



# **UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

## **FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS CARRERA DE INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ**

**TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO EN MANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ**

**TEMA: IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO PARA PRUEBAS EN  
MOTORES DIÉSEL MONO CILÍNDRICOS.**

**AUTORES:**

**Chugá Chamorro Jorge Luis**

**Díaz Guamá Héctor David**

**DIRECTOR: ING. CARLOS NOLOASCO MAFLA YEPEZ. MSC.**

**Ibarra, 2022**

## CERTIFICADO

### ACEPTACIÓN DEL DIRECTOR

En calidad de director del plan de trabajo de grado, previo a la obtención del título de Ingeniería en Mantenimiento Automotriz, nombrado por el Honorable Consejo Directivo de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas.

#### CERTIFICO:

Que una vez analizado el plan de grado cuyo título es la "IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO PARA PRUEBAS EN MOTORES DIÉSEL MONO CILÍNDRICOS" presentado por el señor Chuga Chamorro Jorge Luis con número de cédula 100323273-1 y el señor Díaz Guamá Héctor David con número de cédula 100384740-5, doy fe que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a presentación pública y evaluación por parte de los señores integrantes del jurado examinador que se designe.

En la ciudad de Ibarra a 31 días del mes de enero.

Atentamente



Ing. Carlos Mafla Yépez. MSc.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE GRADO.



# UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

## BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

### AUTORIZACION DE USO Y PUBLICACION

### A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

#### 1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

| DATOS DE CONTACTO           |   |                        |            |
|-----------------------------|---|------------------------|------------|
| <b>CÉDULA DE IDENTIDAD:</b> | 100323273-1, 100384740-5  |                        |            |
| <b>APELLIDOS Y NOMBRES:</b> | Chuga Chamorro Jorge Luis y Díaz Guamá Héctor David   |                        |            |
| <b>DIRECCIÓN:</b>           | IBARRA  |                        |            |
| <b>EMAIL:</b>               | <a href="mailto:jlchugac@utn.edu.ec">jlchugac@utn.edu.ec</a> <a href="mailto:hddiazg@utn.edu.ec">hddiazg@utn.edu.ec</a> |                        |            |
| <b>TELÉFONO FIJO:</b>       | 062 601108  | <b>TELÉFONO MÓVIL:</b> | 0992006408 |

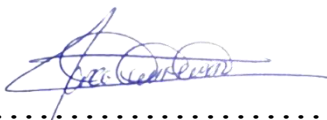
| DATOS DE LA OBRA                   |  |
|------------------------------------|--|
| <b>TÍTULO:</b>                     | <b>IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO PARA PRUEBAS EN MOTORES DIÉSEL MONO CILÍNDRICOS.</b> |
| <b>AUTOR (ES):</b>                 | Chuga Chamorro Jorge Luis y Díaz Guamá Héctor David                                |
| <b>FECHA:</b><br><b>DD/MM/AAAA</b> | 01 - 02 - 2022   |
| SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO        |  |
| <b>PROGRAMA:</b>                   | <b>PREGRADO</b>  |
| <b>TITULO POR EL QUE OPTA:</b>     | <b>Ingeniería en Mantenimiento Automotriz</b>                                      |
| <b>ASESOR /DIRECTOR:</b>           | <b>Ing. Carlos Noloasco Mafla Yépez MSc.</b>                                       |

## 2. CONSTANCIAS

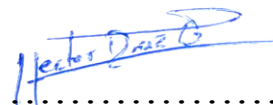
Nosotros, Chuga Chamorro Jorge Luis y Díaz Guamá Héctor David manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que son los titulares de los derechos patrimoniales, por lo que asumen la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrán en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 01 días del mes de febrero de 2022

LOS AUTORES:



.....  
Chuga Chamorro Jorge Luis



.....  
Díaz Guamá Héctor David

## **DEDICATORIA**

Este trabajo de grado es dedicado a mis padres Gustavo Chuga y Cecilia Chamorro que con su apoyo, amor y disciplina he logrado culminar esta meta tan anhelada, a mi esposa Rosita e hijos que han sido mi aliento y fortaleza en esta etapa de mi vida.

A mis abuelitos Carlos Narváez y Martha Quiroz que desde pequeño han estado a mi lado en momentos buenos y malos, dándome fuerza para poder terminar este proceso académico.

**Chugá Chamorro Jorge Luis**

Este trabajo es dedicado en primer lugar a Dios por permitirme vivir, para cumplir esta meta en mi vida, de esta manera ser excelente ser humano y profesional en la sociedad,

Con mucho amor y respeto a mis padres por inculcarme siempre los buenos valores y la constancia de perseverar en las metas que uno se propone.

De igual manera se la dedico a mis hermanos y amigos los cuales siempre estuvieron ahí para apoyarme en todo momento.

**Díaz Guamá Héctor David**

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco principalmente a Dios por darme la salud y fuerza siendo lo principal para poder culminar esta etapa importante en mi vida.

A la UNIVERSIDAD TECNICA DEL NORTE por haberme acogido en su casona universitaria durante estos años a sus docentes, mis maestros de vida que con su sabiduría me enseñaron para ser un buen profesional y más que un buen profesional un buen ser humano para la sociedad.

Y como no agradecer a mis padres Gustavo Chuga y Cecilia Chamorro que con su apoyo incondicional y cariño logramos finalizar mis estudios universitarios gracias papitos.

.

**Chugá Chamorro Jorge Luis**

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco en primer lugar a Dios por todas las bendiciones que él me ha dado, a mis padres, Francisco Díaz, Gloria Guamá, amigos, Esmeralda Rodríguez a mis hermanos por estar ahí incondicionalmente en los momentos que se necesitaba para hacer real este proyecto de tesis.

A la Universidad Técnica del Norte por haberme dado la oportunidad de estudiar y cumplir mis metas y ser un profesional. A mi director de tesis ING. CARLOS MAFLA. MSC, que con sus conocimientos, consejos, experiencia y motivación impartida hacia mi he logrado culminar mis estudios con éxitos.

Y no por último y menos importante agradecer a todos los docentes los cuales estuvieron involucrados en todo el ciclo estudiantil de mi carrera impartiendo el día a día sus conocimientos.

Son muchas las personas a las que me encantaría agradecer su amistad su apoyo, los cuales han formado parte de mi vida cotidiana con sus consejos, ánimos, apoyo y compañía en los momentos y lugares que necesite, muchos están aún presente y otras tan especiales como mi madre está en mi corazón y mis recuerdos sin importar donde se encuentren quiero decirles gracias por todo lo que me han brindado.

Díaz Guamá Héctor David

## ÍNDICE DE CONTENIDO

|   |    |
|---|----|
| CAPÍTULO I .....  | 1  |
| 1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....  | 1  |
| 1.1. Objetivos .....  | 1  |
| 1.1.1. Objetivo General. ....   | 1  |
| 1.1.2. Objetivos Específicos. ....  | 1  |
| 1.2. Justificación .....  | 1  |
| 1.3. Alcance .....  | 2  |
| 1.4. Antecedentes .....   | 2  |
| 1.4.1. Motores de Combustión Interna Alternativos (MCIA).....                         | 2  |
| 1.4.1.1. Clasificación de los MCIA.....   | 3  |
| 1.5. Banco de pruebas de motores .....  | 5  |
| 1.5.1. Parámetros fundamentales. ....   | 5  |
| 1.6. Rendimiento del motor .....  | 6  |
| 1.7. Tipos de rendimientos .....  | 7  |
| 1.7.1. Rendimiento Total. ....  | 7  |
| 1.8. Pérdidas de energía .....  | 8  |
| 1.9. Rendimiento Mecánico.....  | 8  |
| 1.10. Rendimiento Volumétrico .....   | 9  |
| 1.10.1. Régimen de giro.....  | 10 |
| 1.11. Par Motor .....   | 10 |
| 1.12. Banco de Pruebas.....   | 11 |
| 1.13. Clasificación de los bancos de pruebas para motores de combustión interna ..... | 11 |



|                   |  |    |
|-------------------|--|----|
| 1.14.             | Banco de pruebas de motores .....                                  | 12 |
| 1.15.             | Funcionamiento y termodinámica del motor diese cuatro tiempos..... | 12 |
| 1.16.             | Características térmicas y mecánicas .....                         | 13 |
| 1.16.1.           | Potencia.....  | 13 |
| 1.17.             | Rendimiento en motores de encendido por compresión.....            | 13 |
| 1.17.1.           | Rendimiento mecánico.....  | 13 |
| 1.17.2.           | Rendimiento térmico. ....  | 13 |
| 1.18.             | Consumo específico de combustible .....                            | 13 |
| 1.19.             | Consumo específico de aire .....                                   | 14 |
| 1.19.1.           | Relación aire -combustible. ....                                   | 14 |
| 1.20.             | Combustión en los motores diésel.....                              | 14 |
| 1.20.1.           | Fases de la combustión. ....                                       | 16 |
| CAPÍTULO II ..... |  | 17 |
| 2.                | MATERIALES Y MÉTODOS .....   | 17 |
| 2.1.              | Materiales .....   | 17 |
| 2.1.1.            | Componentes del banco de pruebas.....                              | 17 |
| 2.1.1.1.          | Soportes del motor.....  | 18 |
| 2.1.1.2.          | Instalación del motor .....  | 18 |
| 2.1.1.3.          | Frenos dinamométricos.....   | 19 |
| 2.1.1.4.          | Sistema de poleas.....   | 19 |
| 2.1.2.            | Materiales. ....   | 20 |
| 2.1.3.            | Instrumentación.....   | 20 |
| 2.1.4.            | Datos y especificaciones del motor. ....                           | 21 |
| 2.1.4.1.          | Características .....  | 21 |
| 2.2.              | Equipos de obtención de datos .....                                | 22 |
| 2.2.1.            | Arduino mega.....  | 22 |
| 2.2.2.            | Módulo relé de 2 canales. ....                                     | 24 |
| 2.2.3.            | Celda de carga.....  | 25 |
| 2.2.4.            | Trasmisor de celda de carga HX 711. ....                           | 26 |
| 2.2.5.            | Sensor de proximidad NPN.....                                      | 26 |
| 2.2.6.            | Motor Max Farmer.....  | 27 |

|                    |  |    |
|--------------------|--|----|
| 2.2.7.             | Tarjeta de adquisición de datos DAQ 6009 ..... | 28 |
| 2.2.8.             | LABVIEW .....                                  | 29 |
| 2.3.               | MÉTODOS.....                                   | 30 |
| 2.3.1.             | Software.....                                  | 30 |
| 2.3.1.1.           | Interfaz Labview .....                         | 30 |
| 2.3.1.2.           | IDE de Arduino.....                            | 32 |
| CAPITULO III ..... |  | 34 |
| 3.                 | RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....                    | 34 |
| 3.1.               | Condiciones iniciales de la prueba .....       | 35 |
| 3.2.               | Análisis de señales .....                      | 35 |
| 3.2.1.             | Sensor de RPM.....                             | 35 |
| 3.2.2.             | Sensor celda de carga .....                    | 36 |
| 3.3.               | Pruebas y mediciones .....                     | 37 |
| 3.3.1.             | Prueba N. 1.....                               | 37 |
| 3.3.2.             | Prueba N. 2.....                               | 38 |
| 3.4.               | Análisis de pruebas.....                       | 40 |
| CAPITULO IV.....   |  | 42 |
| 4.                 | CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....            | 42 |
| 4.1.               | Conclusiones.....                              | 42 |
| 4.2.               | Recomendaciones .....                          | 42 |
| 5.                 | BIBLIOGRAFÍA .....                             | 44 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|   |    |
|---|----|
| Tabla 1. Valores comparativos de las pérdidas de calor durante el ciclo ..... | 8  |
| Tabla 2. Especificaciones del motor .....                                     | 22 |
| Tabla 3. Especificaciones técnicas del Arduino .....                          | 23 |
| Tabla 4. Especificaciones técnicas del módulo relé.....                       | 24 |
| Tabla 5. Especificaciones técnicas de la celda de carga .....                 | 25 |
| Tabla 6. Especificaciones del sensor NPN .....                                | 27 |
| Tabla 7. Especificaciones técnicas.....                                       | 27 |
| Tabla 8 Características DAQ 6009 .....  | 29 |
| Tabla 9 Descripción de pines DAQ USB 6009.....                                | 29 |
| Tabla 10 Resumen de pruebas aplicadas .....                                   | 40 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1. Curva de potencia .....   | 6  |
| Figura 2. Rendimiento volumétrico en función de las revoluciones del motor .....                                | 10 |
| Figura 3. Imagen representativa de un motor de combustión interna acoplado a un banco de ensayo de motores..... | 12 |
| Figura 4. Componentes del banco de pruebas .....  | 17 |
| Figura 5. Soporte del motor .....   | 18 |
| Figura 6. Instalación del motor .....   | 19 |
| Figura 7. Sistema de poleas .....   | 19 |
| Figura 8. Diagrama de instrumentación .....   | 20 |
| Figura 9. Motor diésel.....   | 21 |
| Figura 10. Arduino ATmega 2560.....   | 23 |
| Figura 11. Módulo relé de 2 canales.....  | 24 |
| Figura 12. Celda de carga .....   | 25 |
| Figura 13. Trasmisor de celda de carga HX 711 .....   | 26 |
| Figura 14. Sensor de proximidad NPN .....   | 26 |
| Figura 15. Motor Max Farmer .....   | 28 |
| Figura 16 NI USB 6009 .....   | 28 |
| Figura 17. Interfaz de datos en LabVIEW .....   | 30 |
| Figura 18. Panel frontal de obtención de datos gráficos .....   | 31 |
| Figura 19. Diagrama de bloques .....  | 32 |

|   |    |
|---|----|
| Figura 20. Programación de Arduino .....                                    | 33 |
| Figura 21. Calibración de celda de carga con 30 kg de peso .....            | 34 |
| Figura 22. Respuesta de la señal de rpm .....                               | 36 |
| Figura 23. Respuesta de la celda de carga al aplicar freno .....            | 36 |
| Figura 24. Datos del banco de pruebas para biocombustible .....             | 37 |
| Figura 25. Análisis de gases .....  | 38 |
| Figura 26. Datos del banco de pruebas para diésel premium con aditivo ..... | 39 |
| Figura 27. Análisis de gases diésel con aditivo .....                       | 39 |

## RESUMEN

El objetivo principal de este trabajo fue establecer un banco de pruebas en un motor monocilíndrico usando dos combustibles de diferente composición (diésel-aditivo y biodiesel) para establecer su desempeño en función de las variaciones en la operación del motor monocilíndrico diésel de 8 Hp. El banco de pruebas está constituido por una estructura sobre la cual se encuentra el torquímetro, freno y el motor diésel. Para obtener los datos de las curvas, se realizó la determinación de tres parámetros: medición de velocidad en rpm y fuerza en Kg., variables que caracterizan el rendimiento del motor. Estos resultados pueden servir para la puesta en marcha de prototipos y calibración de motores de acuerdo con las características de los combustibles y sus mezclas parciales.

## **ABSTRACT**

The main objective of this work was to establish a test bench in a single-cylinder engine using two fuels of different composition (diesel-additive and biodiesel) to establish its performance depending on the variations in the operation of the 8 Hp single-cylinder diesel engine. The test bench is made up of a structure on which the torque meter, brake and diesel engine are located. To obtain the data from the curves, three parameters were determined: measurement of speed in RPM and force in KG, variables that characterize the performance of the engine. These results can be used for the start-up of prototypes and calibration of engines according to the characteristics of the fuels and their partial mixtures.

## INTRODUCCIÓN

En el motor diésel a través del tiempo, se ha producido grandes cambios con el objetivo de mejorar su rendimiento, potencia y otros parámetros de acuerdo con el trabajo al cual se ha destinado principalmente para facilitar las actividades desarrolladas por el hombre.

Debido al crecimiento del parque automotor ha generado la necesidad de investigar soluciones amigables con el entorno, por lo cual se ha realizado el banco de pruebas para el motor usando mezcla diésel- aditivo y un biocombustible para establecer datos donde se refleje una menor contaminación en base a los resultados de las emisiones del motor.

Para analizar su comportamiento es necesario desarrollar un banco de pruebas del motores diésel de combustión interna, esto permite obtener resultados de algunas variables relacionadas al funcionamiento de este motor monocilíndrico, así como el desarrollo del método para caracterizar el desempeño.

Las pruebas realizadas permitieron obtener datos para cuantificarlos, como la potencia y torque del motor al freno, la potencia neta desarrollada, el consumo específico de combustible y la composición de los gases de escape



## **CAPÍTULO I**

### **1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

#### **1.1. Objetivos**

##### **1.1.1. Objetivo General.**

Implementación de un banco para pruebas en un motor a diésel mono cilíndrico para obtener datos de su funcionamiento en tiempo real.

##### **1.1.2. Objetivos Específicos.**

- Investigar los parámetros adecuados de operación de motores diésel.
- Realizar el montaje de los elementos para la puesta en marcha del banco de pruebas.
- Evaluar el funcionamiento del motor diésel con el uso de combustibles de diferente composición
- Medir las emisiones de gases de escape de los diferentes combustibles usados
- Diseñar y construir un banco de pruebas para determinar los parámetros básicos de funcionamiento de un motor mono cilíndrico a diésel

#### **1.2. Justificación**

El banco de pruebas consiste en una serie de resultados obtenidos de ensayos que se realizaron de mediciones de parámetros para determinar el funcionamiento de los motores. Entre estas medidas se encuentran; la potencia desarrollada, el consumo específico de combustible y los diferentes rendimientos de acuerdo con los combustibles usados, la composición de los gases de escape y la eficiencia del motor.

El banco de ensayos de motores de combustión interna está compuesto de elementos para la simulación del comportamiento de un motor y establecer las características de funcionamiento en condiciones controladas, normales y extremas para obtener datos y elaborar un registro utilizando instrumentos de control. En este caso para determinar el comportamiento del motor, se coloca sobre un soporte apropiado y conectado a un freno dinamométrico por medio de juntas.

### **1.3. Alcance**

Los ensayos para obtener el banco de pruebas se realizan en un motor a diésel de 8 Hp y está orientado a determinar las variaciones producidas en el motor mediante el torque y potencia, mediante los datos obtenidos se evidencia el cambio del comportamiento del motor usando diferentes combustibles.

Previamente se diseña y luego se procede a la construcción del banco de pruebas y a la instrumentación, determinando los análisis de los parámetros a realizarse en el motor diésel, los cuales permitan evaluar el funcionamiento del motor mono cilíndrico.

Los motores mono cilíndricos, debido a su amplio campo de aplicación son fáciles de acoplar, sus repuestos se consiguen fácilmente y este tipo de motor es usado en muchas actividades, como producción, industrial, transporte terrestre, marítimo, entre otros.

El banco de pruebas permite el estudio y análisis del funcionamiento de un motor de combustión interna diésel y determinar las condiciones óptimas de funcionamiento, de ciclo diésel (encendido a compresión)

### **1.4. Antecedentes**

#### **1.4.1. Motores de Combustión Interna Alternativos (MCIA).**

(Gálvez, J. 2013), establece que los motores de combustión interna alternativos, conocidos como motores de explosión (gasolina) y motores diésel (a compresión), son motores térmicos en los que los gases resultantes de un proceso de combustión empujan un émbolo o pistón, desplazándolo en el interior de un cilindro y haciendo girar un cigüeñal, obteniendo finalmente un movimiento de rotación.

#### 1.4.1.1. Clasificación de los MCIA

Se pueden emplear diversos criterios para la clasificación de los MCIA, estos criterios son:

- Por su ciclo

Otto

Diesel

- Por su disposición y número de cilindros

Rotativo (radial)

En línea (2, 3, 4...12)

En V (2, 4, 8...16,18)

Opuestos

- Por su posición de válvulas

En la culata

Lumbreras

Rotativos

- Por su tipo de arranque

Batería

Aire comprimido

Motor auxiliar

- Por su tipo de enfriamiento

Líquido (agua + glicol)

Aire

Aceite de lubricación

- Por su alimentación de aire

Aspiración natural

Sobrealimentado (turbo cargado)

Accionado por engranajes

Accionado por turbina a través de gases de escape

- Por su alimentación de combustible

Carburado

Inyectado

- Según el combustible empleado

Motores de gas

Motores de gasolina

Motores de aceites pesados (gasóleo o fueloil)

- Según la forma en que se realiza la combustión

Motores de explosión son aquellos en los que la combustión se realiza gracias a una chispa que inflama el combustible comprimido.

Motores diésel son aquellos en los que la combustión se realiza por medio de la compresión del combustible.

- Según la relación explosiones giro del cigüeñal

Motores de 2 tiempos: este motor, realiza las 4 etapas de un ciclo termodinámico (admisión, compresión, expansión y escape) en 2 movimientos lineales del pistón (una vuelta del cigüeñal).

Motores de 4 tiempos: este motor, realiza las 4 etapas de un ciclo termodinámico en 4 movimientos lineales del pistón (dos vueltas del cigüeñal).

- Según el número de cilindros

Monocilíndricos

Poli cilíndricos

## **1.5. Banco de pruebas de motores**

(Gálvez, J. 2013), además considera que un banco de pruebas se relaciona directamente con factores ambientales, de diseño, rendimiento, pruebas y ensayos, donde el principal beneficio de este diseño con este sistema será el nivel de calidad de las tareas de reacondicionamiento asegurando, de esta manera que los motores de combustión interna retornen a proporcionar su servicio para el que fueron diseñados en las mismas condiciones de los de nueva construcción.

Según (Marruedo, E. 2016), su principio de funcionamiento está basado en la medición de potencia y torque en el eje de salida del motor, evitando todas las pérdidas de potencia debida al sistema de transmisión ya mencionadas.

Dicho dispositivo consiste en una base en donde se monta el motor para luego ser ensayado bajo las condiciones que sean necesarias. Los apoyos de dicha base deben ser capaces de resistir y disipar las vibraciones mecánicas producidas por el funcionamiento del motor. Estas pueden ser universales o no, es decir, pueden estar diseñadas para un solo tipo de motor o ser ajustables para distintos tipos.

(Zambrano. R., y Núñez, C. 2013) establecen que para la obtención de las curvas características de los motores es necesario contar con un banco de pruebas que oponga resistencia controlada al giro a diferentes estados de carga. La herramienta que permite controlar dicha resistencia es conocida como freno dinamométrico, también conocidos como dinamómetros.

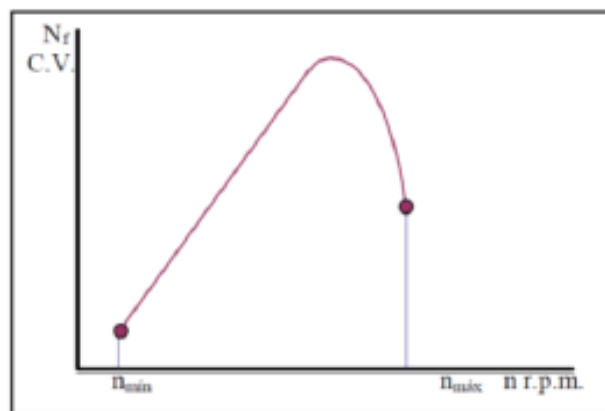
Los frenos dinamométricos que pueden reproducir cualquier estado de carga a cualquier régimen, de forma precisa y estabilizada, se conocen como dinamómetros de potencia estacionarios.

### **1.5.1. Parámetros fundamentales.**

Las curvas características son las encargadas de definir el comportamiento de los vehículos o de los motores. Para poder definir los comportamientos del motor es

necesario obtener tres curvas: curva de potencia del motor, curva de par del motor y curva de consumo específico del motor. Y para esto es importante tener en cuenta el cálculo de unos parámetros fundamentales a saber el par, la potencia y el consumo específico de combustible.

El perfil de la curva de potencia muestra que, en los motores alternativos, a medida que aumenta el régimen de giro incrementa la potencia al freno de forma prácticamente lineal, lo que ocurre hasta llegar a un valor de velocidad angular del cigüeñal en el que por seguridad para el motor, actúa el regulador disminuyendo de forma automática la entrada de combustible. A partir de dicho régimen la potencia disminuye hasta llegar a un valor que considerando el alto régimen de giro es muy bajo.



*Figura 1. Curva de potencia*

### **1.6. Rendimiento del motor**

(Marruedo, E. 2016) establece que el motor de combustión interna es una máquina térmica cuyo fin es transformar energía química del combustible en uso, en energía térmica mediante el proceso de combustión y así lograr obtener trabajo mecánico, que se pone de manifiesto mediante el desplazamiento del mecanismo biela-manivela-cigüeñal. El aumento de la presión de los gases en el interior del cilindro, es decir, los productos de la combustión son los encargados de generar el desplazamiento.

De su eficiencia en este proceso, podemos definir los siguientes conceptos.

## **1.7. Tipos de rendimientos**

### **1.7.1. Rendimiento Total.**

Es la relación existente entre el trabajo útil medido en el eje del motor y el equivalente a la energía calorífica del combustible consumido. Será mayor, cuanto mayor sea la cantidad de calor aportada al ciclo y cuanto menor sean las pérdidas de calor.

Experimentalmente se han logrado determinar los siguientes resultados:

Las pérdidas de calor a través de los gases de escape estiman de 35% en los motores Otto, 30% en los Diésel.

Por el sistema de refrigeración se evacua aproximadamente el 30% del calor en ambos tipos de motor.

Del 100% de la energía calorífica que posee el combustible, los motores térmicos de combustión interna solamente son capaces de transformar entre el 35 y el 50%. Siendo el caso de:

Motores Otto: de 35 a 40%.

Motores Diésel: de 40 a 50%.

El rendimiento de un motor, por tanto, será mayor cuando menores sean las pérdidas durante la transformación de la energía química almacenada por el combustible en trabajo mecánico.

Algunos de los efectos que generan pérdidas de energía son naturalmente imposibles de evitar, pero hay otros que dependen del diseño de la máquina y de la habilidad del constructor para reducirlos.

## 1.8. Pérdidas de energía

- Pérdidas de calor: producidas por el sistema de refrigeración y la radiación de calor al exterior. Otra pérdida es la importante cantidad de calor que se evacua a través de los gases de escape.
- Pérdidas mecánicas: debido al rozamiento entre las piezas en movimiento, y por el accionamiento de dispositivos auxiliares, como la bomba de agua, bomba de aceite, etc.
- Pérdidas químicas: motivadas por una combustión incompleta.

Tabla 1. Valores comparativos de las pérdidas de calor durante el ciclo

| Compresión | Combustión | Expansión | Escape |
|------------|------------|-----------|--------|
| 1 -3 %     | 6 -8 %     | 30 -45 %  | 50 %   |

## 1.9. Rendimiento Mecánico

Representa la pérdida de energía debido al roce de las piezas que componen el motor. Es decir, que, a valores más cercanos de la unidad, se obtiene un motor con menos pérdida de potencia y con valores cercanos a 0, hablamos de un equipo muy deficiente.

Las pérdidas de carácter mecánico que se consideran para determinar el rendimiento mecánico son:

- La energía disipada durante el movimiento que realiza el pistón al transmitir el movimiento hasta el cigüeñal. Principalmente en los cojinetes de biela y cigüeñal.
- La energía que es consumida por mecanismos auxiliares: sistema de distribución, las bombas de agua y aceite, el distribuidor de encendido, entre otros.
- El trabajo de bombeo o energía que se emplea en el proceso de admisión y escape de gases.



Este empeora al aumentar la velocidad media del pistón o cuando disminuye la carga al mantener la velocidad constante. Su valor oscila entre 0.8 a 0.9, donde los valores más chicos hacen referencia a motores chicos y de poca cilindrada.

### **1.10. Rendimiento Volumétrico**

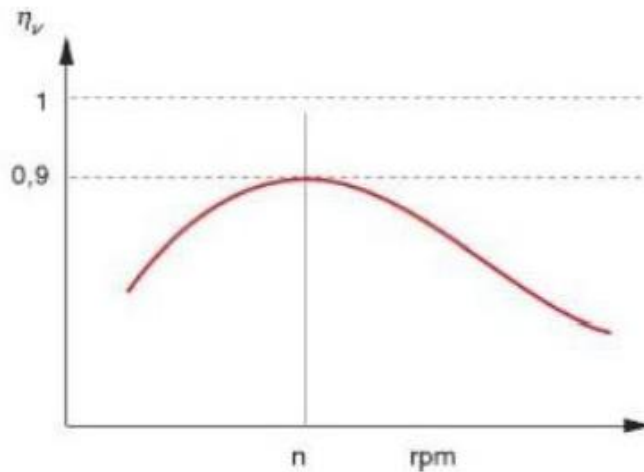
Es la relación entre la masa de aire que es introducida en el cilindro durante la admisión y la masa de aire total que teóricamente llenaría el volumen de ese mismo cilindro. En otras palabras, representa, el grado de eficacia con que se logra llenar el cilindro, a mayor cantidad de aire dentro de este, mayor cantidad de combustible podremos quemar, por ende, aumenta la energía liberada obteniéndose más potencia indicada.

Se expresa como la relación entre la masa de gas que es introducida en el cilindro en un ciclo y la masa que teóricamente cabe en el volumen del cilindro.

Este rendimiento es función de la velocidad media del flujo de aire o mezcla de combustible, lo cual depende directamente de la velocidad de giro del motor, ya que a mayores *r.p.m.* la velocidad de admisión deberá ser mayor para que el motor pueda funcionar correctamente. Por esto, el grado de llenado de los cilindros influye directamente sobre el par y la potencia desarrollada por el motor, ya que cuanto mejor es el llenado, más energía se obtiene de la combustión.

La velocidad media que es capaz de adquirir el fluido depende de la forma y dimensiones de los conductos por los cuales estos circulan, su resistencia, ya que estos son factores que inciden directamente sobre la velocidad que fluyen los gases.

El rendimiento volumétrico es óptimo solo en un determinado régimen de revoluciones. Para regímenes menores, la velocidad del gas es baja, y para los superiores, el tiempo disponible para la admisión disminuye a la vez que aumentan las pérdidas de carga debido al rozamiento de los gases.



*Figura 2. Rendimiento volumétrico en función de las revoluciones del motor*

La presión en el interior del cilindro al final de la carrera de barrido de gases es siempre inferior a la presión atmosférica y está entre 0,8 y 0,9 bares. El rendimiento volumétrico máximo está entre el 70% y el 90% y depende de factores como:

#### **1.10.1. Régimen de giro.**

Las condiciones ambientales exteriores, que determinan la densidad del aire.

La sección de las válvulas y los conductos de admisión, su tiempo de apertura y cierre.

Número de cilindros.

Motor aspirado o sobrealimentado.

El diseño de los conductos de aspiración y de escape, estos últimos deben oponer la mínima resistencia al paso de los gases.

#### **1.11. Par Motor**

También denominado par de giro o momento de giro al efecto de rotación que se obtiene cuando se aplica una fuerza sobre un brazo de palanca. Su valor es el producto de la fuerza aplicada por la distancia desde donde se aplica hasta el punto de giro.

Para el caso de motores de combustión interna, la magnitud de dicha fuerza se obtiene de multiplicar la presión de los gases producidos durante la combustión por la

superficie de la cabeza del pistón, esta fuerza se transmitirá a la biela y provocará un movimiento rotacional sobre el cigüeñal en torno a su eje.

La longitud del codo del cigüeñal ( $d$ ), es igual a la mitad de la carrera. La fuerza que se aplica sobre el codo del cigüeñal es proporcional a la presión media efectiva que actúa sobre el pistón.

### **1.12. Banco de Pruebas**

Es una herramienta cuya función es la de realizar una serie de mediciones en motores de combustión interna, con el objetivo de evaluar sus parámetros de funcionamiento. Se pueden considerar tres usos principales:

Talleres que se dedican a modificar motores de vehículos para aumentar el desempeño de este por razones deportivas, realizando pruebas para evaluar la influencia de estas modificaciones en sus prestaciones.

Talleres que se dedican a la reparación y reconstrucción de motores, haciendo pruebas para verificar el correcto funcionamiento del motor antes de ser instalado de nuevo en el vehículo.

Fabricantes de vehículos, para generar un control de calidad.

### **1.13. Clasificación de los bancos de pruebas para motores de combustión interna**

Pueden ser clasificados desde dos puntos de vista básicos:

- Según el lugar donde se mide la potencia y torque.
- Según el principio de medición de dichos parámetros.

#### **1.14. Banco de pruebas de motores**

Su principio de funcionamiento está basado en la medición de potencia y torque en el eje de salida del motor, evitando todas las pérdidas de potencia debida al sistema de transmisión ya mencionado.



*Figura 3. Imagen representativa de un motor de combustión interna acoplado a un banco de ensayo de motores.*

Dicho dispositivo consiste en una base en donde se monta el motor para luego ser ensayado bajo las condiciones que sean necesarias. Los apoyos de dicha base deben ser capaces de resistir y disipar las vibraciones mecánicas producidas por el funcionamiento del motor. Estas pueden ser universales o no, es decir, pueden estar diseñadas para un solo tipo de motor o ser ajustables para distintos tipos.

#### **1.15. Funcionamiento y termodinámica del motor diese cuatro tiempos**

(Tovar, J., y Pájaro, J. 2003) establecen que el ciclo Diesel ideal es cerrado, no hay intercambio de masa con el exterior durante los procesos de admisión y de escape; a diferencia del ciclo real, lo cual es abierto y se realiza un intercambio de masa con sus alrededores durante los procesos de admisión y escape.

Sobre un eje horizontal se indican los desplazamientos del pistón desde el punto muerto superior (P.M.S) al punto muerto inferior (P.M.I). Estos desplazamientos corresponden a las variaciones del volumen del cilindro. Sobre el eje vertical se indican

las variaciones de presión en el interior del cilindro, correspondientes a los desplazamientos del pistón.

## **1.16. Características térmicas y mecánicas**

### **1.16.1. Potencia.**

La potencia máxima que puede desarrollar un motor depende de diversos factores, de entre los que cabe destacar la relación de compresión y la cilindrada, pues a mayores valores de éstos les corresponden explosiones más potentes y, en consecuencia, mayor fuerza aplicada al pistón. También depende de la carrera, número de cilindros y régimen de giro del motor.

La potencia desarrollada en el interior de los cilindros de un motor no está aplicada íntegramente al cigüeñal, pues una parte de ella es absorbida por las resistencias pasivas (calor, rozamiento).

Fundamentalmente se pueden distinguir tres clases de potencia: la potencia indicada, la potencia efectiva y la potencia absorbida.

## **1.17. Rendimiento en motores de encendido por compresión**

### **1.17.1. Rendimiento mecánico.**

Se expresa la cantidad mecánica del motor, e incluye el efecto de todas las pérdidas mecánicas, (o sea, la  $P_a$  absorbida por el rozamiento) que se interponen entre la potencia indicada  $P_i$  y la potencia efectiva  $P_e$ .

### **1.17.2. Rendimiento térmico.**

El rendimiento térmico o teórico viene dado por la parte de energía suministrada por el combustible que se convierte en el motor en trabajo de salida en el eje.

## **1.18. Consumo específico de combustible**

El consumo específico de combustible es un parámetro comparativo que muestra con cuanta eficiencia convierte un motor el combustible en trabajo. Se define como la cantidad

de combustible que consume un motor por hora para producir o generar la potencia efectiva  $P_e$ .

El medio más eficaz para disminuir el consumo específico de combustible, además de la regulación adecuada de la proporción de mezcla, es el aumento de la compresión.

Por eso, en general, se elige una compresión lo mayor posible, dentro de los límites impuestos por el retardo a la inflamación y al picado.

La disminución en el consumo específico de combustible al crecer la compresión debe atribuirse al mejor rendimiento del ciclo de trabajo. El consumo específico de combustible mejora cuando se eleva la temperatura de los gases.

### **1.19. Consumo específico de aire**

Es un parámetro que muestra cuantos Kilogramos de aire entran en el cilindro del motor por hora para producir o generar la potencia efectiva  $P_e$ .

Los motores diésel trabajan a la máxima potencia con un exceso de aire del 10 al 15%. El consumo específico de aire está definido por:

#### **1.19.1. Relación aire -combustible.**

Es una relación de masas, muestra las porciones relativas de aire y combustible en la cámara de combustión para producir una combustión completa.

### **1.20. Combustión en los motores diésel**

En los motores Diesel la energía se obtiene por la combustión del gasóleo al introducirlo en el cilindro finamente pulverizado, directamente en la cámara de combustión, en el momento que se encuentra llena de aire fuertemente comprimido y caliente.

Tan pronto como las gotas de combustible frío entran en contacto con el aire caliente, comienza a elevarse su temperatura y se forma una capa de vapor alrededor de

cada una de las gotas. El aire de alrededor, que se enfriado, tiende a recuperar su temperatura tomando calor de la masa de aire comprimido, transmitiéndose nuevamente este calor a la gota de combustible, que de esta manera sigue calentándose hasta alcanzar la temperatura de inflamación. Cuando esto sucede, comienza la combustión y el calor que ahora se produce, es transmitido a toda la masa de aire y al combustible que hasta ahora se ha inyectado, evaporándose por completo y produciéndose su inflamación.

De esta manera, la combustión puede iniciarse en cualquier punto en que las condiciones sean aptas, es decir, donde la temperatura del aire sobrepase a la de inflamación espontánea del combustible.

El tiempo durante el cual se evapora el combustible y se quema depende de tres factores:

La diferencia entre las temperaturas del aire y la de autoencendido del combustible. Si la primera es mucho más alta que la segunda, el combustible se evapora y se enciende mucho más rápidamente.

La presión en la cámara de combustión, ya que cuanto mayor sea, más íntimo es el contacto entre el combustible frío y el aire caliente y, en consecuencia, mayor es la cantidad de calor intercambiada entre ellos, produciéndose una evaporación y encendido más rápidos.

El tamaño de las partículas de combustible. Si pudiera ser pulverizado en partículas finísimas, la evaporación necesaria para lograr la combustión sería prácticamente nula y la combustión podría comenzar casi inmediatamente.

En los motores diésel, la fuerza con que es empujado el pistón hacia el P.M.I. en el tiempo motor es tanto mayor, cuando más cantidad de combustible se inyecte en el cilindro, lo cual está controlado por el pedal del acelerador. Cuando éste está suelto,

se inyecta solamente la cantidad de gasóleo necesaria para el funcionamiento del motor a ralentí y, al pisar el acelerador a fondo, entra en el cilindro la máxima cantidad de gasóleo que pueda quemarse con el oxígeno del aire que hay en el cilindro.

Para que la combustión se realice de manera satisfactoria, es necesario que la inyección del gasóleo cumpla ciertas condiciones, de entre las cuales puede citarse que el combustible debe inyectarse finamente pulverizado, con el fin de mezclarse íntimamente con el aire que en ese momento tiene una temperatura superior a la de inflamación del combustible.

### **1.20.1. Fases de la combustión.**

La combustión del gasóleo se realiza en tres fases:

Primera fase: en ella comienza el gasóleo a entrar en la cámara de combustión. las gotas están a baja temperatura y se mezclan con el aire, al contacto con el cual se calienta.

Segunda fase: durante el calentamiento de las primeras gotas, continúa entrando más gasóleo en la cámara de combustión. Cuando las primeras gotas han alcanzado la temperatura de inflamación espontánea, se queman, y la elevación de temperatura obtenida entonces es lo que desencadena el encendido de todo el combustible acumulado en la cámara hasta ese momento. Esta fase se conoce con el nombre de combustión incontrolada y se produce normalmente entre unos grados antes y después del P.M.S.

Tercera fase: cuando ha finalizado el período de combustión incontrolada, el combustible se va quemando a medida que va siendo inyectado en la cámara de combustión.

La correcta dosificación del combustible inyectado proporciona un preciso control de la presión en el cilindro. En este período llamado de combustión controlada está asegurada la inmediata combustión a medida que el combustible va siendo inyectado, gracias a la presión y al calor que se genera durante el período de combustión.



## CAPÍTULO II

### 2. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 2.1. Materiales

##### 2.1.1. Componentes del banco de pruebas.

Consta de los siguientes elementos:

- Una estructura para que soporte el motor.
- Soportes para montar y fijar el motor, regular la altura y alinear el motor con el freno.
- Freno dinamométrico que absorba la potencia desarrollada por el motor.
- Transmisión que permita la conexión frenomotor, mediante un sistema de poleas.
- Sistema de alimentación de combustible al motor, con instrumentos de medición de consumo.
- Sistema de refrigeración del motor
- Panel de instrumentos: Con elementos para la puesta en marcha y control del motor, freno y registro.

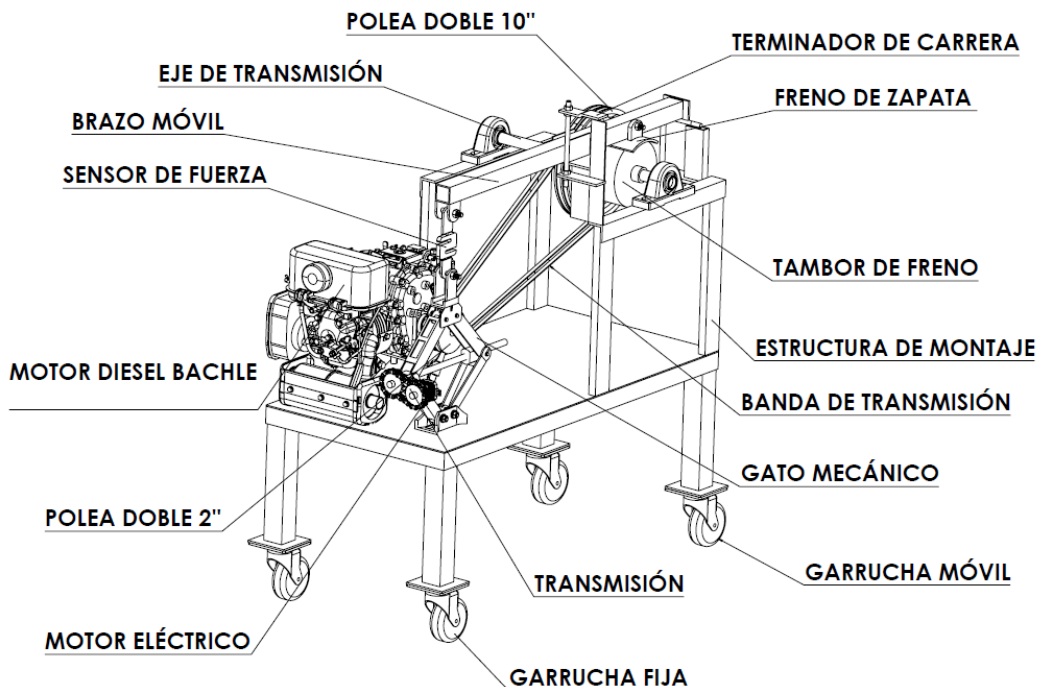


Figura 4. Componentes del banco de pruebas

### *2.1.1.1. Soportes del motor*

Para obtener resultados se empleó el programa de ingeniería SAP 2000 V9 (*Structural Analysis Program*), para las diferentes cargas a los que puede estar sometida la estructura. Permite realizar simulaciones de carga lineal y no lineal, estáticas y dinámicas, análisis y diseño de estructuras tridimensionales; es una herramienta para determinar el comportamiento de la estructura, cuando el motor se encuentra en funcionamiento.



*Figura 5. Soporte del motor*

### *2.1.1.2. Instalación del motor*

La instalación del motor se realiza en 2 partes: la instalación mecánica y la instalación eléctrica. En la instalación mecánica se calculó los soportes del motor y acoplamiento para transmitir potencia. En la instalación eléctrica se colocaron los sensores del motor.



*Figura 6. Instalación del motor*

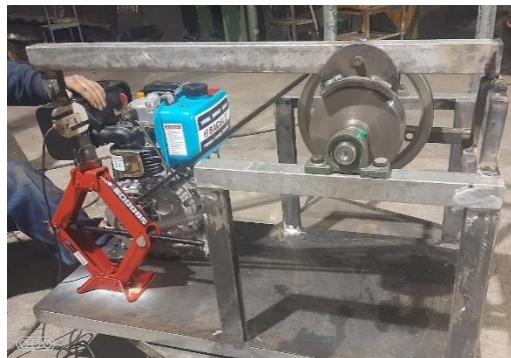
#### *2.1.1.3. Frenos dinamométricos*

Para determinar la potencia entregada por el motor, es necesario medir su velocidad y par torsor.

El primer indicador se mide utilizando un tacómetro y para medir el segundo indicador se consigue resistiéndolo en un freno dinamométrico, el cual absorbe y disipa la energía mecánica suministrada por el árbol del motor de ensayo. El tipo de freno empleado es el de fricción

#### *2.1.1.4. Sistema de poleas*

Se diseñó con la capacidad de soportar la transmisión del torque del motor, hacia el sistema de frenado.



*Figura 7. Sistema de poleas*

### 2.1.2. Materiales.

Se considera los perfiles de acero y de aluminio.

### 2.1.3. Instrumentación.

Para este ensayo, fue necesario la medición del par, de las revoluciones y de la potencia en cada momento del ensayo. Siendo necesario contar con los siguientes elementos de medida:

- Medida de par: mediante célula de carga extensiométrica de 50 kilogramos.
- Medida de revoluciones por minuto: mediante captador magnético y rueda fónica
- Medida de potencia: mediante la medición de par y revoluciones por minuto se obtiene la potencia del sistema.

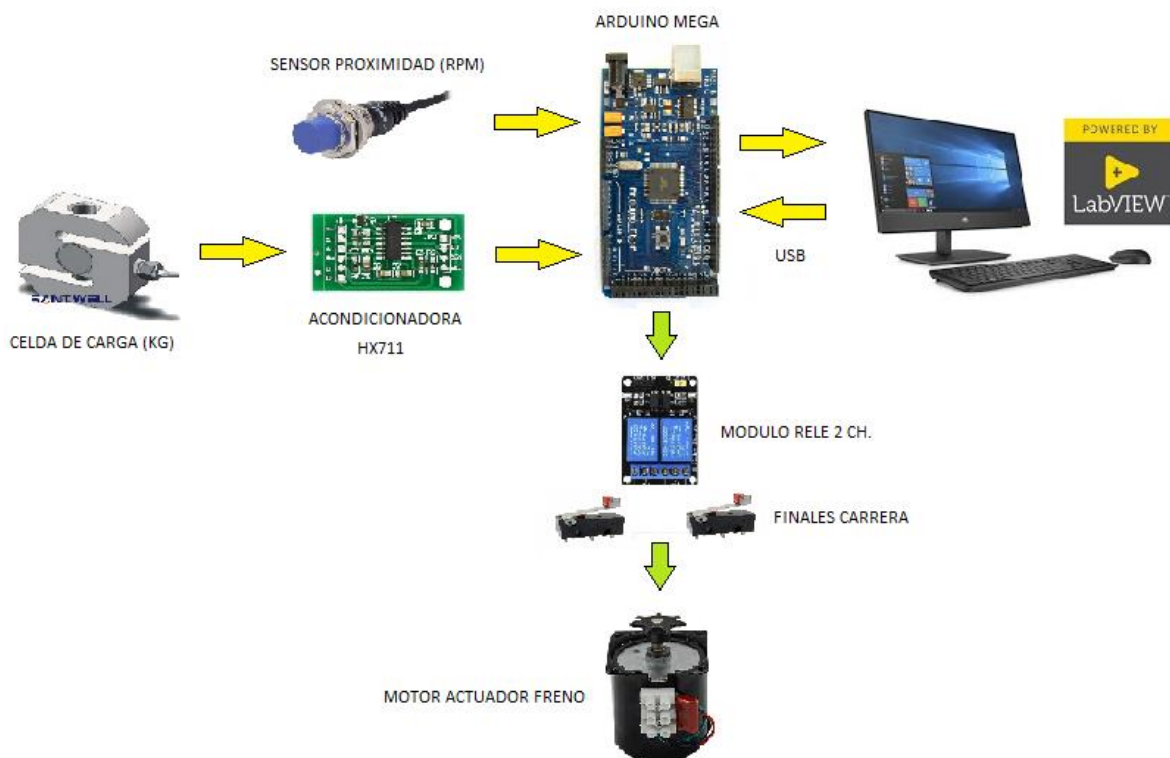


Figura 8. Diagrama de instrumentación

#### 2.1.4. Datos y especificaciones del motor.

En esta investigación se utiliza un motor diésel con cilindro, de 4 tiempos, refrigerado por aire y sistema de combustión de inyección directa, en el cual se realizará las pruebas para la obtención del banco de pruebas.



*Figura 9. Motor diésel*

##### 2.1.4.1. Características

- Eficiente sistema de filtro de aire
- Bajo nivel de ruido y la estabilidad
- En su estructura compacta y de tamaño pequeño
- Los ejes de TDF de elección múltiple
- Arranque de retroceso o arranque eléctrico

Tabla 2. Especificaciones del motor

| Modelo                                     | KT178F(E)  |
|--|--|
| Tipo de motor                              | Solo cilindro, de 4 tiempos, refrigerado por aire del motor diésel |
| Sistema de combustión                      | Inyección directa  |
| La cavidad*Trazo (mm)                      | 78*62  |
| El desplazamiento (cc)                     | 296  |
| Max. Salida (hp/rpm).                      | 6.0/3600   |
| Cont. Salida (hp/rpm).                     | 5.4/3600   |
| El consumo de combustible (g/hp.h)         | 215  |
| El aceite de lubricación                   | SAE 10W/30   |
| El volumen de aceite de lubricación (L)    | 1.1.   |
| Sistema de lubricación                     | A través de la bomba de lubricación forzada trochoids              |
| El sistema de refrigeración                | De aire forzado  |
| El sistema de arranque                     | Retroceso arranque eléctrico                                       |
| Sistema de gobernador                      | Todo tipo de velocidad limitador mecánico                          |
| La capacidad del tanque de combustible (L) | 3.5  |
| Nivel de ruido en 7m (dB)                  | 95   |
| Peso (kg)                                  | 35   |
| Peso bruto (eléctrico) (kg)                | 40   |
| DIM (L*M*H) (mm)                           | 470*460*530  |

## 2.2. Equipos de obtención de datos

### 2.2.1. Arduino mega.

Arduino es usado para programación basados en el microcontrolador AtMega, posee 54 pines digitales que funcionan como entrada/salida; 16 entradas análogas, un cristal oscilador de 16 MHz, una conexión USB, un botón de reset y una entrada para la alimentación de la placa.

Tabla 3. Especificaciones técnicas del Arduino

|  |  |
|--|--|
| Microcontrolador                         | ATmega 2560                              |
| Voltaje Operativo                        | 5 V                                      |
| Voltaje de Entrada                       | 7-12 V                                   |
| Voltaje de Entrada (límites):            | 6-20 V                                   |
| Pines digitales de Entrada/Salida        | 54 (de los cuales 15 proveen salida PWM) |
| Pines analógicos de entrada              | 16                                       |
| Corriente DC por cada Pin Entrada/Salida | 40 mA                                    |
| Corriente DC entregada en el Pin 3.3 V   | 50 mA                                    |
| Memoria Flash                            | 256 KB (8 KB usados por el bootloader)   |
| SRAM                                     | 8 KB                                     |
| EEPROM                                   | 4 KB                                     |
| Clock Speed:                             | 16 MHz                                   |

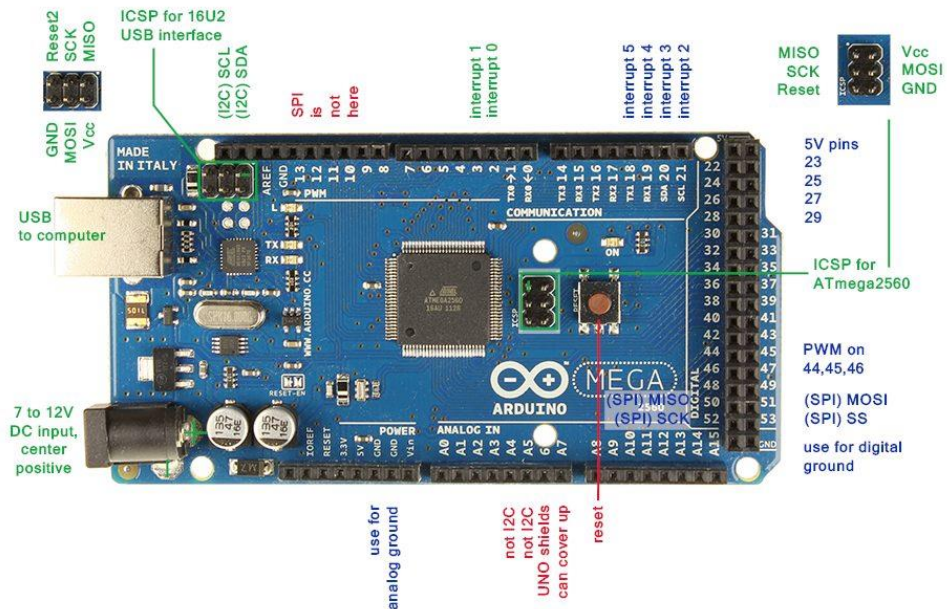


Figura 10. Arduino ATmega 2560

### 2.2.2. Módulo relé de 2 canales.

El escudo de doble Relay para Arduino emplea dos relés de alta calidad, el módulo está configurado con dos canales de entrada y dos canales de salida. Se puede usar para conectar elementos de 250 V y 10 A de corriente alterna o elementos de 24 V y 10 A de corriente continua al máximo.

El diseño modular hace que sea fácil de conectar a la tarjeta de expansión Arduino. El estado de salida del relé es mostrado por un led para la conveniencia de la aplicación real.

Tabla 4. Especificaciones técnicas del módulo relé

|                                      |   |
|--------------------------------------|---|
| Señal de control                     | TTL voltaje   |
| Carga nominal                        | 10 A 250 VAC<br>10 A 125 VAC<br>10 A 30 DC<br>10 A 28 VDC |
| Corriente de paso nominal            | 10 (NO) 5 A (NC)  |
| Tensión de conmutación máxima        | 250 VAC 30 VDC  |
| Tiempo de actuación de los contactos | <10 ms  |

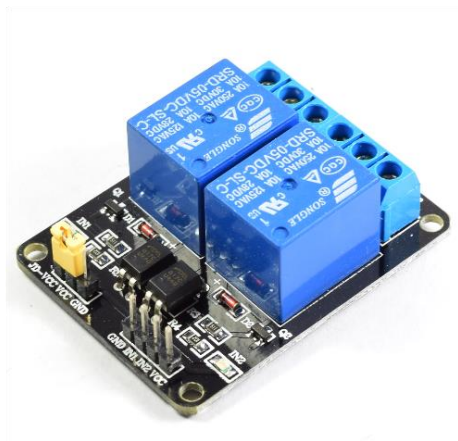


Figura 11. Módulo relé de 2 canales



### 2.2.3. Celda de carga.

Una celda de carga es un transductor capaz de convertir una fuerza en una señal eléctrica, esto la hace a través uno o más galgas internas que posee, configuradas en un puente Wheatstone. En esta investigación se utiliza el tipo S como la que se muestra en la figura 12.

Tabla 5. Especificaciones técnicas de la celda de carga

|                                  |                                       |
|----------------------------------|---------------------------------------|
| Capacidad                        | 50 kg                                 |
| Exactitud clase:                 | 0.03                                  |
| Sensibilidad                     | $\pm 0.03\%$ F. S                     |
| No linealidad:                   | $\pm 0.03\%$ F. S                     |
| Error de histéresis:             | $\pm 0.03\%$ F. S                     |
| Resistencia de entrada:          | $400 \pm 20 \Omega$                   |
| Resistencia de salida            | $352 \pm 5 \Omega$                    |
| Resistencia de aislamiento:      | $\geq 5000 \text{ M}\Omega$           |
| Rango de temperatura nominal:    | $-10 \sim +40 \text{ }^\circ\text{C}$ |
| Rango de temperatura servicio    | $-30 \sim +70 \text{ }^\circ\text{C}$ |
| Rango de voltaje de alimentación | $10 \sim 12 \text{ V}$                |
| Clase de protección              | IP 68                                 |
| Material                         | Acero inoxidable                      |



Figura 12. Celda de carga

#### 2.2.4. Trasmisor de celda de carga HX 711.

Este módulo es una interfaz entre las celdas de carga y el microcontrolador, permitiendo leer el peso. Internamente se encarga de la lectura del puente Wheatstone formado por la celda de carga, convirtiendo la lectura analógica a digital con su convertor A/D interno de 24 bits. Se comunica con el microcontrolador mediante 2 pines (Clock y Data) de forma serial.

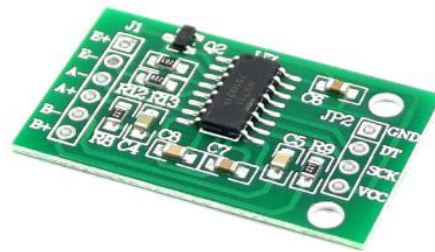


Figura 13. Trasmisor de celda de carga HX 711

#### 2.2.5. Sensor de proximidad NPN.

Los sensores de proximidad magnéticos detectan los objetos como imanes generalmente permanentes que se utilizan para accionar el proceso de la conmutación, sin necesidad de hacer contacto con ellos. La salida del sensor es del tipo NPN y su conexión es normalmente abierto.



Figura 14. Sensor de proximidad NPN

Tabla 6. Especificaciones del sensor NPN

|                               |  |
|-------------------------------|--|
| Requisitos de alimentación    | DC 8 – 15 V  |
| Rango de medida:              | 5 – 9999 rpm.  |
| Señal                         | Pulse, salón NPN 3 cables de señal normalmente abierto |
| Modelo salón de proximidad    | njk-5002 C   |
| Apariencia                    | 12 mm Cilindro.  |
| Rango de detección            | 10 mm  |
| Corriente de salida           | 200 mA de proximidad                                   |
| Detecta objetos               | Imán   |
| Frecuencia de respuesta       | 100 Hz   |
| Tacómetro Dimensión           | 72 x 36 x 20 mm, panel recorte                         |
| Dimensión:                    | 68 x 33 mm.  |
| Indicadas sensor              | M12 x 10 x 55 mm.                                      |
| Sensor cableado               | brown-power +; blue-power-; black-signal               |
| Temperatura de funcionamiento | 0 a 50 °C.   |

### 2.2.6. Motor Max Farmer.

El motor de uso industrial se usa en aplicaciones de avicultura, en esta aplicación se lo ha considerado como actuador del freno, mismo que acoplado a una gata tipo tijera aplicará gradualmente el freno al sistema mecánico desarrollado.

*Tabla 7. Especificaciones técnicas*

|           |         |
|-----------|---------|
| Modelo    | 60 KTZY |
| Voltaje   | 110 VAC |
| Velocidad | 2.5 rpm |



Figura 15. Motor Max Farmer

### 2.2.7. Tarjeta de adquisición de datos DAQ 6009

La tarjeta DAQ de National Instruments, está diseñada para la adquisición y/o generación de señales de tal forma, que la interfaz pueda interactuar con los sensores o transductores de acuerdo con el sistema de análisis, monitoreo o control.

La USB 6009 es una tarjeta de adquisición de datos multifuncional que puede trabajar en los sistemas operativos Windows 2000/XP/Vista, MAC OS X, LINUX; posee un alto rendimiento y alta velocidad de muestreo.

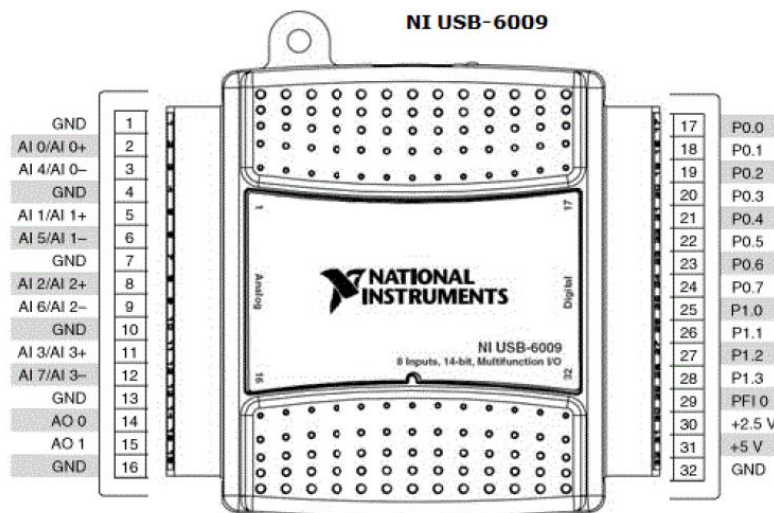


Figura 16. NI USB 6009

Las características principales de la tarjeta de adquisición de datos se resumen en la siguiente tabla:

*Tabla 8. Características DAQ 6009*

|   |   |
|---|---|
| Canales de entrada analógicos seleccionados por software: | 8 canales unipolares y 4 canales diferenciales.   |
| Voltaje de operación de entrada                           | $\pm 10$ V, con una impedancia de entrada de 144 k $\Omega$ y una protección de sobretensión de $\pm 35$ V. |
| Canales digitales configurables por software              | 8 digitales pueden ser entradas o salidas.  |
| Resolución de entrada                                     | 14 bits en modo unipolar y 13 bits en modo diferencial  |
| Modos de disparo para el A/D:                             | Por software y por disparador digital externo.  |

*Tabla 9. Descripción de pines DAQ USB 6009*

| Nombre de la señal       | Referencia | Dirección          | Descripción                                 |
|--------------------------|------------|--------------------|---|
| AI (0...7)               | Varios     | Input              | Entradas analógicas                         |
| AO0                      | GND        | Output             | Salida analógica AO.0                       |
| AO1                      | GND        | Output             | Salida analógica AO.1                       |
| PI (0...3)<br>PO (0...7) | GND        | Input or<br>Output | Señales digitales de IN/OUT (configurables) |
| + 2.5 V                  | GND        | Output             | Alimentación de 2,5 VCC                     |
| + 5 V                    | GND        | Output             | Alimentación de 5 VCC. A 200 mA             |

### **2.2.8. LABVIEW**

LabVIEW (Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench). Es una plataforma de desarrollo de instrumentos virtuales, cuya programación es de tipo gráfica, orientada a varias ciencias de ingeniería donde el usuario personalizará las aplicaciones de acuerdo con su necesidad, logrando optimizar la investigación al centrarse en la misma y no al desarrollo de lenguajes.

Para este sistema se ha utilizado esta plataforma cuya interfaz con el usuario se muestra a continuación:

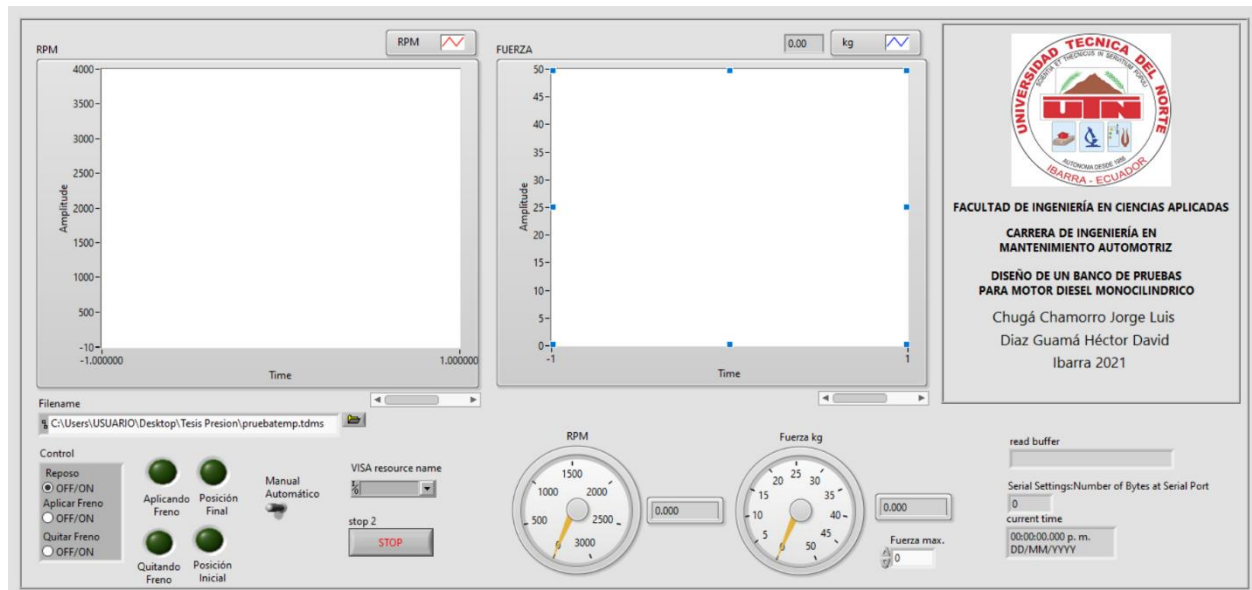


Figura 17. Interfaz de datos en LabVIEW

La interfaz en LabVIEW permitirá analizar los datos obtenidos por los sensores para estimar y calcular los parámetros del motor.

## 2.3. MÉTODOS

### 2.3.1. Software.

#### 2.3.1.1. Interfaz Labview

El software que se utiliza para la interpretación de datos es “LabVIEW“, mismo que mostrará y almacenará las señales enviadas por los sensores de fuerza y revoluciones que se encuentran instalados en el módulo, del que se obtendrán los datos para medir y calcular los parámetros del motor.

A continuación, se muestra el panel frontal diseñado, donde se visualizan los valores de sensores de analógicos y digitales que interesan analizar para establecer el comportamiento del motor, así mismo permite guardar los resultados en un documento para después analizarlos y procesar de acuerdo con la necesidad del usuario.

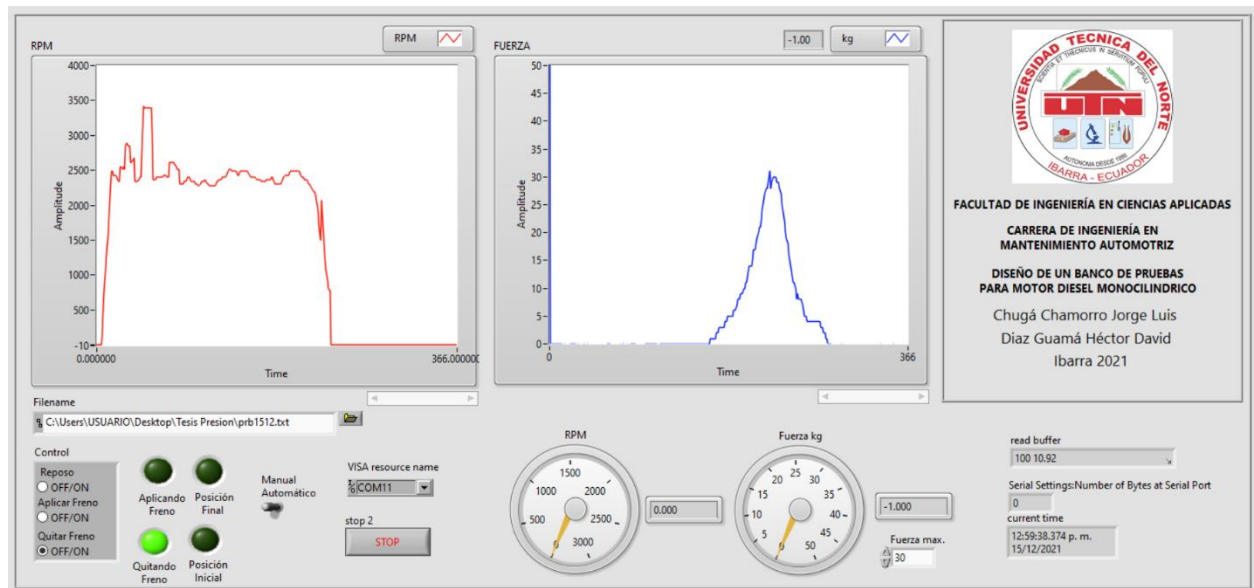


Figura 18. Panel frontal de obtención de datos gráficos

La interfaz LabVIEW está conformada de diferentes elementos y comandos que sirven para que el programa trabaje de forma adecuada y acorde a las necesidades que se requiere, este consta de dos partes principales, siendo el panel frontal el que interactúa con el usuario y el diagrama de bloques donde se realiza la programación. A continuación, se muestra el programa diseñado para este fin.

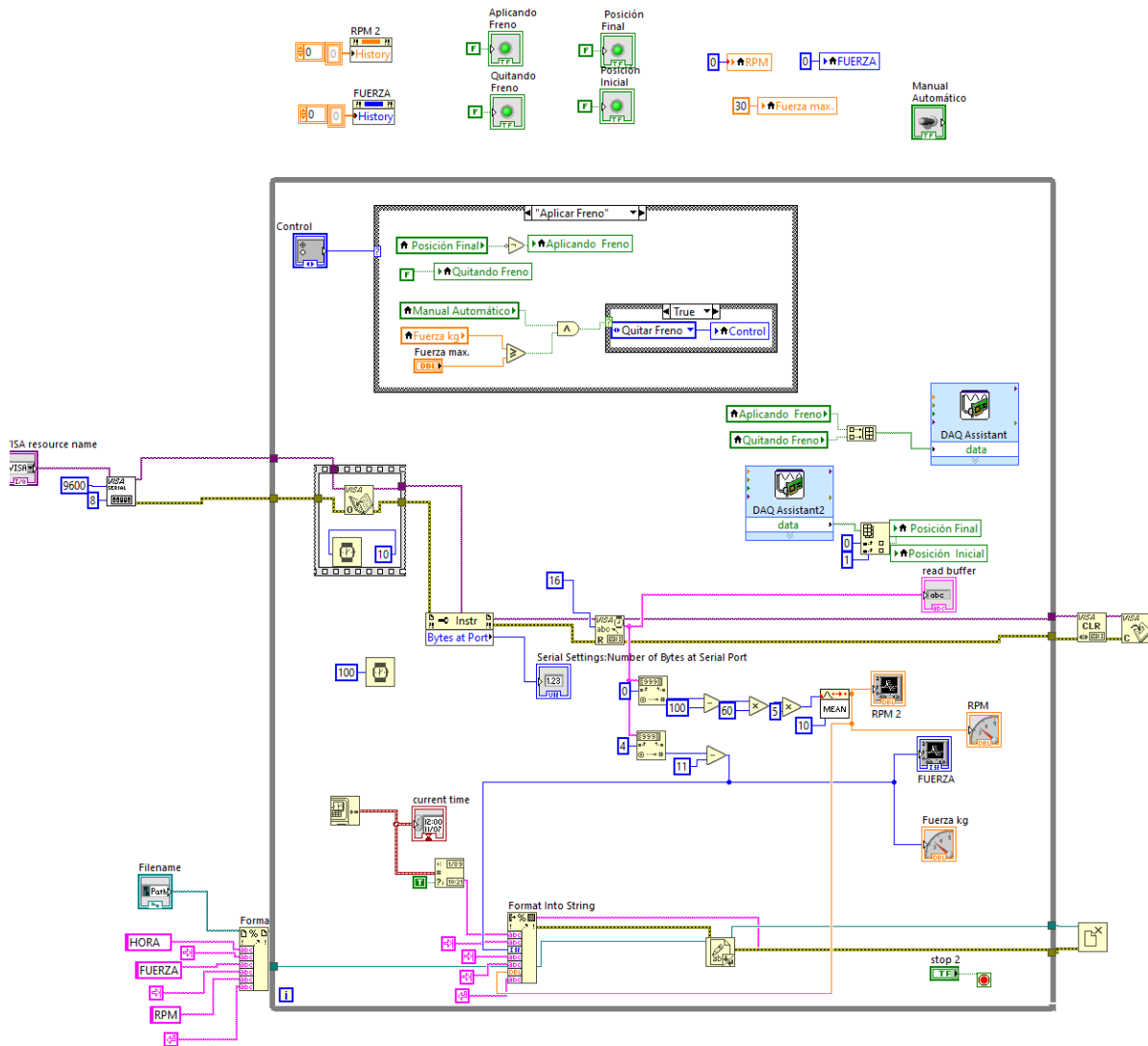


Figura 19. Diagrama de bloques

Cada comando mostrado, cumple una función esencial y fundamental, que hace que el programa o la interfaz trabaje de forma idónea y se pueda tener una señal correcta del funcionamiento del motor en valores de fuerza y revoluciones.

### 2.3.1.2. IDE de Arduino

La interfaz física con Arduino sirve para acondicionar y enviar los datos desde los sensores y actuadores hacia el computador para que sean visualizados y almacenados por la interfaz lógica de Labview, en la siguiente figura se muestra la programación realizada para la tarjeta Arduino Mega, misma que cumple este fin.



```
rpm_peso_fin2 $
//Tesis potencia diesel
#include "HX711.h"
const int DOUT=A1; // Pin A1
const int CLK=A0; // Pin A0
volatile int contador = 0; // variable para rpm
float peso = 0; // variable para peso

HX711 balanza; // librería para la balanza

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  attachInterrupt(0,interrupcion0,RISING); // Interrupcion 0 (pin2)
  balanza.begin(DOUT, CLK); // configura los pines que usa la balanza
  delay(20); // retardo de 20 ms
  balanza.set_scale(88266.67); // Valor de calibración para 30 kg
  balanza.tare(20); //El peso actual es considerado Tara.
}

void loop() {
  delay(999); // retardo de casi 1 segundo
  Serial.print(contador+100); // Una interrupcion por vuelta (contador * (60))
  Serial.print('\t'); // envía un carácter de espacio
  Serial.println(balanza.get_units(5)+11,2); // lee la balanza y envía las unidades
  contador=0; // inicializa el contador
}

void interrupcion0() // Función que se ejecuta durante cada interrupción
{
  contador++; // Se incrementa en uno el contador
}
```

*Figura 20. Programación de Arduino*

El Arduino es un dispositivo que permite la comunicación entre los sensores y actuadores hacia el computador usando el puerto USB.

## CAPITULO III

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se detallan los resultados de las pruebas realizadas para obtener los valores para la elaboración del banco de pruebas.

Para la obtención de datos se utiliza un sensor de carga de fondo de escala de 50 kg mediante el cual se determina la fuerza aplicada al motor, cuando el motor se encuentra funcionamiento en forma normal y cuando se le aplica la fuerza de frenado se mide las revoluciones que está generando el motor y se obtiene las gráficas de fuerza aplicada contra revoluciones, previamente se calibran los sensores para garantizar la fiabilidad de los resultados.

Los valores medidos en los sensores son adquiridos y enviados a la computadora a través de la tarjeta Arduino Mega misma que cumplirá la función de interfaz entre el medio físico y el computador, la cual acondicionará y mostrará los datos escalados.



*Figura 21. Calibración de celda de carga con 30 kg de peso*

Para realizar las respectivas mediciones se utilizó un motor a diésel Bachle monocilíndrico de 8 Hp, integrado en el banco de pruebas, en el que, una vez minimizadas las vibraciones en el módulo, producidas por el funcionamiento del motor, se procede a obtener los resultados de los sensores de rpm y fuerza.

Para realizar las mediciones y obtener los datos respectivos se trabajó con el motor a 2500 rpm (ralentí) y se analizaron los resultados de las mediciones de cada uno de sus sensores y actuadores respectivamente, calibrando la fuerza máxima aplicada en el freno de no más de 50 kg por respuesta de la celda de carga, haciendo esto tanto física por medio de sensores de fin de carrera y lógica por software. El tiempo de prueba total es de aproximadamente 4 minutos.

### **3.1. Condiciones iniciales de la prueba**

Para iniciar con la adquisición de datos, el motor debe alcanzar su temperatura optima de trabajo para garantizar su funcionamiento dentro de los parámetros normales de operación a 2500 rpm como mínimo y se siguen los siguientes pasos.

Iniciar la interfaz de Labview diseñada.

Activar la opción de freno desconectado

Tarar la celda de carga para obtener datos exactos

Activar la opción aplicar freno

Durante el tiempo de aplicación de freno (aproximadamente 4 minutos) se puede medir la emisión de gases producidos y emanados por el tubo de escape.

### **3.2. Análisis de señales**

#### **3.2.1. Sensor de RPM**

La señal del sensor magnético, de acuerdo con el paso de un imán incrustado en la rueda de polea hace posible la medición de las revoluciones del motor, se ha considerado la relación entre las mismas de 1:5 para calibrar la medición. Se observa en la figura las variaciones para diferentes velocidades.

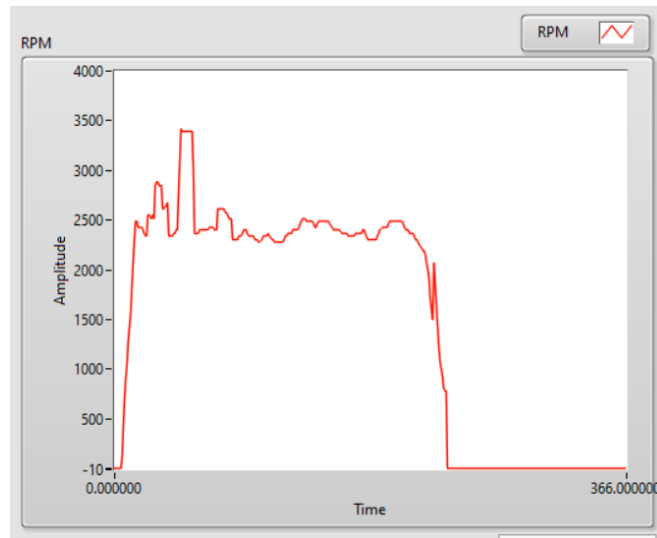


Figura 22. Respuesta de la señal de rpm

Con esta señal se puede determinar las rpm de acuerdo con el acelerador del motor.

### 3.2.2. Sensor celda de carga

La señal del sensor de carga o de fuerza indica la medida que se está aplicando al motor para lograr disminuir las revoluciones y en base a estos parámetros determinar la eficiencia de combustible relativa en el motor, el valor obtenido ha sido calibrado y escalado previamente para tener una medición real de la fuerza.

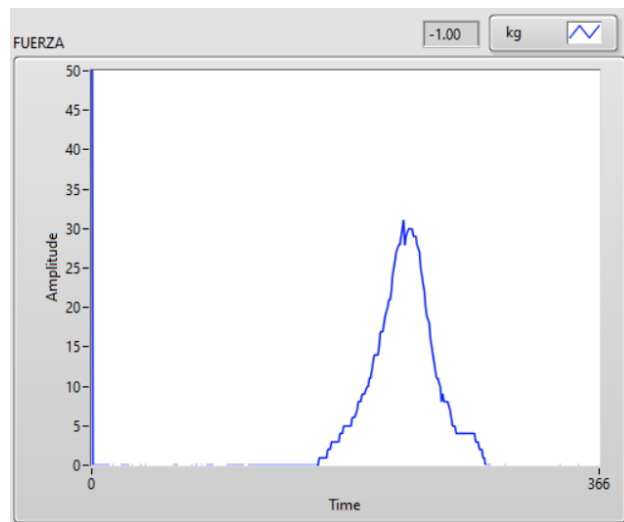


Figura 23. Respuesta de la celda de carga al aplicar freno

En la figura anterior se muestran los valores de fuerza medidos al aplicar el freno progresivamente al motor, esperar su frenado total o bloqueo y retornar a la posición de reposo o equilibrio, en esta prueba se registró una fuerza para lograr el frenado completo de 32 kg, el máximo valor posible a aplicar es de 50 kg.

### 3.3. Pruebas y mediciones

Para todas las pruebas realizadas se trabajó a 2500 rpm, con una temperatura mínima relativa en el motor de 65 °C para la toma de datos. Se repitieron las mismas con 2 compuestos diferentes de combustible, el primero con biodiesel y el segundo con diésel premium comercial, agregando aditivo de acuerdo con la recomendación del fabricante, así mismo se realizaron pruebas con el analizador de gases obteniendo los resultados detallados a continuación.

#### 3.3.1. Prueba N. 1.

Para esta prueba se utilizó el biocombustible aplicado al motor. Para la toma de datos es recomendable realizar pruebas con un lapso mínimo entre ellas de 10 minutos debido al esfuerzo realizado por el motor el mismo que podría generar recalentamiento.

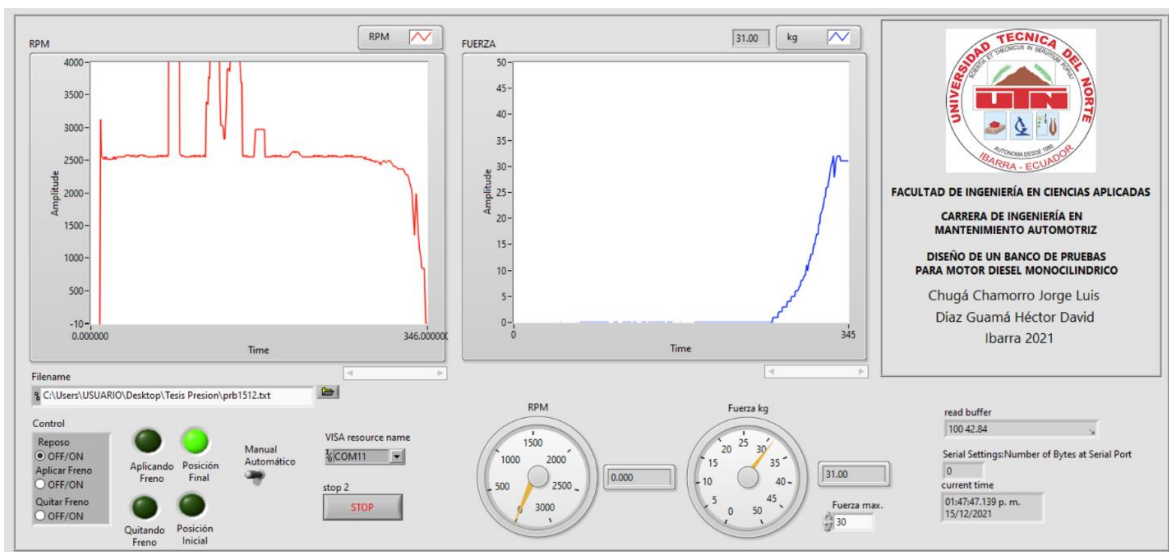


Figura 24. Datos del banco de pruebas para biocombustible

En la figura anterior se muestran los resultados de la prueba al aplicar biocombustible al motor, en el que se estabilizó a 2500 rpm antes de aplicar el freno progresivamente de acuerdo con el funcionamiento del módulo durante la prueba que toma aproximadamente 4 minutos, obteniéndose una curva de desaceleración progresiva hasta llegar a 0 rpm con una fuerza de 31 kg. Se realiza una prueba a los parámetros de los gases obteniendo los resultados siguientes:

```

AUTOplus V1.08
SERIAL NÚM 092718086

_P_AUTOMOTRIZ-
-----
FECHA          08/12/21
HORA           19:27:03
-----

VEHÍCULO      HMAX00..
COMBUSTL      DIESEL

CO2 %          2.4
CO %           0.14
O2 %           0.21
HC ppm        -----
NO ppm         211
Lambda         1.026
-----

```

*Figura 25. Análisis de gases*

El resultado mostrado en esta figura de acuerdo con el análisis de la emisión de gases en el escape del motor muestra que existe una combustión total no se determina la presencia de hidrocarburos, existe una concentración de 211 ppm de NO y 2.4% de CO<sub>2</sub>

### **3.3.2. Prueba N. 2**

En esta prueba se utilizó una dosificación de aditivo en diésel premium con una relación de 5 ml por cada litro y luego de extraer residuos de biocombustible se obtienen los siguientes resultados.

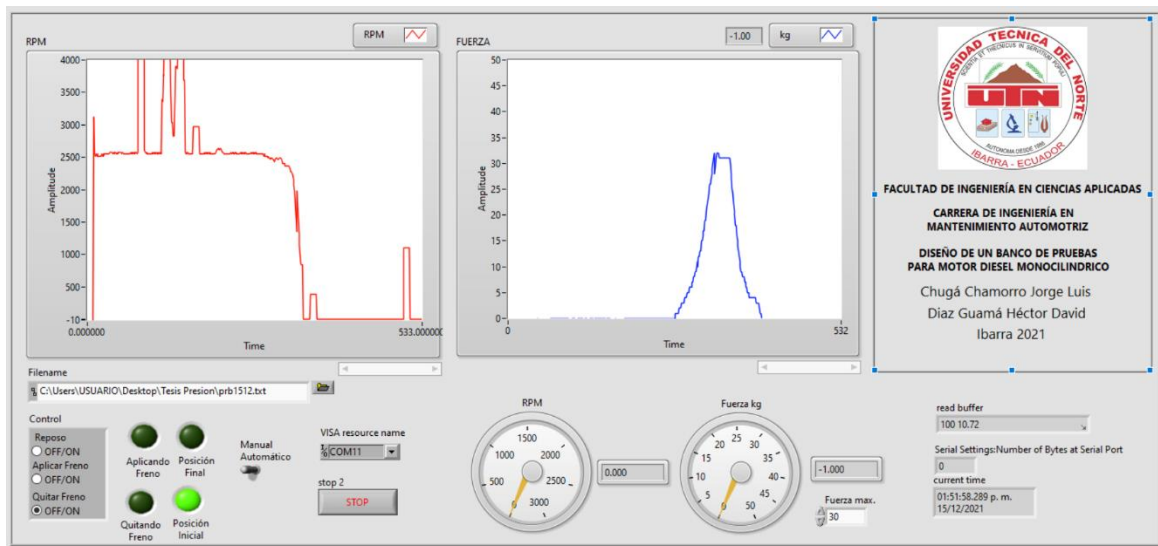


Figura 26. Datos del banco de pruebas para diésel premium con aditivo

De los resultados anteriores se puede visualizar que luego de llevado el motor a 2500 rpm, fue necesario aplicar 34.5 kg para lograr el frenado del motor, así mismo se hacen análisis a los gases emandados por la combustión y se muestran los resultados.

```

AUTOplus V1.08
SERIAL NÚM 092718086

_P_AUTOMOTRIZ-
-----

FECHA          08/12/21
HORA           18:38:04
-----

VEHÍCULO       HMAX00..
COMBUSTL       DIESEL

CO2 %          2.2
CO %           0.15
O2 %           0.23
HC ppm        -----
NO ppm         209
Lambda         1.033
-----

```

Figura 27. Análisis de gases diésel con aditivo

El resultado mostrado en esta figura de acuerdo con el análisis de la emisión de gases en el escape del motor muestra que existe una combustión total no se determina la presencia de hidrocarburos, existe una concentración de 209 ppm de NO y 2.2 % de CO<sub>2</sub> siendo la concentración de NO y el porcentaje de CO<sub>2</sub> menor usando el diésel con aditivo.

### 3.4. Análisis de pruebas

Durante las pruebas realizadas se aplicaron ajustes de calibración al equipo, lo que mejorará los resultados de estos, se ha determinado una variación entre los parámetros obtenidos por los diferentes combustibles.

Tabla 10. Resumen de pruebas aplicadas

| Prueba/Parámetro   | Fuerza | CO <sub>2</sub> % | CO % | O <sub>2</sub> % | NO ppm | Lambda |
|--------------------|--------|-------------------|------|------------------|--------|--------|
| Biodiesel          | 31.0   | 2.4               | 0.14 | 0.21             | 211    | 1.026  |
| Diesel con aditivo | 34.5   | 2.2               | 0.15 | 0.23             | 209    | 1.033  |

La fuerza aplicada con en el proceso de frenado se puede relacionar con los parámetros mecánicos del motor, para esto se analiza el equilibrio de torque que interviene en el momento de detención para encontrar una aproximación con la potencia de este y que sirva para calibrarlo de la siguiente manera.

Ecuación 1:

$$\sum \tau = 0$$

Ecuación 2:

$$F_1 * d_1 - F_2 * d_2 = 0$$

Donde  $F_1$ , es el valor de la fuerza medida.

La fuerza aplicada en el freno o  $F_2$  estará dada por:

Ecuación 3:

$$F_{2y} = \frac{F_1 * \cos(\alpha) * d_1}{d_2} (N)$$

El torque aplicado se lo puede calcular multiplicando la fuerza por la distancia

Ecuación 4:

$$\tau = F * d (N * m)$$

La potencia del motor se la puede aproximar mediante la siguiente relación, considerando la velocidad en el último momento antes de la detención y un ángulo de palanca de 15°.

Ecuación 5:



$$P = \frac{\tau * rpm}{5252} (hp)$$

De acuerdo con lo expuesto se obtiene la siguiente tabla para potencia referencial.

*Tabla 11 Parámetros medidos y calculados del sistema de frenado*

| Prueba/Parámetro   | Fuerza medida (N) | Fuerza aplicada (N) | Torque (N*m) | rpm  | Potencia (hp) |
|--------------------|-------------------|---------------------|--------------|------|---------------|
| Biodiesel          | 303.8             | 1173.8              | 246.5        | 1200 | 56.32         |
| Diesel con aditivo | 338.1             | 1306.3              | 274.3        | 1250 | 65.28         |

La eficiencia del motor comparada entre las pruebas realizadas tiene una relación de torque de 89.86% considerando iguales parámetros de operación del motor para cada combustible.

## **CAPITULO IV**

### **4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **4.1. Conclusiones**

- La elaboración y obtención de un banco de pruebas para un motor diésel de combustión interna permitirá disponer de información técnica para que se use como una herramienta para el desarrollo de actividades o pruebas mecánicas.
- De acuerdo con los datos obtenidos en el banco de pruebas, los motores diésel cambian su eficiencia de acuerdo con el tipo y calidad de combustible, es así que se ha mejorado en un 89.86%.
- Con los resultados obtenidos con el módulo de pruebas se pueden hacer ajustes para determinar otros parámetros físicos y mecánicos del motor.
- El sensor magnético de revoluciones por sus características físicas, es vulnerable al ruido generado por el funcionamiento del módulo, se lo puede cambiar por otro tipo para obtener medidas más estables.

#### **4.2. Recomendaciones**

- Considerar la utilización de este banco de pruebas para caracterizar el comportamiento de este motor de combustión interna con otros tipos de combustible.
- Utilizar este banco de pruebas para desarrollar investigaciones de eficiencia energética para cuantificar la emisión a la atmosfera y tender al uso de combustibles que causen menor afectación al entorno.

- Fomentar la utilización del banco de pruebas de motores en el desarrollo de métodos de control de emisiones, para minimizar la concentración de gases nocivos al ambiente y tender hacia una tecnología verde.
- Realizar las mediciones de gases en diferentes mezclas y composiciones de biodiesel para evaluar la más eficiente mediante la reducción de la concentración de gases emitidos.

## 5. BIBLIOGRAFÍA

Gálvez, J. (2013). *Diseño de un banco de pruebas para motores de combustión interna*. Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería. Obtenido de: <http://biblioteca.upbbga.edu.co>

Hernández., A, y Portillo., C. (2011). *Diseño y construcción de un banco de pruebas de un motor diésel*. Universidad Pontificia Bolivariana, Facultad de Ingeniería Mecánica. Obtenido de: <https://repository.upb.edu.co/handle/20.500.11912/1178>

Hincapié., S, y Arias., D. (2016). *Diseño y construcción de un banco de pruebas para medir pérdidas de potencia por fricción en un motor mono cilíndrico de cuatro tiempos*. Universidad Tecnología de Pereira. Facultad de Ingeniería Mecánica. Obtenido de: <https://1library.co/document/zgwjd6vy-diseno-construccion-pruebas-perdidas-potencia-friccion-monocilindrico-tiempos.html>

Marruedo. E, (2016). *Banco de ensayos para motores de combustión interna y curvas características*. Universidad Tecnológica Nacional. Facultad Regional La Plata. Obtenido de: <https://1library.co/document/zgwjd6vy-diseno-construccion-pruebas-perdidas-potencia-friccion-monocilindrico-tiempos.html>

Montilla., C. Arroyave., J. Correa., A, y Cardona., J, (2007). *Medición de par motor en el eje de salida de un motor de combustión interna alternativo*. Universidad Tecnológica de Pereira. Obtenido de: <https://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/view/4075>

Pérez, J. (2011). *Estimador de torque electrónico para motores de inducción jaula de ardilla*. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Facultad de Ingeniería Electrónica Bogotá. Obtenido de: <https://1library.co/document/q7wpljvz-estimador-torque-electronico-motores-induccion-jaula-ardilla.html>

Randle., J. Tronconi., J, y Péndola., L. (2014). *Diseño y construcción de un banco de ensayos para un motor diésel*. Instituto Tecnológico de Buenos Aires. Ingeniería Mecánica. Obtenido de: <https://ri.itba.edu.ar/handle/123456789/246>

Reyes., G. Castillo., J, y Escalante., A. (2016). *Determinación de torque y potencia de un motor de combustión interna utilizando mezclas parciales de biodiesel*. Universidad Internacional del Ecuador. Quito. Obtenido de: [https://www.researchgate.net/publication/313272381\\_Determinacion\\_de\\_torque\\_y\\_potencia\\_de\\_un\\_motor\\_de\\_combustion\\_interna\\_utilizando\\_mezclas\\_parciales\\_de\\_biodisel](https://www.researchgate.net/publication/313272381_Determinacion_de_torque_y_potencia_de_un_motor_de_combustion_interna_utilizando_mezclas_parciales_de_biodisel)

Tovar., J, y Pájaro., J. (2016). *Diseño y construcción de un banco didáctico para el estudio y análisis de los parámetros básicos de funcionamiento de un motor encendido por compresión*. Universidad Tecnología de Bolívar. Cartagena Colombia. Obtenido de: <https://repositorio.utb.edu.co/handle/20.500.12585/2688>