 556 mm Hg (Obtenido de la estación meteorológica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo)

$$K = \left( \frac{529 + 20}{529 + 15} \right) \left( \frac{760}{556} \right)$$

$$K = 1,4$$

$$\overline{Ne} = 1,4 \text{ Ne} \quad (17)$$

*Consumo específico de Combustible*

Datos:

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

C<sub>s</sub> = Consumo específico de Combustible [kg/CV.h]

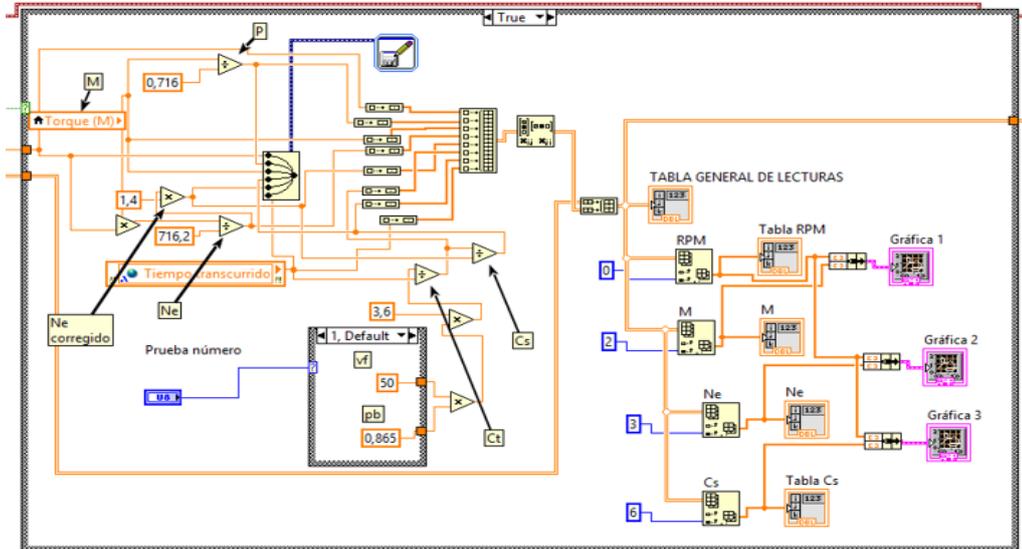
V<sub>f</sub> = 50 cm<sup>3</sup>

ρ<sub>b</sub> = 0.865 g/cm<sup>3</sup>

$$C_t = 3,6 \frac{V_f \cdot \rho}{t} \quad (18)$$

$$C_s = \frac{C_t}{N_e} \quad (19)$$

Figura 59. Bloque de resultados



Fuente: Autores

#### 4.7 Diseño de la interfaz gráfica

La interfaz gráfica está compuesta de dos partes la primera incluye todo lo correspondiente a la visualización y control (ver figura 60), y la segunda es la parte netamente de resultados y graficas (ver figura 61).

Figura 60. Interfaz gráfica 1

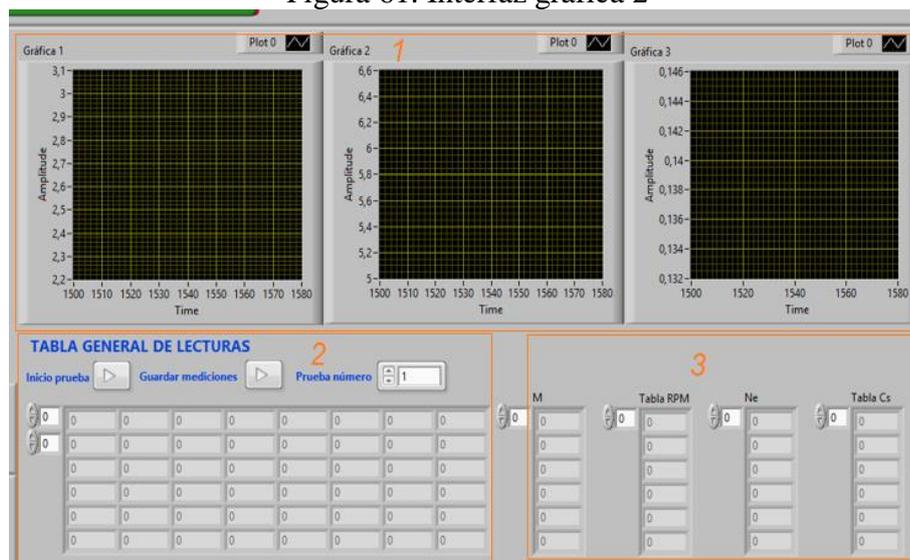


Fuente: Autores

A continuación se detallara de mejor manera cada uno de las partes constitutivas de la interfaz gráfica.

- 1 Nivel de combustible. Contienen los led indicadores de nivel estos se activan o desactivan en función del paso de combustible por los respectivos niveles, activando o desactivando el conteo de tiempo entre cada uno de los niveles.
- 2 Monitoreo de carga. En el cual podemos visualizar en tiempo real la carga que se da al motor, evitando de esta manera sobrecargar al motor o producir fallos.
- 3 Torque. Este parámetro se lo visualiza de dos maneras en un indicador gráfico y un indicador numérico, así como también se visualiza el valor neto que proporciona el sensor SHARP, es decir sin procesar, con el objetivo de futuras calibraciones, para el acondicionamiento de motores de mayor torque.
- 4 Control corriente de carga. Al igual que el monitoreo este control es de vital importancia para este proyecto, puesto que se mejoró el control de carga antes “manual”, en el cual no se tenía un control exacto de la carga y en ocasiones se forzaba mucho al motor, reduciendo sus revoluciones drásticamente sin darnos opción a evaluarlo en más puntos.
- 5 Velocidad. En este indicador podemos visualizar en tiempo real las revoluciones a las que se encuentra operando el motor, las mismas que nos ayudaran para tener un control de la carga que se le proporcione al motor, evitando de esta manera disminuir drásticamente las revoluciones.
- 6 Presión. Uno de los parámetros más importantes para el correcto funcionamiento del motor es el de la presión de aceite, este indicador nos alertara con un mensaje en el caso de que no exista la presión necesaria de aceite en el sistema, si el led se activa se recomienda apagar inmediatamente el motor para evitar que este se sobrecaliente.
- 7 Grafica de torque. En esta gráfica podremos observar la variación del toque en tiempo real, para de esta manera tener un monitoreo en condiciones reales de la principal condición del motor de pruebas.

Figura 61. Interfaz gráfica 2



Fuente: Autores

La interfaz gráfica de resultados está compuesta por tres bloques, en los cuales se visualizan de manera sintetizada y ordenada todos los parámetros evaluados.

1. Gráficas de resultados. En estas gráficas se puede observar cómo van comportándose los datos a medida que avanza la prueba. Los datos representados son torque, potencia efectiva corregida y consumo específico de combustible.
2. Tabla general de lecturas. En este apartado se muestra todos los valores necesarios para la determinación de las variables principales. También consta de 3 botones los cuales sirven para:

*Inicio de prueba:* Activa y permite la toma de datos

*Guardar medición:* Sirve para direccionar los datos obtenidos a una Hoja de Excel.

*Prueba número:* En esta pestaña se encuentran las 3 principales pruebas de consumo específico de combustible, siendo estas  $50\text{cm}^3$ ,  $100\text{cm}^3$  y  $150\text{cm}^3$ , para esto debemos ingresar el valor 1,2,3 respectivamente, dependiendo del tipo de prueba que se desea realizar.

3. Tabla de valores principales. Aquí podemos ya observar únicamente los valores necesarios para evaluar al motor.

## CAPITULO V

### 5. FASE EXPERIMENTAL

La fase experimental es muy importante en este proyecto, ya que son los resultados que se pudo obtener posterior a toda la implementación que se realizó en el banco dinamométrico. De igual manera se fue calibrando de una mejor manera todos los dispositivos montados, puesto que los datos adquiridos principalmente en el sensor SHARP cuando el banco estaba apagado no eran los mismos que cuando el banco estaba en funcionamiento, es decir que en un inicio se calibraba moviéndole manualmente la pluma de la balanza, estos datos eran parcialmente diferentes a los que se obtenían cuando se le proporcionaba carga al motor.

La fase experimental nos permite también realizar un manual de usuario siguiendo ordenadamente los pasos que se da para un correcto funcionamiento ya sea del motor como del banco dinamométrico conjuntamente con los dispositivos electrónicos implementados.

#### 5.1 Funcionamiento

El funcionamiento del banco dinamométrico se basa en montar cualquier motor de combustión interna en la bancada del dinamómetro, para evaluar los diferentes parámetros como torque, potencia, revoluciones por minuto y consumo específico de combustible. Una vez montado y debidamente alineado el freno dinamométrico entra en funcionamiento, siguiendo los pasos que se redacta en el manual de usuario.

**5.1.1** *Manual de usuario.* El manual de usuario se basa en las prácticas que se realizó para la puesta a punto del banco dinamométrico. A continuación se detalla los pasos que se debe seguir para el uso correcto del equipo y sus accesorios.

*Montaje del motor de pruebas.*

- Montar el motor que se va evaluar sobre la bancada del banco dinamométrico, se puede ayudar de una pluma.

- Acoplar el eje estriado al cardan hembra.
- Unir el eje estriado y el cardan hembra a la brida que se encuentra en el freno dinamométrico con los pernos que están provistos en dicha brida.
- Colocar el acople flexible S18 en la brida terminal del eje estriado con tres de los seis pernos que trae consigo el acople flexible.
- Fijar la otra brida metálica al eje del motor de prueba y acoplarle al flexible S18 con los tres pernos restantes.
- Ajustar los seis pernos del acople flexible S18 uniformemente.
- Alinear el eje del motor al eje del banco aflojando los pernos que se muestran en la figura según la necesidad, puede ayudarse de un nivel o de un reloj palpador.

Figura 62. Alineación del motor al banco dinamométrico



Fuente: Autores

*Ensayo y medición de los parámetros del motor.* Para realizar los ensayos todas las personas presentes deberán portar el equipo de seguridad: mandil, mascarilla, tapones para oídos entre otros. Y se procede a seguir los siguientes pasos.

- Acoplar el eje del banco al eje del motor de arranque con la palanca de accionamiento, como se muestra en la figura.

- Debemos tener la suficiente ventilación en el laboratorio, además colocar el tubo de escape en la ventana para que pueda evacuar los gases de combustión.

Figura 63. Acople del banco al motor de arranque



Fuente: Autores

- Cargar el combustible a la probeta de medición, desde la válvula que está situada por debajo del tanque reservorio de combustible ligeramente por encima del volumen requerido para la prueba.
- Encender los equipos desde la caja de breakers en el siguiente orden: la bomba de agua, el motor de arranque y el banco. Después de haber encendido el motor de prueba con la ayuda del motor de arranque se puede apagar dicho motor y a la vez retirar la palanca de accionamiento.
- Dejar calentar el motor por lo menos cinco minutos para tener un buen funcionamiento.
- Mientras se calienta el motor procedemos a conectar el cable USB proveniente de la tarjeta NI USB-6009, a continuación encenderemos los circuitos electrónicos con el interruptor eléctrico de dos posiciones que se encuentra en el panel de control.
- Ubicar el interruptor de tres posiciones en la posición que se requiera., dependiendo desde donde se va a controlar la carga que se dará al motor, ya sea desde el potenciómetro del panel de control (manualmente) o desde el computador (ver figura 64).

- Aceleramos el motor de prueba al máximo posible. Visualizaremos el número de R.P.M que nos entrega el motor en la interfaz gráfica del Labview en el computador. Para mayor seguridad mantenerse alejado del banco por detrás del panel de control
- Se procede a proporcionarle carga al motor ya sea del panel o del computador. Se recomienda darle la carga paulatinamente, mientras se va disminuyendo las R.P.M en el orden de 50 R.P.M, es decir cada 50 RPM se ira tomando y guardando los datos. Antes de continuar con el siguiente paso revisar que el combustible en la probeta este ligeramente por encima del nivel de 50 cm<sup>3</sup>, para poder tiempo suficiente al realizar el siguiente análisis.

Figura 64. Control de carga



Fuente: Autores

- Una vez que le hemos dado carga hasta bajarle 50 R.P.M de las revoluciones iniciales, visualizar que los focos indicadores de 0 y 50 cc estén encendidos en la interfaz, a continuación damos clic en el botón iniciar prueba de la interfaz gráfica, para activar todos los sensores y poder realizar la adquisición,.
- Esperar que se consuma los 50 cc de la probeta y cuando el foco indicador de 0 cc se apague, dar clic en el botón guardar mediciones, el cual nos guardara los datos en una hoja de Excel, para el posterior manejo de los datos obtenidos por parte de los usuarios.

- Una vez que se ha guardado los datos se vuelve a cargar la probeta de combustible ligeramente por encima de los 50 cc y volvemos a darle carga al motor hasta bajarle 50 r.p.m. Posteriormente repetimos desde el paso 9, hasta que el motor llegue a un mínimo de revoluciones por minuto, es decir cuando este próximo apagarse, asegurándonos de esta manera una evaluación completa del motor de pruebas.

Figura 65. Indicadores de nivel



Fuente: Autores

- Cuando se ha acabado con la última toma de datos para seguridad se cargara un poco de combustible y se ira retirando la carga de forma paulatina hasta llegar a cero.
- Después de haber quitado por completo la carga desacelerar el motor de la misma hasta llegar a las revoluciones mínimas, posteriormente apagar el motor y el resto de accesorios del banco.

## 5.2 Pruebas de laboratorio

Después de haber instalado y calibrado todos los circuitos electrónicos se realizó varias pruebas de comprobación con el motor Ducati y siguiendo el manual de usuario anteriormente descrito se procedió a realizar las pruebas de rendimiento del motor, se realizó dos pruebas una con un consumo de 50 cm<sup>3</sup> y otra con 100 cm<sup>3</sup>.

Una vez montado el motor Ducati se procedió acelerar al máximo teniendo como primer resultado una velocidad máxima de 1600 R.P.M. Posteriormente se procedió a dar carga con el control numérico de la interfaz gráfica obteniendo los siguientes datos:

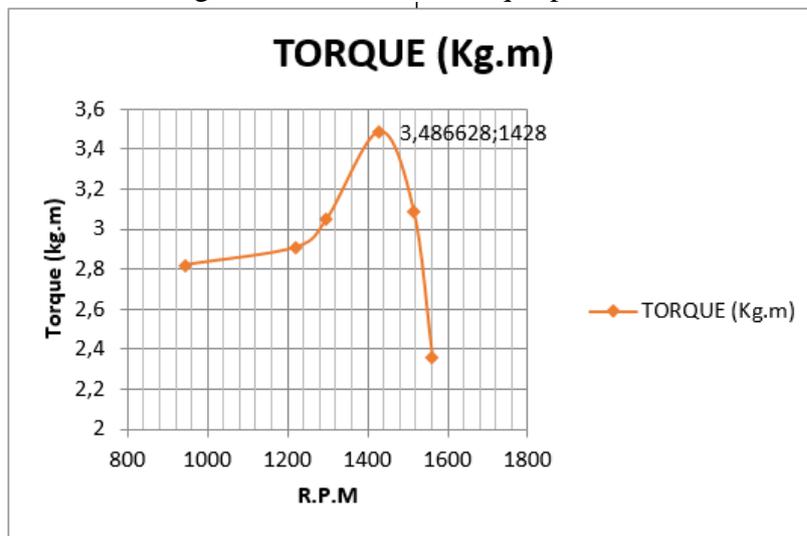
Prueba con un  $V_f = 50 \text{ cm}^3$

Tabla 10. Datos de los parámetros medidos con un  $V_f = 50 \text{ cm}^3$

RPM	P (kg)	M (kg.m)	Ne corregido [CV]	Tiempo [s]	Cs [kg/CV h]
1561	3,29	2,35	7,19	116,91	0,185
1513	4,31	3,08	9,14	93,19	0,182
1428	4,86	3,48	9,73	103,05	0,155
1296	4,25	3,04	7,72	110,18	0,182
1219	4,06	2,90	6,93	140,15	0,160
944	3,93	2,81	5,20	150,18	0,199

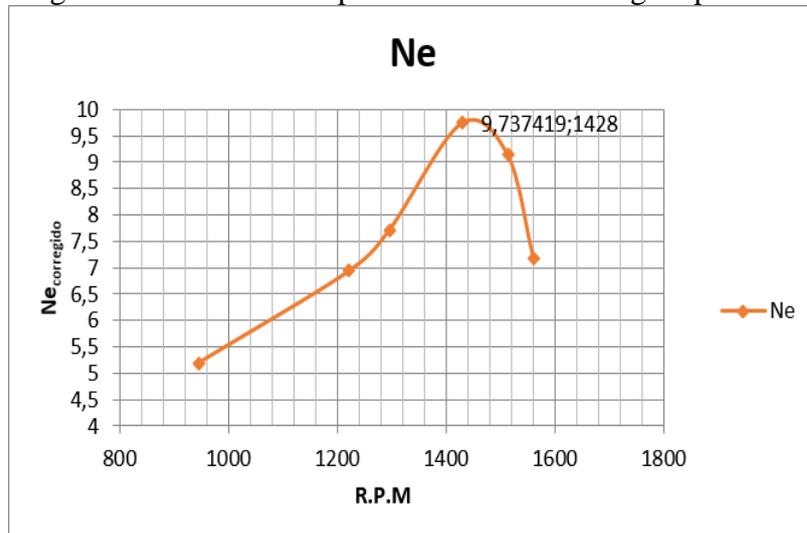
Fuente: Autores.

Figura 66. Gráfica del torque prueba 1



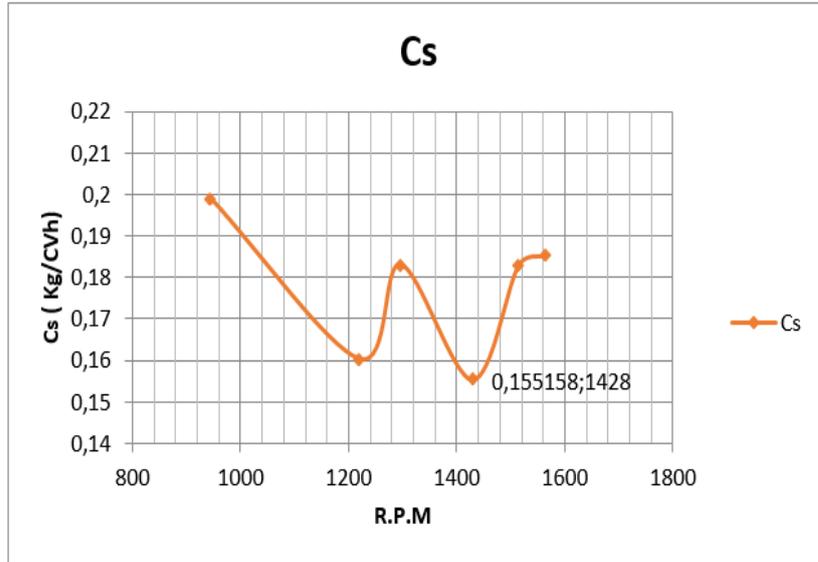
Fuente: Autores

Figura 67. Gráfica de la potencia efectiva corregida prueba 1



Fuente: Autores

Figura 68. Gráfica consumo específico prueba 1



Fuente: Autores

Como se puede observar en la figura se tiene dos puntos en los que el consumo de combustible es mínimo, siendo el segundo el más significativo.

Representando los resultados tenemos que a 1428 R.P.M obtenemos un torque máximo de 3.48 kg.m, una potencia efectiva máxima de 9.73 CV y un consumo mínimo de 0.155 kg/CV.h. Es decir que a 1428 r.p.m. el motor tiene su mejor rendimiento. Estos datos ayudaran para poder repotenciar los motores o resolver los problemas que esté presente.

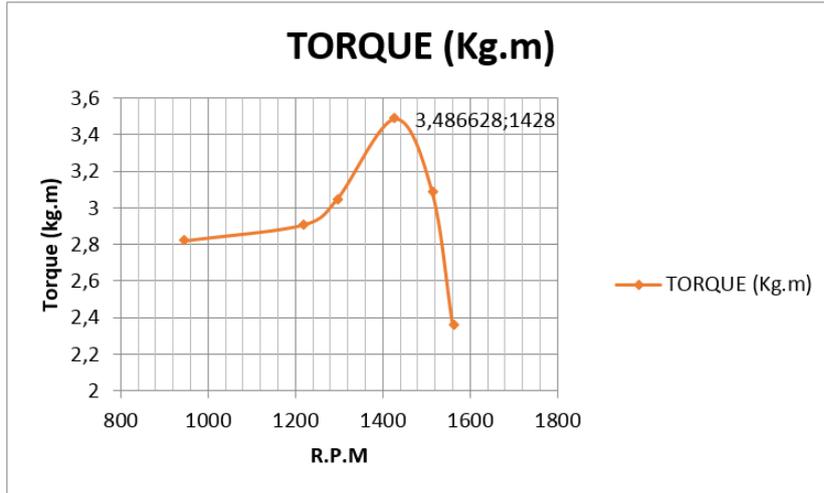
*Prueba con un  $V_f = 100 \text{ cm}^3$*

Tabla 11. Datos de los parámetros medidos con un  $V_f = 100 \text{ cm}^3$

<b>Rpm</b>	<b>P[kg]</b>	<b>M [kg.m]</b>	<b>Ne corregido [CV]</b>	<b>Cs [kg/ CV h]</b>	<b>Tiempo [s]</b>
1600	1,67	1,20	3,75	0,23	359
1570	2,45	1,75	5,38	0,17	327
1547	2,79	2,00	6,05	0,17	296
1541	3,24	2,32	6,99	0,16	269
1509	4,01	2,87	8,47	0,14	246
1482	4,14	2,96	8,59	0,15	228
1457	4,85	3,47	9,89	0,17	180
1134	4,85	3,47	7,70	0,16	247
1017	4,75	3,40	6,77	0,16	271

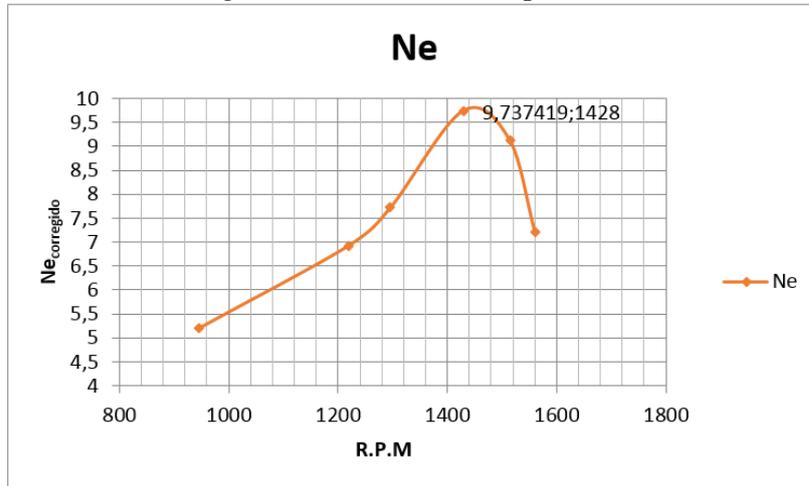
Fuente: Autores

Figura 69. Grafica del torque prueba 2



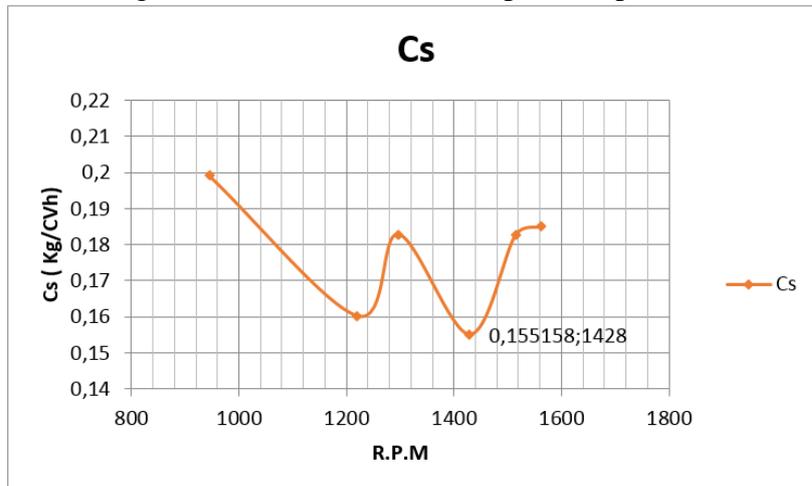
Fuente: Autores

Figura 70. Grafica de Ne prueba 2



Fuente: Autores

Figura 71. Gráfica consumo específico prueba 2



Fuente: Autores

Representando los resultados tenemos que en el rango de 1457 a 1500 R.P.M obtenemos un torque máximo de 3,47 kg.m, una potencia efectiva máxima de 9,89 CV y un consumo mínimo de 0,15 kg/CV.h. Es decir que en este intervalo de velocidad el motor tiene su mejor rendimiento.

## CAPITULO VI

### 6. ANÁLISIS DE COSTOS

#### 6.1 Introducción

En este capítulo se detallaran los costos de la realización del proyecto, para poder tener una idea clara de los gastos que se generaron. A fin de determinar si los costos presupuestados en el ante-proyecto se ajustan a la realidad.

También ayudara a tener una idea clara de los costos por concepto del sistema de adquisición y de la rehabilitación de manera independiente.

#### 6.2 Costos

Los costos de la implementación de un sistema de adquisición de datos y de la puesta en funcionamiento del Banco Dinamométrico se clasificación en costos directos e indirectos.

**6.2.1** *Costos directos.* Dentro de esta clasificación se detallara los valores de todos los elementos necesarios para la implementación del sistema de adquisición de datos y los costos por motivo de rehabilitación del banco dinamométrico.

*Costos sistema de adquisición de datos*

Tabla 12. Costos sistema de adquisición de datos

<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Valor U [USD]</b>	<b>Total [USD]</b>
Tarjetas NI-USB DAQ 6009	1	380	380
Sensor SHARP	1	20	20
Sensor de nivel	1	10	10
Fuente	1	70	70
Circuito impreso	1	60	60
Sensor inductivo	1	15	15
Reóstato	1	20	20
Instalación	1	80	80
<b>TOTAL</b>			<b>655</b>

Fuente: Autores

*Costos de rehabilitación del banco dinamométrico*

Tabla 13. Costos de rehabilitación del banco dinamométrico

<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Valor U [USD]</b>	<b>Total [USD]</b>
Diseño y construcción Brida	1	240	240
Bocín del eje estriado	1	50	50
Niple 3/4"	1	20	20
Acople Flexible	1	300	300
Filtro de aceite	1	5	5
Galón de aceite	1	15	15
Pernos y tuercas de la brida	6	1,2	25
Soporte tanque de combustible	1	15	15
Mangueras y válvula de paso	1	37	37
Soportes del motor	2	25	25
<b>TOTAL</b>			<b>732</b>

Fuente: Autores

*Total costos directos*

Tabla 14. Total costos directos

<b>Costos Directos</b>	<b>Valor [USD]</b>
Costos Sistema de Adquisición de datos	655
Costos de Rehabilitación del Banco Dinamométrico	732
<b>TOTAL</b>	<b>1387</b>

Fuente: Autores

**6.2.2** *Costos indirectos.* Aquí se detallan todos aquellos rubros que ayudaron de manera indirecta a la consecución de este proyecto.

Tabla 15. Costos indirectos

<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Valor unitario [USD]</b>	<b>Valor total [USD]</b>
Movilización y transporte	1	250	250
Asesoría Software Labview	1	200	200
Impresiones e investigación	1	220	220
Gastos Extras	1	50	50
<b>TOTAL</b>			<b>720</b>

Fuente: Autores

### 6.3 Costo total

Tabla 16. Costo total

<b>Costos</b>	<b>Valor [USD]</b>
Costos Directos	1387
Costos Indirectos	720
Total	2107

Fuente: Autores

## **CAPITULO VII**

### **7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **7.1 CONCLUSIONES**

La implementación de este sistema de adquisición de datos es de gran ayuda en el ámbito académico y científico ya que se pudo obtener datos confiables que ayudan a una correcta y eficaz evaluación de los parámetros que rigen el correcto funcionamiento de un motor de combustión interna.

Las pruebas de funcionamiento ayudaron a determinar cuáles eran los sistemas que presentaban fallos para su eventual mejora, y también contribuyeron a la verificación del nuevo sistema implementado.

En el desarrollo de este proyecto se estudió de una manera más detallada todas las partes constitutivas y el funcionamiento de un banco dinamométrico, lo cual ayudo en gran medida a la implementación del sistema de adquisición aquí descrito, y a una comprensión más clara de los parámetros reales del motor de pruebas.

El diseño de los soportes del motor fue de gran ayuda para la puesta en marcha de este proyecto, puesto que el motor disponible para las prácticas de laboratorio no tenía las dimensiones adecuadas para el montaje en la bancada del dinamómetro, luego de un diseño y análisis se llegó a la conclusión de que estas bases cumplían de manera satisfactoria con su objetivo.

Luego de un análisis a la transmisión del sistema de freno del banco dinamométrico se determinó y que el anterior sistema causaba problemas de vibración excesiva, ya que el acople flexible S-18 que se encontraba instalado no cumplía la función para la cual está diseñada que es la de aislar los delineamientos o desbalanceo del motor, este desalineamiento causo el fallo de la transmisión.

El diseño de una nueva brida de acoplamiento mejoro en gran medida el problema de vibraciones que existía en él motor.

Luego de varias experimentaciones se pudo determinar el tipo de sensores más idóneos para la adquisición de los datos, así como también los circuitos de acondicionamiento que ayuden a un mejor tratamiento de las señales.

La utilización de la tarjeta de adquisición de datos DAQ NI USB-6009 nos brindó grandes ventajas ya que es compatible con el Software Labview y dispone de una fácil y rápida comunicación a través del puerto USB, minimizando errores.

La implementación de la interfaz gráfica en el software Labview contribuye a una fácil y rápida comunicación con el usuario, siendo de gran utilidad para fines académicos.

Luego de varias pruebas realizadas tanto al dinamómetro como al sistema de adquisición de datos podemos concluir que este equipo cumple en gran medida con los requerimientos técnicos, a pesar de ser un banco con muchos años de funcionamiento.

El desarrollo de este proyecto contribuye ampliamente al desarrollo y crecimiento académico de la Facultad de Mecánica, ayudando a los estudiantes y usuarios a comprender y aplicar los conocimientos adquiridos en un ambiente real.

## **7.2 RECOMENDACIONES**

Antes de realizar cada prueba se recomienda verificar el estado de la transmisión, es decir constatar si esta no presenta un desalineamiento excesivo, que las poleas de la bomba de agua estén en buen estado.

Una vez iniciada la prueba es recomendable mantenerse alejado de la transmisión del banco dinamométrico, utilizando el equipo de seguridad necesario tales como guantes, gafas, mandil, orejeras.

Se debe seguir exactamente los pasos para el desarrollo de la prueba como se detalló en el manual de usuario. Respetando el orden de encendido y apagado para evitar daños en el sistema.

Asegurarse de que siempre exista combustible en el sistema de alimentación, ya que si no lo hay, la bomba de inyección absorbería aire y el motor no encenderá.

Verificar el nivel de aceite del motor, y cambiarlo si este ya no tiene las características adecuadas para su funcionamiento.

Se recomienda verificar el estado de los filtros de aceite, combustible y aire, si es necesario cambiarlos.

Antes de iniciar las prácticas es recomendable abrir la mayor cantidad de ventanas del taller para evitar la concentración de gases tóxicos que afecten a la salud de los usuarios.

Antes de encender el motor se debe verificar tanto en el potenciómetro manual como en el control digital estén encerados, para evitar una sobrecarga al motor.

## BIBLIOGRAFÍA

**PALLÁS ARENY , Ramón . 2003.** *Sensores y Acondicionadores de Señal.* s.l. : MARCOMBO S.A, 2003. pág. 3.

**BORGI & SAVERI S.R.L.** *Manual de instrucciones Freno Dinamométrico de Corrientes Parasitas.* Bologna : Borgi & Saveri S.R.L. pág. 15.121 .

**DÍAZ, Rodrigo . 1987.** *Motores de Combustion Interna.* Riobamba : Freire, 1987. pág. 46.

**ECURED . 2010.** Ecured . [En línea] 11 de Marzo de 2010. [Citado el: 08 de Noviembre de 2015.] [http://www.ecured.cu/Circuito\\_electr%C3%B3nico](http://www.ecured.cu/Circuito_electr%C3%B3nico).

**Escuela Universitaria Politécnica de Donostia . 2001.** Dpto. Máquinas y Motores Térmicos . [En línea] 20 de Julio de 2001. [Citado el: 25 de Noviembre de 2015.] <http://www.sc.ehu.es/nmwmigaj/bancomot.htm>.

**EVERLIGHT.** *Technical Data Sheet.* [Documento]

**FRANCO GARCÍA, Ángel . 2009.** Curso Interactivo de Física en internet . *Campos Dependientes del Tiempo* . [En línea] 2009. [Citado el: 25 de Noviembre de 2015.] [http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica\\_/index.html](http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica_/index.html).

**GONZÁLEZ FERNÁNDEZ, Gabriel y LÓPEZ NORES , Martín . 2013.** Telecomunicaciones de andar por casa . [En línea] 25 de Junio de 2013. [Citado el: 8 de noviembre de 2015.] <https://telecomunicacionesdeandarporcasa.wordpress.com/2013/06/25/analogico-vs-digital-topicos-posibilidades-y-conceptos-basicos/>.

**Hearst Magazines S.L. 2015.** CAR AND DRIVE THE F1 . [En línea] 05 de Mayo de 2015. [Citado el: 26 de Noviembre de 2015.] <http://www.caranddriverthef1.com/formula1/blogs/angelesf1/como-se-crea-el-motor-un-f1-ii-fabricacion-y-banco-pruebas>.

**LÓPEZ FERNÁNDEZ , Javier . 2010.** *Universidad Carlos III de Madrid Escuela Politécnica Superior.* Madrid : s.n., 27 de Septiembre de 2010.

**LOVEJOY COUPLING SOLUTIONS . 2015.** *Specialty Products* . 2015.

**LOVEJOY COUPLING SOLUTIONS. 2015.** S-Flex. [En línea] 2015. [Citado el: 25 de Noviembre de 2015.] <http://pdf.directindustry.com/pdf/lovejoy/specialty-catalog/7199-70960.html>.

**MARTIN, Daniel C. 2008.** X-ROBOTICS. *Robotica y microcontroladore.* [En línea] 2008. [Citado el: 25 de Noviembre de 2015.] <http://www.x-robotics.com/sensores.htm#gp2d>.

**MECATRÓNICA .** Mecatrónica . [En línea] <http://www.mecatronica.com.uy/sensores/145-foto-celda-5mm.html>.

**MURDOCCA , Roberto Martín.** Universidad Nacional de San Luis. [En línea]  
[Citado el: 24 de Noviembre de 2015.]  
<http://www0.unsl.edu.ar/~interfases/labs/lab09.pdf>.

**NATIONAL INSTRUMENTS .** National Instruments . [En línea]  
[http://zone.ni.com/reference/en-XX/help/370466V-01/device\\_pinouts/6009pinout/](http://zone.ni.com/reference/en-XX/help/370466V-01/device_pinouts/6009pinout/).

**OSORIO, Jhon Eduar , PÉREZ RAMÍREZ , Juan Daniel y RODRÍGUEZ BARRERA , Mario Alberto . 2010.** SCIELO . [En línea] Diciembre de 2010. [Citado el: 30 de Noviembre de 2015.] [http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0123-921X2010000200007&script=sci\\_arttext.0123-921X](http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0123-921X2010000200007&script=sci_arttext.0123-921X) .

**ROFRIGUEZ MATIENZO, Jorge. 1998.** Diagnostico por vibraciones en motores de combustio interna. La Habana : ISPJAE, 1998. 19390.

**SHARP .** Sharp . [En línea] [http://www.sharp-world.com/products/device/lineup/data/pdf/datasheet/gp2y0a41sk\\_e.pdf](http://www.sharp-world.com/products/device/lineup/data/pdf/datasheet/gp2y0a41sk_e.pdf). 0P13008EN .

**TANGIENT LLC. 2005.** Wisispaces . [En línea] 2005. [Citado el: 8 de Noviembre de 2015.]  
<http://macfugo.wikispaces.com/Se%C3%B1ales+Anal%C3%B3gicas+y+Digitales>