



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA

CARRERA INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS CURVAS DE TORQUE Y
POTENCIA OBTENIDAS POR EL SENSOR AVL Y EL
DINAMÓMETRO**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

AUTORES:

JONATHAN PATRICIO FONSECA ROSALES

JUNIOR DAVID GRANIZO REVELO

Riobamba – Ecuador

2022



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA

CARRERA INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS CURVAS DE TORQUE Y
POTENCIA OBTENIDAS POR EL SENSOR AVL Y EL
DINAMÓMETRO**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

AUTORES: JONATHAN PATRICIO FONSECA ROSALES

JUNIOR DAVID GRANIZO REVELO

DIRECTOR: ING. PAUL ALEJANDRO MONTUFAR PAZ

Riobamba – Ecuador

2022

© 2022, Jonathan Patricio Fonseca Rosales & Junior David Granizo Revelo

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

Nosotros, Jonathan Patricio Fonseca Rosales y Junior David Granizo Revelo, declaramos que el presente trabajo de titulación es de nuestra autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados. Como autores asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 20 de mayo de 2022



Jonathan Patricio Fonseca Rosales

C.I.: 172279915-0



Junior David Granizo Revelo

C.I.: 060511331-5

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular: Tipo Proyecto de Investigación, **ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS CURVAS DE TORQUE Y POTENCIA OBTENIDAS POR EL SENSOR AVL Y EL DINAMÓMETRO**, realizado por los señores **JONATHAN PATRICIO FONSECA ROSALES** y **JUNIOR DAVID GRANIZO REVELO**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Dr. Mario Efrain Audelo Guevara PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2022-05-20
Ing. Paul Alejandro Montufar Paz DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN		2022-05-20
Ing. Javier José Gavilanes Carrión MIEMBRO DEL TRIBUNAL		2022-05-20

DEDICATORIA

El presente trabajo de titulación está dedicado a mis padres Carlos y Jannet por apoyarme incondicionalmente en la búsqueda de mis objetivos académicos y profesionales, a mi hermano Luis Fernando quien es mi motivación para ser un hombre de bien y un gran ejemplo a seguir y por último a mi abuelita Alicia que con su cariño y sabios consejos supo animarme para culminar con éxito mi preparación como profesional. Una dedicatoria especial a mis abuelitos Gladis Yolanda Cruz y Cesar Abel Rosales quienes lastimosamente ya no se encuentran a mi lado, pero siempre los llevaré en mi corazón.

Jonathan Patricio Fonseca Rosales

El esfuerzo y dedicación entregados en este proyecto de investigación, es el resultado del apoyo incondicional de mi familia, por haber sido un pilar importante en mi vida debido a sus enseñanzas que me permitió consumir mis metas y fines, a mis hermanos Brayan y Shirley que fueron mi inspiración para no rendirme y luchar todos los días para lograr lo que me proponga.

Junior David Granizo Revelo

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer: a Dios por brindarme la oportunidad de perseguir un logro más en mi vida y culminarlo exitosamente, a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, a la carrera de Ingeniería Automotriz, a las autoridades y en especial a los ingenieros que con esfuerzo y dedicación lograron transmitir su conocimiento de manera clara y permitirme desenvolver de manera adecuada en el ámbito laboral. A mis padres Carlos y Jannet por brindarme su cariño y apoyo, por formarme como un hombre de bien, lleno de valores, que no se rinde a pesar de las adversidades, que busca cumplir sus objetivos y que los quiere mucho.

Jonathan Patricio Fonseca Rosales

Primeramente, agradezco a Dios por permitirme emprender este gran proyecto universitario y por haber puesto personas que me han ayudado a llevar a cabo con una de mis más grandes metas. A mis padres por el gran apoyo brindado a lo largo de mi fase estudiantil, por enseñarme a salir adelante rompiendo todo clase de obstáculos y conseguir un sueño tan esperado ser un profesional, la mejor herencia que como padres me pueden dar.

Junior David Granizo Revelo

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiii
RESUMEN.....	xiv
SUMMARY.....	xv
INTRODUCCION.....	1

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....	2
1.1. Antecedentes.....	2
1.2. Planteamiento del Problema.....	2
1.3. Justificación.....	3
1.4. Objetivos.....	4
1.4.1. <i>Objetivo General</i>	4
1.4.2. <i>Objetivo Especifico</i>	4
1.5. Hipótesis.....	4
1.6. Estado del Arte.....	4
1.6.1. <i>Dinamómetro Borghi&Saveri</i>	4
1.6.2. <i>Trabajo Efectivo</i>	6
1.6.3. <i>Transductor de datos DAQ USB-6009</i>	7
1.6.3.1. <i>Características de las entradas y salidas</i>	8
1.6.4. <i>Software Labview</i>	10
1.6.5. <i>Sensor AVL</i>	11
1.6.6. <i>Trabajo Indicado</i>	11
1.6.7. <i>Principios termodinámicos del ciclo Otto</i>	12
1.6.8. <i>Ciclo teórico o ciclo ideal</i>	13
1.6.9. <i>Ciclo real</i>	14
1.6.10. <i>Perdidas de energía en el ciclo ideal de un motor de ignición interna</i>	14
1.6.11. <i>Estudio de las características de un motor en base a la presión generada en el cilindro</i>	15
1.6.12. <i>Medición de presión</i>	16
1.6.13. <i>Fases de la combustión</i>	17

1.6.14.	<i>Trabajo</i>	17
1.6.15.	<i>Torque</i>	18
1.6.16.	<i>Potencia</i>	19
1.6.17.	<i>Rendimiento Volumétrico</i>	19
1.6.18.	<i>Rendimiento Térmico</i>	20
1.6.19.	<i>Rendimiento mecánico</i>	22
1.6.20.	<i>Curvas característica</i>	22
1.6.20.1.	<i>Curvas características de torque</i>	22
1.6.20.2.	<i>Curvas características de potencia</i>	22
1.6.20.3.	<i>Curvas características de velocidad</i>	23
1.6.20.4.	<i>Curvas características multiparamétricas</i>	24

CAPÍTULO II

2.	Marco Metodológico	25
2.1.	Método inductivo-deductivo	25
2.2.	Método científico	26
2.3.	Método Cuantitativo	27
2.4.	Esquema de procedimiento para la obtención de las curvas características de un motor de combustión interna	28
2.5.	Procedimiento para la obtención de las curvas características del motor de combustión interna mediante el método del trabajo efectivo	30
2.5.1.	<i>Banco dinamométrico</i>	30
2.5.2.	<i>Freno eléctrico de corrientes parasitas</i>	31
2.5.3.	<i>Principio de funcionamiento</i>	32
2.5.4.	<i>Transmisión</i>	33
2.5.5.	<i>Sistema de refrigeración del banco</i>	35
2.5.6.	<i>Descalsificador o ablandador de agua</i>	35
2.5.7.	<i>Software Labview</i>	36
2.6.	Procedimiento para la obtención de las curvas características del motor de combustión interna mediante el método de trabajo indicado	38
2.6.1.	<i>Equipos AVL</i>	38
2.6.2.	<i>Indicador de presión</i>	39
2.6.3.	<i>Crank Angle Encoder</i>	41
2.6.4.	<i>IndiMicro</i>	43
2.6.4.1.	<i>Conexiones del AVL IndiMicro</i>	43
2.6.5.	<i>Universal Pulse Conditioner</i>	45

2.6.5.1.	<i>Conexiones del AVL Universal Pulse Conditioner</i>	46
2.6.6.	<i>Conexión entre el Universal Pulse Conditioner y el IndiMicro</i>	47
2.6.7.	<i>Software AVL IndiCom</i>	48
2.6.7.1.	<i>Configuración del ordenador</i>	48
2.6.7.2.	<i>Configuración del Software</i>	50
2.6.7.2.1.	<i>Configuración de canales del amplificador IndiMicro</i>	50
2.6.7.2.2.	<i>Selección del motor a ser analizado</i>	52
2.6.8.	<i>Obtención de datos mediante el método de trabajo indicado</i>	53
2.6.8.1.	<i>Presión del cilindro vs Ángulo del cigüeñal</i>	53
2.6.9.	<i>Presión vs Volumen del cigüeñal</i>	54
2.7.	<i>Métodos de análisis estadístico</i>	55

CAPÍTULO III

3.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	57
3.1.	Resultados obtenidos con el método de trabajo efectivo	57
3.2.	Resultados obtenidos con el método de trabajo indicado	61
3.2.1.	<i>Obtención de las curvas de torque y potencia</i>	66
3.2.1.1.	<i>Trabajo del software IndiCom</i>	68
3.3.	Análisis comparativo	70
3.4.	Análisis estadístico	71
3.5.	Discusión de resultados	73
	CONCLUSIONES	75
	RECOMENDACIONES	76
	BIBLIOGRAFÍA	
	ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1:	Datos de los parámetros medidos con un $V_f = 100 \text{ cm}^3$	5
Tabla 2-1:	Características del USB-6009.....	8
Tabla 3-1:	Terminales analógicas de la DAQ NI USB-6009.....	9
Tabla 4-1:	Terminales digitales de la DAQ NI USB-6009	10
Tabla 1-2:	Medidas del eje de transmisión	34
Tabla 2-2:	Características del motor Chevrolet Aveo 1.6 modelo 2008.....	52
Tabla 3-2:	Datos de presión del cilindro vs ángulo giro del cigüeñal.....	53
Tabla 4-2:	Presión vs Volumen del cilindro	55
Tabla 1-3:	Valores obtenidos del torque máximo en cada prueba	61
Tabla 2-3:	Valores obtenidos de las potencias máximas en cada prueba.....	61
Tabla 3-3:	Datos de presión vs ángulo del cigüeñal obtenidos por el método de trabajo indicado	62
Tabla 4-3:	Presión vs Volumen del cilindro	63
Tabla 5-3:	Datos de velocidad, torque y potencia indicada	68
Tabla 6-3:	Datos de las variables de torque y potencia a las mismas RPM de los dos métodos de estudio	71

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1:	Problemática del proyecto de investigación.....	3
Figura 2-1:	Curva de Torque del motor	5
Figura 3-1:	Curva de potencia del motor	6
Figura 4-1:	Curva de consumo específico del motor	6
Figura 5-1:	Potencia Efectiva	7
Figura 6-1:	Tarjeta NI USB 6009	9
Figura 7-1:	Entrada/salidas analógicas(superior) y entrada/salidas digitales(inferior).....	9
Figura 8-1:	Software Labview	11
Figura 9-1:	Gráfico de indicadores registrado	12
Figura 10-1:	Ciclo de Carnot en diagrama T-s (izquierda) y p-V (derecha).....	13
Figura 11-1:	Ciclo ideal de un MCI Otto.....	13
Figura 12-1:	Ciclo real termodinámico.....	14
Figura 13-1:	Desglose de pérdidas mecánicas en un motor.....	15
Figura 14-1:	Ciclo Otto de Nikolaus Otto.....	16
Figura 15-1:	Fases de la combustión	17
Figura 16-1:	Ciclo de cuatro tiempos de un MCI trazado en P-V cuyas áreas representan la presión de admisión (A) y la presión de escape (B).....	18
Figura 17-1:	Geometría del pistón y cilindro de un motor	19
Figura 18-1:	Grafica termodinámica presión del ciclo Otto	21
Figura 19-1:	Curvas de torque y potencia.....	23
Figura 20-1:	Curvas de plena carga de un motor sobrealimentado MEC.....	24
Figura 21-1:	Curvas características del motor sobrealimentado MEP.....	25
Figura 1-2:	Diagrama de flujo	29
Figura 2-2:	Banco Dinamométrico Borghi & Saveri.....	30
Figura 3-2:	Freno eléctrico de corrientes parásitas	31
Figura 4-2:	Vista de corte de un freno dinamométrico de corrientes parásitas.....	32
Figura 5-2:	Vista de corte de un freno dinamométrico por corrientes parásitas	33
Figura 6-2:	Eje de Transmisión	34
Figura 7-2:	Partes del Eje de transmisión	34
Figura 8-2:	Bomba de agua y tuberías del sistema de refrigeración del banco dinamométrico	35
Figura 9-2:	Descalsificador o ablandador de agua.....	36
Figura 10-2:	Interfaz de inicio del banco dinamométrico.....	37
Figura 11-2:	Dinamómetro Digitalizado.....	37

Figura 12-2:	Interfaz gráfica del dinamómetro	38
Figura 13-2:	Indicador de presión.....	39
Figura 14-2:	Áreas de aplicación de la tecnología de indicación	40
Figura 15-2:	Polea de diente perdido (60 - 2)	42
Figura 16-2:	Lugar donde se colocará la polea y el sensor CKP en el dinamómetro	42
Figura 17-2:	Polea de diente perdido y sensor CKP ubicados en posición de trabajo.....	43
Figura 18-2:	IndiMicro vista frontal esquemática	43
Figura 19-2:	AVL IndiMicro vista frontal real	44
Figura 20-2:	IndiMicro vista posterior esquemática.....	44
Figura 21-2:	IndiMicro vista posterior real.....	45
Figura 22-2:	Universal Pulse Conditioner	46
Figura 23-2:	Universal Pulse Conditioner vista frontal y posterior esquemática	46
Figura 24-2:	Universal Pulse Conditioner vista frontal y posterior real	47
Figura 25-2:	Conexión entre en Universal Pulse Conditioner y el IndiMicro para una medición con un captador inductivo o un sensor Hall	48
Figura 26-2:	Software IndiCom.....	48
Figura 27-2:	Propiedades de Ethernet.....	49
Figura 28-2:	Configuración de las propiedades del protocolo de internet versión 4 (TPC/IPv4)	49
Figura 29-2:	Selección modo de medición	50
Figura 30-2:	Configuración de unidades y nombre de la señal.....	51
Figura 31-2:	Conexión del sensor de presión al amplificador IndiMicro	52
Figura 32-2:	Configuración del motor a utilizar para el análisis	53
Figura 33-2:	Graficas de las curvas de torque y potencia.....	56
Figura 34-2:	Torque del motor vs Velocidad.....	56
Figura 35-2:	Potencia vs Velocidad.....	57

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfica 1-2:	Presión vs Volumen.....	40
Gráfica 2-2:	Presión del cilindro vs ángulo del cigüeñal	54
Gráfica 3-2:	Presión vs Volumen del cilindro	55
Gráfica 1-3:	Curvas características del motor Test 1	58
Gráfica 2-3:	Curvas características del motor Test 2	58
Gráfica 3-3:	Curvas características del motor Test 3	59
Gráfica 4-3:	Curvas de torque, potencia y consumo específico del motor	59
Gráfica 5-3:	Curvas de torque, potencia y consumo específico con el software dinamométrico	60
Gráfica 6-3:	Presión del cilindro vs ángulo del cigüeñal	63
Gráfica 7-3:	Presión vs volumen del cilindro	65
Gráfica 8-3:	Presión vs volumen obtenidas de cada cilindro.....	65
Gráfica 9-3:	Presión vs volumen del motor	66
Gráfica 10-3:	Curva de torque vs número de ciclos del motor	66
Gráfica 11-3:	Curva de potencia vs número de ciclos del motor.....	67
Gráfica 12-3:	Curva de torque vs velocidad del motor	67
Gráfica 13-3:	Curva de potencia vs velocidad del motor	67
Gráfica 14-3:	Configuración de la gráfica con los valores deseados.....	68
Gráfica 15-3:	Curvas de torque y potencia del motor con los equipos AVL.....	69
Gráfica 16-3:	Curvas de torque y potencia obtenidas con los equipos AVL.....	69
Gráfica 17-3:	Comparación entre las curvas de torque de los equipos AVL y el dinamómetro	70
Gráfica 18-3:	Comparación entre las curvas de potencia de los equipos AVL y el dinamómetro	70
Gráfica 19-3:	Torque del dinamómetro vs torque de los equipos AVL.....	72
Gráfica 20-3:	Potencia del dinamómetro vs potencia de los equipos AVL	73

ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A:** Nivelación de la transmisión
- ANEXO B:** Ajuste de la brida de caucho con el motor y la transmisión
- ANEXO C:** Motor Aveo 1.6L utilizado para las pruebas
- ANEXO D:** Equipos utilizados para la toma de muestras con el dinamómetro
- ANEXO E:** Panel de control de encendido para poder utilizar el dinamómetro
- ANEXO F:** Depósito de agua del motor de pruebas
- ANEXO G:** Tabla de los datos de la toma de muestra 1 con el dinamómetro
- ANEXO H:** Tabla de los datos de la toma de muestra 2 con el dinamómetro
- ANEXO I:** Tabla de los datos de la toma de muestra 3 con el dinamómetro
- ANEXO J:** Tabla de los datos de la toma de muestra 4 con el dinamómetro

RESUMEN

La presente investigación tuvo como fin analizar las curvas características de un motor de combustión interna mediante dos métodos de obtención, para posterior a esto compararlas y demostrar su similitud. Se trabajó con un motor Chevrolet modelo 2008, cuyo cilindraje es de 1600 centímetros cúbicos. El primer método con el cual se trabajó fue el método efectivo el cual se basa en aplicar una fuerza de frenado al motor, para ello se utilizó el dinamómetro de marca Borghi&Saveri, y el segundo método con el que se trabajó fue el de trabajo indicado, este método a diferencia del método efectivo trabaja con un sensor de presión y un codificador angular dicho método es utilizado por los equipos AVL adquiridos por la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Cabe recalcar que al ser métodos diferentes de obtención de datos no se tendrá valores idénticos entre ellos. Por esta razón se realizó un análisis estadístico a manera de conocer el coeficiente de determinación el cual permite conocer el valor de variación que existe entre ellos. Al finalizar la investigación, una vez obtenidas las curvas características del motor se logró analizar y comparar los resultados obtenidos por ambos métodos, de esta manera se pudo constatar que existe una similitud en el comportamiento de los resultados llegando a la conclusión de que ambos métodos permiten obtener las curvas características del motor y de esta manera conocer su estado de funcionamiento. Se recomienda que para futuros análisis se tome en cuenta el uso adecuado de herramientas para la manipulación de los equipos y conocer de manera adecuada el manejo del software tanto del dinamómetro como de los equipos AVL, de esta manera se evitarán inconvenientes con los equipos y toma de datos.

Palabras claves: <MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA>, <MÉTODO EFECTIVO>, <TRABAJO INDICADO>, <DINAMÓMETRO>, <CURVAS CARACTERÍSTICAS>.

1254-DBRA-UTP-2022

REVISADO

04 JUL 2022

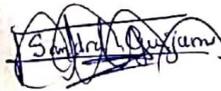
Ing. Jhonatan Parreño Uquillas, MBA
(ANALISTA DE BIBLIOTECA 1)



SUMMARY

The purpose of this research was to analyze the characteristic curves of an internal combustion engine using two methods to compare and demonstrate their similarity later. We worked with a Chevrolet model 2008 engine, whose cylinder capacity is 1600 cubic centimeters. The first method we worked with was the effective method based on applying a braking force to the engine. For this, the Borghi & Saveri brand dynamometer was used. The second method which we worked with was the indicated work method. Unlike the practical method, this method works with a pressure sensor and an angular encoder. This method is used by the AVL equipment acquired by the Escuela Superior Politecnica de Chimborazo. It should be noted that as they are different methods of obtaining data, identical values will not be obtained between them. For this reason, a statistical analysis was carried out to know the coefficient of determination, which allows knowing the value of variation between them. At the end of the investigation, once the characteristic curves of the motor were obtained, it was possible to analyze and compare the results obtained by both methods. In this way, it was possible to verify that there is a similarity in the behavior of the results, concluding that both methods allow obtaining the characteristic curves of the motor and, in this way, knowing its operating status. For future analyzes, it recommends taking into account the proper use of tools for handling the equipment and adequately understanding how to handle the software of both the dynamometer and the AVL equipment. In this way, it will avoid equipment and data acquisition inconveniences.

Keywords: <INTERNAL COMBUSTION ENGINE>, <EFFECTIVE METHOD>, <INDICATED WORK>, <DYNAMOMETER>, <CHARACTERISTIC CURVES>.



Sandra Leticia Guijarro Paguay

C.I.: 0603366113

INTRODUCCION

La razón principal que motivó la realización de este proyecto investigativo “Análisis comparativo de las curvas de torque y potencia obtenidas por un sensor AVL y el dinamómetro”, es debido que en el país la tecnología se ha presentado poco a poco, es por eso que en la actualidad el manejo del dinamómetro es el más utilizado al momento de obtener las curvas de torque y potencia de un motor en general, esto con el fin de comparar dicha información con el manual del fabricante, pero se busca que esta práctica vaya quedando obsoleta con el estudio de nuevas tecnologías que permitan obtener resultados mucho más precisos y eficientes. Reduciendo el espacio necesario para poder trabajar(Zambrano Mantilla y Núñez Prada, 2013, pp.13-48).

La importancia de comparar el análisis clásico (dinamómetro), con las nuevas tecnologías de medición óptica, es que este último permitirá adquirir datos con un nivel de precisión y confiabilidad mucho más altos y de esta forma demostrar que el utilizar el sensor AVL es efectivo y que además brinda información con la cual se pueda trabajar de manera fiable al momento de analizar las curvas de torque y potencia de un motor(AVL LIST GMBH, 2020, pp.7-126).

Tomando en cuenta que de esta manera quienes cuenten con los recursos para adquirir el equipo, tengan la plena confianza de que los resultados obtenidos con el software se asemejan e incluso son más precisos a los datos obtenidos por un dinamómetro y en base a esto consideren la oportunidad de renovar los equipos, adquirir esta nueva tecnología y la puedan poner en práctica con el fin de poder brindar un servicio mucho más completo y confiable.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

1.1. Antecedentes

Los diversos talleres de la Facultad de Mecánica de la ESPOCH, tienen mayormente conjuntos de laboratorio con tecnología que no permanecen conforme a las exigencias recientes de la educación preeminente. Uno de los laboratorios con este problema es el de “Motores de Combustión Interna”, en el cual se puede hallar el banco dinamométrico marca Boghi & Saveri, modelo FA 200 SP, el mismo que ha sido adquirido gracias al acuerdo ESPOCH – ITALIA, hablado equipo es usado por los alumnos de la Facultad de Mecánica para conocer el desempeño, características y propiedades de los motores de ignición interna (Balladares Pico y Saeteros Amorozo, 2016, pp.1-73).

Un banco dinamométrico es un equipo que permite realizar la medición de la potencia de motores de ignición interna a diferentes velocidades. Además, son maquinarias usadas para la medición de ciertas fronteras con el fin primordial de mejorar la potencia, reducir el consumo de combustible y por consiguiente minorar el efecto ambiental (Llor Miño, 2016, p.5).

La lectura de los datos en ciertos bancos dinamométricos se los hace de manera manual y con conjuntos analógicos de escasa exactitud; se vio la necesidad de hacer la automatización de un banco dinamométrico para la compra de los límites mencionados usando sensores que entreguen una señal eléctrica estándar para su posterior visualización en una interfaz gráfica.

1.2. Planteamiento del Problema

La escasa información, los costos elevados y la falta de capacitación que se tiene en el Ecuador con respecto a nuevas tecnologías que permitan a los propietarios de talleres ofrecer el servicio de diagnóstico de motores de una manera en la que se pueda analizar de una forma mucho más eficiente y eficaz, conlleva a utilizar métodos de obtención de curvas características que poco a poco empiezan a ser obsoletas conforme pasa el tiempo, es verdad que en el presente, los métodos de obtención que se tiene en el país son los más accesibles y de mayor conocimiento para los propietarios de talleres que brindan este servicio. Pero no está de más conocer nuevos métodos que podrían llegar a ser más precisos y que además les brinde mayor información.

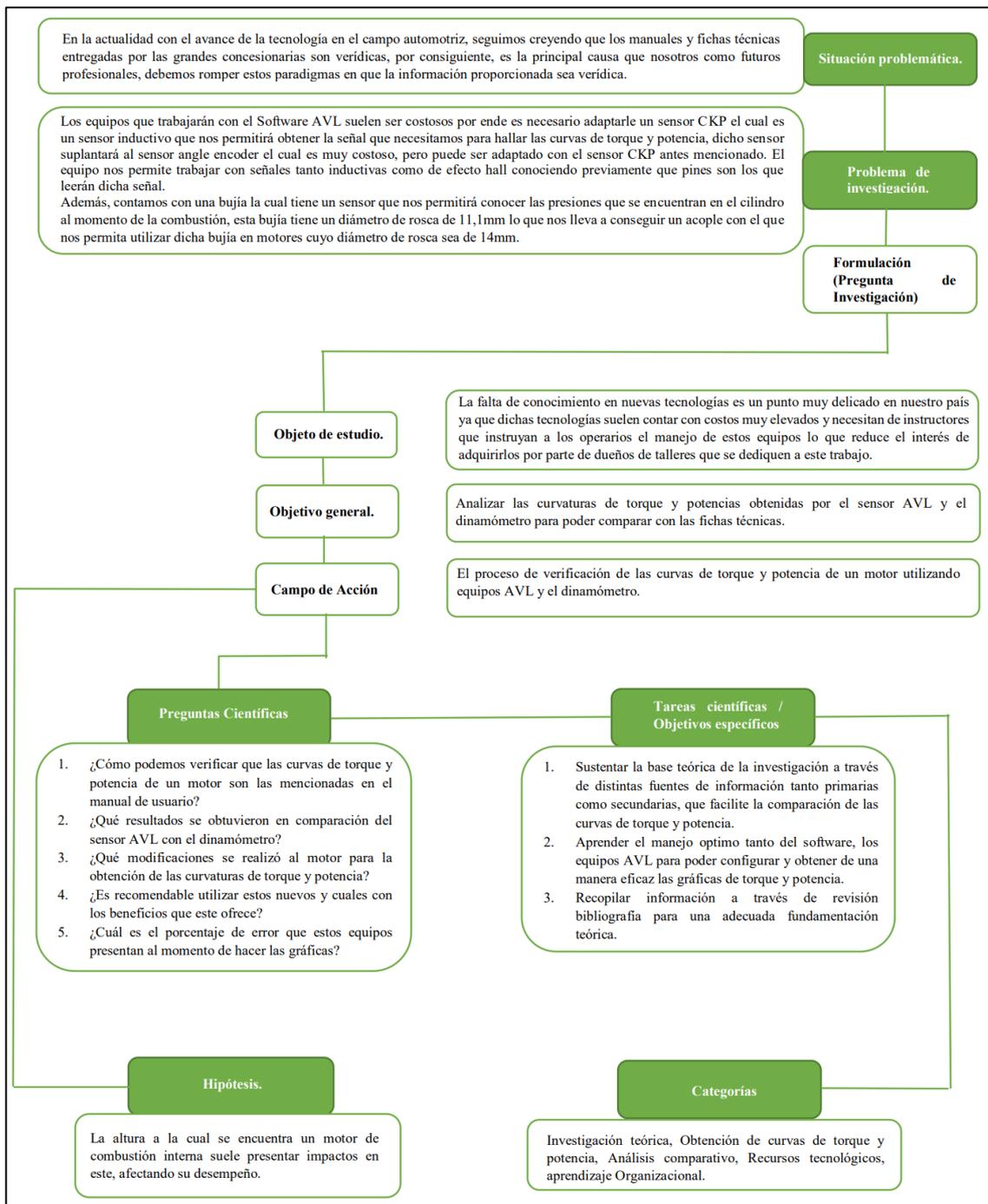


Figura 1-1. Problemática del proyecto de investigación

Realizado por: Fonseca Rosales, Jonathan; Granizo Revelo, Junior, 2022.

1.3. Justificación

La importancia de conocer las curvas características de un motor conlleva a buscar nuevas tecnologías que brinden confianza y seguridad al momento de conocer el estado en el que se encuentra un motor a gasolina, es por esta razón que los autores del presente documento investigan el “Análisis comparativo de las curvas de torque y potencia obtenidas por un sensor AVL y el dinamómetro” en el cual se emplean dos métodos de obtención de las curvas características de un motor. Siendo estas de trabajo indicado (con el sensor AVL) y trabajo

efectivo (con el dinamómetro) las cuales serán detalladas, analizadas y comparadas a lo largo del presente documento (Zambrano Mantilla y Núñez Prada, 2013, pp3-48).

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Analizar las curvas características de un motor de combustión interna mediante dos métodos de obtención para posterior a esto compararlas y demostrar su similitud.

1.4.2. Objetivo Especifico

- Sustentar la base teórica de la investigación a través de distintas fuentes de información tanto primarias como secundarias, que facilite la comparación de las curvas de torque y potencia.
- Demostrar que los nuevos métodos de obtención de curvas características de un motor de combustión interna son similares a los métodos utilizados en la actualidad, con la ayuda de un sensor AVL y un dinamómetro para su respectiva comparación.
- Realizar pruebas de funcionamiento del motor a diferentes revoluciones utilizando el sensor AVL y el dinamómetro con el fin de comparar dichas curvas características obtenidas de manera experimental.

1.5. Hipótesis

Las nuevas tecnologías, los nuevos métodos de obtención de curvas características en motores de combustión interna permitirán obtener mayor información y datos que conlleven a conocer la eficiencia otorgada por un motor, asegurando que dichos resultados al ser comparados con los de un método más antiguo se compruebe su similitud y su mayor alcance al momento de la obtención de resultados.

1.6. Estado del Arte

1.6.1. Dinamómetro Borghi&Saveri

Según (Balladares Pico y Saeteros Amorozo, 2016, pp.1-73) dentro de su documento de investigación describe la funcionalidad y uso de un dinamómetro que son utilizados como herramientas en universidades, talleres particulares y en centros tecnológicos de mecánica del automóvil, debido a que nos posibilita acoplar por medio de un sistema de transmisión de simple montaje cualquier tipo de motor de combustión interna para su estudio, obteniendo con este, datos de consumo específico de combustible, torque, revoluciones por minuto y potencia positiva, los mismos que van a ser valorados más adelante al hacer las diferentes curvas características. Los bancos dinamométricos son de gran ayuda en la industria ya que ayudan a repotenciar motores, disminuyendo así las emisiones de CO₂ en el ambiente.

Resultado: Como resultado, desarrollaron con éxito las diferentes pruebas en el banco dinamométrico, que realizaron con un motor Ducati, y con ello pudieron determinar a qué revoluciones el motor daba como dato la potencia y par motor máximo, y también se determinó el consumo específico que tenía el motor.

Tabla 1-1: Datos de los parámetros medidos con un $V_f = 100 \text{ cm}^3$

Rpm	P [kg]	M [kg.m]	Ne corregido [CV]	Cs [kg/CV h]	Tiempo [s]
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: Balladares Pico y Saeteros Amorozo, 2016.

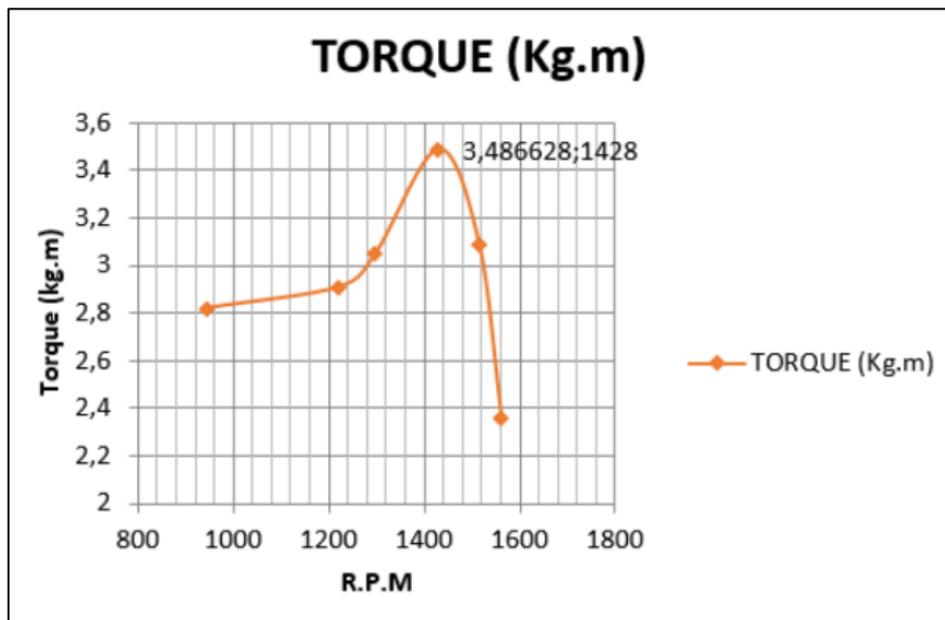


Figura 2-1. Curva de Torque del motor

Fuente: Balladares Pico y Saeteros Amorozo, 2016.

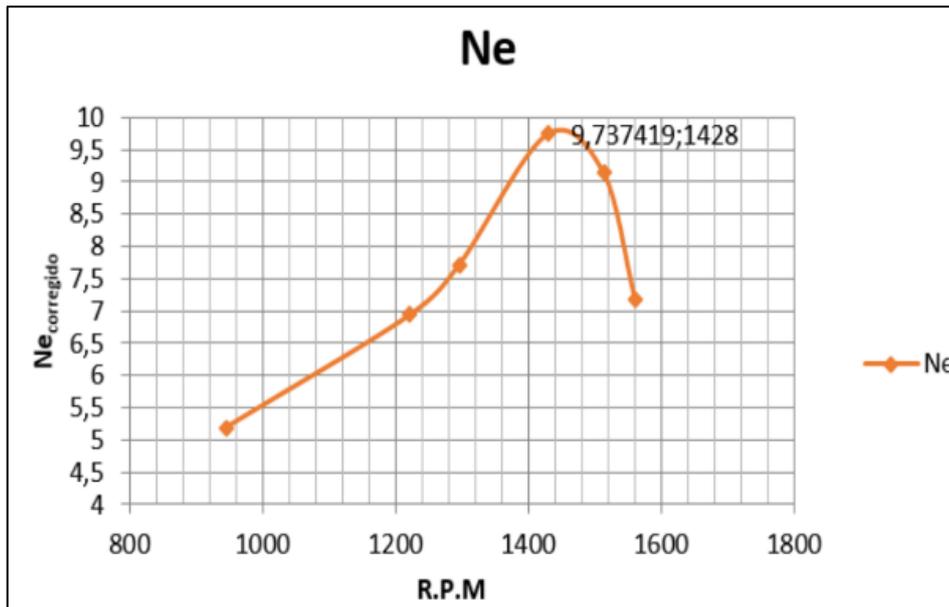


Figura 3-1. Curva de potencia del motor

Fuente: Balladares Pico y Saeteros Amorozo, 2016.

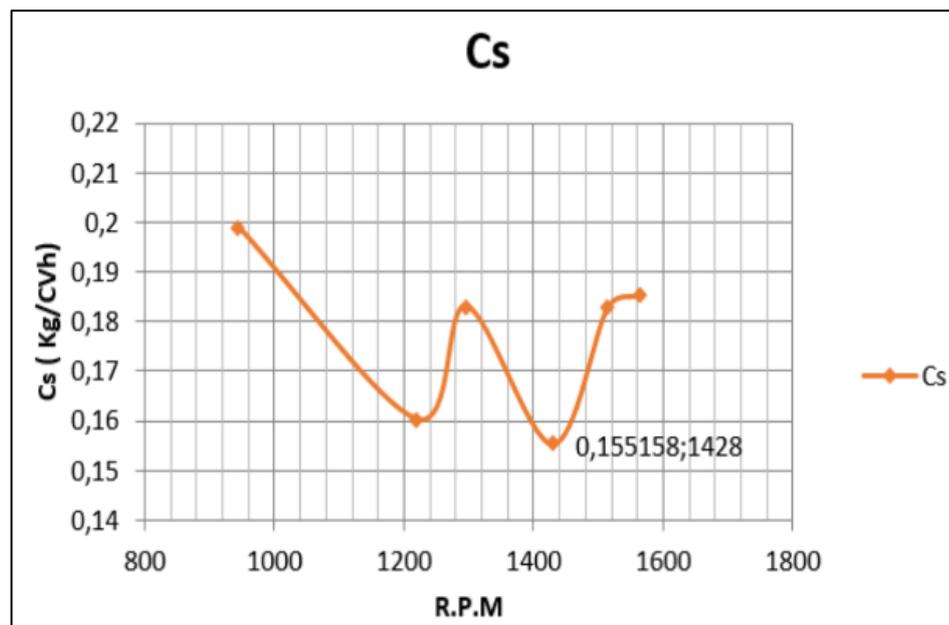


Figura 4-1. Curva de consumo específico del motor

Fuente: Balladares Pico y Saeteros Amorozo, 2016.

1.6.2. Trabajo Efectivo

En este documento nos detalla el trabajo del motor, en donde nos indica que dicho trabajo también se lo conoce como la potencia efectiva del motor, que es la fuerza provocada por la ignición, que es aplicada sobre la biela, la misma que transmite al cigüeñal provocando su giro, y esta a su vez produce un esfuerzo de rotación también denominado par motor, lo más relevante que debemos indicar que dicho par motor máximo no se lo obtiene a altas revoluciones, si no que dicho valor es obtenido a bajas rpm, ya que debe cumplir con ciertas características, como un mejor llenado

del cilindro y que provoque explosiones más fuertes(Payri y Desantes, 2015, pp.57-69; Pulkrabek, 2000, pp.35-112).

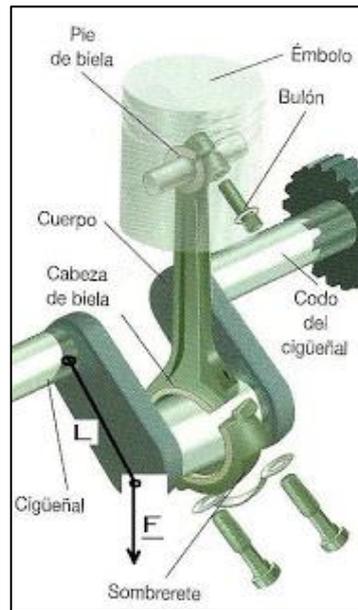


Figura 5-1. Potencia Efectiva

Fuente: Guillén Carrión, 2014.

Dicha medición del trabajo efectivo del motor, se lo debe realizar con máquinas apropiadas, para que estas máquinas puedan realizar dicha medición, se utiliza un dispositivo frenante, por ende, también es conocido como potencia al freno, y el primer dispositivo fue el freno de Prony.

1.6.3. Transductor de datos DAQ USB-6009

Este transductor de datos o tarjeta de adquisición de datos permite realizar la comunicación entre los sensores del motor y el ordenador(Mera Villavicencio y Valdivieso Feijoo, 2011, pp.38-43), permitiendo crear mediciones de entradas analógicas y con funcionalidad para generar niveles de voltaje de salida, un contador y dos puertos con 8 líneas de entrada y salidas digitales. Este entrega la conexión en 8 de los canales de entradas, las cuales son analógicas (AI), 2 canales los cuales son de salida analógica (AO), 12 canales de acceso y salida digital (DIO), y un contador que trabaja a 32 bits brindando una rapidez de interfaz USB(Alcivar Orrala et al., 2010, pp.3-56).

Tabla 2-1: Características del USB-6009

CARACTERÍSTICA	USB-6009
AI Resolución	Diferencial de 14 bits, 13 bits de un único casquillo
AI máxima frecuencia de muestreo, un solo canal *	48 kS / s
AI máxima frecuencia de muestreo, múltiples canales (de agregación)	42 kS /s
DIO Configuración	Colector abierto o activo unidad
* Podría ser dependientes del sistema	

Fuente: Alcivar Orrala et al., 2010.

1.6.3.1. Características de las entradas y salidas

La Entrada Analógica (EA) de los terminales, tienen la posibilidad de usar como entradas particulares de voltaje analógico o como combinaciones para entradas de voltaje diferencial. Poseemos 8 entradas terminales particulares. Como terminales simples, en esta situación se utiliza como referencia las salidas GND de la 6009, el voltaje mayor para esta configuración es de $\pm 10V$ (Mera Villavicencio y Valdivieso Feijoo, 2011, pp.38-43).

Como terminales de voltaje diferencial usa dos terminales simples, y los valores para este tipo de configuración son $\pm 20V$, $\pm 10V$, $\pm 5V$, $\pm 4V$, $\pm 2.5V$, $\pm 2V$, $\pm 1.25V$, $\pm 1V$. en cambio las Salidas Analógicas (SA), son las dos únicas salidas analógicas que tiene el transductor, las cuales no son individuales y se aplican junto con la tierra. El rango de voltaje es de 0 a +5V con una impedancia de salida de 50Ω y una corriente de 5mA (Alcivar Orrala et al., 2010, pp.3-56).

Las Entradas Digitales Programables (EP), en cambio son cada una de las entradas y salidas digitales, estas tienen la posibilidad de planear para que funcionen como ingreso o salida, individualmente sin depender una de la otra. En total la tarjeta tiene 12 entradas/salidas digitales, cada una de ellas compatibles con tecnología TTL, LVTTTL, CMOS. Además, tiene un rango de voltaje con respecto al terminal GND a partir de -0.5V hasta 5.8V (Mera Villavicencio y Valdivieso Feijoo, 2011, pp.38-43; Alcivar Orrala et al., 2010, pp.3-56).

La Entrada Programable Contador (EPC), por este acceso se tiene la posibilidad de programarla, para poder ser utilizada como un ingreso para un contador de eventos, o como un disparador digital. Los +5V es el voltaje entregado por la tarjeta, que se emplea con la fuente de poder y por último los +2.5V, es el voltaje entregado por la tarjeta, para ser usado en pruebas envolventes (Mera Villavicencio y Valdivieso Feijoo, 2011, pp.38-43).

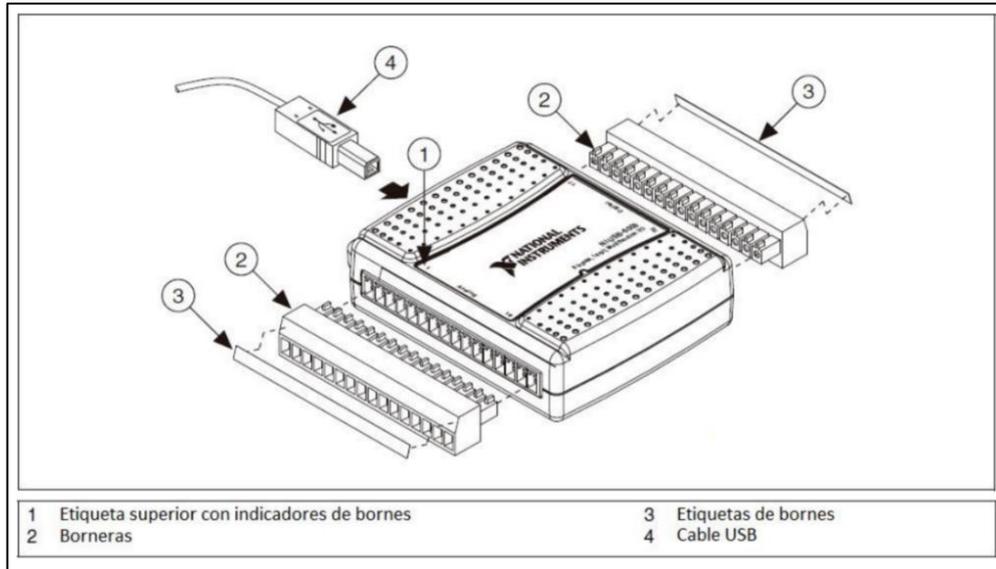


Figura 6-1. Tarjeta NI USB 6009

Fuente: Yáñez, 2015.

Entradas/salidas analógicas del borne 1 al 16															
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
GND	+AI0-	GND	+AI1-	GND	+AI2-	GND	+AI3-	GND	+AI3-	GND	AO0	AO1	GND		
GND	AI0	AI4	GND	AI1	AI5	GND	AI2	AI6	GND	AI3	AI7	GND	AO0	AO1	GND

Entradas/salidas digitales, +5 V y tierra del borne 17 al 32															
32	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17
GND	+5V	+2.5V	PF10	P1.3	P1.2	P1.1	P1.0	P0.7	P0.6	P0.5	P0.4	P0.3	P0.2	P0.1	P0.0

Figura 7-1. Entrada/salidas analógicas(superior) y entrada/salidas digitales(inferior)

Fuente: Yáñez, 2015.

Tabla 3-1: Terminales analógicas de la DAQ NI USB-6009

Número de terminal	Señal (modo terminal simple)	Señal (modo diferencial)
1	GND	GND
2	EA0	EA0+
3	EA4	EA0-
4	GND	GND
5	EA1	EA1+
6	EA5	EA1-
7	GND	GND

8	EA2	EA2+
9	EA6	EA2-
10	GND	GND
11	EA3	EA3+
12	EA7	EA3-
13	GND	GND
14	SA0	SA0
15	SA1	SA1
16	GND	GND

Fuente: Mera Villavicencio y Valdivieso Feijoo, 2011.

Tabla 4-1: Terminales digitales de la DAQ NI USB-6009

Número de terminal	Señal (modo terminal simple)
17	EP00
18	EP01
19	EP02
20	EP03
21	EP04
22	EP05
23	EP06
24	EP07
25	EP10
26	EP11
27	EP12
28	EP13
29	EPC0
30	+2,5 V
31	+5V
32	GND

Fuente: Mera Villavicencio y Valdivieso Feijoo, 2011.

1.6.4. Software Labview

Labview es un ámbito de programación gráfica utilizado por una cantidad enorme de ingenieros e estudiosos para desarrollar sistemas sofisticados de medida, pruebas y control utilizando íconos gráficos e intuitivos y cables que parecen un diagrama de flujo. Labview da una unión incomparable con una cantidad enorme de dispositivos de hardware y ofrece centenares de bibliotecas integradas para estudio avanzado y visualización de datos. La plataforma Labview es

escalable por medio de diversos fines y sistemas operativos, a partir de su introducción en 1986 se ha vuelto un jefe en la industria(Hernández Ruiz et al., 2017, pp.47-48; Mera Villavicencio y Valdivieso Feijoo, 2011, pp.38-43).



Figura 8-1. Software Labview

Fuente: National Instruments, 2021.

1.6.5. Sensor AVL

El sensor AVL permite medir la presión que se presenta en el cilindro cuando el pistón se encuentra en el PMS es decir en la carrera de compresión, a dicho sensor también se lo conoce como indicador de presión, este dispositivo es tan anticuado como el mismo motor de ciclo Otto. El método que en la actualidad se utiliza para obtener las curvas características de un motor es netamente mecánico, lo cual es totalmente diferente al método de obtención que se propone con el sensor AVL el cual, es un transductor piezoeléctrico que ofrece un excelente comportamiento dinámico, alta calidad de medición, alta estabilidad y muy buena linealidad. Esto permite que sus propiedades metrológicas del transductor sean independientes de su temperatura lo cual juega un papel muy importante al momento de obtener las mediciones del motor de combustión interna. Un detalle para conocer es que: el obtener señales digitales de un motor mediante la medición de su presión, permite obtener un análisis termodinámico preciso, además de una evaluación de amplio alcance en el propio banco de pruebas. Además es de suma importancia que quienes utilicen este método de obtención de señales como lo son las curvas características de un motor de combustión interna, tengan conocimientos altamente especializados previo a la utilización del sensor AVL(Pischinger, 2002, pp.1-8).

1.6.6. Trabajo Indicado

Dato curioso: cuando Nikolaus August Otto puso en marcha el motor creado por el, es decir el primer motor a gasolina de cuatro tiempos, Nikolaus ya había calculado la tabla de presión, esto basándose en las leyes de los gases, es decir principios termodinámicos. A continuación de esto comprobó dichos resultados en el motor de pruebas que tenía. Dichas trazas de presión fueron denominadas gráficas de indicadores las cuales se muestran a continuación(Pischinger, 2002, pp.1-8).

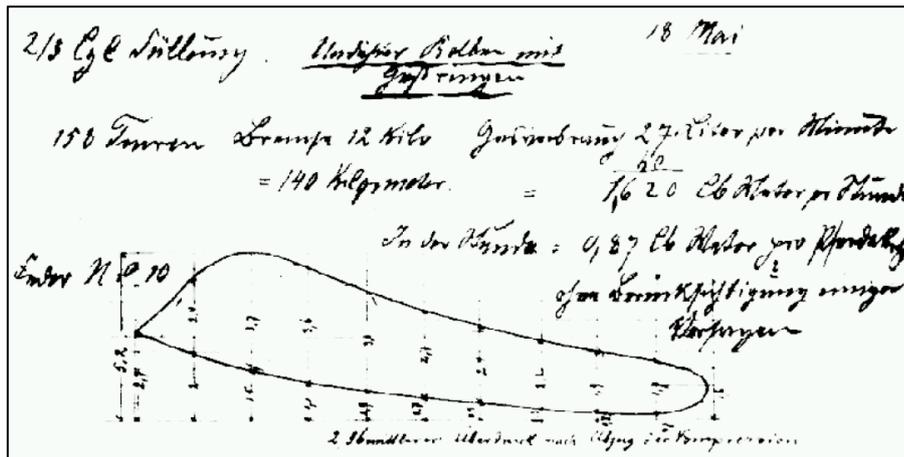


Figura 9-1. Gráfico de indicadores registrado

Fuente: Pischinger, 2002.

En la gráfica que Nikolaus August Otto presenta en la figura anterior podemos observar una estimación de cómo se vería la gráfica de indicadores del ciclo de trabajo del motor de ignición interna de cuatro tiempos (admisión, compresión, ignición y escape) o ciclo Otto. Estas gráficas al ser analizadas con principios termodinámicos se pueden observar que en estas se presentan dos transformaciones a volumen constante y dos politrópicas, siendo una de compresión y la otra de expansión. De esta manera se obtiene una gráfica, la cual muestra el trabajo ideal que un motor produjera si este no contara con pérdidas de energía (Pischinger, 2002, pp.1-8).

1.6.7. Principios termodinámicos del ciclo Otto

Con el fin de que un MCI de ciclo Otto tenga un trabajo ideal este no debe tener pérdidas de temperatura lo cual no es posible ya que este induce la temperatura provocada por la chispa de la bujía al producirse la combustión hacia las paredes del cilindro, existiendo pérdida de eficiencia de trabajo. Por motivos de estudio se utilizan los principios de la termodinámica, en la cual podemos utilizar modelos ideales que nos permitan considerar al menos una de las propiedades como constante, de esta manera el análisis del motor de ciclo Otto se relaciona con la descripción del ciclo de Carnot en el que se da la sucesión de una compresión isotérmica desde el punto 1 al punto 2, una compresión isotrópica del punto 2 al punto 3, una expansión isotérmica del punto 3 al punto 4 y finalmente una expansión isotrópica del punto 4 al punto 1 cerrando el ciclo (Cormejo Narváez y Velásquez Morocho, 2020, pp.6-12).

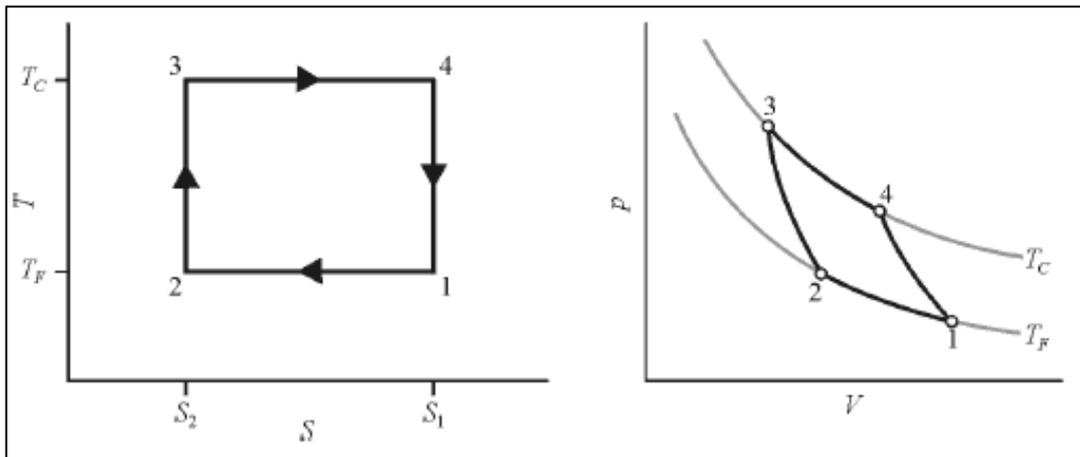


Figura 10-1. Ciclo de Carnot en diagrama T-s (izquierda) y p-V (derecha)

Fuente: Cornejo Narváez y Velásquez Morocho, 2020.

1.6.8. Ciclo teórico o ciclo ideal

Como se mencionó anteriormente este método es considerado con fines de estudio ya que al ser analizado de esta manera se asume que el motor no tiene pérdidas de temperatura lo cual permite realizar varias hipótesis con el fin de simplificar y facilitar el cálculo, el cual se realiza con la ayuda de métodos numéricos, de esta manera se podrá comparar o tomar como referencia (Cornejo Narváez y Velásquez Morocho, 2020, pp.6-12).

Al utilizar este método se toma a consideración las siguientes hipótesis:

1. Se mantiene constante el calor específico del fluido.
2. La continuación de procesos es similar a las del motor real
3. La relación de compresión debe ser la misma.
4. La aportación de energía por unidades de masa tiene el mismo valor que el obtenido en el trabajo real.
5. Su temperatura y su presión deben ser iguales al comenzar la compresión en el trabajo real.

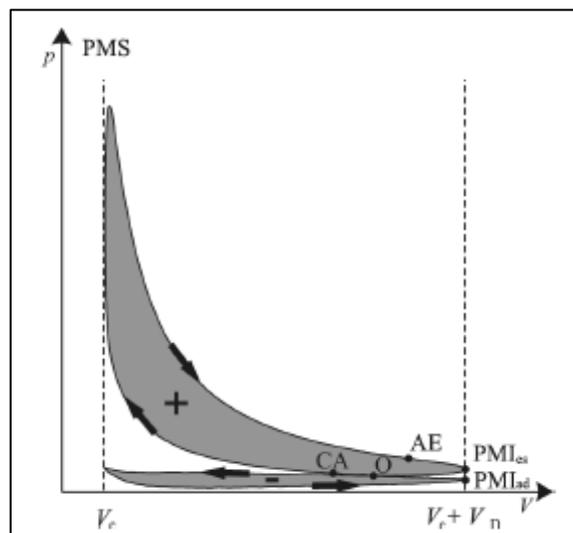


Figura 11-1. Ciclo ideal de un MCI Otto

Fuente: Payri y Desantes, 2015.

1.6.9. *Ciclo real*

En el caso de utilizar el método de ciclo real es necesario conocer que, a diferencia del ciclo teórico, este trabaja en base a esquemas de trabajo indicado el cual se obtiene con la ayuda de medidas de presión tomadas desde el cilindro, en el caso de este trabajo de titulación con la ayuda del sensor AVL, para este método dicho sensor ya toma en cuenta ciertas propiedades que el ciclo teórico no (Cornejo Narváez y Velásquez Morocho, 2020, pp.6-12).

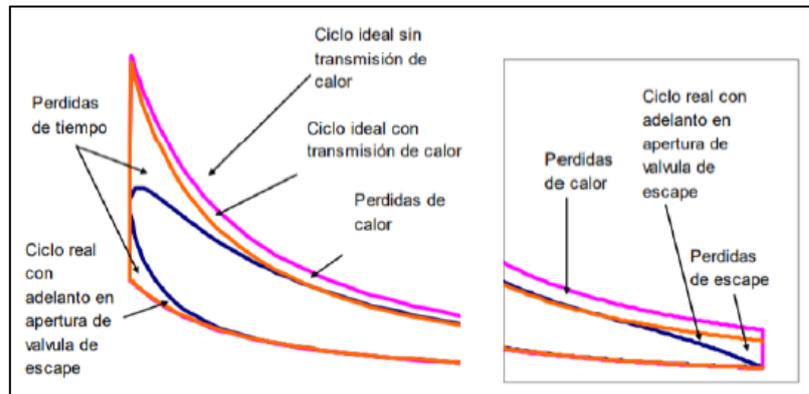


Figura 12-1. Ciclo real termodinámico

Fuente: Cornejo Narváez y Velásquez Morocho, 2020.

1.6.10. *Perdidas de energía en el ciclo ideal de un motor de ignición interna*

Las pérdidas de energía que se pueden presentar en el motor de ignición de ciclo Otto son las que evitar obtener una gráfica de ciclo ideal o teórica, es por esta razón que utilizar el método de medición de presión con el sensor AVL permitirán graficar las curvas características de un motor de la manera más real posible, es decir, nos indicarán exactamente como se da este proceso en el motor. Como se mencionó anteriormente la digitalización de las mediciones obtenidas por el sensor AVL es de mucha ayuda ya que nos permiten conocer las prestaciones del motor (Payri y Desantes, 2015, pp.57-69).

El sensor AVL trabaja independientemente de la temperatura, es decir toma sus mediciones netamente de la presión que se ejerce en la cámara de compresión, sin embargo, a continuación, se menciona las pérdidas de energía que se dan en el motor de ignición.

- **Pérdidas de temperatura.** _ el hecho que el motor se encuentre en refrigeración constante provoca pérdidas de temperatura, esto con el fin de evitar recalentamientos y que el pistón funcione de manera adecuada al producirse la combustión dentro del cilindro. Pero luego de esto, al momento que se da la admisión (ingreso de aire al cilindro) se produce una transferencia de calor inversa, es decir desde las paredes del cilindro hacia el fluido (el aire).
- **Pérdidas de bombeo.** _ el momento en el que se da la admisión y la expulsión del aire a presión constante, el aire al circular por los conductos de admisión y de escape, sufriría pérdidas de carga debido al coeficiente de rozamiento, esto en el ciclo real produciéndose una pérdida considerable de energía.
- **Pérdidas de tiempo.** _ se tiene varios factores que influyen en esta pérdida, la carrera,

propiedades del combustible, el dosado, el tamaño y forma de la cámara de compresión, la ubicación de las bujías, número de bujías por cilindro y parámetros del motor.

- **Combustión progresiva.** _ la temperatura y presión varía en el motor, esto ya que, al crearse la combustión o también llamada explosión, esta no es uniforme y progresiva, por ende, se tendrá un rendimiento variable, produciendo pérdidas.
- **Fugas.** _ las fugas en el motor de combustión interna se presentan conforme pasa el tiempo, es decir, en vehículos nuevos y bien calibrados, es casi nula la presentación de fugas, por otro lado, en los vehículos que ya cuentan con un tiempo amplio, un kilometraje extenso, es muy probable que se tenga fugas producidas por asentamiento de válvulas de admisión o de escape, por desgaste de anillos o rines, pistones y cilindros.
- **Combustión incompleta.** _ el problema que se presenta con respecto a la combustión incompleta se trata de que en ocasiones los hidrocarburos que ingresan al motor no se combustionan completamente, esto puede ser debido a problemas en la chispa de la bujía, cables de bujía en mal estado, bobinas funcionando incorrectamente o también puede ser falla del sensor MAF el cual se encarga de regular la cantidad de aire que ingresa al motor al momento de la admisión y regular la cantidad de combustible necesaria a inyectar para el momento de la ignición.

En fin, existe un amplio estudio del porque se obtienen pérdidas de energía en el motor de combustión interna, lo cual conlleva a visualizar una gráfica de curvas características diferente a la que conocemos del ciclo teórico (Cornejo Narváez y Velásquez Morocho, 2020, pp.6-12).

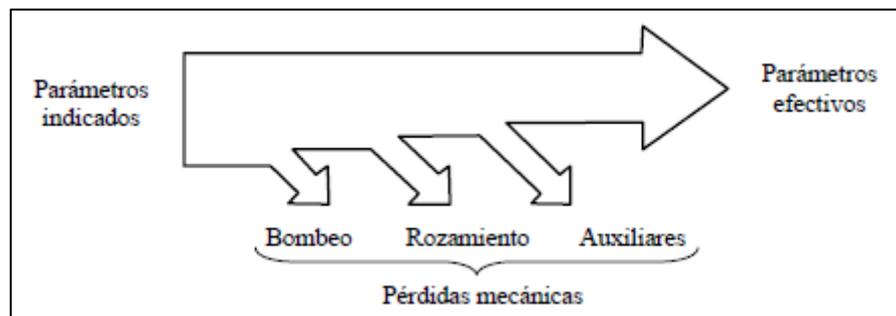


Figura 13-1. Desglose de pérdidas mecánicas en un motor

Fuente: Payri y Desantes, 2015.

1.6.11. Estudio de las características de un motor en base a la presión generada en el cilindro

El valor de presión, medido por el sensor AVL dentro del cilindro al momento en el que el pistón se encuentra en el punto muerto superior es el parámetro fundamental en lo que respecta al análisis de curvas características del motor, ya que, este describe los fenómenos del cilindro. Conforme pasa el tiempo, el análisis con respecto a bajos y altos niveles de presión dentro del cilindro se han dado con mayor frecuencia buscando una manera más sofisticada de realizar estudios a los motores de combustión interna. Es por lo cual que, con la ayuda de sensores para la obtención de

datos cuyos resultados se observarán en un ordenador que esta técnica se ha ido sofisticando y empezando a tener mayor fiabilidad y ha logrado satisfacer las demandas de precisión con las cuales se obtendrá una amplia información al analizar dichas gráficas presentadas por las curvas de presión medidas (Pischinger, 2002, pp.1-8).

1.6.12. Medición de presión

El sensor AVL envía una señal que se observa y representa en el software como una gráfica de presión versus ángulo, en la cual se analiza el nivel de presión con respecto al ángulo de giro del cigüeñal del motor. Como se conoce el motor de cuatro tiempos o ciclo Otto cumple dos giros completos de 360° cada uno para completar el ciclo, lo cual, partiendo desde el PMS (Punto Muerto Superior), luego de esto da medio giro (180°) durante la carrera de admisión, trasladando el pistón hacia el PMI (Punto Muerto Inferior), luego nuevamente da un medio giro (180°) durante la carrera de compresión, en la cual traslada el pistón nuevamente hasta el PMS completando el primer giro del cigüeñal (360°), es en este instante que se produce la ignición, también conocida como explosión, siendo el momento en el que se transmite la fuerza que empujará al pistón hasta el PMI haciendo girar al cigüeñal 180° más, para finalizar con la carrera de escape haciéndole girar al cigüeñal 180° y trasladando al pistón nuevamente hasta el PMS y culminando el ciclo al completarse el segundo giro del cigüeñal (Payri y Desantes, 2015, pp.57-69).



Figura 14-1. Ciclo Otto de Nikolaus Otto

Fuente: Universidad de Sevilla, 2015.

Con respecto a la gráfica de presión vs ángulo del cigüeñal, podemos observar dos casos, el primero y el más notorio es en el que se presenta la presión cuando se produce la combustión y la segunda que podemos observarla más pequeña en cambio se da cuando no se cuenta con ignición. El proceso en el que se produce la ignición podemos observar tres fases, en las cuales podemos especificar la presión instantánea producida por los gases dentro de la cámara de compresión, obteniendo como resultados un intervalo angular, el cual se lo conoce como ángulo de combustión (Gómez Garrido, 2017, pp.6-16).

1.6.13. Fases de la combustión

1ra fase: Tiempo de retraso: En este punto, la primera fase se presenta en el tramo entre el salto de la chispa hasta que la línea de presión se separa de la que correspondería a una compresión sin combustión, en este punto la chispa apenas se aleja de la bujía y los hidrocarburos sin combustión no se comprimen en su totalidad correspondiendo al 10% aproximadamente el ángulo de combustión.

2da fase: Fase de rápida combustión: Al llegar a este punto, los hidrocarburos ya se han combustionado en su mayoría, lo cual produce un gradiente de presión progresiva creciente hasta llegar a su punto más alto de presión. Esta segunda fase abarca casi en su totalidad el ángulo de combustión.

3ra fase: Fase de extinción de la llama: Este punto empieza cuando finaliza la fase dos, es decir, comienza en el punto máximo de presión hasta el punto en el cual la presión llega a ser de cero. Esta fase comprende el 5% del ángulo de combustión (Gómez Garrido, 2017, pp.6-16).

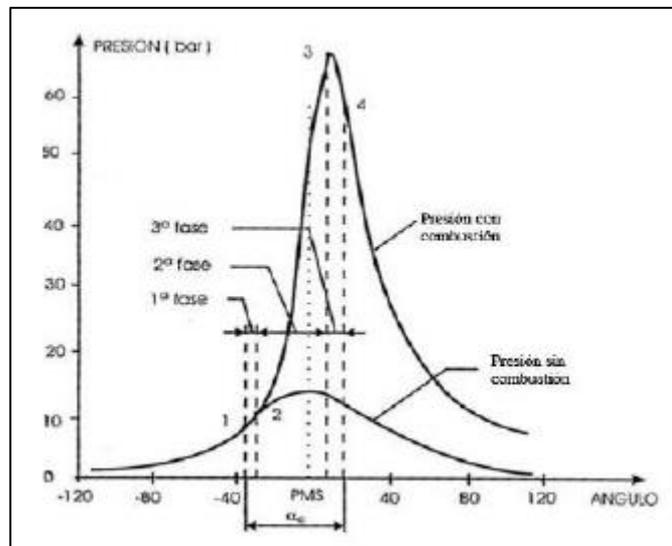


Figura 15-1. Fases de la combustión

Fuente: Gómez Garrido, 2017.

1.6.14. Trabajo

Se conoce como trabajo a la acción que produce un motor térmico, el cual en un motor de combustión interna se lo obtiene, mediante los gases producidos en la cámara del cilindro durante el Ciclo Otto, en especial los que se producen al momento de la combustión. Dicho trabajo es el resultado de ejercer una fuerza durante cierta distancia en el caso del trabajo de un motor térmico, la fuerza es producida al momento de la combustión, cuando la mezcla aire combustible junto con la chispa producida por la bujía reaccionan, producen una fuerza en la cámara de compresión empujando al pistón hacia el punto muerto inferior recorriendo toda la carrera que sería la distancia. De esta manera podemos decir que el trabajo del motor de combustión interna es el resultado de la fuerza producida en la cámara de compresión por la carrera del cilindro (Pulkrabek, 2000, pp.35-112).

Este trabajo producido es conocido como trabajo indicado, pero no es un resultado final ya que el cigüeñal no produce este trabajo, es decir entrega un trabajo menor al indicado, esto debido a que se producen pérdidas de trabajo por fricción entre sus elementos como lo es el pistón (anillos del pistón) con las paredes del cilindro, además se tiene una constante fricción entre las bancadas y el cigüeñal. Además, las cargas parásitas como lo son la bomba de aceite, el sobre alimentador y en ocasiones el compresor del aire acondicionado reduce el valor de este trabajo(Pulkrabek, 2000, pp.35-112).

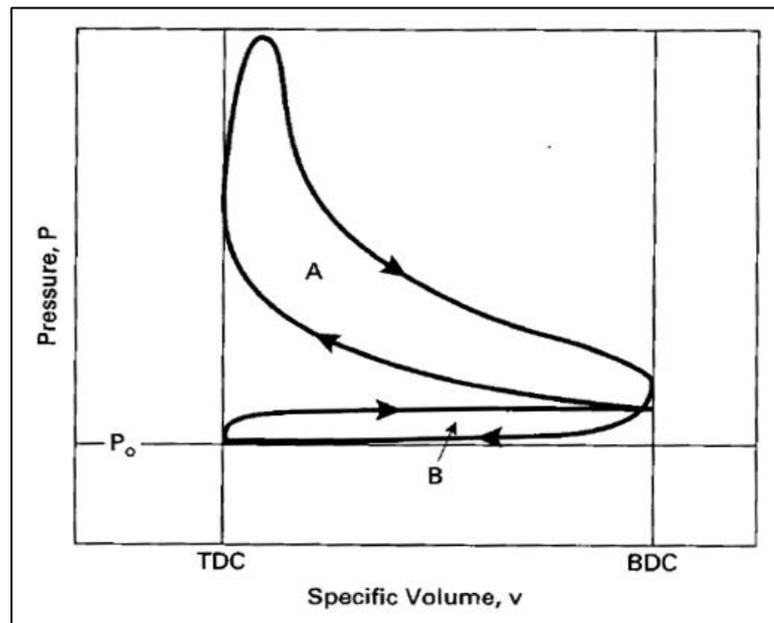


Figura 16-1. Ciclo de cuatro tiempos de un MCI trazado en P-V cuyas áreas representan la presión de admisión (A) y la presión de escape (B)

Fuente: Pulkrabek, 2000.

1.6.15. Torque

El torque en un motor de combustión interna permite conocer cuáles son las capacidades de este para producir trabajo. El torque se lo obtiene de una fuerza por una distancia, lo que lo diferencia del trabajo es que el torque se lo representa a través de un movimiento angular mientras que el trabajo de un movimiento lineal. Tomando en cuenta la primera ley de la termodinámica que nos dice que la energía no se crea ni se destruye sino solo se transforma se puede decir que el trabajo se transforma en torque a través del mecanismo biela manivela que permite girar al cigüeñal el cual es el que produce el torque en el motor tomando la fuerza producida del trabajo por la distancia del radio del cigüeñal produciendo que este gire y por ende produzca el torque(Pulkrabek, 2000, pp.35-112).

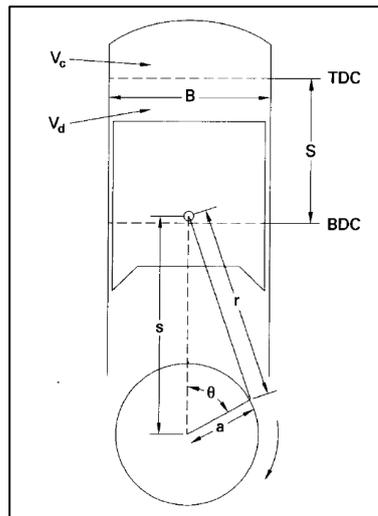


Figura 17-1. Geometría del pistón y cilindro de un motor

Fuente: Pulkrabek, 2000.

En conclusión, basándonos en la figura anterior el trabajo se lo obtiene de la fuerza producida en el volumen de la cámara (V_c) multiplicado por la distancia de la carrera (S). Mientras que el torque se lo obtiene de la multiplicación entre la fuerza producida por la combustión y la distancia del radio del cigüeñal (a).

1.6.16. Potencia

La potencia tiene el objetivo de medir la velocidad a la que se transforma la energía, es decir, al obtener la energía producida por el motor de combustión interna conforme pasa el tiempo en el cual esta se transforma aparece lo que es la potencia, esta potencia varía con respecto al tiempo porque mientras más rápida sea la transformación de la energía mayor potencia se logrará obtener del motor. Un ejemplo de esta analogía es encender gasolina vertida en un recipiente y compararla con la gasolina que se inyecta en el cilindro al momento de la combustión, cuando encendemos la gasolina vertida en un recipiente esta combustiona, pero en un tiempo muy extenso produciendo una potencia leve, por el contrario, cuando la gasolina se combustiona dentro del cilindro lo hace de manera casi instantánea es decir el proceso dura milisegundos produciendo una potencia mayor (Balladares Pico y Saeteros Amorozo, 2016, pp.1-73; Cargua Colcha y Castelo Valdivieso, 2017, pp.4-107).

1.6.17. Rendimiento Volumétrico

Se conoce que en el momento en el cual el pistón se traslada desde el punto muerto superior al punto muerto inferior se produce la carrera de admisión, en dicha carrera no se da un llenado completo de la mezcla aire combustible dentro del cilindro, debido a varios factores que se dan en el motor ya sea en el múltiple de admisión o también debido a un fenómeno llamado rarefacción lo cual es lo contrario a la compresión es decir, es una expansión del aire evitando que el cilindro llene por completo su volumen al momento de la admisión produciendo en el

mejor de los casos hasta un 80% de eficiencia volumétrica. ¿Por qué es importante el rendimiento volumétrico en el aumento de potencia del motor?. Como ya se mencionó en el literal anterior la potencia es la cantidad de trabajo realizado en un tiempo determinado el cual en el caso del motor de combustión interna es producido por la combustión que empuja el pistón hacia el punto muerto inferior debido a la presión que se genera en la cámara de compresión producido por al mezcla de aire combustible en una proporción de 14 partes de aire por 1 de combustible a lo cual se le llama mezcla estequiométrica o relación estequiométrica lo cual producirá mezcla rica o mescal pobre siendo la mezcla rica la que conlleva mayor cantidad de combustible y mezcla pobre la que conlleva menor cantidad de aire. En este punto es en donde se toma en cuenta el rendimiento volumétrico porque existen límites de trabajo ya que no se puede tener combustión en mezclas muy ricas como en mezclas muy pobres. Por ende, mientras mayor cantidad de aire ingrese al cilindro, mayor cantidad de combustible debe ser inyectado obteniendo un alto poder calorífico el cual producirá mayor trabajo, resultando un incremento en la potencia (Maldonado Sarmiento, 2013, pp.3-13); (Toala Jiménez y Vistín Castillo, 2019, pp.18-35).

1.6.18. Rendimiento Térmico

En el momento que se produce la combustión, es decir cuando la mezcla aire combustible explota mediante la chispa producida por la bujía. En la cámara de compresión se genera calor llamado energía térmica. Tomando en cuenta que los motores térmicos llegan a tener un porcentaje de 30% a 40% de eficiencia térmica lo que nos indica que por cada gramo de combustible que se transforma en energía solamente aprovechas un 30% o 40% de la eficiencia térmica que se transformará en energía mecánica y por ende en potencia. Un ejemplo de cómo actúa la eficiencia térmica en el motor de combustión interna es el siguiente: suponiendo que un motor tiene 30% de eficiencia térmica y una potencia de 100 HP, si se le aumenta la eficiencia termina a un 60% es decir el doble de lo que se tenía al principio, su potencia aumentará de igual manera, en este caso llegaría a tenerse 200 HP de potencia lo cual es muy difícil de realizarlo por eso este ejemplo es solo con el fin de darse a entender cómo influye la eficiencia térmica en el incremento de la potencia (Loor Miño, 2016, pp.5-35; Toala Jiménez y Vistín Castillo, 2019, pp.18-35).

A continuación, se analizan dos ecuaciones del rendimiento térmico:

$$n_{termico} = 1 - \frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2}$$

Donde:

- T1 = Admisión (Temperatura a la que ingresa la mezcla)
- T2 = Compresión (Temperatura alcanzada por la compresión)
- T3 = Combustión (Temperatura obtenida por la combustión)
- T4 = Escape (Temperatura a la que salen los gases de escape)

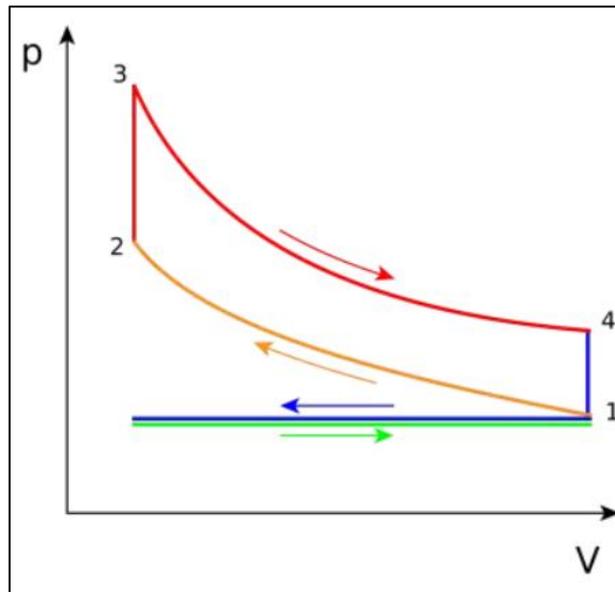


Figura 18-1. Grafica termodinámica presión del ciclo Otto

Fuente: Planas, 2012.

Basándose en la ecuación del rendimiento térmico se tienen dos maneras de mantener el 100% de la eficiencia térmica ya sea disminuyendo el valor del numerador y el otro aumentando el valor del denominador. En la ecuación el 100% de la eficiencia está representado por el uno, en el denominador tenemos el valor de la temperatura de combustión el cual no va a variar por el combustible que utilizamos. Y la temperatura de compresión la cual si podremos variar mediante la relación de compresión. Por otro lado, en el numerador tenemos la temperatura de los gases de escape y la temperatura obtenida en la admisión, para disminuir este valor sería necesario aumentar la temperatura de la admisión lo cual afecta al rendimiento volumétrico, porque al aumentar la temperatura al momento de la admisión disminuye la densidad de la mezcla produciendo que el cilindro no se llene correctamente. Con respecto a temperatura de los gases de escape no podría modificarse ya que estos son una consecuencia de lo que se produce en la combustión por ende no se podrían realizar cambios en este.

$$n_{volumétrica} = 1 - \frac{1}{[RC]^{k-1}}$$

Donde:

- RC = Relación de compresión
- k = Calor específico del aire

La siguiente ecuación muestra que si es posible aumentar el rendimiento térmico de un motor, como ya se explicó anteriormente la relación de compresión está ligada a la temperatura de compresión T2 en la ecuación anterior, basándonos en la ley de Gay Lussac que nos indica que al aumentar la cantidad de presión aumenta la temperatura dada, en el motor aumentará la temperatura de T3 la cual se da en la combustión haciendo a este proceso ser más violento y produciendo mayor trabajo lo que lleva a tener valores mayores de torque y por ende mayor

potencia.

1.6.19. Rendimiento mecánico

El rendimiento mecánico es un tema en el que la tecnología se ha enfocado bastante, este rendimiento se basa en los accesorios del motor como lo son el alternador, bomba de agua, bomba de aceite dirección hidráulico o el compresor del aire acondicionado. Poco a poco las grandes empresas han ido investigando la manera de reducir el esfuerzo que debe hacer el motor para mover dichos accesorios, de esta manera las bombas tanto de refrigerante como de aceite se han reemplazado por bombas eléctricas disminuyendo de esta forma el esfuerzo del motor y por ende incrementando el rendimiento mecánico (Toala Jiménez y Vistín Castillo, 2019, pp.18-35).

1.6.20. Curvas característica

La obtención de las curvas características de un motor de combustión interna permite a toda persona que desee conocer las prestaciones, emisiones o los parámetros de funcionamiento de interés de un motor de combustión interna, esto, de una manera en la que se las representan mediante una gráfica, en dicha gráfica se puede determinar un intervalo de uso del motor, por lo general en términos de régimen, par, potencia, el consumo o rendimiento y las emisiones específicas, con ello se logra proporcionar al usuario detalles del funcionamiento dentro de dicho rango en el que está operando el motor (Payri y Desantes, 2015, pp.57-69).

1.6.20.1. Curvas características de torque

Teniendo claro lo que son los conceptos básicos antes mencionados se puede analizar las curvas de torque en la cual podemos decir que es la fuerza aplicada en la cabeza del pistón al momento de darse la combustión, será la limitante que nos permita observar el torque máximo producido por el motor de combustión interna con respecto a las revoluciones del cigüeñal, dicho valor de revoluciones está limitado por los parámetros geométricos del motor de combustión interna. La gráfica muestra un incremento de torque hasta cierto punto, en el cual se mantiene, esto es muy favorable para la mantención de la potencia ya que mientras esta sea más constante mejor será la adquisición de potencia, para finalizar después de esto el torque decae nuevamente, es aquí que nos damos cuenta que el torque del motor no solo depende de la eficiencia térmica, la cual es constante sino también depende de la eficiencia volumétrica ya que el motor al aumentar las revoluciones, el tiempo de apertura y cierre de válvulas es menor evitando de esta manera que el llenado del cilindro sea el adecuada provocando que su excesiva velocidad reduzca el volumen de llenado disminuyendo la energía producida por la combustión, el trabajo del motor y por ende se menora el torque (Pulkrabek, 2000, pp.35-112).

1.6.20.2. Curvas características de potencia

Estas curvas dependen tanto del torque como de las revoluciones del motor, lo que quiere decir que la potencia es igual al torque multiplicado por las revoluciones del motor además de otros fenómenos físicos ya que como podemos observar, a medida que el torque aumenta la potencia también lo hace, en el punto en el que el torque se mantiene la potencia continua

incrementándose, esto debido a que las revoluciones del motor siguen aumentando y como se dijo anteriormente la potencia es la multiplicación del torque y las RPM por ende a pesar de tener una potencia constante la gráfica de potencia continua aumentando hasta llegar al punto en el cual el torque empieza a decaer, pero podemos observar que la potencia no lo hace, este efecto se da porque conforme el número de revoluciones aumente la potencia también lo haga. Finalmente, la gráfica decae en el momento en el que el tiempo de apertura y cierre de válvulas sea tan rápido que no le permita tener una gran entrada de mezcla aire combustible es decir baja eficiencia volumétrica(Pulkrabek, 2000, pp.35-112).

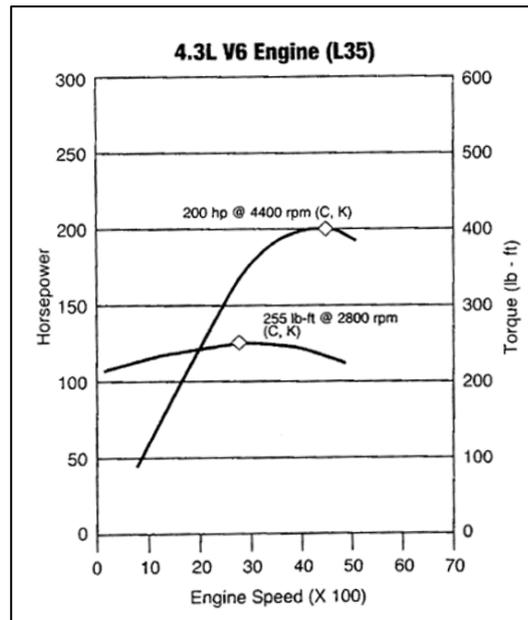


Figura 19-1. Curvas de torque y potencia

Fuente: Pulkrabek, 2000.

1.6.20.3. Curvas características de velocidad

En este punto el motor trabaja a un grado de carga constante, indicado por una representación dada en función del régimen de giro, siendo las aplicaciones de automoción las más comúnmente utilizadas de las curvas en plena carga, esto corresponde a las máximas capacidades de un motor. La representación de estas graficas son el par conjuntamente con la potencia que entrega el motor, cuando el acelerador esta accionado a su máximo, con esto lo que se debe determinar de una manera sencilla, son los puntos de interés a que régimen se dan exactamente(Payri y Desantes, 2015, pp.57-69).

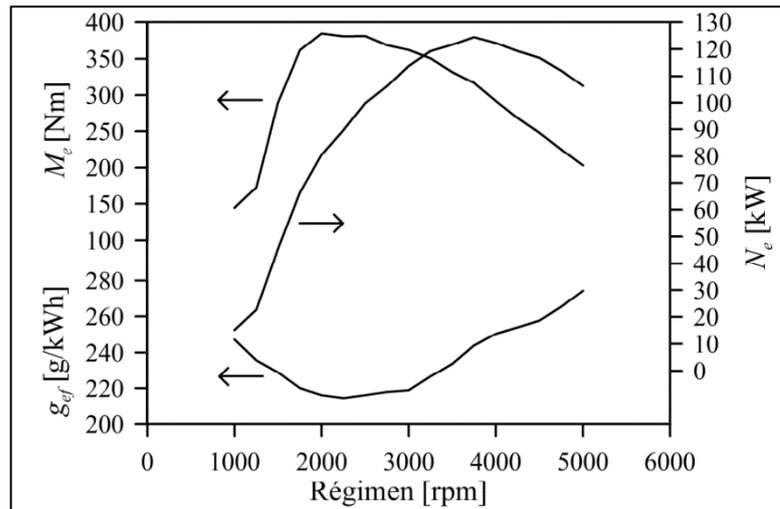


Figura 20-1. Curvas de plena carga de un motor sobrealimentado MEC

Fuente: Payri y Desantes, 2015.

1.6.20.4. *Curvas características multiparamétricas*

En dichas curvas se representa la variación de uno o más parámetros de interés, dicha variación se obtiene en función de más de una variable que se encuentre operando, como ya se conoce, en las aplicaciones de automoción las variables independientes más comunes son: el régimen de giro y la presión media efectiva, con esto se logra obtener mapas bidimensionales del comportamiento del motor a carga parcial. En dichos mapas lo más común es representar las curvas características de isoconsumo, isopotencia, isoemisiones, etc(Cargua Colcha y Castelo Valdivieso, 2017, pp.4-107).

En conclusión, las tres categorías fundamentales de parámetros que se emplean son: parámetros geométricos, parámetros de funcionamiento y, parámetros indicados y efectivo. Los parámetros geométricos permiten definir la forma y tamaño de los elementos más característicos del motor. Los parámetros de funcionamiento se encargan en definir el estado de operación del motor, esto lo realiza a través de variables que pueden ser medidas experimentalmente, con estos parámetros se puede conocer si el motor está operando dentro de su rango de funcionamiento adecuado. Los parámetros indicados y efectivo, permiten caracterizar las emisiones del motor en un determinado punto de operación(Payri y Desantes, 2015, pp.57-69).

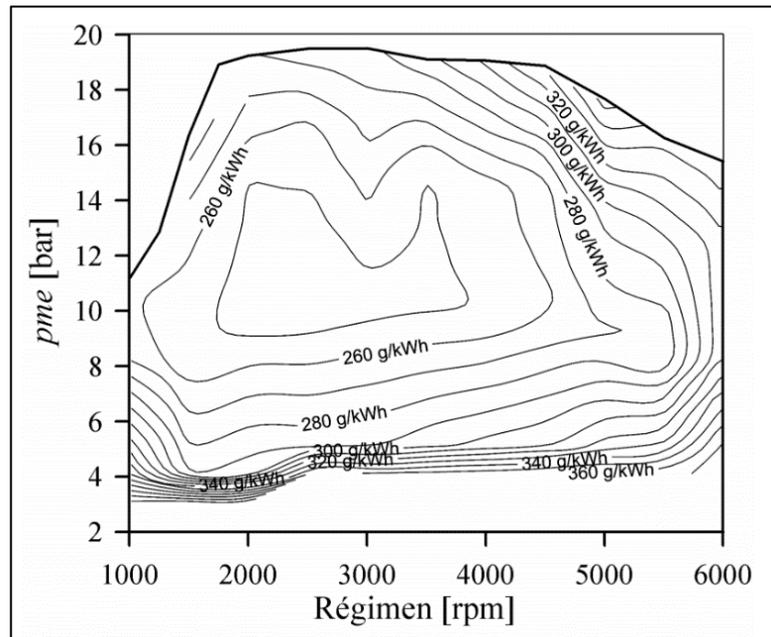


Figura 21-1. Curvas características del motor sobrealimentado MEP

Fuente: Payri y Desantes, 2015.

CAPÍTULO II

2. Marco Metodológico

2.1. Método inductivo-deductivo

El método inductivo-deductivo está conformado por dos procedimientos inversos: inducción y deducción. La inducción es una forma de razonamiento en la que se pasa del conocimiento de casos particulares a un conocimiento más general, que refleja lo que hay de común en los fenómenos individuales. Su base es la repetición de hechos y fenómenos de la realidad, encontrando los rasgos comunes en un grupo definido, para llegar a conclusiones de los aspectos que lo caracterizan. Las generalizaciones a que se arriban tienen una base empírica (Pérez Jacinto y Rodríguez Jiménez, 2017, pp.10-12).

Este método ha sido muy efectivo a lo largo de la historia para avanzar en el conocimiento científico en las áreas de las ciencias naturales y exactas. Es el método base del paradigma positivista de investigación, pues, al partir de evidencias empíricas, alegan sus defensores, está despojado por completo del subjetivismo. Este procedimiento inductivo ha sido potenciado por los positivistas como el único válido para generar conocimientos y en la actualidad también se utiliza con mucha frecuencia por las ciencias sociales como vía esencial de construir conocimientos desde el terreno investigativo. Pero ello no debe llevar a confusión, porque las ciencias sociales involucran otros fenómenos que difieren de los que son objeto de estudio de las ciencias naturales y por tanto su aplicación mecánica puede conducir a conclusiones que se alejen de la realidad estudiada (Pérez Jacinto y Rodríguez Jiménez, 2017, pp.10-12).

Otro procedimiento utilizado para la obtención de conocimientos es el razonamiento deductivo. Tuvo su origen entre los filósofos griegos. Aristóteles y sus discípulos lo implantaron como un proceso del pensamiento en el que, de afirmaciones generales, se llegaba a afirmaciones particulares que aplicaban las reglas de la lógica. Mediante este procedimiento, se organizan hechos conocidos y se extraen conclusiones mediante una serie de enunciados, conocidos como silogismos, que comprenden: la premisa mayor, la premisa menor y la conclusión (Dávila Newman, 2006, pp.180-205); (Pérez Jacinto y Rodríguez Jiménez, 2017, pp.10-12).

Mediante la deducción se pasa de un conocimiento general a otro de menor nivel de generalidad. Las generalizaciones son puntos de partida para realizar inferencias mentales y arribar a nuevas conclusiones lógicas para casos particulares. Consiste en inferir soluciones o características concretas a partir de generalizaciones, principios, leyes o definiciones universales. Se trata de encontrar principios desconocidos, a partir de los conocidos o descubrir consecuencias desconocidas, de principios conocidos; por ejemplo, obtener conclusiones prácticas referentes al comportamiento de alguna sustancia, en función de un principio o ley general que allí se aplica (Pérez Jacinto y Rodríguez Jiménez, 2017, pp.10-12).

Así, de lo más general, se realizan deducciones lógicas que originan nuevas regularidades, principios y leyes de menor grado de generalidad que las de partida. De esta forma, se reestructura o reajusta el sistema teórico, conceptual o metodológico de la propuesta de solución al problema científico. Así, el conocimiento se integra en un sistema con una estructura jerarquizada de regularidades, principios y leyes, pues en la cima de esta estructura se situarían las regularidades, los principios y las leyes de mayor grado de abstracción, generalidad y fuerza lógica, a partir de los cuales se deducen los que contienen en menor grado estos atributos (Dávila Newman, 2006, pp.180-205); (Pérez Jacinto y Rodríguez Jiménez, 2017, pp.10-12).

La inducción y la deducción se complementan mutuamente: mediante la inducción se establecen generalizaciones a partir de lo común en varios casos, luego a partir de esa generalización se deducen varias conclusiones lógicas, que mediante la inducción se traducen en generalizaciones enriquecidas, por lo que forman una unidad dialéctica. De esta manera, el empleo del método inductivo-deductivo tiene muchas potencialidades como método de construcción de conocimientos en un primer nivel, relacionado con regularidades externas del objeto de investigación (Pérez Jacinto y Rodríguez Jiménez, 2017, pp.10-12).

Por ende, el presente trabajo de investigación tiene como objetivo obtener las curvas características del motor de combustión interna, aplicando dos métodos de obtención como es el trabajo efectivo y el trabajo indicado, con el fin de analizar dichas curvaturas y poder determinar que método de obtención se recomendara para futuras toma de muestras.

2.2. Método científico

El presente estudio de investigación se desarrolla a través del método científico, en el cual se dice que es el camino a continuar, orientado por un grupo de normas, un orden de operaciones y

métodos de los que se vale una ciencia, praxis o arte para alcanzar determinados resultados. En donde el modo de conocer y proceder que tiene la ciencia, adopta el nombre de método o procedimiento científico. Donde el método científico es considerado una metodología para obtener nuevos conocimientos, que ha caracterizado históricamente a la ciencia y que se apoya en la observación sistemática, medición, experimentación, formulación, estudio y modificación de conjetura (Pagliaro Romero, 2020, pp.8-10).

Las principales características que tiene el método científico como válidos para el estudio del trabajo investigativo son; la falsabilidad, la reproductibilidad y la repetibilidad de los resultados, corroborada por revisión por pares. Por ello el presente trabajo de investigación se desarrolla bajo las características de observación y experimentación.

Donde la observación es la adquisición activa de la información desde el sentido de la vista. Se trata de una actividad elaborada por un ser vivo que detecta y asimila los aspectos de un factor usando sus sentidos como artefactos primordiales. El concepto además se puede referir a cualquier dato recogido a lo largo de esta actividad. El primer paso del procedimiento experimental, requisito de la indagación científica, es hacer visualizaciones de la naturaleza, sea con trabajo de laboratorio o con trabajo de campo (Pagliaro Romero, 2020, pp.8-10).

También se debe saber que la experimentación, es el procedimiento común de las ciencias experimentales y las tecnologías, se apoya en el análisis de un fenómeno, reproducido principalmente en un laboratorio, en las condiciones particulares de análisis que interesan, eliminando o introduciendo esas cambiantes que logren influir en él. Se comprende como variable o constantemente cambiante a todo fenómeno o causa que genere cambios en uno o más productos de un experimento (Pagliaro Romero, 2020, pp.8-10).

Por esta razón, el presente estudio de investigación, se lo aborda con el método científico, debido a que se emplea un estudio de manera práctico con los equipos AVL de la Facultad de Mecánica, conjuntamente con el dinamómetro marca Borghi & Saveri que se encuentra en el Laboratorio de Motores de Combustión Interna, con el fin de conocer cómo operan dichos equipos para la toma de muestras y con ello poder visualizar las curvas características de un motor de combustión interna.

2.3. Método Cuantitativo

El método cuantitativo o método tradicional se fundamenta en la medición de las características de los fenómenos sociales, lo cual supone derivar de un marco conceptual pertinente al problema analizado, una serie de postulados que expresen relaciones entre las variables estudiadas de forma deductiva. Este método tiende a generalizar y normalizar resultados (Aguilar Ávila et al., 2017, pp.1603-1617; Pelekais, 2000, pp.347-352).

Mientras en su forma general la investigación cuantitativa parte de cuerpos teóricos aceptados por la comunidad científica, la investigación cualitativa busca conceptualizar sobre la realidad, con base en la información obtenida de la población o las personas estudiadas.

Si bien durante años estos métodos asumieron posiciones antagónicas, en tanto que los cualitativos aún no tienen el amplio reconocimiento general de la comunidad científica clásica, cada vez con mayor frecuencia se reconoce que uno y otro tienen puntos fuertes y débiles. Algunos expertos consideran que en una investigación lo indicado es dar prioridad a las técnicas y los instrumentos que ofrezcan mayor capacidad para generar conocimiento válido. Cada más a menudo se corrobora que para el estudio de los aspectos sociales, ninguno de los dos métodos tiene validez universal para resolver satisfactoriamente los problemas de investigación (Aguilar Ávila et al., 2017, pp.1603-1617; Pelekais, 2000, pp.347-352).

La investigación tiene un enfoque cuantitativo, ya que para la configuración tanto, para el dinamómetro, como para el software AVL IndiCom, es necesario conocer las especificaciones técnicas del motor a ser estudiado. En este caso el motor es de la marca Chevrolet que pertenecía a un Aveo Emotion del año de fabricación 2008, cuyo cilindraje es de 1600 centímetros cúbicos del cual se analizan sus curvas características, como son: la potencia, par motor y consumo específico de combustible de dicho motor, con el que se evaluó por medio de un análisis documental. Con el fin de llegar a comparar los dos métodos de obtención de las curvas características de motor y conocer que método es más preciso, es decir presente un menor grado de margen de error.

2.4. Esquema de procedimiento para la obtención de las curvas características de un motor de combustión interna

En el presente esquema podemos tener una idea de cómo debemos realizar el procedimiento para poder obtener las curvas características de un motor de combustión interna, aplicando los dos métodos de obtención como es el trabajo efectivo y el trabajo indicado que se lo irá detallando a continuación en el documento de investigación.

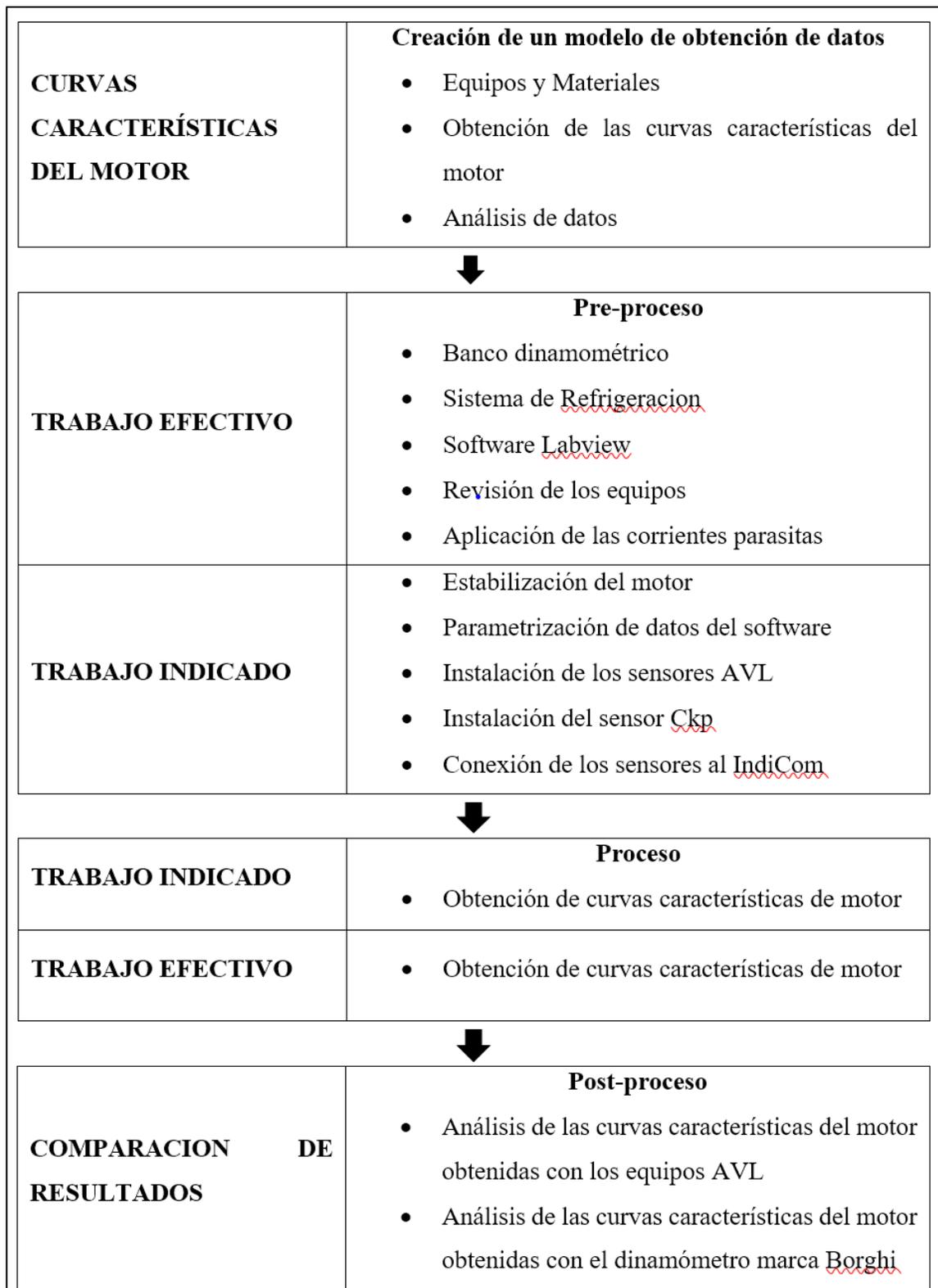


Figura 1-2. Diagrama de flujo

Realizado por: Fonseca Rosales, Jonathan; Granizo Revelo, Junior, 2022

2.5. Procedimiento para la obtención de las curvas características del motor de combustión interna mediante el método del trabajo efectivo

2.5.1. Banco dinamométrico

El banco dinamométrico es un equipo que en la industria automotriz se emplea para conocer el comportamiento de un motor de combustión interna, dicho comportamiento lo mide con la obtención de datos que permitirán graficar las curvas de torque o par motor, potencia y consumo específico de combustible a determinadas revoluciones por minuto, las mismas que serán evaluadas posteriormente (Balladares Pico y Saeteros Amorozo, 2016, pp.1-73); (Chancusing Sarzosa y Jaitia Chicaiza, 2013, pp.3-18).

Por ello el banco dinamométrico dispone de un freno dinamométrico, dicho freno genera un par resistente proporcionando una carga al motor, cabe recalcar que, como característica primordial, esta carga debe ser variable y con ello permite ensayar las distintas condiciones operativas del motor. Esto lo obtendremos debido a que el dinamómetro funciona en el principio del freno electromagnético, quiere decir que en sus interiores posee un estator y un rotor (Chancusing Sarzosa y Jaitia Chicaiza, 2013, pp.3-18).



Figura 2-2. Banco Dinamométrico Borghi & Saveri

Realizado por: Fonseca Rosales, Jonathan; Granizo Revelo, Junior, 2022.

El estator está montado dentro de una carcasa circular del dinamómetro, y el rotor se acopla al motor de combustión interna con la ayuda de una junta de cardan; cuando el rotor gira, a consecuencia del mismo giro que provoca el motor de combustión interna, el estator está sujeto al campo magnético que es generado cuando se hace circular corriente eléctrica por las bobinas del estator. Cuando el rotor gira, esta corta las líneas de fuerzas generando corrientes parásitas, dichas corrientes parásitas generan fuerzas en sentido opuesto al giro del rotor, denominado par resistivo (Chancusing Sarzosa y Jaitia Chicaiza, 2013, pp.3-18).

2.5.2. *Freno eléctrico de corrientes parásitas*

El dinamómetro marca Borghi & Saveri, el cual obtiene las curvas características del motor por medio de las corrientes parásitas, con este método el cual funciona con la intensidad de campo, se lo controla variando la corriente que pasa por una serie de bobinados, que están ubicados a cada lado del disco que actúa como un conductor que corta el campo magnético, al inducir corriente este se calienta por no poseer un circuito externo (Balladares Pico y Saeteros Amorozo, 2016, pp.1-73); (Chancusing Sarzosa y Jaitia Chicaiza, 2013, pp.3-18).

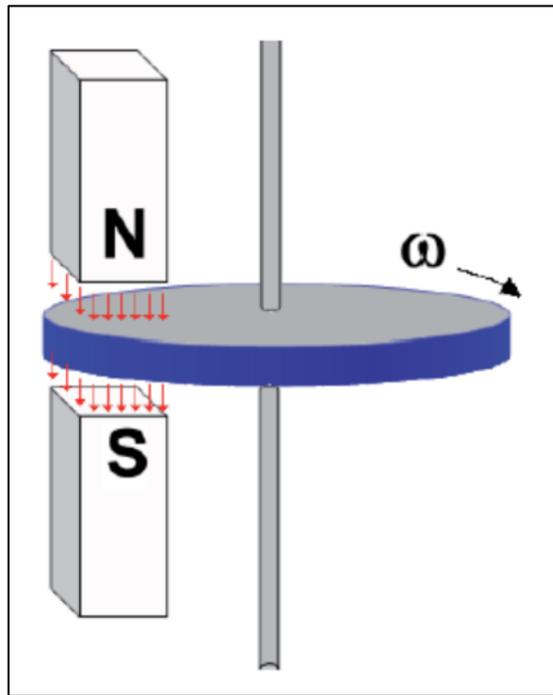


Figura 3-2. Freno eléctrico de corrientes parásitas

Fuente: Chancusing Sarzosa y Jaitia Chicaiza, 2013.

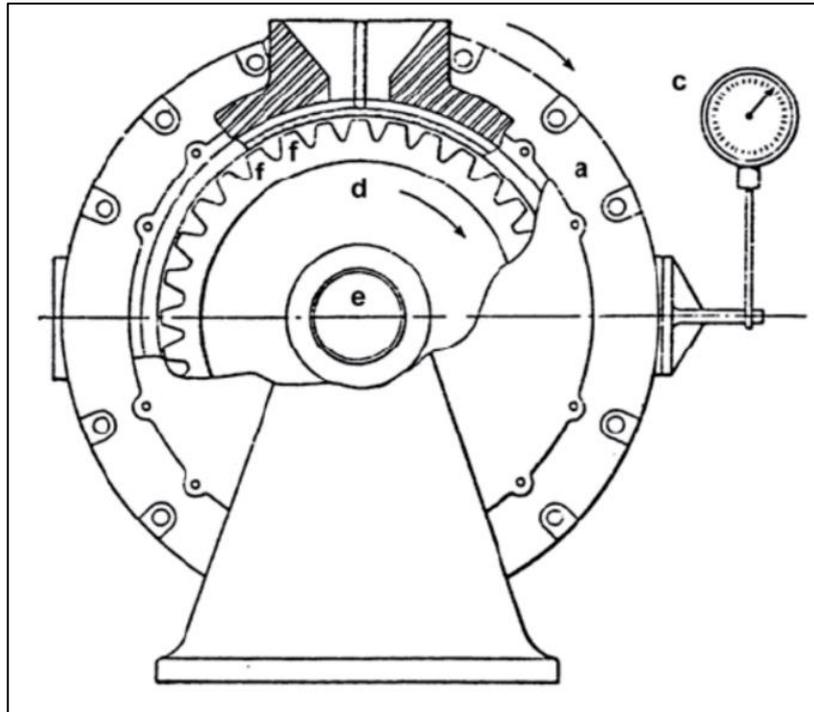


Figura 4-2. Vista de corte de un freno dinamo-métrico de corrientes parásitas

Fuente: Chancusing Sarzosa y Jaitia Chicaiza, 2013.

Como se puede observar en la Figura 4-2, el estator o cubierta (a) se soportan en los cojinetes (b) debido a lo cual cualquier tendencia del estator a girar se lee en la báscula acoplada (c). A un lado del estator, está el rotor (d) acuñado al eje (e) y provisto de dientes (f) que pasan bastante alrededor del área lisa del estator, una vez que se hace girar al rotor, el flujo penetra en él, primordialmente por los extremos de los dientes. Mientras dichos se mueven hacen que las líneas de flujo magnético se curven en todo el hierro del estator; el flujo induce las corrientes parásitas en el estator y tienden a realizarlo girar en la misma dirección del eje(Chancusing Sarzosa y Jaitia Chicaiza, 2013, pp.3-18).

2.5.3. *Principio de funcionamiento*

El principio de frenado es la construcción de corrientes parásitas por un rotor dentado que gira en el seno de un campo magnético estacionario, producido por un electroimán anular y que constituye el estator del freno. Las corrientes parásitas se generan en el sector del estator enfrente a los dientes del rotor, y se expresan a modo de calor, que es eliminado por el agua de refrigeración. El par frenante es regulado variando la excitación de la bobina del estator, con resolución fundamentalmente infinita, y con una alta rapidez de contestación. Como en cualquier freno dinamo-métrico, el estator es basculante sobre 2 rodamientos y transmite, por lo cual, íntegramente el par motor a una célula de carga extensométrica(Chancusing Sarzosa y Jaitia Chicaiza, 2013, pp.3-18).

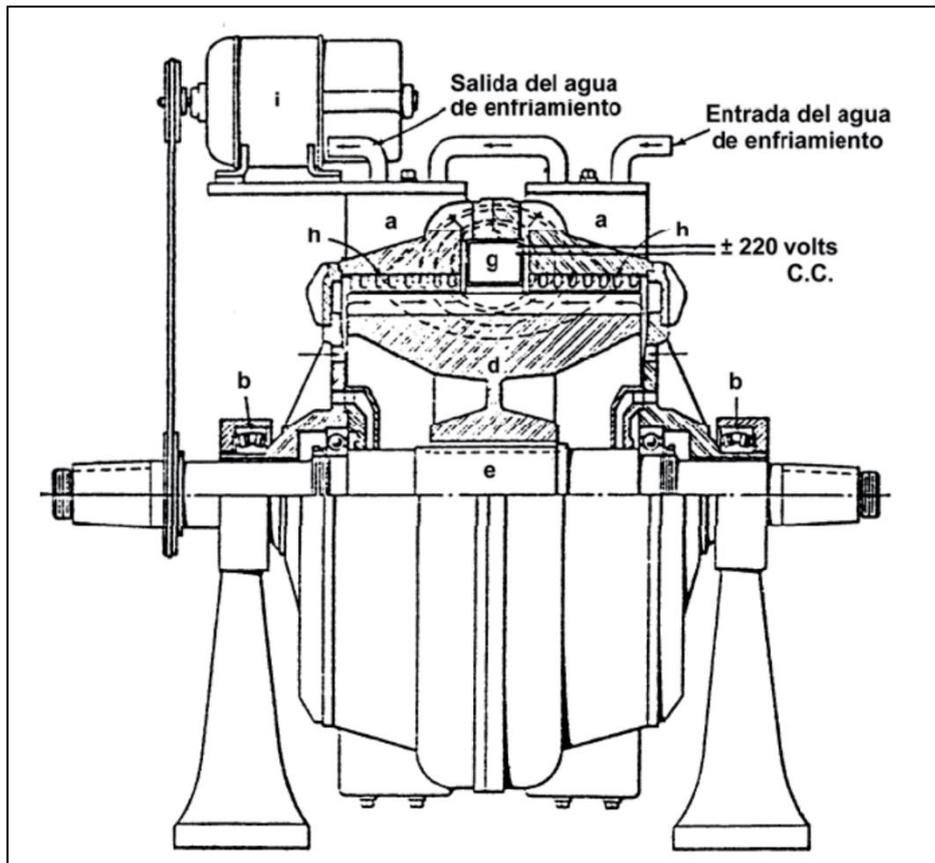


Figura 5-2. Vista de corte de un freno dinamométrico por corrientes parásitas

Fuente: Chancusing Sarzosa y Jaitia Chicaiza, 2013.

2.5.4. Transmisión

Como se puede observar en las Figuras 6-2 y 7-2 el eje de transmisión posibilita la conexión del freno dinamométrico con el motor, brindando una determinada elasticidad y capacidad de absorber desalineaciones ocasionadas por el desplazamiento y vibraciones del equipo. Para enlazar el banco con el motor se necesita conectar el árbol del cardán con el freno, el otro extremo del árbol del cardán sin embargo se conecta por medio de un acoplamiento flexible el cual va unificado con ayuda de una base metálica al volante del motor de combustión interna (Balladares Pico y Saeteros Amorozo, 2016, pp.1-73); (Chancusing Sarzosa y Jaitia Chicaiza, 2013, pp.3-18).



Figura 6-2. Eje de Transmisión

Realizado por: Fonseca Rosales, Jonathan; Granizo Revelo, Junior, 2022.

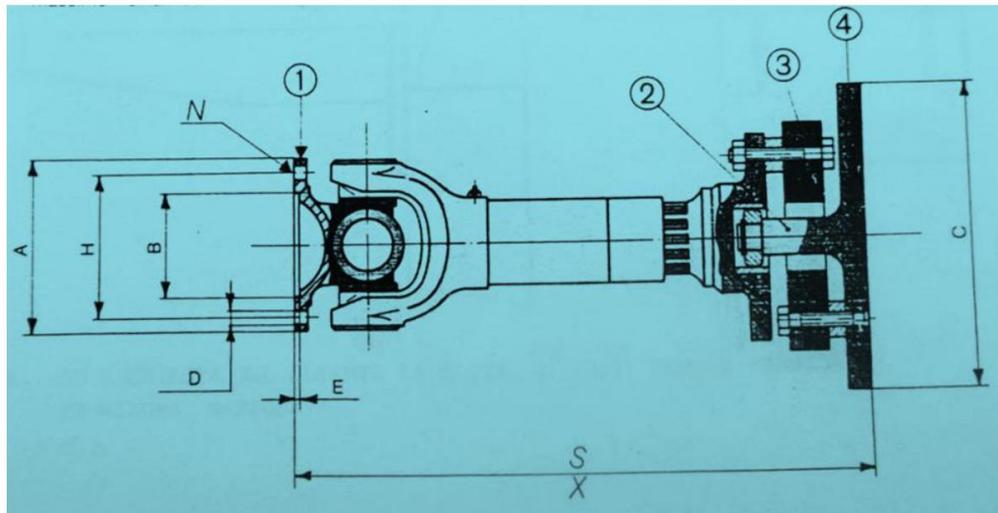


Figura 7-2. Partes del Eje de transmisión

Fuente: Chancusing Sarzosa y Jaitia Chicaiza, 2013.

- (1) Acoplamiento metálico del freno al cardán
- (2) Punta de centro
- (3) Acoplamiento flexible
- (4) Acoplamiento metálico que conecta el eje al motor de prueba

Tabla 1-2: Medidas del eje de transmisión

Tipo de Freno	A	H	B	E	C	S	X	D	N	B°	Peso	MT	Giro Max
											Kg	Kgm	RPM
FA 200 SP	120	102,5	75 - H7	2,5	200	388	448	8	8	1°	14,8	60	8000

Fuente: Chancusing Sarzosa y Jaitia Chicaiza, 2013.

2.5.5. Sistema de refrigeración del banco

Los frenos dinamométricos convierten toda la energía mecánica que reciben del motor en calor. Este calor es eliminado por el sistema de refrigeración del freno que frecuenta ser por medio de un abasto constante de agua. El sistema de refrigeración por agua es imprescindible para obtener el adecuado manejo del freno, por lo cual, la instalación de las tuberías (1), bomba de agua (2), complementos (3), dispositivos de estabilidad (4) y un motor eléctrico (5); indicadas en la Figura 8-2, deben estar conforme con la potencia absorbida y la alteración de temperatura a la que el banco a lo largo de la prueba está sometido (Balladares Pico y Saeteros Amorozo, 2016, pp.1-73); (Chancusing Sarzosa y Jaitia Chicaiza, 2013, pp.3-18).



Figura 8-2. Bomba de agua y tuberías del sistema de refrigeración del banco dinamométrico

Realizado por: Fonseca Rosales, Jonathan; Granizo Revelo, Junior, 2022.

2.5.6. Descalsificador o ablandador de agua

Una vez que el agua tiene una porción significativa de calcio y magnesio, es llamada agua rígida. El agua rígida es famosa por taponar las tuberías y complicar la separación de detergentes en agua. El ablandamiento del agua es una técnica que sirve para remover los iones que hacen que el agua sea tiesa, por lo general iones de calcio y magnesio. Un ablandador de agua colecta los minerales que ocasionan la dureza y los tiene en un tanque colector y éste es ocasionalmente limpiado de su contenido. El ablandador de agua consta con las próximas piezas, como se puede valorar en la Figura 9-2 (Chancusing Sarzosa y Jaitia Chicaiza, 2013, pp.3-18).

- (1) Filtro de agua

- (2) Descalsificador de agua
- (3) Cañerías
- (4) Mandos

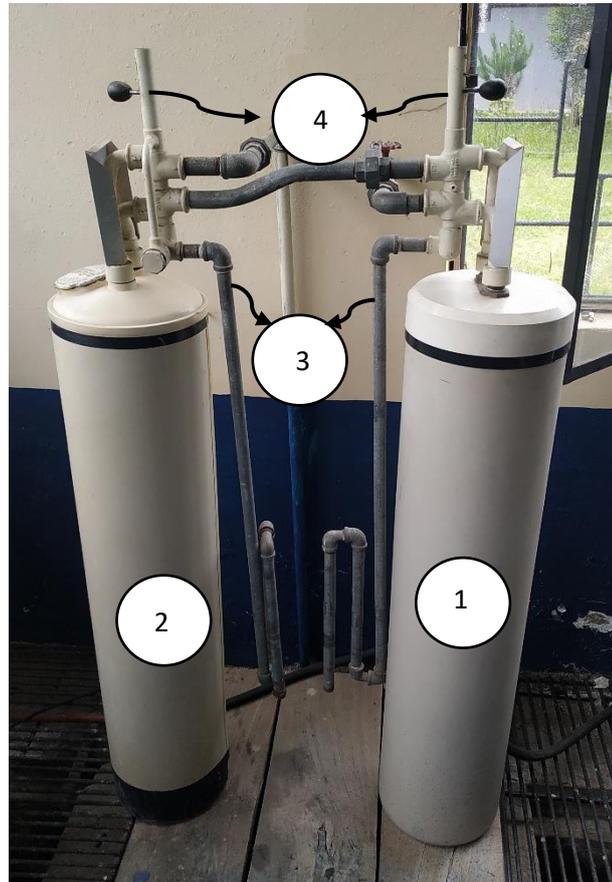


Figura 9-2. Descalsificador o ablandador de agua

Realizado por: Fonseca Rosales, Jonathan; Granizo Revelo, Junior, 2022.

2.5.7. *Software Labview*

Esta interfaz de programación va a permitir realizar diferentes pruebas con el motor de combustión interna, gracias a que posee íconos intuitivos que permitirá su fácil manejo, para la obtención de las curvas características del motor interna como es las curvaturas de torque, potencia y consumo específico del motor. Como se puede observar en la Figura 10-2, para proceder a las pruebas de medición y obtención de estas gráficas, se debe dar clic en el botón prueba(Mera Villavicencio y Valdivieso Feijoo, 2011, pp.38-43).



Figura 10-2. Interfaz de inicio del banco dinamométrico

Realizado por: Fonseca Rosales, Jonathan; Granizo Revelo, Junior, 2022.

Una vez dentro del interfaz, nos saldrá un mensaje como advertencia en el cual nos recomienda tener ya encendida la bomba de agua, establecer temperaturas de referencia y tener cuidado para poder realizar las pruebas, aceptando dicha recomendaciones. Podemos observar en la Figura 11-2 antes de poder empezar a realizar la prueba en la opción de puertos, deben escoger los puertos usb que se van a utilizar para la transferencia de datos que proviene de la tarjeta de adquisición de datos DAQ USB-6009, ya tomado los puertos usb se refresca la ventana del software.

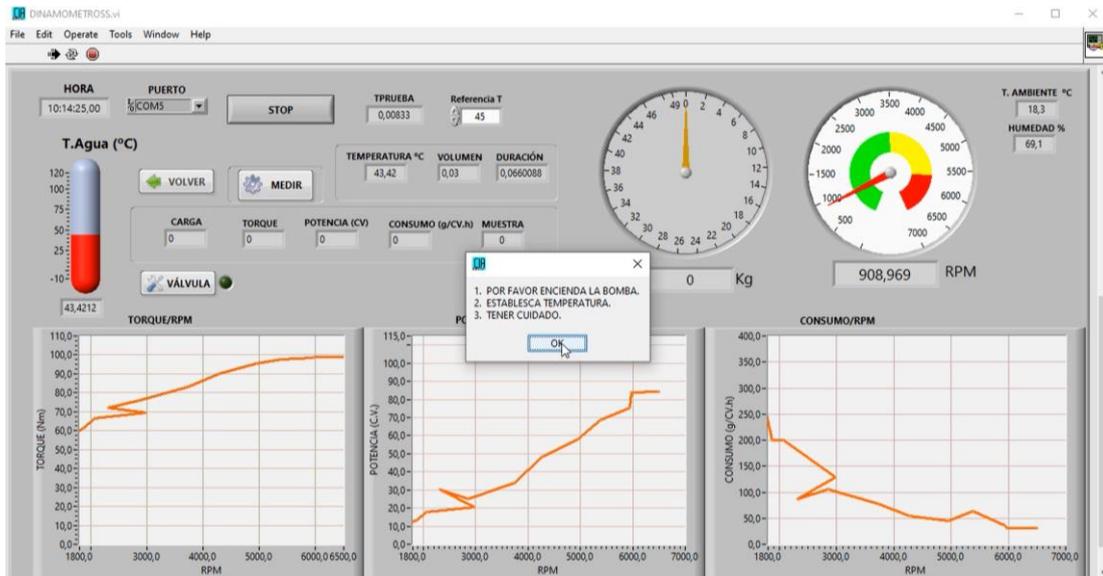


Figura 11-2. Dinamómetro Digitalizado

Realizado por: Fonseca Rosales, Jonathan; Granizo Revelo, Junior, 2022.

Ya detectados los puertos usb, como se puede observar en la Figura 11-2, estarán marcando ya los valores como la temperatura y humedad del ambiente, las RPM a las que se encuentra el motor de combustión interna, cabe recalcar que la temperatura óptima para la toma de muestras se lo debe realizar en un rango de 40 a 50 °C, dicha temperatura se la toma con una sonda que se

encuentra ubicada en la salida de la tubería del sistema de refrigeración del motor, y con ello tenemos la opción de poner una temperatura de referencia a la cual los operarios de la toma de muestras pueden colocar, para la activación de la válvula eléctrica que permitiera ingresar al sistema de refrigeración agua fresca, con el fin de evitar que el motor se sobrecaliente en algunos casos se funda.

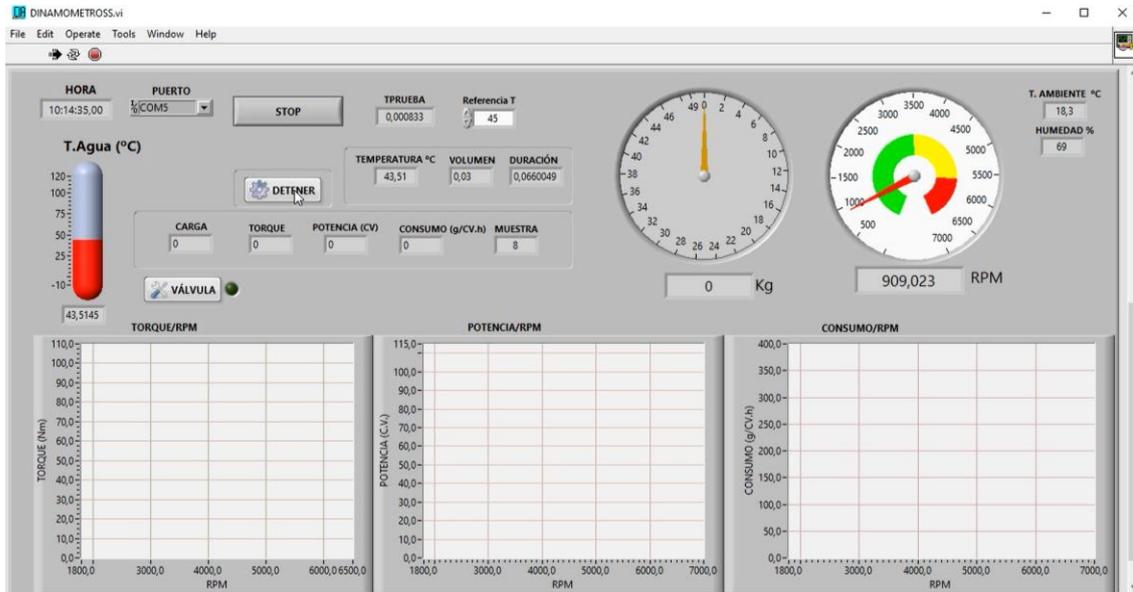


Figura 12-2. Interfaz gráfica del dinamómetro

Realizado por: Fonseca Rosales, Jonathan; Granizo Revelo, Junior, 2022.

Como se puede observar en la Figura 12-2 en la parte inferior, se tiene tres secciones en donde se van a graficar las curvas de torque, potencia y consumo específico del motor de combustión interna, dichas secciones tienen sus propias unidades de medición en el eje de las “Y”, y en el eje de la “X” todas están en base a la R.P.M del motor, esto se debe a que las muestras que se tomen, son en tiempo real, por ende son únicas.

2.6. Procedimiento para la obtención de las curvas características del motor de combustión interna mediante el método de trabajo indicado

La importancia y la necesidad de conocer las prestaciones que ofrece un motor de combustión interna conlleva analizar, buscar y renovar diferentes tecnologías que permitan conocer diversos datos de sus prestaciones, conforme se han dado las investigaciones se ha logrado conocer que la presión que se ejerce dentro de la cámara de compresión son el parámetro central que describe los fenómenos que se producen dentro del cilindro es decir, ofrece ciertos datos de un motor como lo es el torque, la potencia y el consumo de combustible de un motor de combustión interna. Es por esta razón que se desarrollan los equipos AVL, con el fin de obtener datos mucho más precisos con un menor margen de error (Pischinger, 2002, pp.1-8).

2.6.1. Equipos AVL

- Indicador de presión.
- Crank Angle Encoder

- IndiMicro
- Universal Pulse Conditioner
- Software AVL IndiCom

A continuación, se detallarán cada uno de estos equipos.

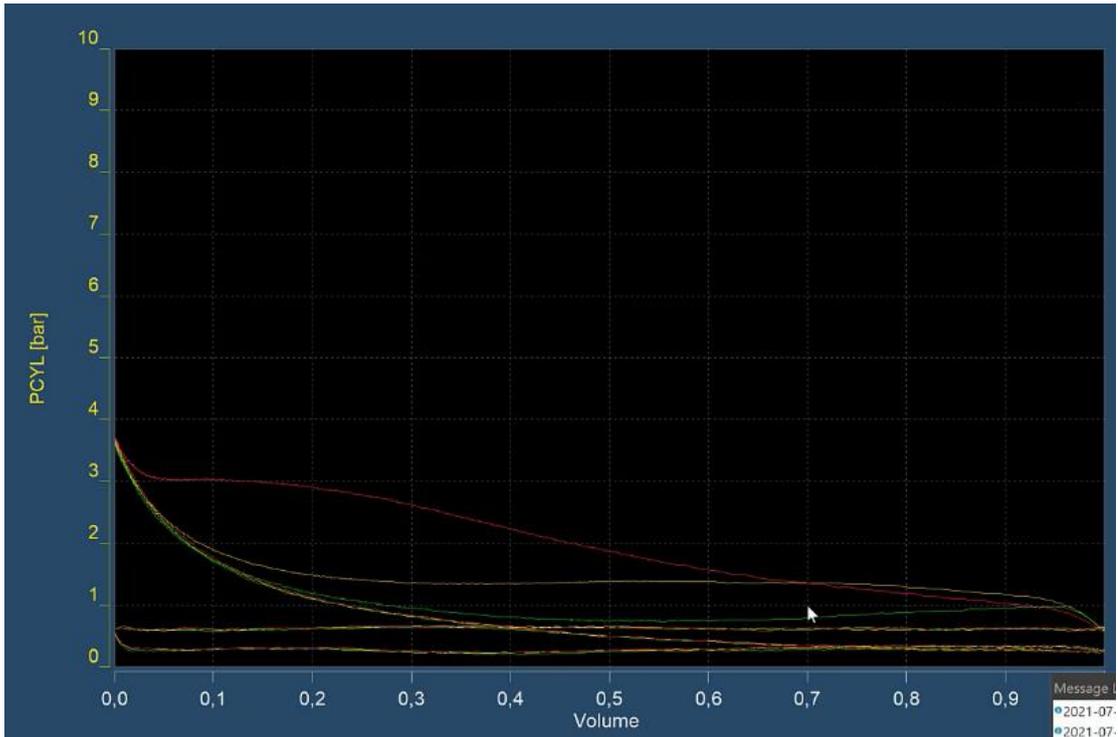
2.6.2. *Indicador de presión*

El indicador de presión utilizado en los equipos AVL no es más que una bujía especial, la cual cuenta con un sensor como se puede ver en la Figura 13-2, este sensor al posicionarse en la bujía AVL ingresa en la cámara de compresión y mide la cantidad de presión que se produce dentro de esta durante el ciclo OTTO del motor de combustión interna, de esta manera se puede obtener las gráficas de presión volumen del motor como podemos observar en la Gráfica 1-2.



Figura 13-2. Indicador de presión

Realizado por: Fonseca Rosales, Jonathan; Granizo Revelo, Junior, 2022.



Gráfica 1-2. Presión vs Volumen

Realizado por: Fonseca Rosales, Jonathan; Granizo Revelo, Junior, 2022.

En la actualidad, la medición de la presión producida por un motor a formado parte fundamental en el análisis para la optimización de la combustión siendo este un método eficiente y que además reduce el margen de error en la obtención de datos. Cabe mencionar que aparte de la utilización de los sensores utilizados es necesario contar con una adquisición de datos asistida por ordenador esto le da un grado mucho más alto de sofisticación, que nos permite obtener información mediante el análisis de las diferentes curvas que se pueden obtener con el valor de presión medida (Pischinger, 2002, pp.1-8).

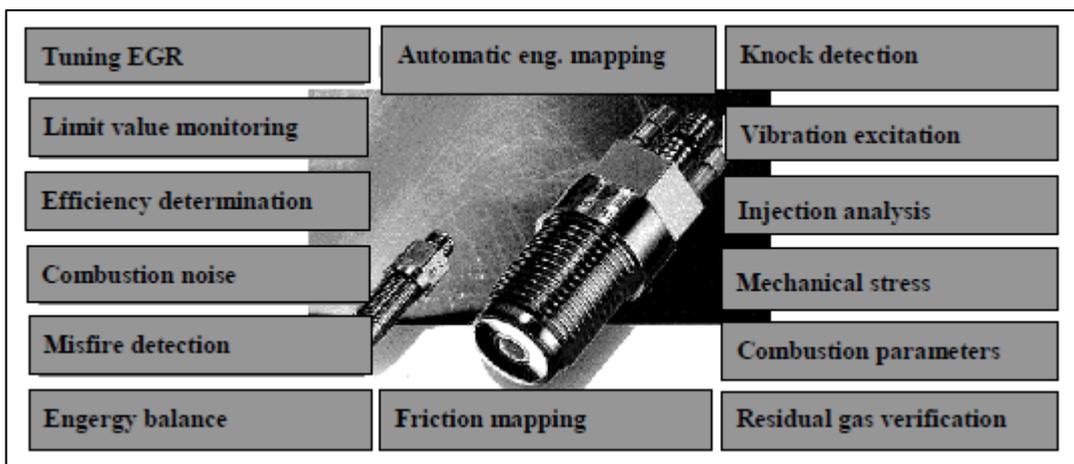


Figura 14-2. Áreas de aplicación de la tecnología de indicación

Fuente: Pischinger, 2002.

Para el análisis de las curvas de torque y potencia del motor con el cual se trabaja en el presente trabajo de titulación es necesario conocer el valor alto de presión producida por el motor, este

valor se lo logra obtener gracias al sensor de presión que se tiene en la bujía, dicho sensor es un transductor de presión piezoeléctrico y es el que nos permitirá medir la cantidad de presión producida en la cámara de compresión del cilindro. La gráfica que se obtendrá con el indicador de presión se basa en el ángulo de giro del cigüeñal por ende a continuación se nos indica la gráfica presión vs ángulo del cigüeñal obtenida para el presente trabajo de titulación.

2.6.3. Crank Angle Encoder

El crank angle encoder o traducido codificador de ángulo de manivela es un equipo el cual va colocado en la parte frontal del motor ajustado al cigüeñal, este equipo nos permitirá obtener toda medida relacionada al ángulo del cigüeñal de un motor de combustión interna. Consta de un codificador de ángulo, un acondicionador de señal y finalmente un terminador de línea. El crank angle encoder es capaz de generar 3 señales rectangulares de tipo TTL siendo una señal de ángulo del cigüeñal que es posible ajustar su resolución, una señal de disparo relacionada con el ángulo del cigüeñal y una última señal de resolución fija que nos permiten conocer el sistema de gestión del motor o su velocidad al momento de realizar las pruebas(Kistler Instrumente AG, 2010, pp.1-4).

Su funcionamiento se basa en convertir el “Angulo” de impulsos analógicos en señales eléctricas digitales esto utilizando una polea de diente perdido, dichas señales llegan a ser evaluadas por unos contadores conectados, microprocesadores o sistemas de procesamiento de datos que logran determinar la posición y velocidad de un eje(AVL List GmbH, 2017^a, pp.11-34).

Los equipos AVL llegan a ser costosos, por esta razón se optó por no adquirir dicho crank ángel encoder y basándose en su funcionamiento se ha optado por buscar una forma de reemplazarlo utilizando materiales que están a nuestro alcance y que cumplan con la misma función es por eso que se a fabricado una polea que cuenta con un número específico de dientes (60 – 2) y que con la ayuda de un sensor CKP cumplan con la función que tenía el crank ángel encoder es decir convertir los impulsos analógicos y transformarlas en señales eléctricas estas de una manera eficiente y que nos permita cumplir con los objetivos propuestos.



Figura 15-2. Polea de diente perdido (60 - 2)

Realizado por: Fonseca Rosales, Jonathan; Granizo Revelo, Junior, 2022.

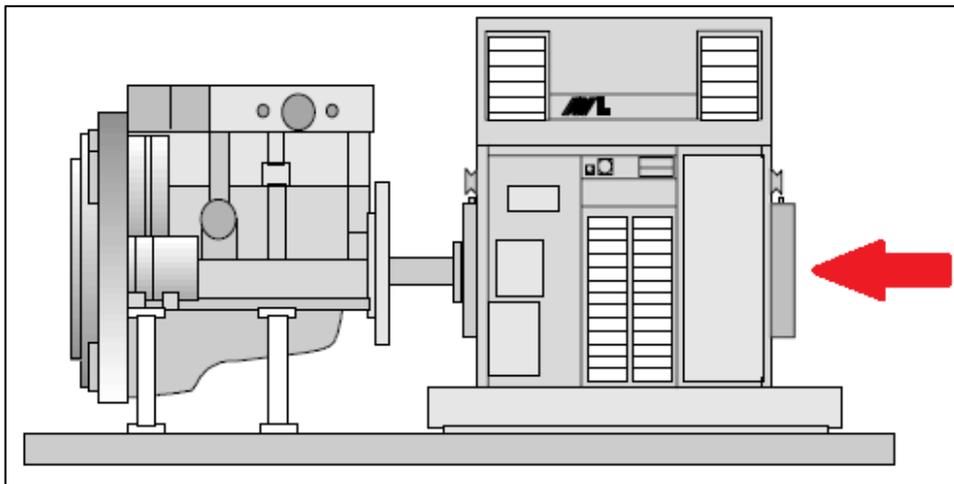


Figura 16-2. Lugar donde se colocará la polea y el sensor CKP en el dinamómetro

Fuente: AVL List GmbH, 2017a.

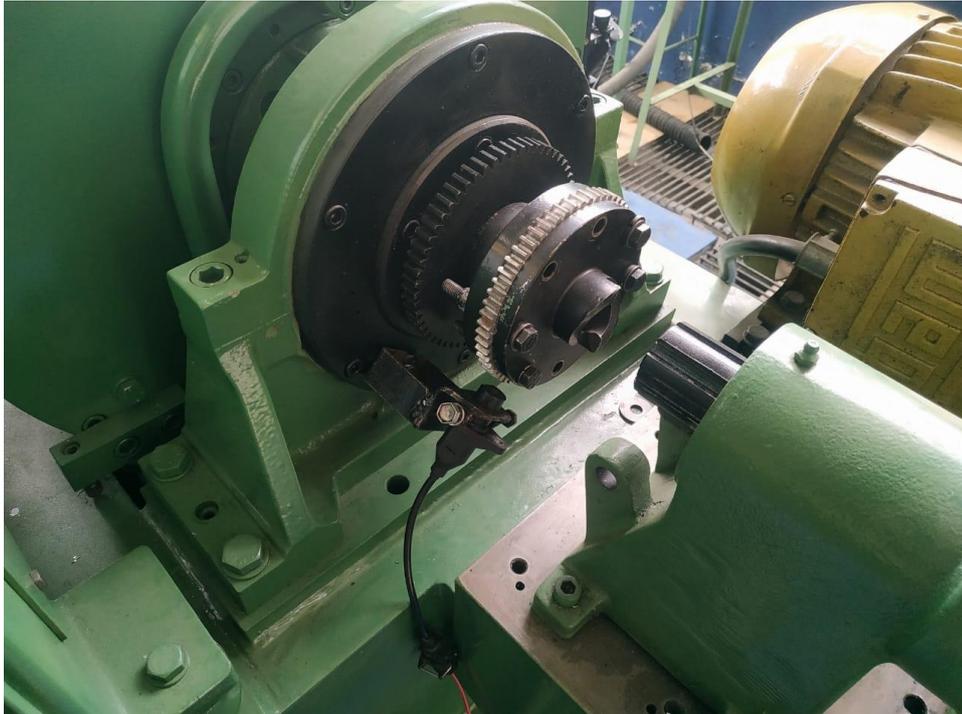


Figura 17-2. Polea de diente perdido y sensor CKP ubicados en posición de trabajo

Realizado por: Fonseca Rosales, Jonathan; Granizo Revelo, Junior, 2022.

2.6.4. *IndiMicro*

El IndiMicro permite amplificar un gran número de datos además de permitir una amplia gama de aplicaciones móviles, este equipo posee cuatro entradas analógicas y dos entradas digitales que aceptaran la información de pinzas amperimétricas de tipo preacondicionadas y multiplexadas lo cual permite que el equipo registre información necesaria la cual se sincronizará con la señal del crank angle encoder. El IndiMicro se conecta al ordenador mediante un cable Ethernet Gigabit permitiendo la transferencia de datos de una manera rápida permitiendo ser analizados por el ordenador con la ayuda del software AVL IndiCom(AVL LIST GMBH, 2020, pp.7-126).

2.6.4.1. *Conexiones del AVL IndiMicro*

Vista frontal

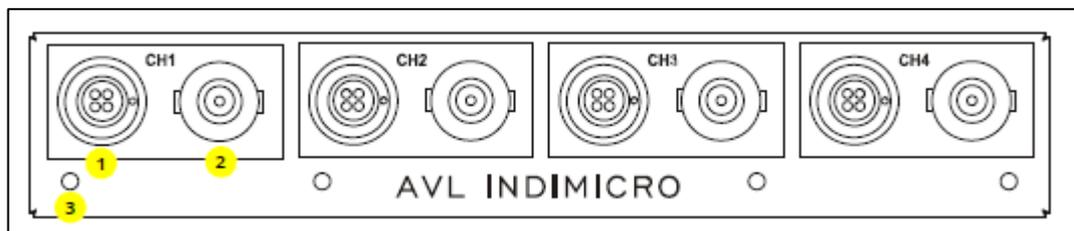


Figura 18-2. IndiMicro vista frontal esquemática

Fuente: AVL List GmbH, 2018.

1. Toma Fischer

Este enchufe cuenta con 4 pines que permiten tomar datos de transductores de presión (AVL SDC) o entradas para señales de tensión (mediante un cable adaptador BV4665)

2. Toma BNC

Esta conexión BNC permite tomar datos de presión cuyos conectores son de tipo BNC

3. Señal LED

Este led nos indica el estado de los canales del amplificador mostrando tres colores de los cuales:

- **VERDE:** Indica que su estado es operativo regular.
- **NARANJA:** Indica que su comunicación con el ordenador y por ende con el software se encuentra en funcionamiento.
- **ROJO (parpadeante):** Indica que dicho canal se encuentra saturado o que su voltaje de entrada se encuentra fuera del rango permitido el cual está entre 10 y -10 voltios(AVL List GmbH, 2018, pp.9-22).



Figura 19-2. AVL IndiMicro vista frontal real

Realizado por: Fonseca Rosales, Jonathan; Granizo Revelo, Junior, 2022.

Vista posterior

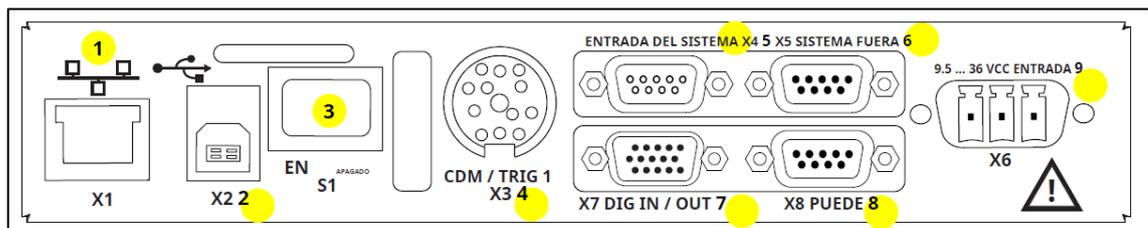


Figura 20-2. IndiMicro vista posterior esquemática

Fuente: AVL List GmbH, 2018.

1. X1

Conexión Ethernet a PC

- LED derecho en conector RJ45.
Indicador de estado para enlace Ethernet: VERDE: Transmitir datos
- LED izquierdo en conector RJ45.
AMARILLO: 1000Mbits
VERDE: 100 Mbits

2. X2

Conexión USB (Utilizado solamente con fines de servicio)

3. Switch de encendido y apagado

4. CDM / TRIG 1 – X3

Permite la comunicación del IndiMicro con el Universal Pulse Conditioner

5. Entrada del sistema - X4

Entrada para la sincronización de otra unidad de adquisición de datos.

6. Salida del sistema - X5

Salida para sincronizar otra unidad de adquisición de datos

7. DIG IN / DIG OUT – X7

Conexión de salida de relé y entradas / salidas TTL, conexión para cable TRIG / CDM BV 4776

8. CAN – X8

Interfaz de bus CAN en tiempo real.

9. Conexión de la fuente 9.5... 36 VCC Entrada – X6

Alimentación de 9.5 a 36V CC(AVL List GmbH, 2018, pp.9-22).



Figura 21-2. IndiMicro vista posterior real

Realizado por: Fonseca Rosales, Jonathan; Granizo Revelo, Junior, 2022.

2.6.5. *Universal Pulse Conditioner*

El Universal Pulse Conditioner permite adaptar las señales obtenidas por los sensores de posición angular en este caso la brindada por la polea y el sensor CKP ubicados en el dinamómetro que se conecta al motor de combustión interna como también convierte las señales que se obtienen con la pinza amperimétrica esto con el fin de obtener señales digitales que permitan medir la sincronización del encendido y la inyección(AVL List GmbH, 2011, pp.9-30).

Este equipo puede trabajar con sensores de tipo hall como sensores de tipo inductivo como lo es en este caso ya que al utilizar un sensor CKP conocemos que su señal será inductiva, el sensor se conecta al Universal Pulse Conditioner para que este pueda leer los datos de la posición del ángulo como se nombrado en la primera parte a continuación, envía los datos al IndiMicro para que de

esta forma se puedan mostrar los resultados en el ordenador y podamos trabajar correctamente(AVL List GmbH, 2011, pp.9-30).

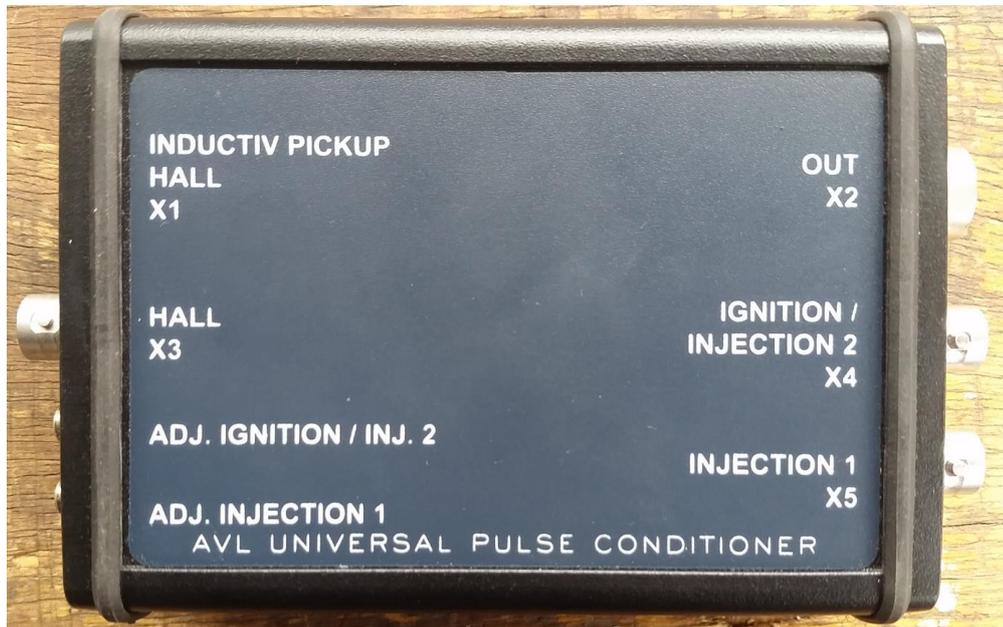


Figura 22-2. Universal Pulse Conditioner

Realizado por: Fonseca Rosales, Jonathan; Granizo Revelo, Junior, 2022.

2.6.5.1. *Conexiones del AVL Universal Pulse Conditioner*

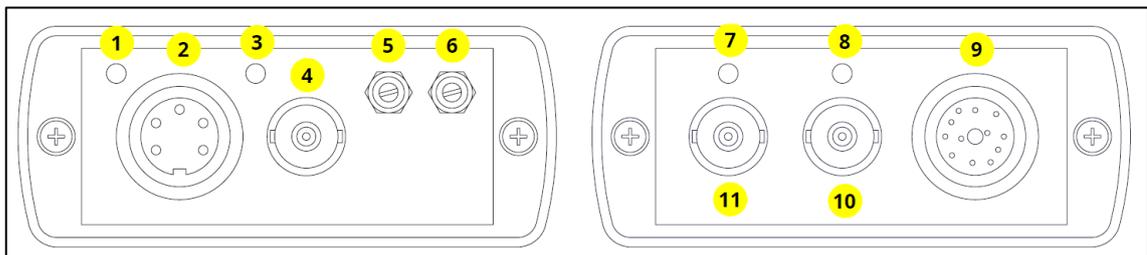


Figura 23-2. Universal Pulse Conditioner vista frontal y posterior esquemática

Fuente: AVL List GmbH, 2011.

1. LED rojo / verde

Indica la alimentación de tensión y el estado operativo del procesador de señales digitales.

ROJO: Indica que el procesador de señales digitales no está listo para funcionar.

VERDE: Indica que el procesador de señales está listo para funcionar.

2. Recogida inductiva, HALL – X1

Esta entrada nos permite recoger señales inductivas analógicas como de efecto hall.

3. LED

Permite monitorear la recogida de la señal inductiva o de la señal de efecto hall.

Cuando el LED está encendido indica que se obtiene señal digital.

Cuando el LED está apagado indica que no se obtiene señal digital.

4. HALL – X3

Conexión de una señal de sensor de efecto HALL

5. ADJ. Encendido / inj.2

Potenciómetro para ajustar la ganancia entre X1 y X11 de la señal aplicada en el enchufe X4

6. ADJ. Encendido 1

Potenciómetro para ajustar la ganancia entre X1 y X11 de la señal aplicada en el enchufe X5

7. LED

Permite monitorizar la señal de inyección 1

8. LED

Permite monitorizar la señal de encendido / iny. 2

9. Salida X2

Conexión al enchufe CDM / TRIG 1 la cual se mencionó anteriormente en el IndiMicro ya que es esta la conexión que permite comunicarse el Universal Pulse Conditioner y el IndiMicro con el fin de proporcionar los datos del ángulo del cigüeñal proporcionado por la polea y el sensor CKP.

10. Encendido / Inyección - X4

Conexión para una pinza amperimétrica que sujeta la línea de control de encendido o a una segunda línea de control de inyección.

11. Inyección 1 – X5

Conexión para pinza amperimétrica sujeta a la línea de control de inyección(AVL List GmbH, 2011, pp.9-30).



Figura 24-2. Universal Pulse Conditioner vista frontal y posterior real

Realizado por: Fonseca Rosales, Jonathan; Granizo Revelo, Junior, 2022.

2.6.6. *Conexión entre el Universal Pulse Conditioner y el IndiMicro.*

Como se ha mencionado anteriormente el Universal Pulse Conditioner se conecta con el IndiMicro, esto se da mediante un cable de conexión el cual se conecta desde la salida X2 del Universal Pulse Conditioner hasta la entrada X3 del IndiMicro para que después se pueda obtener las lecturas de la posición del ángulo, el IndiMicro recibe estas señales y las envía al ordenador para su análisis respectivo(AVL List GmbH, 2011, pp.9-30).

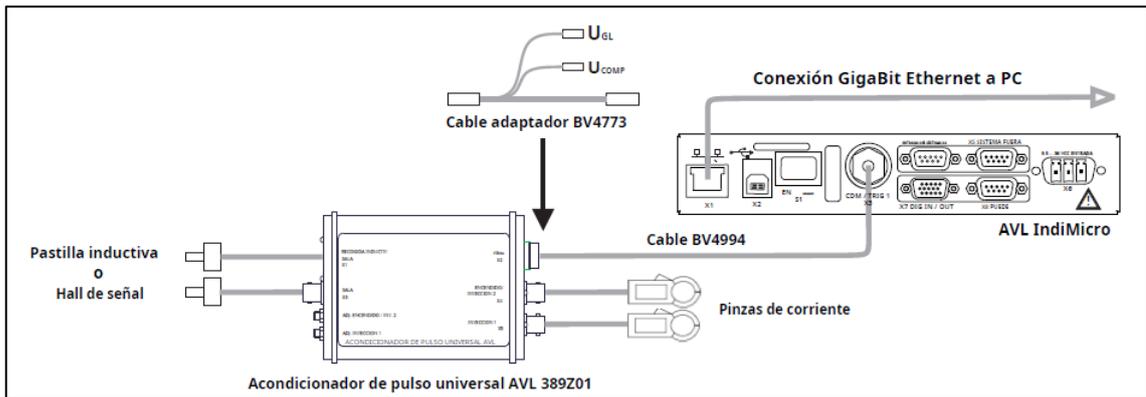


Figura 25-2. Conexión entre en Universal Pulse Conditioner y el IndiMicro para una medición con un captador inductivo o un sensor Hall

Fuente: AVL List GmbH, 2011.

2.6.7. Software AVL IndiCom

El software AVL IndiCom permitirá observar los resultados obtenidos por el IndiMicro y los demás equipos en un ordenador, de esta manera el operador podrá analizar los parámetros con los que un motor cuenta como lo es torque, potencia y consumo específico en el caso de este trabajo de titulación, para ello, tanto el ordenador como el software necesitan ser configurados con el fin de que estos se puedan comunicar con el IndiMicro y con el motor respectivamente (AVL List GmbH, 2020, pp.7-126).



Figura 26-2. Software IndiCom

Realizado por: Fonseca Rosales, Jonathan; Granizo Revelo, Junior, 2022.

2.6.7.1. Configuración del ordenador.

Para poder tener comunicación entre en IndiMicro y el ordenador es necesario configurar la entrada de Ethernet del ordenador ingresando a “Cambiar opciones de adaptador” a continuación ingresamos a las propiedades de Ethernet y seleccionamos Protocolo de Internet versión 4(TCP/IPv4) y configuramos sus propiedades de la forma en que se muestra en las Figuras 27-2 y 28-2 (AVL List GmbH, 2020, pp.7-126).

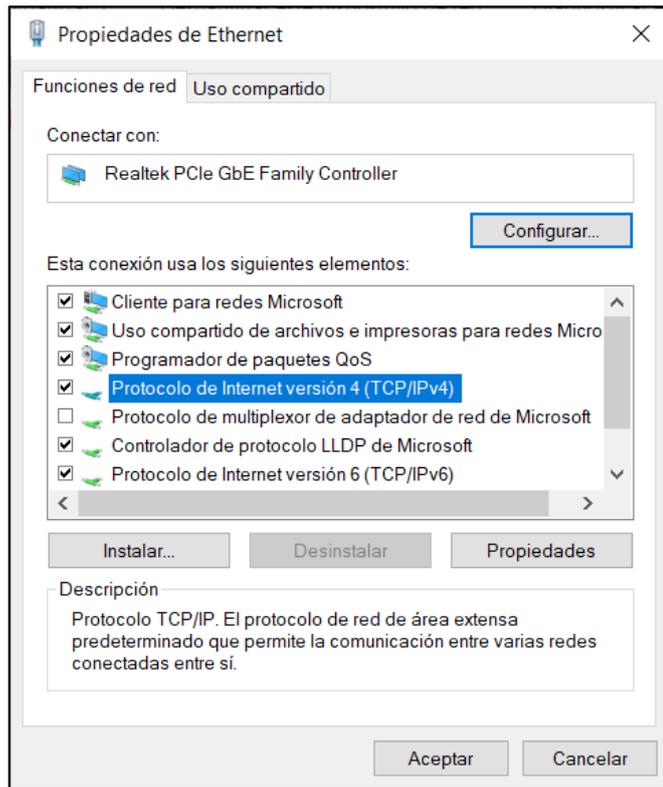


Figura 27-2. Propiedades de Ethernet

Realizado por: Fonseca Rosales, Jonathan; Granizo Revelo, Junior, 2022.

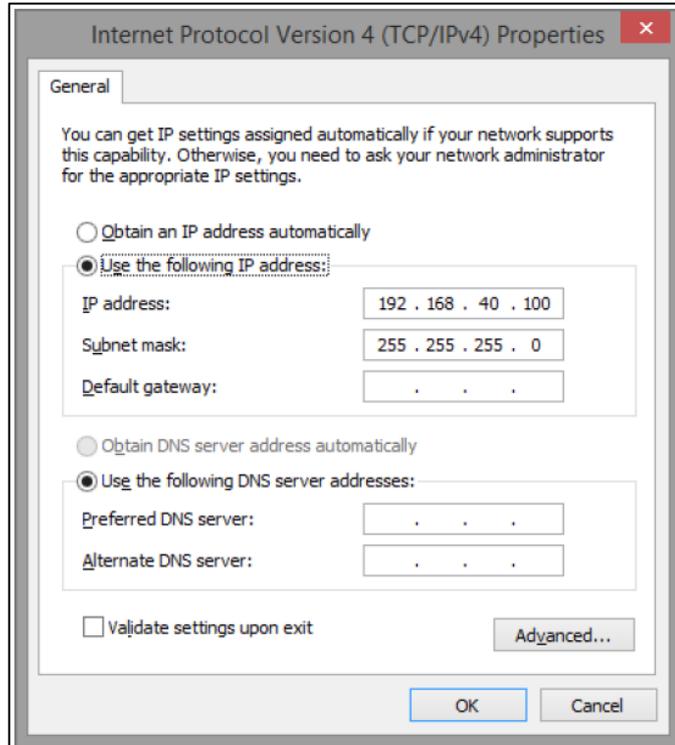


Figura 28-2. Configuración de las propiedades del protocolo de internet versión 4 (TPC/IPv4)

Realizado por: AVL List GmbH, 2020.

Aceptamos y cerramos las propiedades de Ethernet, de esta manera ya se puede tener comunicación entre el IndiMicro y el ordenador mediante el cable ethernet que se conecta entre ambos.

2.6.7.2. Configuración del Software.

2.6.7.2.1. Configuración de canales del amplificador IndiMicro.

Una vez se ingrese a la interfaz del software es necesario configurar los canales del amplificador seleccione “Signals” en la barra de atajos, lo que le indicará las entradas que se tiene en el equipo IndiMicro las cuales son 4 canales, seleccione el primer canal y configure de la siguiente manera:

1.1 Seleccione “Cylinder Pressure” y continúe.

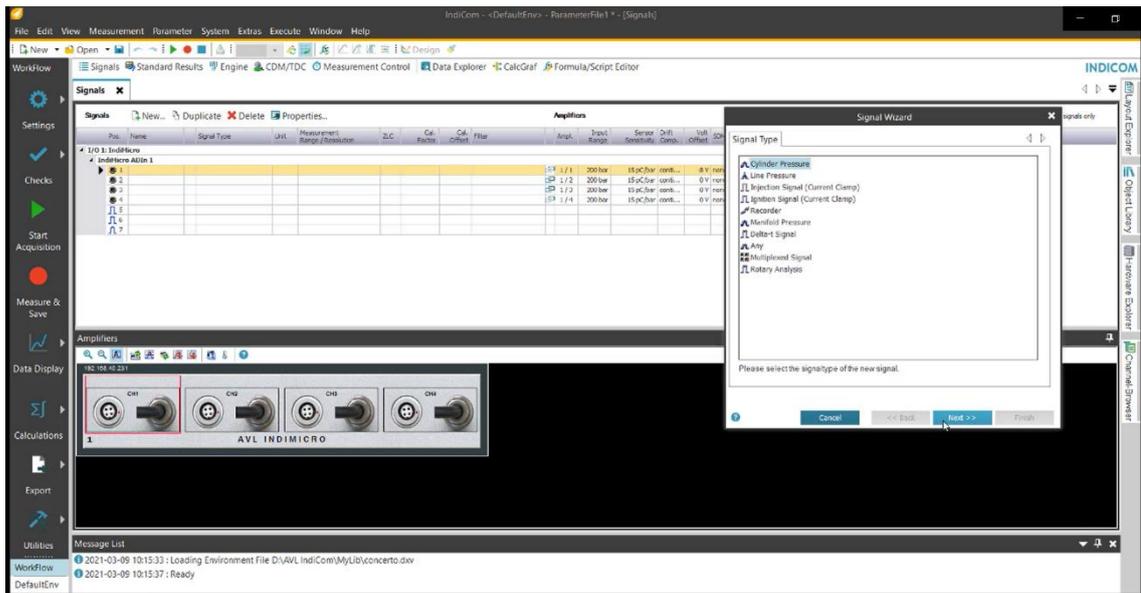


Figura 29-2. Selección modo de medición

Realizado por: Fonseca Rosales, Jonathan; Granizo Revelo, Junior, 2022.

1.2 Seleccione las unidades en las que se van a medir, en este caso será en bares y el nombre de la señal se la dejará por defecto, “Next”.

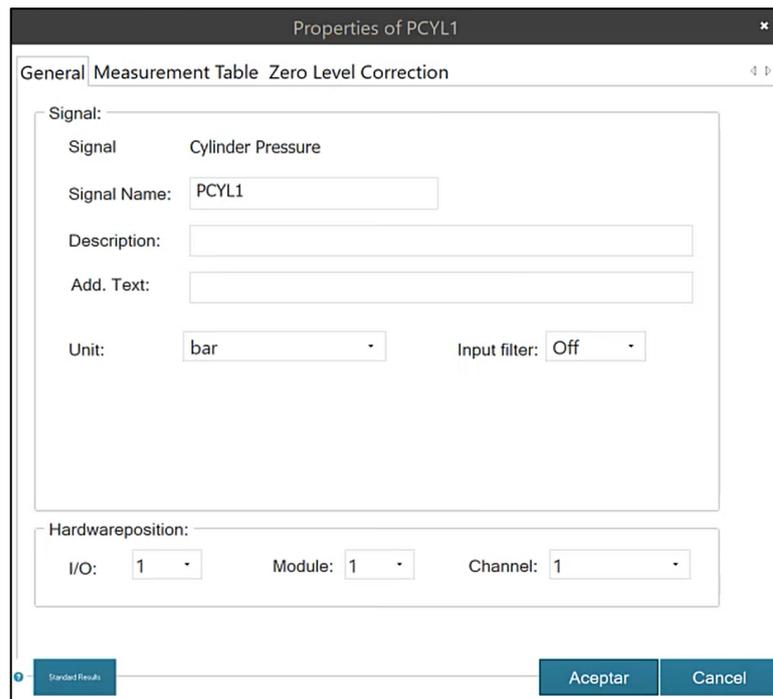


Figura 30-2. Configuración de unidades y nombre de la señal

Realizado por: Fonseca Rosales, Jonathan; Granizo Revelo, Junior, 2022.

- 1.3 Active la casilla de “Window Range” y continúe.
- 1.4 Configure el Factor de calibración dependiendo de las indicaciones que se dan en el estuche del sensor de presión de esta manera el amplificador lo reconocerá y leerá los datos que este reciba. Seleccione el tipo de corrección del nivel zero (en este caso será termodinámico) y continúe seleccionando “Results”.

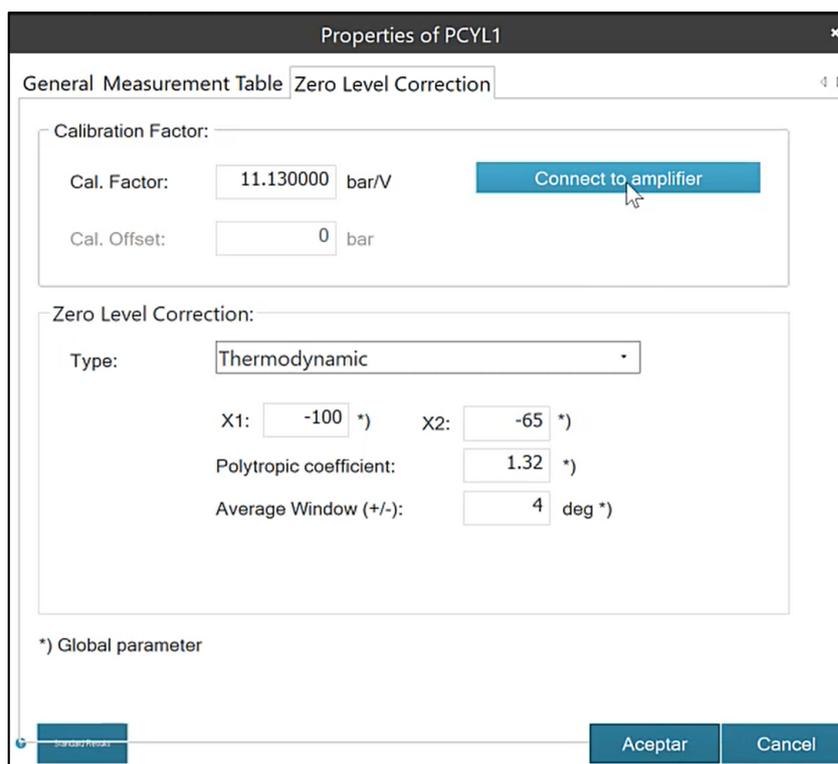


Figura 31-2. Conexión del sensor de presión al amplificador IndiMicro

Realizado por: Fonseca Rosales, Jonathan; Granizo Revelo, Junior, 2022.

1.5 En la ventana de “Results” active la casilla de “Minimum” y ya se ha configurado el canal uno del amplificador IndiMicro

2.6.7.2.2. Selección del motor a ser analizado

Para poder analizar los parámetros de un motor es necesario que ingrese ciertos datos de este en el software, en el caso de este trabajo de titulación son los que se muestran en la Tabla 2-2 y continuamos con la configuración en el software.

Tabla 2-2: Características del motor Chevrolet Aveo 1.6 modelo 2008

Características del motor	
Combustible	Gasolina
Ciclos del motor	4
Numero de cilindros	4
Carrera	57.80 mm
Diámetro del cilindro	57.40 mm
Compresión	10 bares
Válvulas por cilindro	4

Fuente: https://www.automobile-catalog.com/curve/2008/479675/chevrolet_aveo_1s_sedan.html

Seleccionamos “Engine” en la barra de atajos y colocamos los datos del motor con el que vamos a trabajar.

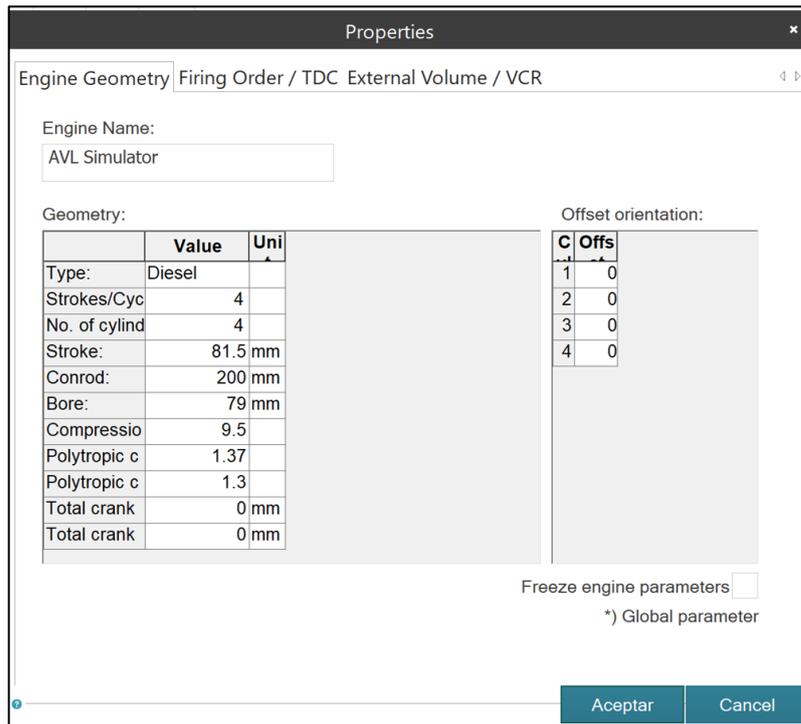


Figura 32-2. Configuración del motor a utilizar para el análisis

Realizado por: Fonseca Rosales, Jonathan; Granizo Revelo, Junior, 2022.

Una vez configurados los datos del motor en el software procedemos a obtener los datos que permitirán conocer la medición de la presión dentro del cilindro para después poder graficar las curvas de torque y potencia del motor a analizar.

2.6.8. Obtención de datos mediante el método de trabajo indicado

2.6.8.1. Presión del cilindro vs Ángulo del cigüeñal

En el motor en el cual se realiza el análisis se puede observar que se tiene una presión máxima para cada cilindro, la cual en los tres cilindros se obtienen valores aproximados en el punto cero o ángulo cero como se puede verificar en la siguiente tabla.

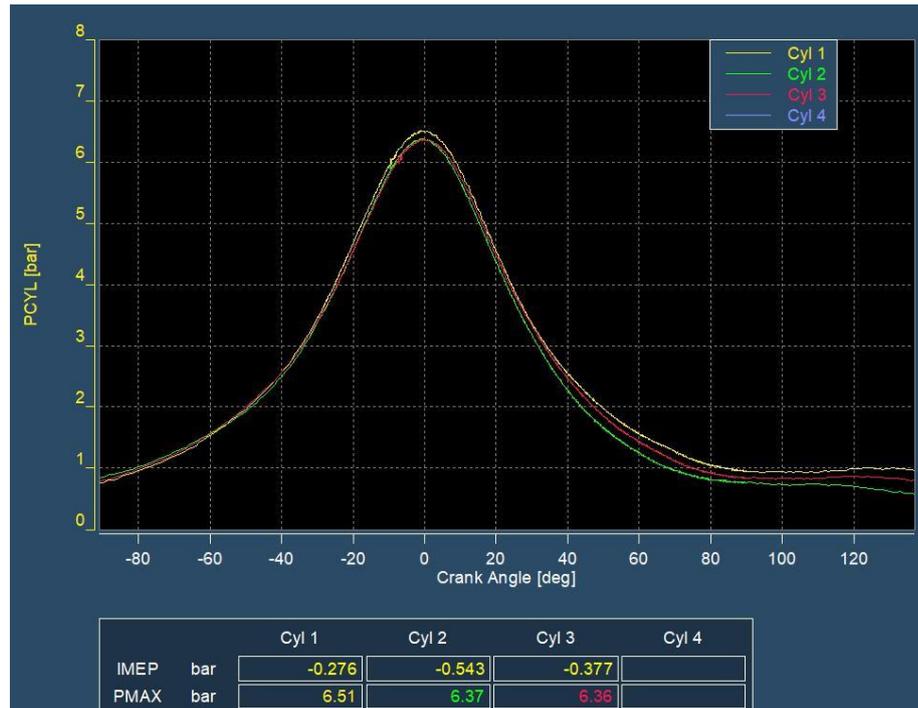
Tabla 3-2: Datos de presión del cilindro vs ángulo giro del cigüeñal

Presión del cilindro vs el ángulo de giro del cigüeñal			
	Presión del cilindro		
Ángulo de giro	Cilindro 1	Cilindro 2	Cilindro 3
-80°	0,49047	0,48975	0,47358
-60°	0,88602	0,92975	0,86469
-40°	2,05047	2,05420	2,02025
-20°	4,42507	4,24098	4,31597
0°	6,30102	6,03888	6,14567
20°	4,42507	4,24098	4,31597
40°	2,26065	2,16661	2,20492

60°	1,22775	1,17667	1,19748
80°	0,76583	0,73397	0,74695
100°	0,54220	0,51964	0,52883
120°	0,42567	0,40796	0,41518

Realizado por: Fonseca Rosales, Jonathan; Granizo Revelo, Junior, 2022.

A continuación, se puede observar la gráfica de presión del cilindro vs el ángulo de giro del cigüeñal de cada uno de los cilindros, esto con el fin de observar el comportamiento de la presión dentro de la cámara.



Gráfica 2-2. Presión del cilindro vs ángulo del cigüeñal

Realizado por: Fonseca Rosales, Jonathan; Granizo Revelo, Junior, 2022.

2.6.9. *Presión vs Volumen del cigüeñal*

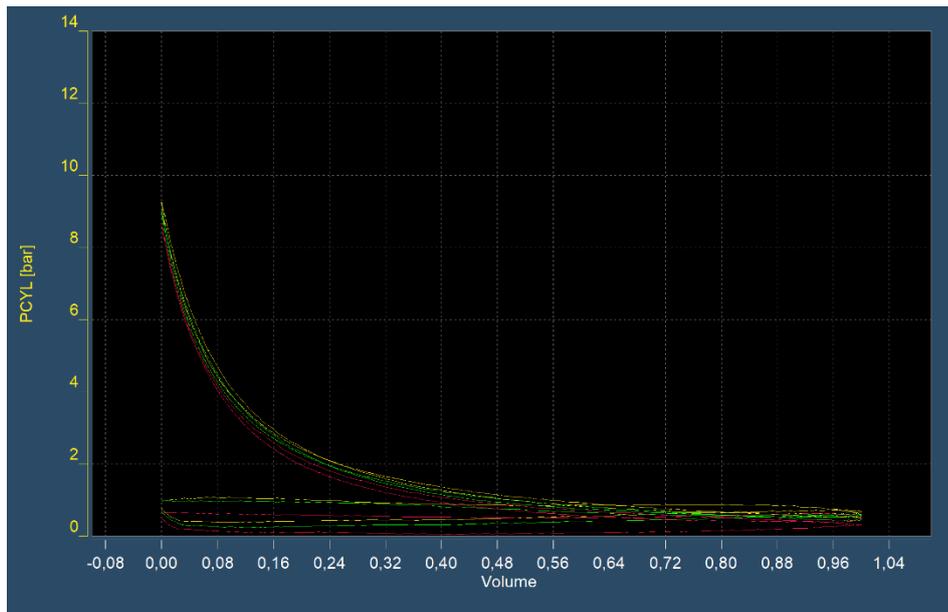
Con respecto a la gráfica de presión vs volumen del cigüeñal se puede decir que esta es fundamental para la obtención de las curvas de torque y potencia, ya que con dichos datos se

procederá a utilizar en las fórmulas que no permitirán observar dichas curvas, la siguiente tabla muestra los datos a ser obtenidas.

Tabla 4-2: Presión vs Volumen del cilindro

Presión vs Volumen del cilindro		
Ángulo de giro	Presión del cilindro	Volumen del cilindro
-120°	0,19713	0,90615
-100°	0,36602	0,75438
-80°	0,49047	0,58073
-60°	0,88602	0,40615
-40°	2,05047	0,25576
-20°	4,42507	0,15377
0°	6,30102	0,11765
20°	4,42507	0,15377
40°	2,26065	0,25576
60°	1,22775	0,40615
80°	0,76583	0,58073
100°	0,54220	0,75438
120°	0,42567	0,90615

Realizado por: Fonseca Rosales, Jonathan; Granizo Revelo, Junior, 2022.



Gráfica 3-2. Presión vs Volumen del cilindro

Realizado por: Fonseca Rosales, Jonathan; Granizo Revelo, Junior, 2022.

2.7. Métodos de análisis estadístico

Según (Corona Lisboa, 2016, pp.87-88), y en base al método que se va a emplear, como es el procedimiento cuantitativo, el investigador hace una cuidadosa medición de sus variables, sobre la base de fines bien definidos y delimitados. Además, este puede manipular en algunas ocasiones sus cambiantes dependiendo de la naturaleza del análisis. Después de la obtención de los datos y/o resultados de la investigación, a los mismos se les aplican distintos tratamientos estadísticos

para la determinación de diferencias estadísticamente significativas en medio de las cambiantes medidas, incluyendo la implementación de ciertos paquetes estadísticos lo que es bastante característico de las ciencias experimentales y se pueden adoptar diferentes diseños.

Por ende basándose en el artículo de (Castillo, Martínez y Rojas, 2017, pp.49-57), muestran sus resultados de gráficas, por ello el presente trabajo de investigación indicara las gráficas obtenidas con los métodos de obtención de las curvas características del motor, y con ello posteriormente realizar una análisis comparativo entre estos dos métodos e identificar cual es el más óptimo y cuanto da como perdidas en la obtención de datos.

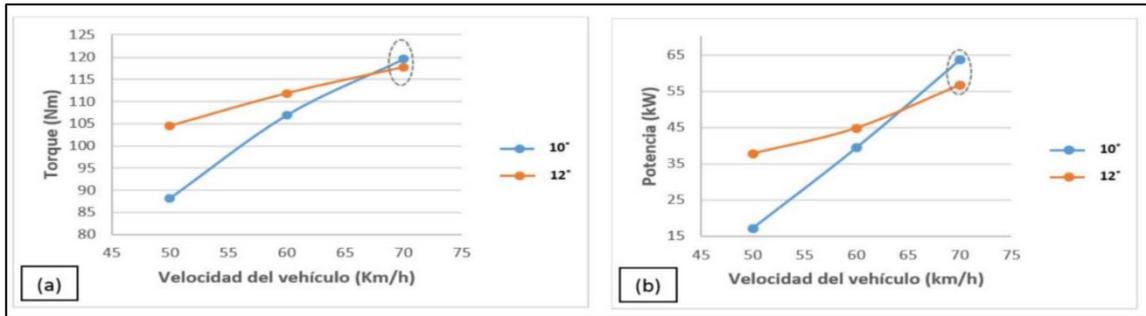


Figura 33-2. Graficas de las curvas de torque y potencia

Fuente: Castillo, Martínez y Rojas, 2017.

También se aplicará un análisis descriptivo el cual tiene como fin describir un conjunto de datos, obteniendo así los parámetros que distinguen las características de un conjunto de datos. Los motivos para realizar este análisis son que permite conocer al detalle la información que se posee y conocer la forma en la que se estructura la información. Se limita a realizar deducciones directamente a partir de los datos y parámetros obtenidos. Con ello se podrá dar una opinión clara y concisa de que método de obtención de las curvas características es preciso y no tiene un mayor porcentaje de error, en la obtención de dichas curvas.

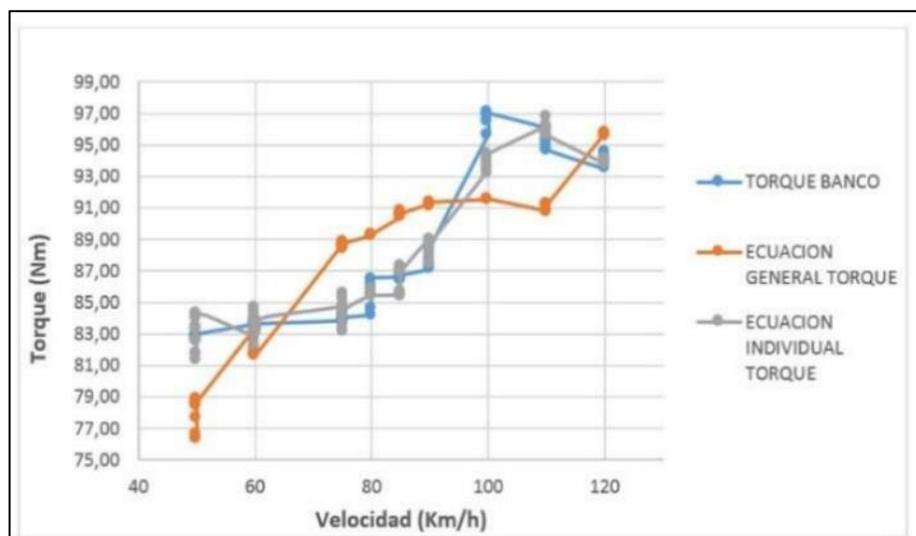


Figura 34-2. Torque del motor vs Velocidad

Fuente: Castillo, Martínez y Rojas, 2017.

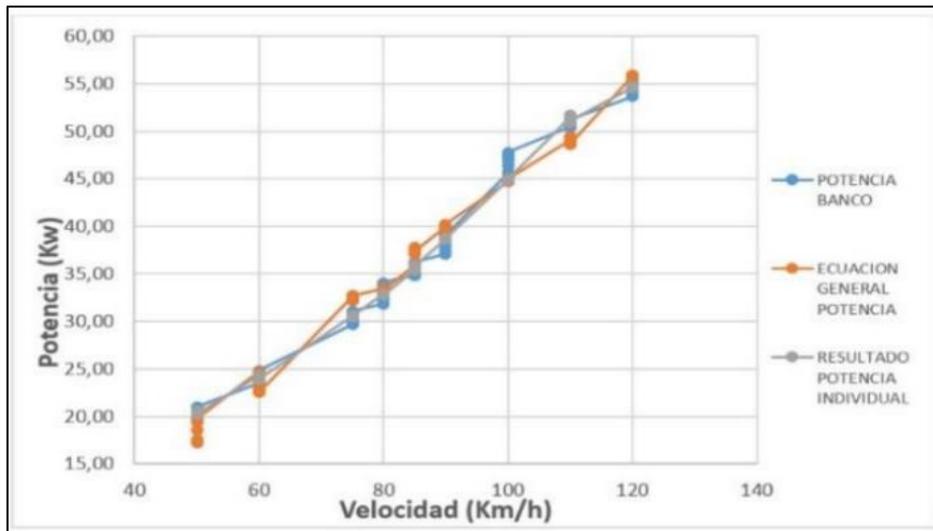


Figura 35-2. Potencia vs Velocidad

Fuente: Castillo, Martínez y Rojas, 2017.

Como se muestra en las Figuras 34-2 y 35-2 indicadas anteriormente, con los datos exportados a una hoja de Excel se podrá realizar dicho análisis y poder determinar el comportamiento del motor en cada intervalo de sus R.P.M. y con ello se verá el porcentaje de error.

CAPÍTULO III

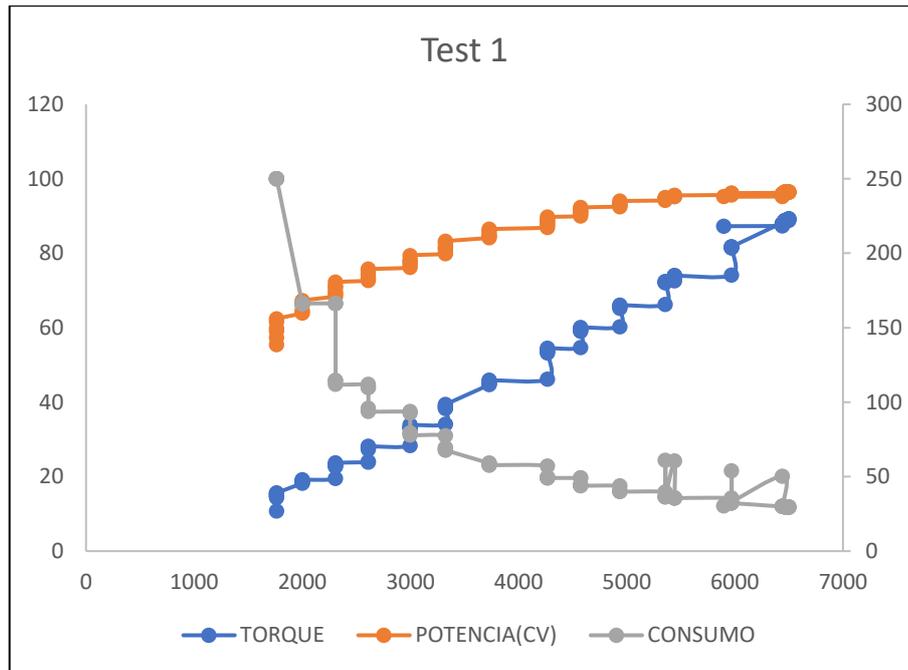
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para poder obtener las gráficas de las curvas característica aplicando los dos métodos de obtención, es necesario que el usuario tenga conocimientos de denominación en inglés, ya que es un requisito necesario para la configuración del software AVL, por otra parte, para obtener las curvas características del motor con el banco dinamométrico se debe tomar todas recomendaciones que se señale, con ello evitar en las pruebas una mala obtención de los datos.

3.1. Resultados obtenidos con el método de trabajo efectivo

Como primeras condiciones que se tiene para la investigación desarrollada, son las condiciones ambientales a las que se va a realizar las diferentes mediciones, teniendo como referencia la altura sobre el nivel del mar ya que se va a tomar pruebas a una altura de 2754 m.s.n.m.

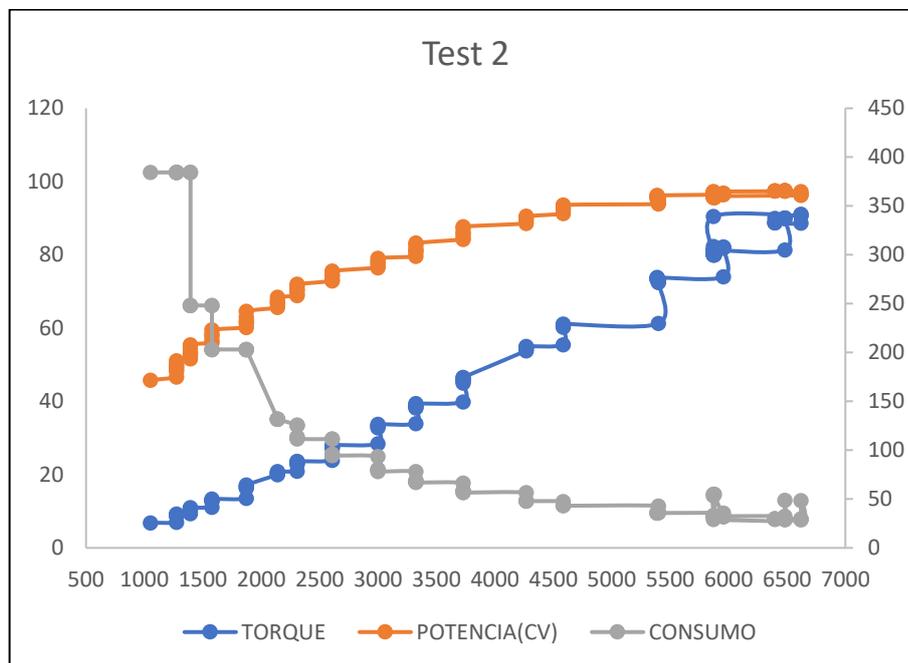
Debemos aclarar que la toma de muestras es única, ya que se está realizando en la ciudad de Riobamba que se encuentra a 2754 m.s.n.m., y el motor utilizado en la diferente toma de muestras es un Aveo 1.6 L., y en cada prueba es sometido a plena carga para obtener una mejor apreciación de los resultados. En la siguiente Gráfica 1-3 se muestra la toma de muestras que se hace con el motor, y esto se lo hace a plena carga hasta el punto de corte de inyección. Es decir, para el caso puntual, el vehículo ya no está trabajando en su régimen útil de revoluciones, ya ha llegado a su máximo régimen de funcionamiento y ha comenzado a decaer.



Gráfica 1-3. Curvas características del motor Test 1

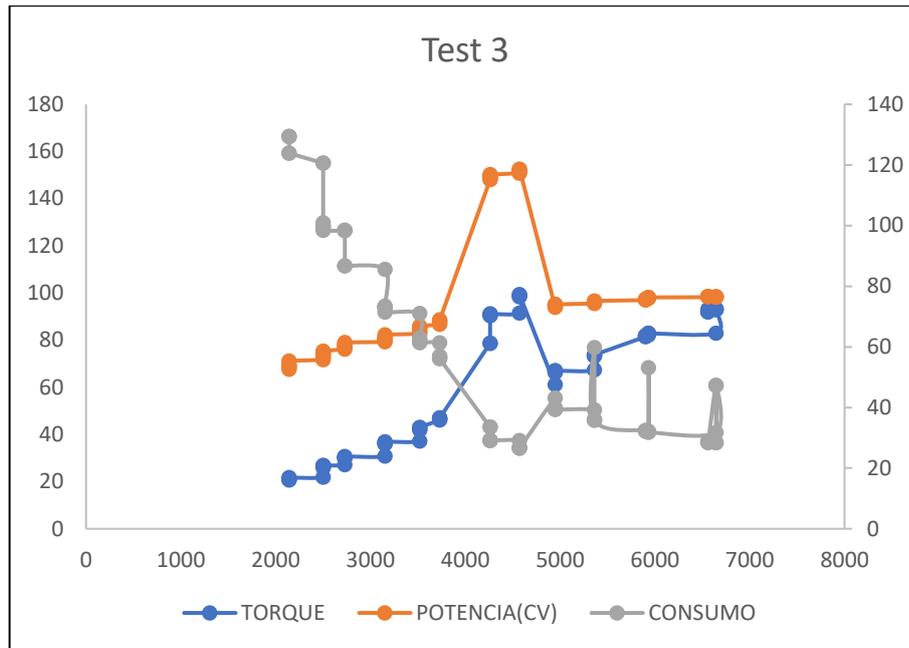
Realizado por: Fonseca Rosales, Jonathan; Granizo Revelo, Junior, 2022.

Como podemos observar en la Gráfica 1-3 y la siguiente Gráfica 2-3 el comportamiento de las curvas, se da de una manera progresiva, y cuando llega al punto de corte de inyección las R.P.M. ya no aumentan, y con ello los demás datos también de caen.



Gráfica 2-3. Curvas características del motor Test 2

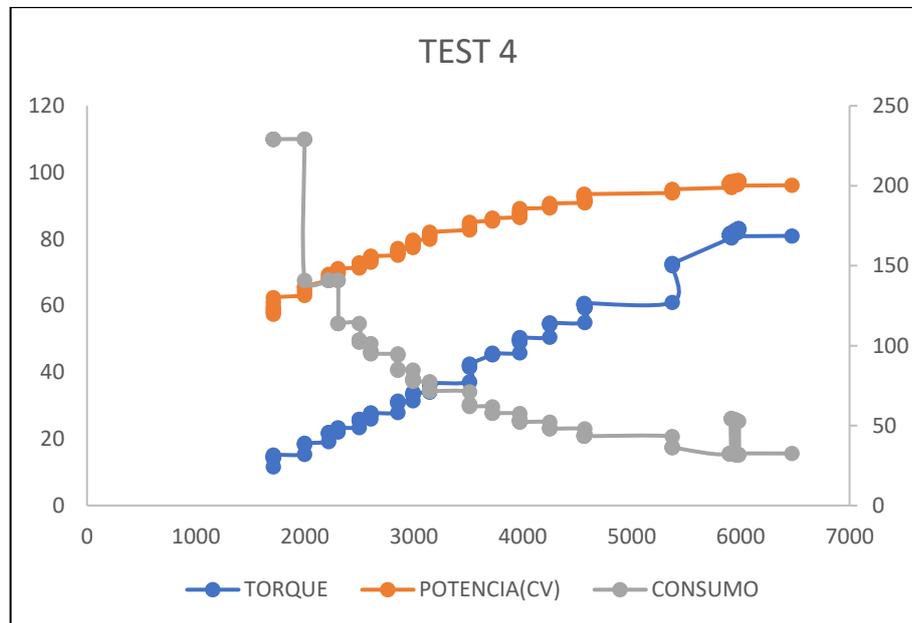
Realizado por: Fonseca Rosales, Jonathan; Granizo Revelo, Junior, 2022.



Gráfica 3-3. Curvas características del motor Test 3

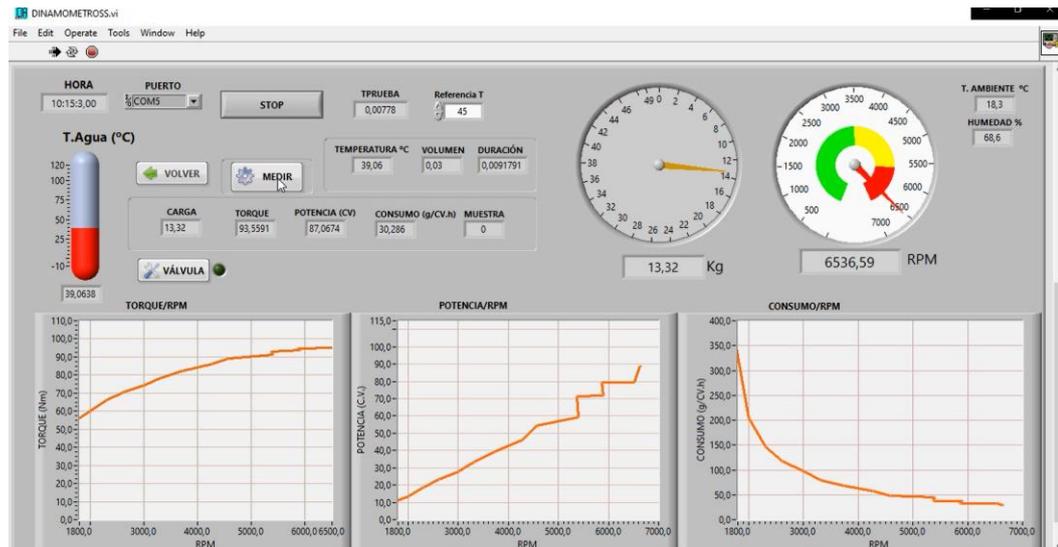
Realizado por: Fonseca Rosales, Jonathan; Granizo Revelo, Junior, 2022.

Como podemos observar en la Grafica 3-3 el comportamiento de las curvas no es de manera progresiva, y podemos ver que entre las 4000 y 5000 R.P.M. hay un incremento en las curvas de torque y potencia esto se podría deber a una falla con los inyectores y con ello exista el aumento de combustible en la cámara de combustión.



Gráfica 4-3. Curvas de torque, potencia y consumo específico del motor

Realizado por: Fonseca Rosales, Jonathan; Granizo Revelo, Junior, 2022.



Gráfica 5-3. Curvas de torque, potencia y consumo específico con el software dinamométrico

Realizado por: Fonseca Rosales, Jonathan; Granizo Revelo, Junior, 2022.

Como se puede observar en la Gráfica 5-3, los rangos son diferentes para cada curva en el eje de la “y”, mientras que en el eje de las “x” se mantiene en un rango de las 7000 R.P.M, este margen de las R.P.M. se tiene en consideración por el punto de corte de inyección se genera a las 6500 revoluciones.

Con los datos exportados una hoja de cálculo de Excel se puede analizar el comportamiento del motor en cada uno de los puntos de sus revoluciones, y así poder ver el comportamiento del motor y saber decir con precisión cuál es el par motor máximo, y como su potencia.

Empezamos con el torque o par motor, como se puede visualizar en primer lugar las casillas correspondientes a los valores máximos de torque y rpm nos presenta un valor de 93.559 N.m a unos 6500 rpm, esto se debe a que el software está elaborado de tal manera que tome el valor del pico más alto que se encuentre a lo largo de toda la curva graficada.

Es importante aclarar que este tipo de medición por aceleración libre al ser una medición indirecta de los parámetros efectivos del motor puede presentar este tipo de paradojas en las que tendremos el torque máximo según la curva, que se ubica a altas rpm. Se da los casos en los que, al momento de actuar la distribución variable, existen picos de mayor valor en la gráfica, en cuestión de milisegundos son percibidos por el software, motivo por el que se realizan tres mediciones más para extraer un promedio tanto de torque, potencia y rpm de los diferentes valores máximos mostrados en las diferentes curvas. Expuesto los detalles del software a continuación se muestra en la Tabla 1-3 con los valores de par motor a los diferentes rpm en las cuatro pruebas de las que se extrajo los datos para su interpretación teniendo los siguientes resultados.

Tabla 1-3: Valores obtenidos del torque máximo en cada prueba

	Torque (N.m)	RPM
Test 1	89,241557	6499,74924
Test 2	91,092925	6620,12536
Test 3	99,275809	4572,81478
Test 4	83,092073	5982,15069

Realizado por: Fonseca Rosales, Jonathan; Granizo Revelo, Junior, 2022.

A continuación, realizaremos el estudio de la evolución de la potencia en la gráfica específica. Como se conoce la potencia es el producto del par motor con la velocidad angular del motor, por lo que tendremos reflejado la relación entre dichas variables de una manera gráfica. En la Tabla 2-3 se muestran los valores de las tres pruebas realizadas de potencia y rpm en las condiciones a 0 msnm con una temperatura ambiente de 20°C.

Tabla 2-3: Valores obtenidos de las potencias máximas en cada prueba

	Potencia (Cv)	RPM
Test 1	96,50921	6499,74924
Test 2	97,562804	6482,12879
Test 3	152,490172	4572,81478
Test 4	97,562804	5982,15069

Realizado por: Fonseca Rosales, Jonathan; Granizo Revelo, Junior, 2022.

Como se puede apreciar claramente los resultados obtenidos por el método efectivo son concisos, y el modo de realizar las pruebas es el óptimo. Luego de quitar el pie del acelerador en las máximas RPM que alcanza el motor, empieza el periodo de deceleración, en este estado del motor, la gestión electrónica corta el pulso a los inyectores y señal de activación a las bobinas, teniendo como consecuencia que no exista combustión dentro de los cilindros y que no se genere trabajo. Es importante recalcar que, al realizar una medida sin combustión dentro del motor, las cargas que actúan en los elementos móviles del motor, no son idénticas a las del funcionamiento normal cuando el motor genera trabajo, siendo este tema una incertidumbre en el cálculo de las pérdidas mecánicas por deceleración.

3.2. Resultados obtenidos con el método de trabajo indicado

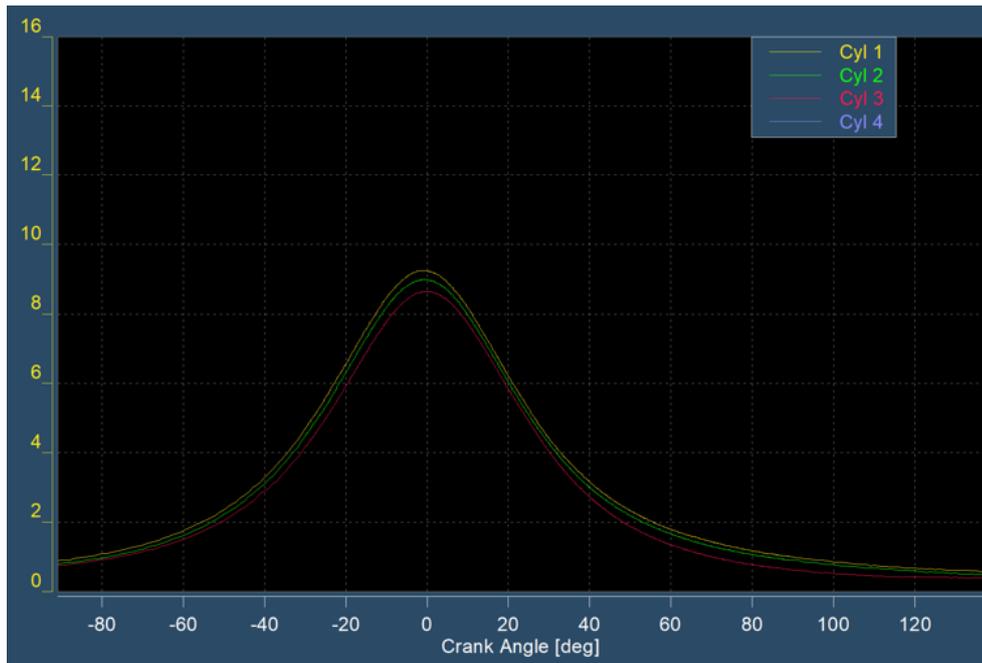
Para la toma de muestras se utilizó el mismo motor, pero para la aplicación de este método se debe configurar y verificar que todos los componentes estén bien conectados y estén dando las debidas señales respectivas al software AVL.

Tabla 3-3: Datos de presión vs ángulo del cigüeñal obtenidos por el método de trabajo indicado

Presión del cilindro vs el ángulo de giro del cigüeñal			
	Presión del cilindro		
Ángulo de giro en grados	Cilindro 1	Cilindro 2	Cilindro 3
-360	0,831511	0,947945	0,700665
-330	0,533733	0,476833	0,171776
-300	0,582622	0,516833	0,145109
-270	0,667067	0,610167	0,198443
-240	0,7204	0,707945	0,33622
-210	0,702622	0,712389	0,41622
-180	0,667067	0,676833	0,500665
-150	0,578178	0,610167	0,505109
-120	0,653733	0,659056	0,549554
-90	0,973733	0,9435	0,785109
-60	1,84484	1,84572	1,54066
-30	4,64484	4,75683	4,274
0	9,49818	9,40128	8,78955
30	5,11596	7,6235	4,14511
60	2,54707	7,06794	1,50066
90	1,84929	4,68128	0,793998
120	1,81373	3,31239	0,57622
150	2,21373	2,65461	0,438443
180	1,93818	1,69017	0,429554
210	1,16484	0,881278	0,509554
240	1,28929	0,996833	0,482887
270	1,12484	0,930167	0,607331
300	1,09373	0,9435	0,77622
330	0,898178	0,939056	0,825109

Realizado por: Fonseca Rosales, Jonathan; Granizo Revelo, Junior, 2022.

La Tabla 3-3 muestra los resultados obtenidos entre el ángulo de giro del motor mediante el codificador angular y la presión que se encuentra en cada uno de los cuatro cilindros del mismo los cuales se obtienen con el sensor AVL. Dichos datos permitirán obtener la gráfica de ángulo versus presión la cual nos permite conocer si dentro del cilindro existe variación de presión. En caso de tener dicha variación es importante revisar cual es el motivo ya que si continuamos con el análisis de esta manera los datos que obtendremos no serán netamente confiables.



Gráfica 6-3. Presión del cilindro vs ángulo del cigüeñal

Realizado por: Fonseca Rosales, Jonathan; Granizo Revelo, Junior, 2022.

En la Gráfica 6-3 se muestra la curvatura de ángulo del cigüeñal versus la presión que se produce dentro del cilindro, el rango que se ha considerado es de -80 a 120 grados en el eje de las abscisas y un rango de 0 a 16 bares en el eje de las ordenadas ya que de esta manera se logra visualizar la curvatura de mejor manera. En la gráfica tenemos tres líneas de colores las cuales representan a los cilindros, siendo la línea de color amarillo para el cilindro 1, la verde para el cilindro 2 y la roja para el cilindro 3. Como podemos observar, la curvatura nos indica presiones entre 8.8 y 9.5 bares aproximadamente lo que indica que no se tiene variación de presión dentro de los cilindros por ende las obtenciones de datos a continuación de esto serán confiables.

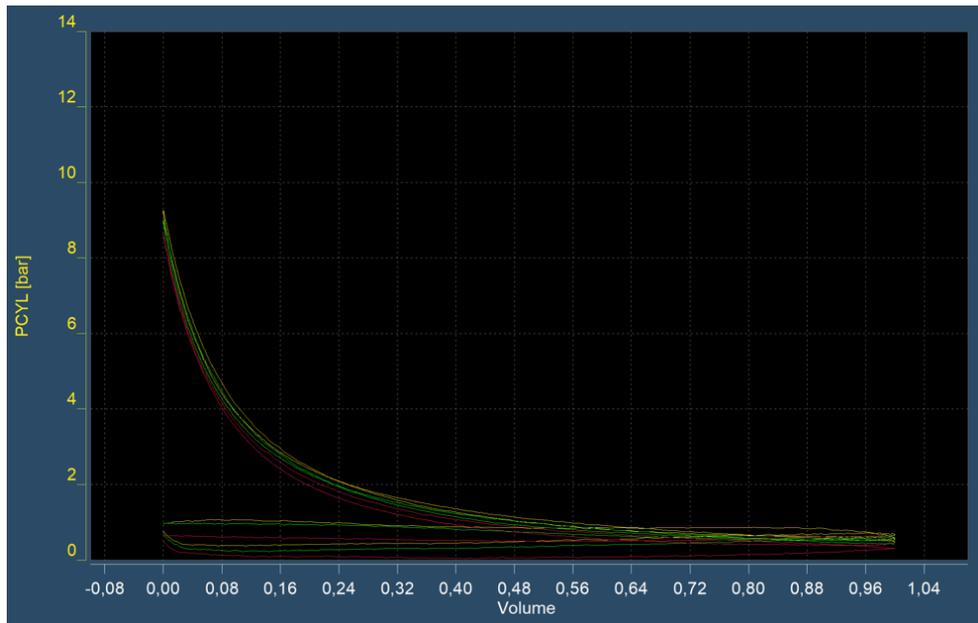
Tabla 4-3: Presión vs Volumen del cilindro

Presión vs Volumen del cilindro.		
Ángulo de giro	Presión del cilindro	Volumen del cilindro
-360	0,831511	0,117647
-330	0,533733	0,197402
-300	0,582622	0,406152
-270	0,667067	0,669124
-240	0,7204	0,906152
-210	0,702622	1,06343
-180	0,667067	1,11765
-150	0,578178	1,06343

-120	0,653733	0,906152
-90	0,973733	0,669124
-60	1,84484	0,406152
-30	4,64484	0,197402
0	9,49818	0,117647
30	5,11596	0,197402
60	2,54707	0,406152
90	1,84929	0,669124
120	1,81373	0,906152
150	2,21373	1,06343
180	1,93818	1,11765
210	1,16484	1,06343
240	1,28929	0,906152
270	1,12484	0,669124
300	1,09373	0,406152
330	0,898178	0,197402

Realizado por: Fonseca Rosales, Jonathan; Granizo Revelo, Junior, 2022.

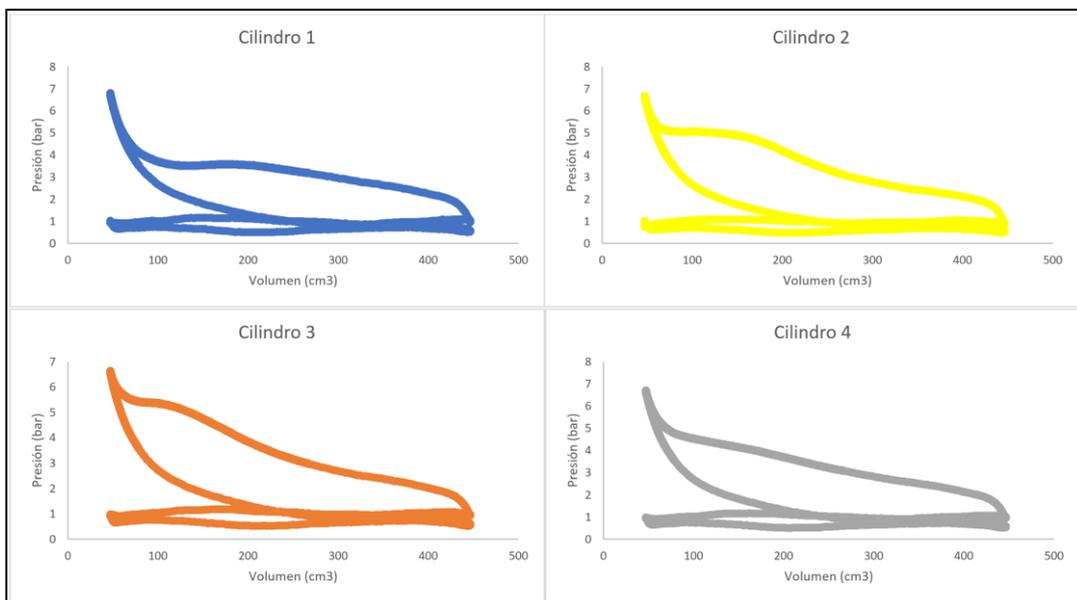
La Tabla 4-3 muestra tres columnas, en las cuales se obtienen el ángulo de giro del cigüeñal, la presión dentro el cilindro y el volumen del cilindro. Ambas con respecto al ángulo de giro del cigüeñal mencionado anteriormente, esta tabla es un resumen que se ha realizado para facilitar la comprensión ya que los resultados que se obtuvieron con los equipos AVL nos muestran un amplio número de resultados que permiten analizar punto por punto el comportamiento de la curva de presión versus volumen del cilindro con las cuales podremos obtener la gráfica presentada a continuación.



Gráfica 7-3. Presión vs volumen del cilindro

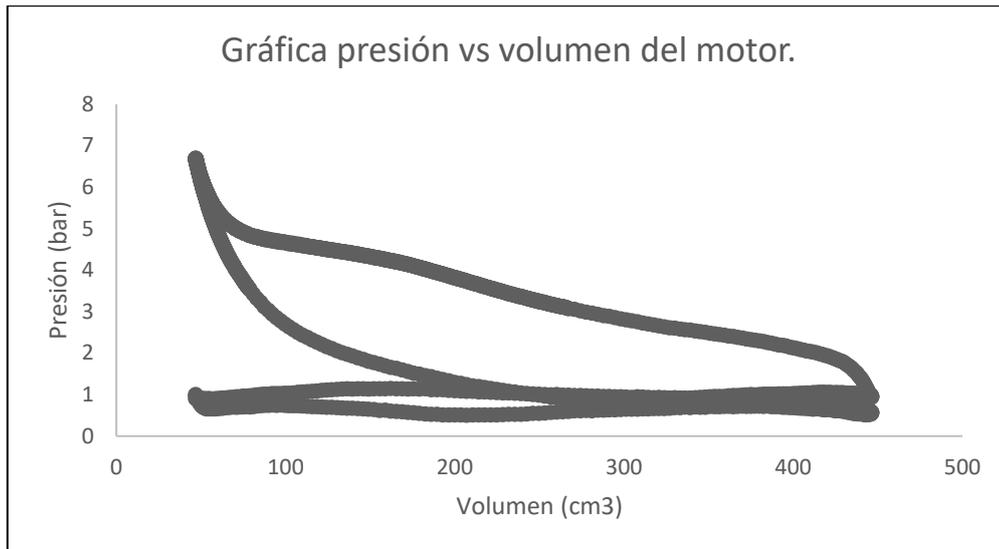
Realizado por: Fonseca Rosales, Jonathan; Granizo Revelo, Junior, 2022.

En la Gráfica 7-3, se logra observar la gráfica presión versus volumen, para la cual se seleccionó un rango entre -0.08 a 1.04 Galones estadounidenses para el eje de las abscisas y un rango de 0 a 14 bares para el eje de las ordenadas y nuevamente los colores identifican las curvas de cada uno de los cilindros del motor de combustión interna. Además, esta gráfica representa el método indicado ya que se puede apreciar el ciclo termodinámico del motor.



Gráfica 8-3. Presión vs volumen obtenidas de cada cilindro

Realizado por: Fonseca Rosales, Jonathan; Granizo Revelo, Junior, 2022.



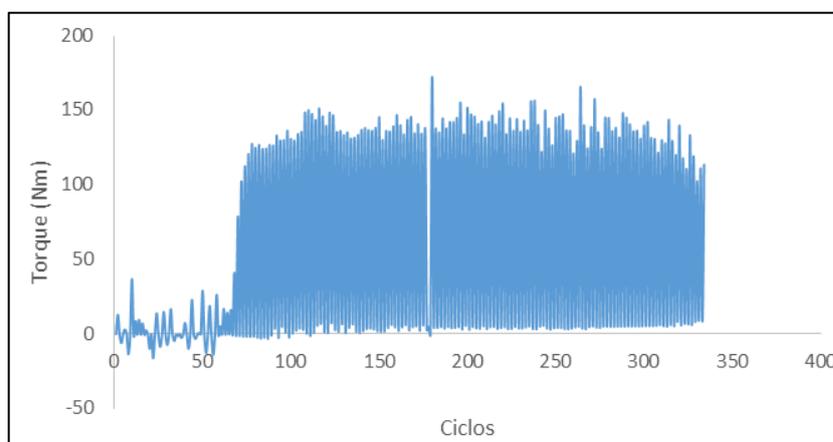
Gráfica 9-3. Presión vs volumen del motor

Realizado por: Fonseca Rosales, Jonathan; Granizo Revelo, Junior, 2022.

Una vez obtenidos y analizados los datos mencionados anteriormente en cada uno de los cilindros como se muestra en la Gráfica 8-3, se logrará obtener las curvas de torque y potencia para ello es necesario realizar un promedio de los datos con el fin de tener los resultados finales del motor presentados en la Gráfica 9-3 y con estos proceder a realizar la comparación de los resultados con ambos métodos de obtención para finalmente poder compararlos entre ellos.

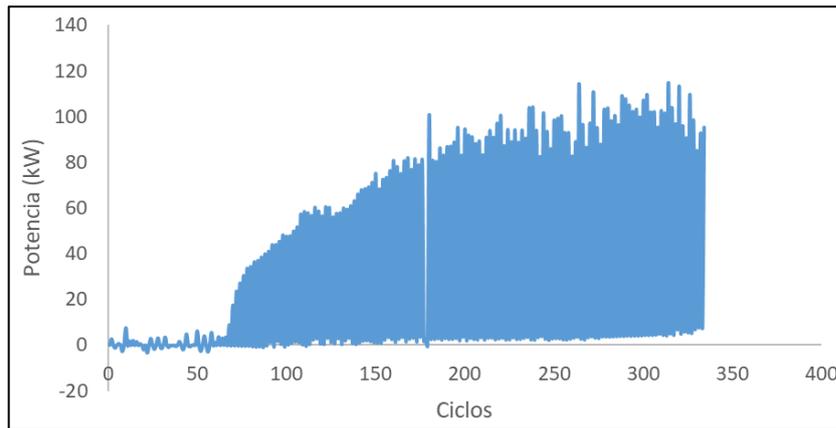
3.2.1. *Obtención de las curvas de torque y potencia*

Los equipos AVL permiten la obtención de datos de manera cíclica es por esta razón que los resultados muestran una gráfica de torque vs ciclos y otra de potencia vs ciclos. La ventaja de utilizar los equipos AVL es que nos permite navegar entre los resultados, de esta manera podemos seleccionar los datos con los cuales deseamos trabajar. Mediante una configuración el software IndiCom recibe los datos obtenidos por los sensores y los modifica de manera que muestre las gráficas deseadas en este caso los datos de torque, potencia y velocidad.



Gráfica 10-3. Curva de torque vs número de ciclos del motor

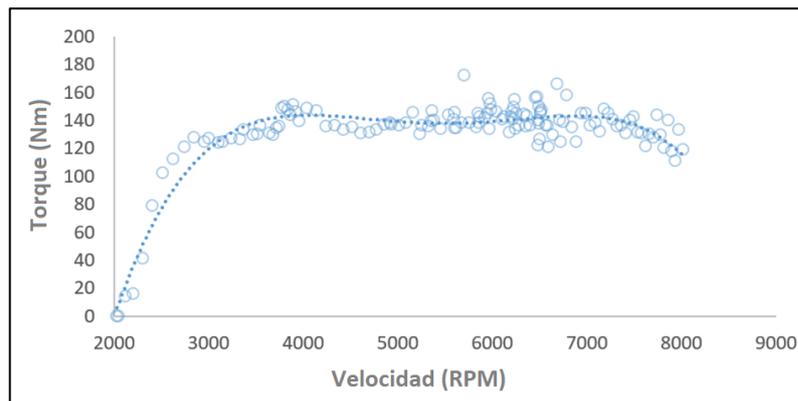
Realizado por: Fonseca Rosales, Jonathan; Granizo Revelo, Junior, 2022.



Gráfica 11-3. Curva de potencia vs número de ciclos del motor

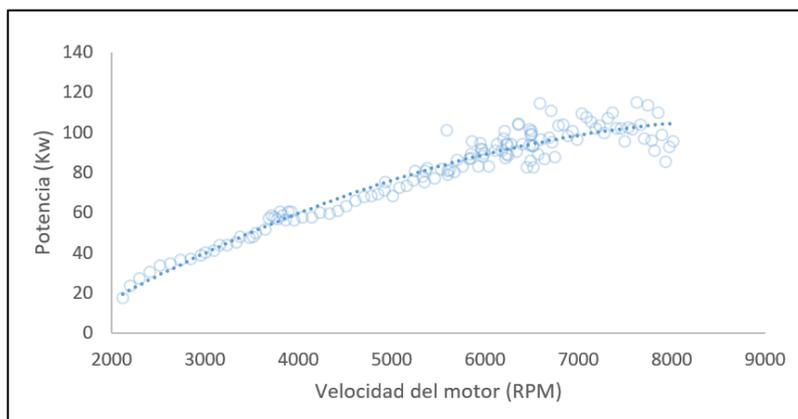
Realizado por: Fonseca Rosales, Jonathan; Granizo Revelo, Junior, 2022.

En las Gráficas 10-3 y 11-2 se logra observar las gráficas obtenidas con los equipos AVL en la que se demuestra que dichos equipos obtienen datos de manera cíclica. Una vez obtenidos los datos es necesario exportarlos a un archivo Excel con el fin de seleccionar los datos con los cuales vamos a trabajar ya que al tener datos cíclicos se obtendrán valores tanto positivos como negativos, obteniendo finalmente los siguientes resultados presente en las siguientes Gráficas 12-3 y 13-3.



Gráfica 12-3. Curva de torque vs velocidad del motor

Realizado por: Fonseca Rosales, Jonathan; Granizo Revelo, Junior, 2022.



Gráfica 13-3. Curva de potencia vs velocidad del motor

Realizado por: Fonseca Rosales, Jonathan; Granizo Revelo, Junior, 2022.

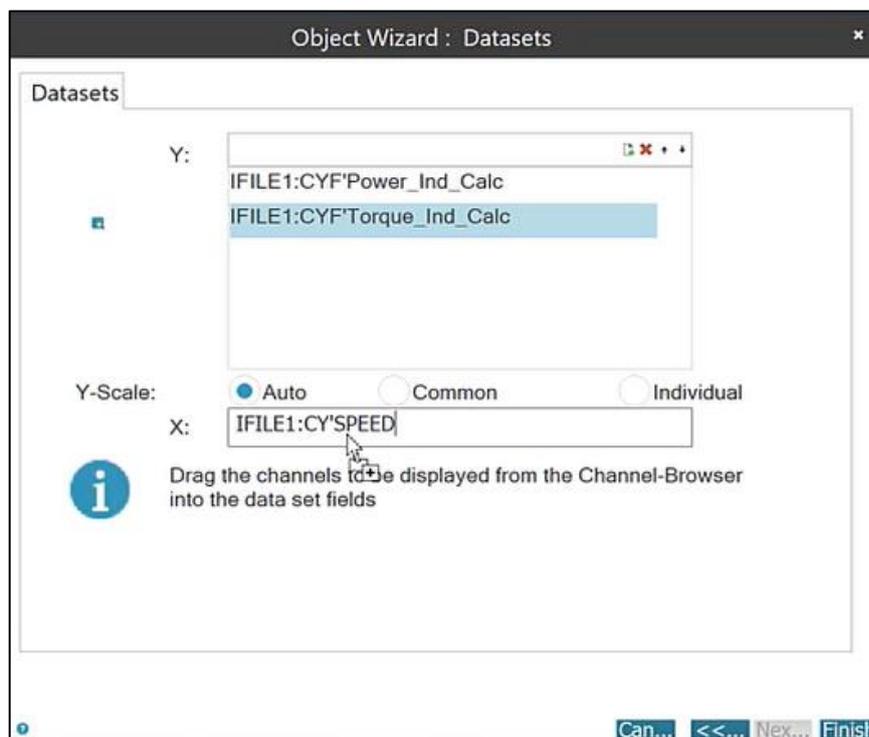
3.2.1.1. Trabajo del software IndiCom

El software IndiCom trabaja mediante fórmulas, las cuales reciben los datos que se obtienen anteriormente y los interpreta, de esta manera es posible obtener las curvas de torque y potencia. En la interfaz del software se tiene un icono que permite ingresar la fórmula necesaria, de esta manera se seleccionan los datos que deseamos y se obtienen resultados, el software interpreta los datos y representa en la gráfica deseada, además, se muestra una tabla que indica valores de velocidad, torque y potencia indicada, como se mencionó anteriormente se procede a crear la gráfica deseada y se obtiene las curvas de torque y potencia del vehículo.

Tabla 5-3: Datos de velocidad, torque y potencia indicada

SPEED	Torque_Ind_Calc	Power_Ind_Calc
rpm	Nm	kW
1133,5	0,114	0,013

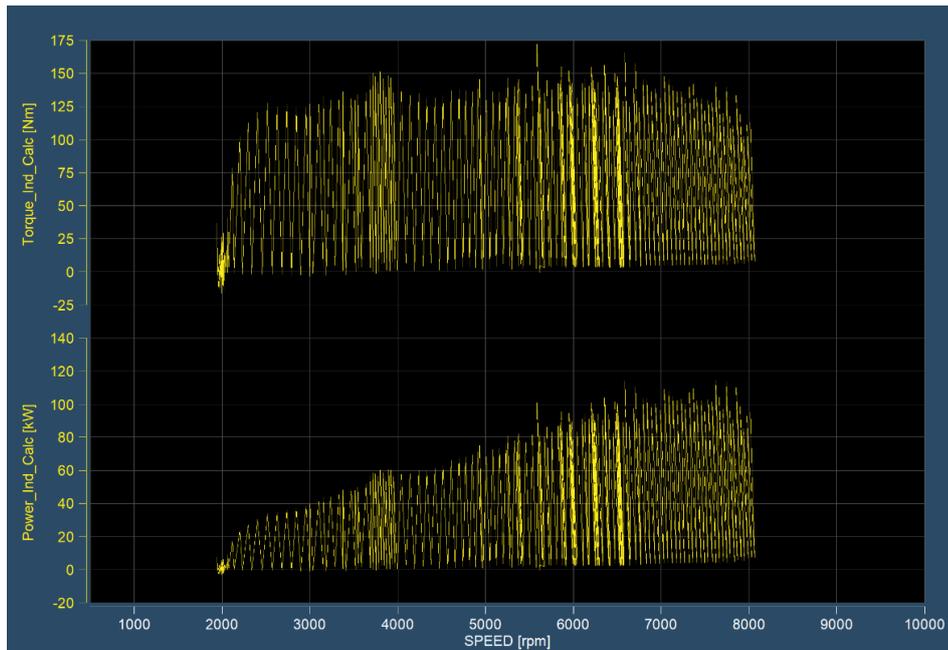
Realizado por: Fonseca Rosales, Jonathan; Granizo Revelo, Junior, 2022.



Gráfica 14-3. Configuración de la gráfica con los valores deseados

Realizado por: Fonseca Rosales, Jonathan; Granizo Revelo, Junior, 2022.

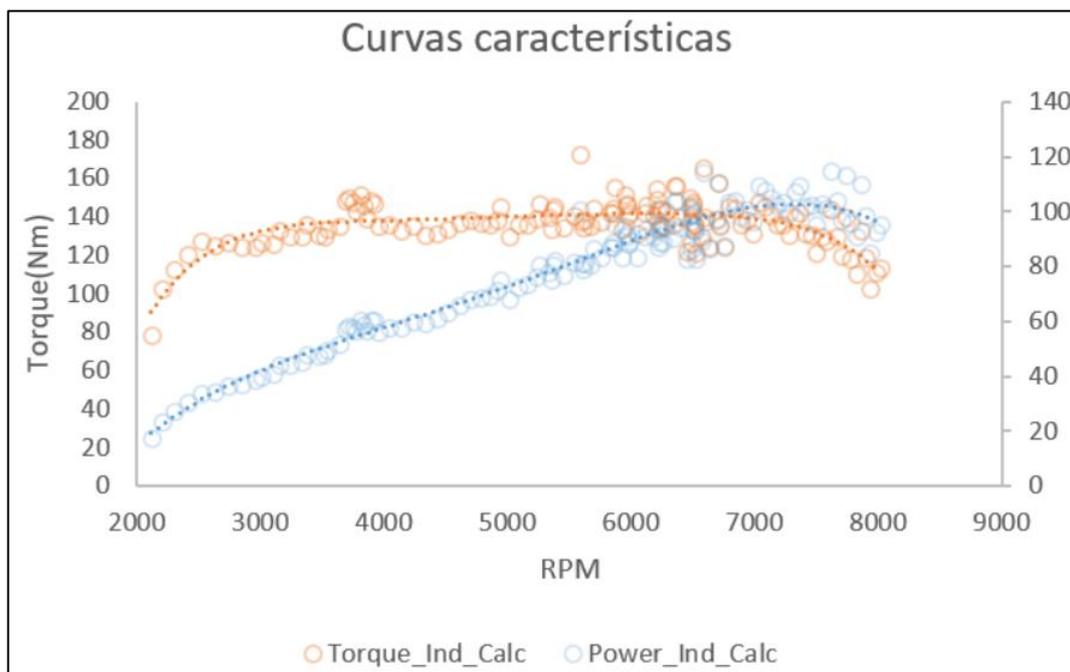
En la Gráfica 4 se puede observar la configuración que permitirá mostrar la gráfica de las curvas de torque y potencia, como se puede observar en el eje de las abscisas se selecciona la velocidad (Speed) y en el eje de las ordenadas se selecciona el torque y la potencia.



Gráfica 15-3. Curvas de torque y potencia del motor con los equipos AVL

Realizado por: Fonseca Rosales, Jonathan; Granizo Revelo, Junior, 2022.

En la Gráfica 15-3 ya se logran ver las curvas de torque y potencia en donde se observa cómo se comportan dichas curvas, en la parte superior se muestra la gráfica de velocidad versus torque empezando aproximadamente desde las 2000 RPM hasta las 8000 RPM mientras que, en la parte inferior se logra visualizar la gráfica de velocidad versus potencia cabe mencionar que dichos datos serán exportados a Excel para seleccionar los datos con los cuales se trabajará y de esta forma realizar el respectivo análisis de resultados.



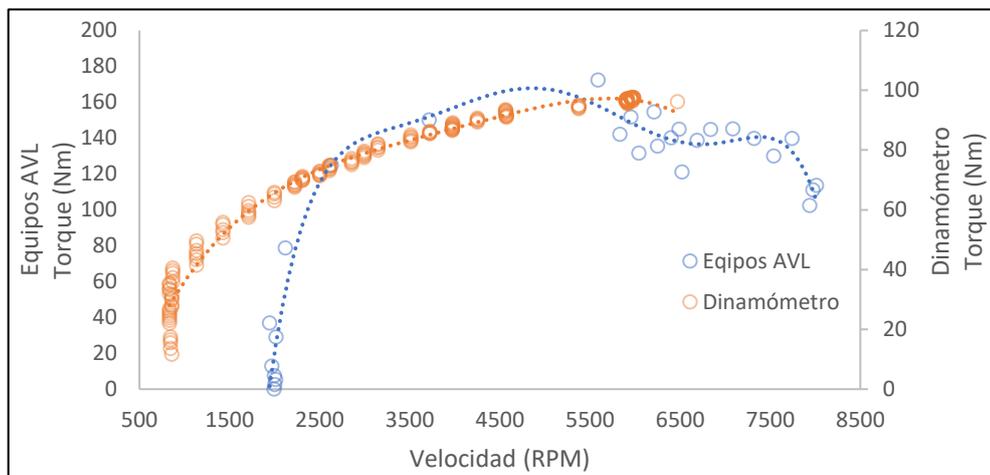
Gráfica 16-3. Curvas de torque y potencia obtenidas con los equipos AVL

Realizado por: Fonseca Rosales, Jonathan; Granizo Revelo, Junior, 2022.

En la Gráfica 16-3 se muestra el resultado final obtenido después de exportar los datos y seleccionar con cuales vamos a trabajar, para ello se utilizó una gráfica de dispersión y se le agregó la línea de tendencia de esta manera los resultados muestran el comportamiento de las curvas características del motor mediante el método indicado con el cual trabajan los equipos AVL

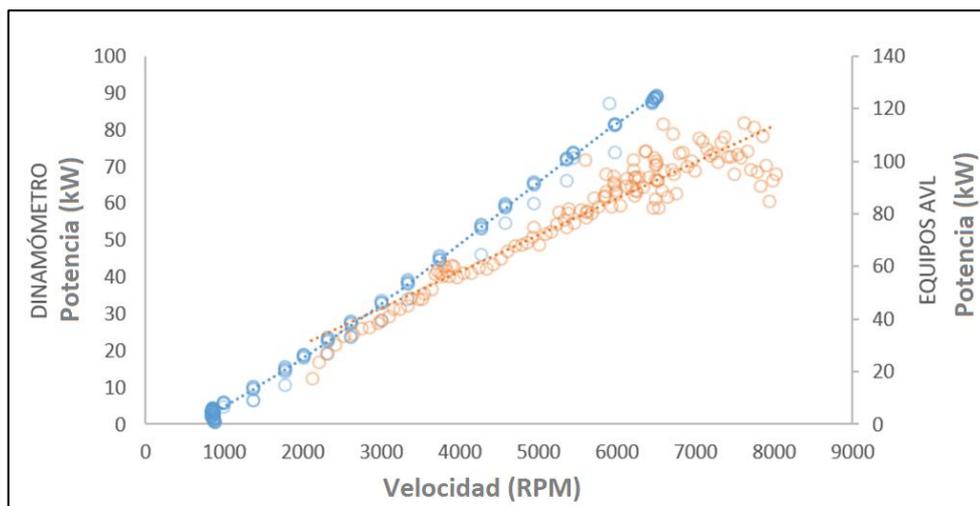
3.3. Análisis comparativo

Una vez obtenidas las curvas de torque y potencia se pueden llegar a realizar la respectiva comparación entre ambos métodos de obtención de datos. El método efectivo (freno de corrientes parásitas) y el método indicado (presión de cámara de compresión), en donde se puede comprobar que los resultados obtenidos con los equipos AVL se asemejan a los resultados obtenidos con el dinamómetro con respecto a su comportamiento como veremos a continuación.



Gráfica 17-3. Comparación entre las curvas de torque de los equipos AVL y el dinamómetro

Realizado por: Fonseca Rosales, Jonathan; Granizo Revelo, Junior, 2022.



Gráfica 18-3. Comparación entre las curvas de potencia de los equipos AVL y el dinamómetro

Realizado por: Fonseca Rosales, Jonathan; Granizo Revelo, Junior, 2022.

Como se puede observar en las Gráficas 17-3 y 18-3 obtenidas con los equipos AVL tanto para el torque como para la potencia, presentan una similitud en su comportamiento con respecto a las curvas obtenidas con el dinamómetro lo que demuestra que el método utilizado por los equipos AVL (método indicado) es efectivo y se puede lograr una comparación entre las mismas.

Cabe mencionar que al ser métodos distintos de obtención de datos las gráficas no presentan los mismos valores de un método comparado con el otro. Esto debido a que el dinamómetro trabaja con el efecto de aplicar una fuerza frenado, además el dinamómetro obtiene datos después de que el torque y la potencia atravesase todo el motor es decir le afecta la eficiencia mecánica. Por otro lado, los equipos AVL realizan la obtención de datos directamente de la cámara de compresión sin que la eficiencia mecánica afecte a este proceso de obtención de datos.

3.4. Análisis estadístico

Como se mencionó anteriormente, al ser métodos distintos de obtención de datos no es posible obtener datos similares entre sí, lo que sí se puede obtener es una similitud en el comportamiento de ambos resultados. Debido a esto es necesario que se realice un análisis estadístico en el cual permita conocer que tanto varían los datos obtenidos mediante el método de trabajo efectivo como el de trabajo indicado. Para ello se calculó el coeficiente de determinación, este coeficiente indica el nivel de variación que existe entre dos variables y muestra que tanto se ajusta al modelo de la variable. En la Tabla 6-3 se logra observar los valores de torque como de potencia que se lograron obtener tanto con el dinamómetro (freno de corrientes parasitas) como los equipos AVL (presión de cámara de compresión), con ellos podremos obtener una gráfica que nos permita calcular el coeficiente de determinación y conocer su nivel de variación.

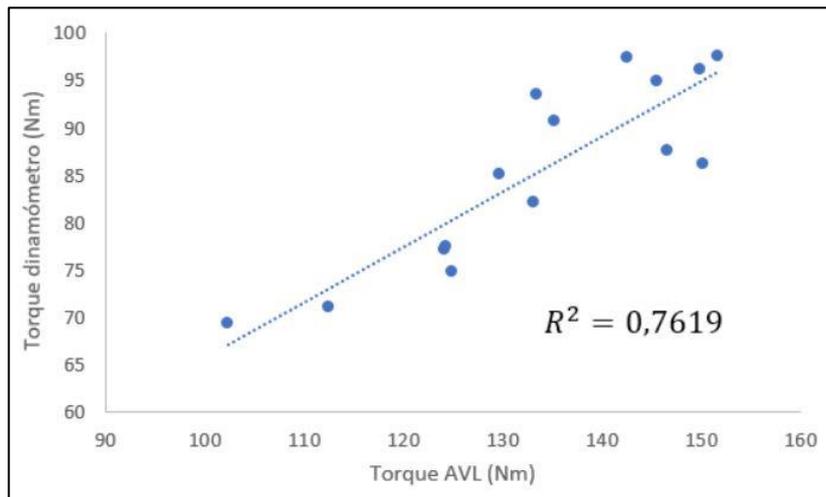
Tabla 6-3: Datos de las variables de torque y potencia a las mismas RPM de los dos métodos de estudio

	Equipos AVL		Dinamómetro	
RPM	Torque (Nm)	Potencia (Kw)	Torque (Nm)	Potencia (Kw)
2200	102,3	23,6	69,4	16,4
2300	112,5	27,1	71,2	17,4
2600	124,8	34,3	74,9	20,7
2800	124,1	36,9	77,2	23,4
2980	124,3	38,5	77,5	23,5
3150	133,1	43,9	82,1	27,4
3515	129,7	47,7	85,1	31,7
3715	150,0	58,4	86,3	34,1
3950	146,6	60,2	87,7	36,9

4240	135,2	59,9	90,7	40,9
4500	133,4	63,1	93,5	45,3
5380	145,5	81,9	94,9	54,2
5950	151,7	94,6	97,5	61,6
5980	142,6	89,3	97,4	61,8
6472	149,9	101,6	96,2	60,4

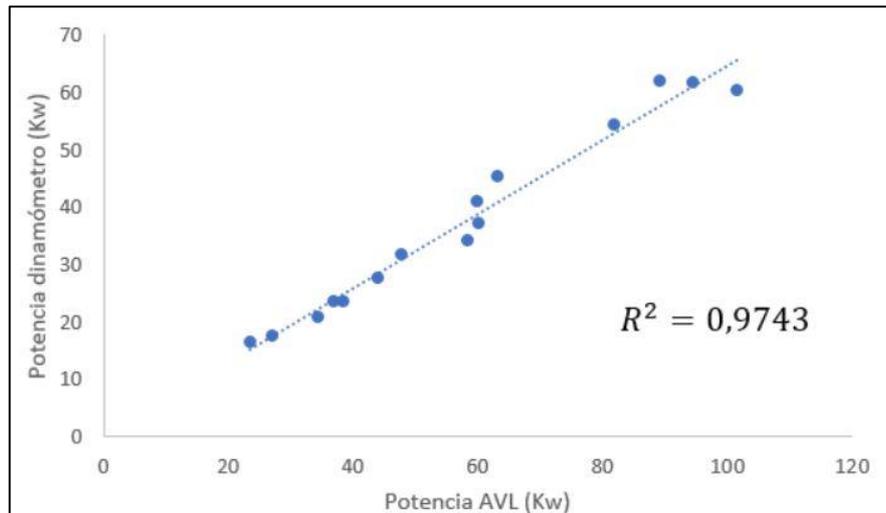
Realizado por: Fonseca Rosales, Jonathan; Granizo Revelo, Junior, 2022.

El coeficiente de determinación se lo representa con R cuadrado, este nos permite conocer el nivel de variación de datos entre dos variables las cuales en este caso serán los datos obtenidos por el dinamómetro y los datos obtenidos por los equipos AVL. Este coeficiente nos ayuda a conocer si los resultados se ajustan al modelo en el que se basan los datos. El rango en el cual trabaja el coeficiente de determinación está entre 0 y 1 lo que quiere decir que mientras este coeficiente se encuentre más aproximado a uno los datos de las variables se ajustan al modelo de dichas variables.



Gráfica 19-3. Torque del dinamómetro vs torque de los equipos AVL

Realizado por: Fonseca Rosales, Jonathan; Granizo Revelo, Junior, 2022.



Gráfica 20-3. Potencia del dinamómetro vs potencia de los equipos AVL

Realizado por: Fonseca Rosales, Jonathan; Granizo Revelo, Junior, 2022.

En las Gráficas 19-3 y 20-3 se puede observar que en el eje de las abscisas tenemos los datos obtenidos por los equipos AVL y en el eje de las ordenadas los datos obtenidos con el dinamómetro. En estos resultados podemos observar que en el análisis del torque se tiene un R cuadrado de 0.76 el cual está dentro del rango aceptable e indica que los datos de los equipos AVL se ajustan al modelo de la variable de los datos obtenidos por el dinamómetro, por otro lado, los datos de potencia tienen un R cuadrado de 0.97 siendo estos más ajustables al modelo.

3.5. Discusión de resultados

Después de tener los diferentes datos de la averiguación correctamente ordenados y procesados, está establecido la interacción directa que tiene la presión atmosférica sobre la potencia, torque de un motor de combustión interna, que en nuestro caso hablamos de un motor con sistema de repartición variable.

Para las gráficas de los datos proporcionado por los dos métodos que se aplicó en el trabajo de investigación, se usa el programa Labview e Indicom, que, al ser instrumentos matemáticos, puede proporcionar relevantes facilidades para procesar los diferentes valores.

En comparación con el trabajo de (Castillo, Martínez y Rojas, 2017), en donde tienen el mismo principio de obtener los datos de la presión en el interior del cilindro, es con la ayuda de una adaptación a la bujía de encendido. Ésta consiste en acoplar un tubo metálico a la bujía para que los gases sean guiados desde el interior del cilindro hasta el sensor de presión que es ajustado en el extremo de la misma. Para esto se hace uso de un súpex y un tubo delgado. Dicho dispositivo es muy similar al sensor de presión de los equipos AVL con el cual permite obtener de una manera más efectiva las señales, ya que se está trabajando en cada cilindro el cual permite obtener los datos individuales y poder ver el comportamiento del motor en general, cabe recalcar que la investigación antes mencionada solo quedo en un prototipo, en comparación con los equipos AVL, son componentes certificados y que poseen un grado muy alto de efectividad en

la obtención de datos y se puede realizar otros estudios.

Con la investigación presentada por (Cargua Colcha y Castelo Valdivieso, 2017, pp.4-107), donde sus propuesta de investigación y la presente, optaron por el mismo método de obtención de datos de las rpm, el cual es conectarse por medio de una tarjeta de adquisición de datos con la computadora del vehículo, nos garantiza que el valor de rpm mostrado es el mismo que maneja la ECU para las diferentes gestiones electrónicas, ayudándonos a tener menor grado de error en el procesamiento de los datos. Que mientras para el dinamómetro se utilizó una tarjeta de adquisición de datos para la toma de muestras y con la ayuda del software labview poder procesarla, y con ello tener un porcentaje de error también menor.

Según (Arroyave et al., 2007, pp.243-248), donde nos dice que los principales parámetros que define la capacidad de un motor son la potencia y el torque, ya que al compararlos con otros motores, nos indican su desempeño; se pudo cuantificar el trabajo por segundo que realiza un motor de combustión interna, valorando su desempeño actual frente a las curvas ofrecidas por el fabricante, la curva real obtenida muestra que el motor presenta pérdidas de potencia del orden del 36%, en operación sobre las 4000RPM. La medida del torque presentó pérdidas en un 46%, barriendo un rango de operación de 1500 a 4000 RPM (con el dinamómetro sin ofrecer resistencia). Mientras que con la ayuda del dinamómetro Borghi & Saveri se tiene un porcentaje de error de un 10%, en un motor de combustión interna Aveo 1.6 L, esta medida de perdida se presentó en el rango de operaciones de 4000 a 6500 RPM, y en comparación a lo que ofrece el fabricante, dichas pruebas se lo realizaron a una altura de 2754 m.s.n.m., y debemos recalcar que a mayor altura va a decrecer dichas curvas en comparación a nivel del mar.

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

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

CONCLUSIONES

Con el desarrollo de la presente investigación, se cumplen los objetivos planteados, es así que se pudo establecer un protocolo de medición de torque, potencia.

- Al finalizar el presente trabajo de titulación se logran observar y posterior a esto analizar las curvas características del motor obtenidas por los dos métodos propuestos ya que con respecto a los datos obtenidos con el dinamómetro nos referimos al método de trabajo efectivo y referente a los datos obtenidos con los equipos AVL nos referimos al método de trabajo indicado es por esta razón que las curvas de torque y potencia nos ofrece valores de torque y potencia indicados.
- Se sustenta la base teórica del proyecto de investigación mediante la discusión del proyecto, en el cual se realiza una comparación con diferentes fuentes de información tanto primarias como secundarias, logrando así comparar las curvas de torque y potencia.
- Basándose en los datos que se obtuvieron del motor se logró realizar la comparación tanto de los resultados obtenidos con el dinamómetro como los datos obtenidos con los equipos AVL.
- Se demuestra que los datos obtenidos con los equipos AVL son mucho más amplios que los obtenidos con el dinamómetro por el hecho de que los equipos analizan cada uno de los cilindros lo que permitirá conocer el estado de cada uno de ellos además la obtención de datos con los equipos AVL es mucho más extensa que la de los datos obtenidos con el dinamómetro.
- Se observa que las pruebas realizadas a diferentes números de revoluciones se logran comparar entre las curvas características obtenidas con el dinamómetro y con los equipos AVL.

RECOMENDACIONES

- Verificar el nivel de agua de la cisterna del sistema de refrigeración, para evitar un recalentamiento de las bobinas del freno dinamométrico y recopilación de datos erróneos.
- Accionar el breaker eléctrico del motor arranque, una vez acoplada la palanca de accionamiento al rotor.
- Comprobar el apriete adecuado de todos los pernos del sistema de transmisión, y de las bases que sujetan al motor junto con la bancada.
- Fijar la tapa de seguridad del eje de transmisión antes de realizar un ensayo.
- Conservar una distancia prudente del banco dinamométrico, una vez arrancado el motor a prueba.
- Respetar las señales de seguridad provistas en el equipo.
- Seguir las instrucciones detalladas en el manual de usuario, antes de operar el banco dinamométrico.
- Realizar pruebas a bajo régimen de revoluciones con el fin de evitar vibraciones excesivas que puedan poner en riesgo a las personas.
- Verificar que los cables se encuentren correctamente colocados, con el fin de que las señales sean claras al momento de que los equipos las obtengan
- Cuidar que los cables de obtención de datos no se maltraten. Caso contrario la señal puede presentar errores y los equipos no las interpretan.
- Conocer el correcto manejo del software IndiCom.
- Utilizar la herramienta adecuada para la manipulación de los equipos como lo es el sensor de presión AVL.

BIBLIOGRAFÍA

AGUILAR ÁVILA, J., CADENA IÑIGUEZ, P., CRUZ MORALES, F. del R. de la, RENDÓN MEDEL, R., SALINAS CRUZ, E. y SANGERMAN JARQUÍN, D.M. "Métodos cuantitativos, métodos cualitativos o su combinación en la investigación: un acercamiento en las ciencias sociales". *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* [en línea], 2017, (Mexico) 8(7), pp. 1603–1617. [Consulta: 25 junio 2021]. ISSN 2007-0934. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-09342017000701603&script=sci_abstract&tlng=pt.

ALCIVAR ORRALA, Karla Elizabeth, POLO QUIÑONEZ, Jorge Eliecer, SEVILLA PAREDES, Jonhny Fabricio, TORRES RODRIGUEZ, Eunice, & VELEZ ALVARADO, Cinthia Leonela. Investigación de los equipos de adquisición de datos NI USB 6009 para su implementación y uso en los laboratorios de telecomunicaciones de la FET de UCSG. [En línea]. (Trabajo de Titulación). (Ingeniería) Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo. Guayaquil, Ecuador. 2010. pp. 51-56. [Consulta: 2021-06-17]. Disponible en: <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/8542>.

ANDRADE CORDERO, Juan Pablo, & BAUTISTA ILLESCAS, Wellington Patricio. Desarrollo de un sistema automatizado de cálculo para aumentar la eficiencia volumétrica y presión media del pistón en la repotenciación de motores ciclo Otto en autos de competencia [En línea]. Trabajo de Titulación). (Maestría) Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Mecánica. Quito, Ecuador. 2019. pp. 5-21. [Consulta: 2021-06-14]. Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/786%0Ahttps://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/786/1/CD-1222.pdf>.

ARROYAVE, J.F, CARDONA, J.P, CORREA, A.J, & MONTILLA M., C.A. "Medición de par motor en el eje de salida de un motor de combustión interna alternativo". *Scientia et Technica* [en línea], 2007, (Colombia) 1(37), pp. 243–248. [Consulta: 14 junio 2021]. ISSN 0122-1701. Disponible en: <https://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/view/4075>.

AVL LIST GMBH. *Avl universal pulse conditioner 389Z01* [en línea]. Graz, Austria: AVL, 2011. [Consulta: 22 junio 2021]. Disponible en: <https://www.avl.com/download>.

AVL LIST GMBH. *AVL Angle Encoder 365C/365X Product Guide* [en línea]. Graz, Austria: AVL, 2017a. [Consulta: 21 junio 2021]. Disponible en: <https://www.avl.com/download>.

AVL LIST GMBH. *AVL Vehicle Interface 303 2nd Generation Product Guide* [en línea]. Graz, Austria: AVL, 2017b. [Consulta: 20 junio 2021]. Disponible en: <https://www.avl.com/download>.

AVL LIST GMBH. *Avl indimicro 602 Product Guide* [en línea]. Graz, Austria: AVL, 2018. [Consulta: 20 junio 2021]. Disponible en: <https://www.avl.com/download>.

AVL LIST GMBH. *Sensors for combustion analysis* [en línea]. Graz, Austria: AVL, 2019. [Consulta: 03 junio 2021]. Disponible en: <https://www.avl.com/download>.

AVL LIST GMBH, 2020. *Guía de usuario para AVL IndiCom* [en línea]. Graz, Austria: AVL,

2020. [Consulta: 19 junio 2021]. Disponible en: <https://www.avl.com/download>.

AVL LIST GMBH. *AVL Advanced Combustion Analysis Software* [en línea]. Graz, Austria: AVL, 2020a. [Consulta: 19 junio 2021]. Disponible en: <https://www.avl.com/download>.

AVL LIST GMBH. *Avl Combustion Measurement Systems* [en línea]. Graz, Austria: AVL, 2020b. [Consulta: 20 junio 2021]. Disponible en: <https://shop.avl.com>.

AVL LIST GMBH. *Installing Piezoelectric Pressure Transducers* [en línea]. Graz, Austria: AVL, 2021. [Consulta: 03 junio 2021] Disponible en: <https://www.avl.com/download>.

BALLADARES PICO, Lui Miguel, & SAETEROS AMOROZO, Darío Javier. Implementación de un sistema de adquisición de datos y pruebas de funcionamiento de un banco dinamométrico [En línea]. (Trabajo de Titulación). (Ingeniería) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Mecánica, Carrera de Ingeniería Automotriz, Riobamba, Ecuador. 2016. pp. 1-73. [Consulta: 2021-06-03]. Disponible en: <http://dspace.espech.edu.ec/handle/123456789/4656>.

BERBERI, R.O., CAPUTO, D.C., FERRÉ, N.A.E., PURICELLI, A., FONTERIZ, V., FERREYRA, R., AGUIRRE, R.N., CALVO, B.E. y BRUNO, J.M. "Caracterización del fluido de trabajo para motores de Ciclo Otto a cuatro tiempos y su utilización en el ciclo indicado previsto". *Extensionismo, Innovación y Transferencia Tecnológica* [en línea], 2015, (Argentina) 2, pp. 80–87. [Consulta: 14 junio 2021]. ISSN 2422-6424. DOI 10.30972/eitt.20283. Disponible en: <https://revistas.unne.edu.ar/index.php/eitt/article/view/283>.

CANDO, I., ROCHA, J., SUASNAVAS, V. , & TORRES, G., 2014. "Diseño y construcción de un banco de pruebas dinamométrico para motos de 125 centímetros cúbicos". *Revista de Difusión* [en línea], 2014, (Ecuador) 1(3), pp. 1–7. [Consulta: 07 junio 2021]. ISSN 1390-7395. Disponible en: <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/7786>.

CANDO PASTRANO, Oscar Iván, & SUASNAVAS PEÑAFIEL, Vinicio Israel. Diseño y construcción de un banco de pruebas dinamométrico para motos de 125 centímetros cúbicos. [En línea]. (Trabajo de Titulación). (Ingeniería) Universidad de las Fuerzas Armadas, Carrera de Ingeniería Automotriz, Latacunga, Ecuador. 2014. pp. 10-36. [Consulta: 2021-06-07]. Disponible en: <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/handle/21000/7786>.

CARGUA COLCHA, Fabián Alejandro, & CASTELO VALDIVIESO, Juan Carlos. Determinación de la variación de par motor, potencia y pérdidas mecánicas en un motor de encendido provocado (MEP) en función de la presión atmosférica y temperatura ambiente a través del método de aceleración libre. [En línea]. (Trabajo de Titulación). (Maestría) Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Mecánica, Quito, Ecuador. 2017. pp. 4-107. [Consulta: 2021-06-10]. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/17118>.

CARREÑO JAIMES, Karina, & GABRIEL JIMENEZ, Natalia. Tutorial para la programación de las tarjetas NI-USB 6008/6009 con la toolbox de adquisición de datos de Matlab [En línea]. (Trabajo de Titulación). (Ingeniería) Universidad Pontificia Bolivariana,

Bucaramanga, Colombia. 2009. pp. 30-39. [Consulta: 2021-07-27]. Disponible en: <https://repository.upb.edu.co/handle/20.500.11912/478>.

CASTILLO, J., MARTÍNEZ, J., & ROJAS, V. "Determinación del Torque y Potencia de un Motor de Combustión Interna a Gasolina Mediante el Uso de Bujía con Sensor de Presión Adaptado y Aplicación de un Modelo Matemático". *Revista Politécnica* [en línea], 2017, (Ecuador) 39(1). pp. 49-57. [Consulta: 26 agosto 2021]. ISSN 24477-8990 Disponible en: http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1390-01292017000100049&lng=pt&nrm=iso

CHANCUSING SARZOSA, José Ignacio, & JAITIA CHICAIZA, Luis David. Rehabilitación y mantenimiento del banco dinamométrico marca BORGHI y SAVERI modelo FA 200 SP del facultad mecánica ESPOCH [En línea]. (Trabajo de Titulación). (Ingeniería) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Mecánica, Carrera de Ingeniería Automotriz, Riobamba, Ecuador. 2013. pp. 3-18. [Consulta: 2021-06-03]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/3138/1/65T00106.pdf>.

CHIMBOLEMA LEÓN, Edison Elías, & GUAYTOSO MORETA, Wilson Fabián. Análisis del diseño y construcción del múltiple de admisión y escape en el torque y potencia de un motor ciclo Otto de 1100cc, mediante un software CFD y su validación experimental. [En línea]. (Trabajo de Titulación). (Ingeniería) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Mecánica, Carrera de Ingeniería Automotriz, Riobamba, Ecuador. 2019. pp. 5-122. [Consulta: 2021-06-07]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/13473>.

CORNEJO NARVÁEZ, Luis Andrés, & VELÁSQUEZ MOROCHO, Diego Fernando. Determinación de ciclos termodinámicos en motores de encendido provocado de vehículos de categoría M1 en ciclos de conducción reales [En línea]. (Trabajo de Titulación). (Ingeniería) Universidad Politécnica Salesiana, Carrera de Ingeniería Automotriz, Cuenca, Ecuador. 2020. pp. 6-12. [Consulta: 2021-06-14]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/18685>.

CORONA LISBOA, José. "Apuntes sobre métodos de investigación". *Medisur* [en línea], 2016, (Venezuela) 14(1), pp. 87–88. [Consulta: 26 agosto 2021]. ISSN 1727-897X. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=180044014017>.

DÁVILA NEWMAN, G. "El razonamiento inductivo y deductivo dentro del proceso investigativo en ciencias experimentales y sociales". *Laurus* [en línea], 2006, (Venezuela) 12(Ext), pp. 180–205. [Consulta: 15 agosto 2021]. ISSN 1315-883X. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/761/76109911.pdf>.

FEIJOO AGILA, Marco Leonel, & GARCÍA GARCÍA, Víctor Orlando. Adecuación del banco dinamométrico marca Armfield CM11 para el acoplamiento de diferentes motores ciclo Otto [En línea]. (Trabajo de Titulación). (Ingeniería) Universidad Politécnica Salesiana, Carrera de Ingeniería Mecánica Automotriz. Cuenca, Ecuador. 2016. pp. 4-10. [Consulta: 2021-06-03].

Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/12826>.

FERRER, Nayvi, FERRER, Noel, & PILOTO, R., 2010. "Evaluación del desempeño de un motor Yuchai trabajando con biodiesel cubano". *Ingeniería Energética* [en línea], 2010, (Cuba) 31(3), pp. 70–79. [Consulta: 14 junio 2021]. ISSN 1815-5901. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/3291/329127745010.pdf>.

GÓMEZ GARRIDO, Raúl. Diseño de un método de análisis del proceso de combustión en un motor a través de la medida del régimen instantáneo del cigüeñal [En línea]. (Trabajo de Titulación). (Ingeniería) Universidad Politécnica de Valencia, Escuela Técnica Superior Ingenieros Industriales Valencia. Valencia, España. 2017. pp. 6-16. [Consulta: 2021-06-14]. Disponible en: <https://riunet.upv.es/handle/10251/87966>.

GUILLÉN CARRIÓN, César. Potenciación de un motor de automoción [En línea]. (Trabajo de Titulación). (Ingeniería) Universidad Politécnica de Valencia, Escuela Técnica Superior Ingenieros Industriales Valencia. Valencia, España. 2014. pp. 15-22. [Consulta: 2021-06-14]. Disponible en: https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/49885/REDACCI%D3N_14026497815833198640224000996078.pdf?sequence=3.

HAMMER, A. *Application Training Combustion Pressure Sensors* [en línea]. Graz, Austria: AVL, 2018. [Consulta: 05 junio 2021]. Disponible en: www.avl.com.

HERNANDÉZ RUIZ, Sergio, HERRERA VELARDE, Maribel, LÓPEZ CORELLA, José & VÁZQUEZ CUEVAS, Ignacio. "Monitoreo del proceso de moldeo por inyección de plásticos de la máquina BOY 25D utilizando LabVIEW y la tarjeta de adquisición de datos NI USB6009". *Revista de Innovación Sistemática* [en línea], 2017, (Mexico) 1(3), pp. 47–48. [Consulta: 10 julio 2021]. ISSN 2523-6784 Disponible en: https://www.ecorfan.org/taiwan/research_journals/Innovacion_Sistematica/vol1num3/Revista_de_Innovacion_Sistematica_V1_N3.pdf#page=55.

KIRSCHBAUM, Leifert P. *Crank Angle Encoder* [en línea]. Graz, Austria: AVL, 2018. [Consulta: 25 junio 2021]. Disponible en: <https://www.avl.com/-/crank-angle-encoder-of-366-series>.

KISTLER INSTRUMENTE AG. *Crank Angle Encoder* [en línea]. Winterthur, Suiza: Kistler Group, 2010. [Consulta: 25 junio 2021]. Disponible en: https://intertechnology.com/Kistler/pdfs/ACC_2613B_Crank_Angle_Encoder.pdf.

LOOR MIÑO, Carlos Alfredo. Estudio y análisis de curvas de eficiencia y desempeño del Chevrolet Aveo Emotion 2015 con motor 1.6L usando combustible super [En línea]. (Trabajo de Titulación). (Ingeniería) Universidad Internacional del Ecuador, Facultad de Ingeniería Automotriz. Guayaquil, Ecuador. 2016. pp. 5-35. [Consulta: 2021-06-03]. Disponible en: <http://repositorio.uide.edu.ec/handle/37000/1012>.

MALDONADO SARMIENTO, Luis Enrique. Pruebas de rendimiento y comparación de las

curvas características y de emisión de gases de combustión de un motor nissan A12 utilizando los combustibles E0, E5 y E10 [En línea]. (Trabajo de Titulación). (Ingeniería) Escuela Superior Politécnica del Litoral, Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción. Guayaquil, Ecuador. 2013. pp. 3-13. [Consulta: 2021-07-12]. Disponible en: <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/30892>.

MERA VILLAVICENCIO, Diógenes Geovanny, & VALDIVIESO FEIJOO, Fernando Javier. Sistema de adquisición de datos de humedad y temperatura utilizando tecnología 1 WIRE y Labview [En línea]. (Trabajo de Titulación). (Ingeniería) Escuela Superior Politécnica del Litoral, Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación. Guayaquil, Ecuador. 2011. pp. 38-43. [Consulta: 2021-06-14]. Disponible en: <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/45420>.

MILHOR, Carlos Eduardo. Sistema De Desenvolvimento Para Controle Eletrônico Dos Motores De Combustão Interna Ciclo Otto [En línea]. (Trabajo de Titulación). (Maestría) Universidad de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos. São Carlos, Brasil. 2002. pp. 3-12 [Consulta: 2021-06-14]. Disponible en: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18135/tde-12032003-092253/en.php>. NATIONAL INSTRUMENTS, 2021. ¿Qué es LabVIEW? [en línea]. Disponible en: <https://www.ni.com/es-cr/shop/labview.html#pinned-nav-section2>.

NAVARRO SANJURJO, Rafael. Medida lineal de variables mecánicas en bancos dinamométricos de corriente continua por medio de parámetros eléctricos no lineales [En línea]. (Trabajo de Titulación). (Doctoral) Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Aeronauticos. Madrid, España. 1971. pp. 10-13. [Consulta: 2021-06-07]. Disponible en: <https://oa.upm.es/1297/>.

PAGLIARO ROMERO, F.C. *Metodología de la Investigación* [en línea]. San Lorenzo-Paraguay. 2020. [Consulta: 05 agosto 2021]. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/566602812/metodo-cientifico>.

PAYRI, F. ; & DESANTES, J.M. *Motores de combustión interna alternativos* [en línea]. Editorial Reverté, S. A., 2015. [Consulta: 14 junio 2021], pp. 57-69. Disponible en: https://gdocu.upv.es/alfresco/service/api/node/content/workspace/SpacesStore/130ad267-fe67-4ec7-8363-51b16ffe11a6/TOC_0809_04_01.pdf?guest=true.

PELEKAIS, C. de. "Métodos cuantitativos y cualitativos: diferencias y tendencias". *Telos: Revista de Estudios Interdisciplinarios* [en línea], 2000, (Venezuela) 2(2), pp. 347-352. [Consulta: 27 julio 2021]. ISSN 1317-0570. Disponible en: <http://ojs.urbe.edu/index.php/telos/article/view/997>.

PÉREZ GUERRERO, Francisco de Borja. Diseño, construcción y ensayo de un convertidor de par para un sistema de transmisión CVT inercial. [En línea]. (Trabajo de Titulación). (Doctoral) Universidad de Sevilla, Departamento de Ingeniería Mecánica y de los Materiales, Escuela

Superior de Ingenieros. Sevilla, España. pp. 243-260. [Consulta: 2021-06-08]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/11441/15324>.

PÉREZ JACINTO, Alipio O.; & RODRÍGUEZ JIMÉNEZ, Andrés. "Métodos científicos de indagación y de construcción del conocimiento". Revista Escuela de Administración de Negocios [en línea], 2017, (Colombia) (82), pp. 10–12. [Consulta: 10 junio 2021]. ISSN 0120-8160. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/206/20652069006.pdf>.

PISCHINGER, Rudolf. *Engine Indicating* [en línea]. Graz, Austria: AVL, 2002. [Consulta: 18 julio 2021]. Disponible en: <https://www.avl.com/download>.

PISCHINGER, Rudolf. *Engine Indicating* [en línea]. Graz, Austria: AVL, 2002. [Consulta: 18 julio 2021]. Disponible en: <https://www.avl.com/download>.

PLANAS, O., 2012. ¿Qué es el ciclo Otto? [en línea]. Disponible en: <https://demotor.net/motores-termicos/motor-otto/ciclo-otto>.

PULKRABEK, Willard W. *Engineering fundamentals of the internal combustion engine* [en línea]. Madison, WI, USA: s.n. 1971. [Consulta: 12 julio 2021]. Disponible en: <http://202.62.79.41:8080/jspui/bitstream/123456789/374/1/139.pdf>. ROMERO, F.C.P., 2020. Metodología de la Investigación. , no. April. DOI 10.13140/RG.2.2.34361.31843.

TOALA JIMÉNEZ, Fernando Javier, & VISTÍN CASTILLO, Daniel Stalin. Estudio experimental para determinar los parámetros de torque, potencia, consumo y emisiones de un motor de cuatro tiempos, monocilíndrico de 200cc, al variar la geometría de la cámara de combustión. [En línea]. (Trabajo de Titulación). (Ingeniería) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Mecánica, Carrera de Ingeniería Automotriz. Riobamba, Ecuador. 2019. pp. 18-35. [Consulta: 2021-06-07]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/13557>.

UNIVERSIDAD DE SEVILLA, 2015. Ciclo Otto. [en línea]. Disponible en: http://laplace.us.es/wiki/index.php/Ciclo_Otto.

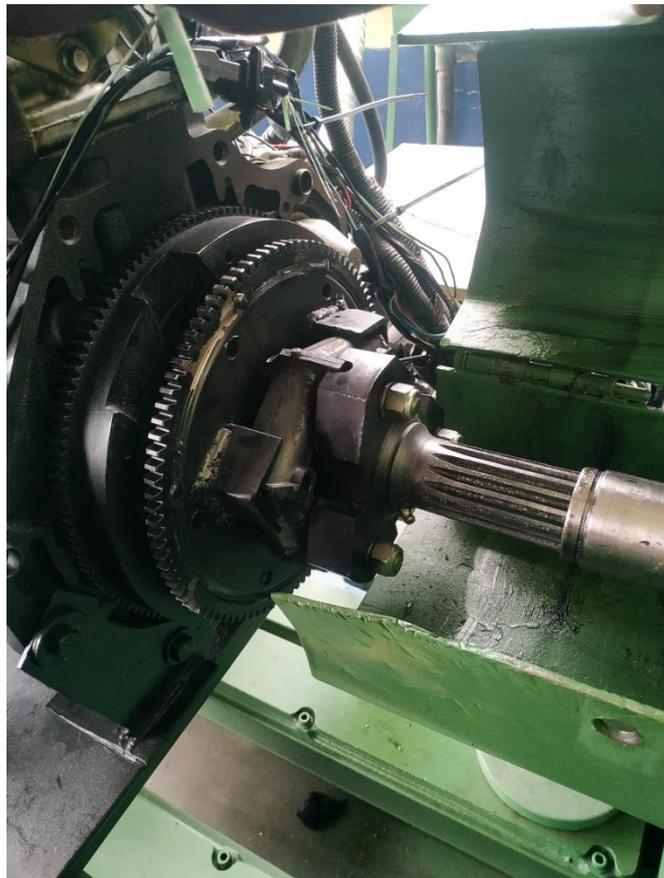
YÁNEZ, Luis Echeverría, 2015. La tarjeta NI USB 6009 [en línea]. Disponible en: [http://www.insdecem.com/archivos/documentos/Trabajando con la NI USB.pdf?fbclid=IwAR1vIYi7rSzdJsyIgwJJzGjMB_kP0Rj_z1CNX86Utii5Y6xbirDFa7EPU](http://www.insdecem.com/archivos/documentos/Trabajando_con_la_NI_USB.pdf?fbclid=IwAR1vIYi7rSzdJsyIgwJJzGjMB_kP0Rj_z1CNX86Utii5Y6xbirDFa7EPU).

ZAMBRANO MANTILLA, Rafael Andrés, & NÚÑEZ PRADA, Christian Martin. Obtención de las curvas de desempeño de un motor de combustión interna alternativo en un Banco de Pruebas [En línea] (Trabajo de Titulación). (Ingeniería) Universidad Pontificia Bolivariana, Facultad de Ingeniería Mecánica. Floridablanca, Colombia. 2013. pp. 13-48. [Consulta: 2021-05-31]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.11912/5942>.

ANEXOS



ANEXO A. Nivelación de la transmisión



ANEXO B. Ajuste de la brida de caucho con el motor y la transmisión



ANEXO C. Motor Aveo 1.6L utilizado para las pruebas



ANEXO D. Equipos utilizados para la toma de muestras con el dinamómetro



ANEXO E. Panel de control de encendido para poder utilizar el dinamómetro



ANEXO F. Depósito de agua del motor de pruebas

ANEXO G. Tabla de los datos de la toma de muestra 1 con el dinamómetro

RPM	TORQUE	POTENCIA(CV)	CONSUMO
1763.61669	10.752926	55.419044	249.983246
1763.61669	14.391112	57.315514	249.983246
1763.61669	14.832016	59.071504	249.983246
1763.61669	15.04365	59.914379	249.983246
1763.61669	15.466918	61.600129	249.983246
1763.61669	15.660916	62.372765	249.983246
1999.52668	18.195693	63.918036	166.317378
1999.52668	18.395645	64.620432	166.317378
1999.52668	18.795551	66.025224	166.317378
1999.52668	18.975508	66.65738	166.317378
1999.52668	19.155466	67.289537	166.317378
2308.19754	19.47539	68.41337	166.317378
2308.19754	22.6665	68.975287	166.317378
2308.19754	22.851156	69.537204	166.317378
2308.19754	23.220467	70.661038	114.471667
2308.19754	23.382041	71.152715	114.471667
2308.19754	23.728271	72.206309	111.892971
2611.34519	23.866763	72.627746	111.892971
2611.34519	24.028336	73.119424	109.743251
2611.34519	27.340784	73.540861	109.743251
2611.34519	27.654146	74.383736	95.897849
2611.34519	27.99362	75.296851	94.728363
2611.34519	28.150301	75.718289	93.673873
2997.58624	28.306982	76.139726	93.673873
2997.58624	32.853545	76.982602	92.642601
2997.58624	33.18328	77.755237	79.466158
2997.58624	33.333159	78.106435	79.108846
2997.58624	33.872724	79.370748	77.848705
3324.93545	34.082556	79.862425	77.369426
3324.93545	38.270007	80.84578	69.325383
3324.93545	38.502753	81.337457	69.325383
3324.93545	38.702249	81.758894	68.134226

3324.93545	39.16774	82.742249	67.726933
3324.93545	39.400485	83.233926	67.726933
3729.44099	44.678703	84.147041	59.020239
3729.44099	44.90247	84.568478	59.020239
3729.44099	45.200825	85.130395	58.338487
3729.44099	45.685652	86.04351	57.719385
3729.44099	45.909419	86.464948	57.719385
4267.47426	46.133185	86.886385	57.159456
4267.47426	53.215404	87.588781	49.552339
4267.47426	53.471452	88.010219	49.315057
4267.47426	53.8982	88.712615	49.119052
4267.47426	54.111574	89.063813	49.119052
4267.47426	54.495646	89.695969	49.119052
4573.71201	54.666345	89.976928	49.119052
4573.71201	59.000885	90.609084	49.119052
4573.71201	59.229571	90.960282	44.520798
4573.71201	59.54973	91.451959	44.281439
4573.71201	59.732679	91.732918	44.145814
4573.71201	60.098576	92.294834	43.877042
4937.81752	60.235787	92.505553	43.777094
4937.81752	65.179191	92.716272	40.456896
4937.81752	65.524838	93.207949	40.243483
4937.81752	65.672973	93.418668	40.152709
4937.81752	66.067998	93.980585	39.912633
5358.08394	66.216133	94.191304	39.823343
5358.08394	72.066229	94.472262	36.590616
5358.08394	72.173391	94.612741	60.893812
5358.08394	72.334133	94.82346	36.455096
5358.08394	72.441295	94.963939	36.401168
5441.89909	72.602037	95.174658	60.534292
5441.89909	73.792152	95.244898	35.734799
5441.89909	73.846571	95.315137	35.708466
5441.89909	73.955409	95.455616	35.655915
5441.89909	74.009828	95.525856	35.629697
5970.57803	74.118666	95.666335	35.577377

5970.57803	81.378979	95.736575	32.403304
5970.57803	81.49839	95.877054	32.355826
5970.57803	81.558096	95.947294	53.886899
5970.57803	81.677507	96.087773	32.28487
5970.57803	81.737213	96.158012	32.261288
6464.0198	88.557071	96.228252	29.776817
6464.0198	88.686352	96.368731	29.733411
6464.0198	88.686352	96.368731	29.733411
6464.0198	88.750992	96.438971	29.711755
6464.0198	88.815632	96.50921	29.690131
6499.74924	88.815632	96.50921	29.690131
6499.74924	89.241557	96.438971	29.548428
6499.74924	89.241557	96.438971	29.548428
6499.74924	89.241557	96.438971	29.548428
6499.74924	89.17656	96.368731	29.569965
6440.86474	88.046621	96.017533	29.949449
6440.86474	87.917804	95.877054	29.99333
6440.86474	87.660169	95.596096	30.081481
6440.86474	87.531352	95.455616	30.125751
6440.86474	87.338126	95.244898	50.320669
5897.98547	87.273717	95.174658	30.214683

ANEXO H. Tabla de los datos de la toma de muestra 2 con el dinamómetro

RPM	TORQUE	POTENCIA(CV)	CONSUMO
1052.244	6.860631	45.796219	384.359367
1275.54468	6.9869	46.639094	384.359367
1275.54468	8.750236	48.184366	384.359367
1275.54468	8.877791	48.886762	384.359367
1275.54468	8.99259	49.518918	384.359367
1275.54468	9.094634	50.080835	384.359367
1275.54468	9.285965	51.134429	384.359367
1394.49141	9.375253	51.626106	384.359367
1394.49141	10.430796	52.539221	384.359367
1394.49141	10.52841	53.030898	384.359367
1394.49141	10.626025	53.522575	248.159387

1394.49141	10.807308	54.43569	248.159387
1394.49141	11.016482	55.489284	248.159387
1577.52466	11.114097	55.980961	248.159387
1577.52466	12.699074	56.542878	248.159387
1577.52466	12.983028	57.807191	203.107299
1577.52466	13.10923	58.369108	203.107299
1577.52466	13.377409	59.563181	203.107299
1873.25857	13.519386	60.195337	203.107299
1873.25857	16.353547	61.319171	203.107299
1873.25857	16.503408	61.881088	203.107299
1873.25857	16.803129	63.004921	203.107299
1873.25857	17.233979	64.620432	203.107299
2140.46513	19.991944	65.603786	131.900514
2140.46513	20.291609	66.587141	131.900514
2140.46513	20.441442	67.078818	131.900514
2140.46513	20.56987	67.500256	131.900514
2140.46513	20.84813	68.41337	131.900514
2307.87571	20.976558	68.834808	125.709266
2307.87571	22.778733	69.326485	125.709266
2307.87571	23.078757	70.2396	125.709266
2307.87571	23.21723	70.661038	113.577192
2307.87571	23.517253	71.574152	113.577192
2307.87571	23.655726	71.99559	111.471859
2608.89848	23.932671	72.838465	111.471859
2608.89848	27.210811	73.259903	111.471859
2608.89848	27.549968	74.173018	95.715093
2608.89848	27.706502	74.594455	95.715093
2608.89848	28.071748	75.57781	94.551111
2997.85655	28.410904	76.490924	93.4151
2997.85655	32.826529	76.912362	80.329776
2997.85655	33.186272	77.755237	80.329776
2997.85655	33.366143	78.176675	79.030642
2997.85655	33.755865	79.08979	78.11821
3325.00785	33.965715	79.581467	78.11821
3325.00785	38.17109	80.635061	69.082327

3325.00785	38.437091	81.196978	68.604249
3325.00785	38.669841	81.688655	68.191326
3325.00785	39.168592	82.742249	67.323015
3325.00785	39.401343	83.233926	66.925326
3730.04351	39.866844	84.21728	66.532309
3730.04351	44.984325	84.708958	58.619258
3730.04351	45.506531	85.692312	58.280977
3730.04351	45.804934	86.254229	58.280977
3730.04351	46.364441	87.307823	56.874357
3730.04351	46.588243	87.72926	56.601141
4269.15104	53.833995	88.572136	56.601141
4269.15104	54.346293	89.415011	48.521207
4269.15104	54.773208	90.117407	48.143022
4269.15104	55.029357	90.538844	47.918927
4585.08582	55.456272	91.24124	47.550036
4585.08582	60.248028	92.294834	43.7682
4585.08582	60.614835	92.856751	43.50334
4585.08582	61.119194	93.629387	43.144347
5401.01914	61.256747	93.840106	43.047466
5401.01914	72.481677	94.261543	36.380888
5401.01914	72.643707	94.472262	36.299741
5401.01914	73.23782	95.244898	36.005274
5388.1423	73.34584	95.385377	35.952247
5388.1423	73.386498	95.666335	35.932328
5388.1423	73.655905	96.017533	35.800901
5388.1423	73.763668	96.158012	35.748598
5388.1423	73.817549	96.228252	35.722504
5956.25467	73.979194	96.438971	35.644451
5956.25467	81.898502	96.57945	32.197753
5956.25467	82.017627	96.719929	32.150988
5956.25467	82.077189	96.790169	32.127656
5956.25467	82.136752	96.860408	32.104359
5870.13307	82.255877	97.000888	53.429774
5870.13307	81.125239	97.071127	32.504653
5870.13307	81.18394	97.141367	32.48115

5870.13307	81.242642	97.211606	32.457681
5870.13307	81.301343	97.281846	32.434246
6482.12879	81.360044	97.352086	32.410844
6482.12879	89.971948	97.492565	29.308555
6482.12879	89.971948	97.492565	29.308555
6482.12879	90.036769	97.562804	29.287454
6482.12879	90.036769	97.562804	48.812424
6482.12879	90.036769	97.562804	29.287454
6398.23519	89.971948	97.492565	29.308555
6398.23519	88.807504	97.492565	29.692848
6398.23519	88.743522	97.422325	29.714256
6398.23519	88.743522	97.422325	29.714256
6620.12536	88.615557	97.281846	29.757165
6620.12536	91.092925	96.64969	28.947887
6620.12536	90.960523	96.50921	48.316707
6620.12536	90.695717	96.228252	29.074667
5871.16047	90.497114	96.017533	29.138473
5871.16047	80.200052	95.947294	32.879626
5871.16047	80.082629	95.806814	32.927837
5871.16047	80.023917	95.736575	54.919992
5871.16047	79.965206	95.666335	32.976189
5879.62007	79.965206	95.666335	32.976189
5879.62007	80.080425	95.666335	54.881238
5879.62007	80.198018	95.806814	32.88046
5879.62007	80.433203	96.087773	32.784319
5879.62007	80.491999	96.158012	32.760371
5879.62007	80.550795	96.228252	32.736458

ANEXO I. Tabla de los datos de la toma de muestra 3 con el dinamómetro

RPM	TORQUE	POTENCIA(CV)	CONSUMO
2141.53284	20.622961	67.640735	129.342079
2141.53284	20.85853	68.41337	129.342079
2141.53284	21.072683	69.115766	129.342079
2141.53284	21.286836	69.818162	123.87692
2141.53284	21.672312	71.082475	123.87692

2500.9781	21.86505	71.714632	120.601037
2500.9781	25.935143	72.838465	120.601037
2500.9781	26.135221	73.400382	100.896324
2500.9781	26.485358	74.383736	99.562473
2500.9781	26.660427	74.875414	99.562473
2500.9781	26.810485	75.296851	98.355092
2729.64133	27.135612	76.209966	98.355092
2729.64133	29.780387	76.631404	98.355092
2729.64133	30.080647	77.404039	98.355092
2729.64133	30.244426	77.825477	98.355092
2729.64133	30.408204	78.246914	86.718298
2729.64133	30.681169	78.94931	86.718298
3152.86198	30.817651	79.300508	85.566151
3152.86198	35.911098	80.002904	73.429884
3152.86198	36.10027	80.424342	73.045098
3152.86198	36.289441	80.84578	73.045098
3152.86198	36.510142	81.337457	73.045098
3152.86198	36.920014	82.250572	71.42326
3520.01429	37.140714	82.742249	70.998843
3520.01429	41.92337	83.655364	62.899231
3520.01429	42.345772	84.498239	62.271807
3520.01429	42.803374	85.411354	61.606072
3520.01429	43.014575	85.832791	61.303588
3730.74246	46.074669	86.745906	61.303588
3730.74246	46.298514	87.167344	56.955343
3730.74246	46.671588	87.86974	56.6813
3730.74246	46.858125	88.220938	56.275144
3730.74246	47.044662	88.572136	56.052007
4261.61883	78.606744	147.994837	33.546075
4261.61883	78.755973	148.275796	33.482511
4261.61883	90.388935	148.978192	29.173347
4261.61883	90.5594	149.25915	29.118432
4261.61883	90.942946	149.891306	29.118432
4261.61883	91.113411	150.172265	29.118432
4572.81478	91.496956	150.804421	29.118432

4572.81478	98.406974	151.155619	26.79635
4572.81478	98.772799	151.717536	26.697104
4572.81478	99.138624	152.279453	26.598591
4572.81478	99.275809	152.490172	26.561836
4948.32031	61.138534	93.910345	43.1307
4948.32031	66.307492	94.121064	39.768473
4948.32031	66.455942	94.331783	39.679638
4948.32031	66.752841	94.75322	39.503154
4948.32031	66.901291	94.963939	39.415499
4948.32031	67.04974	95.174658	39.328232
5361.67483	67.297156	95.525856	39.183643
5361.67483	73.186861	95.877054	36.030343
5361.67483	73.401328	96.158012	35.925068
5361.67483	73.508562	96.298492	59.787769
5361.67483	73.776646	96.64969	35.74231
5903.40788	81.467029	96.930648	32.368282
5903.40788	81.585097	97.071127	32.321439
5903.40788	81.762199	97.281846	32.251429
5903.40788	81.880267	97.422325	32.204923
5934.00937	82.116404	97.703284	32.112314
5934.00937	82.779431	97.984242	53.091847
5934.00937	82.838771	98.054482	31.83229
5934.00937	82.898111	98.124721	31.809503
6644.63391	82.957451	98.194961	31.78675
6644.63391	92.958428	98.2652	47.278262
6644.63391	93.024875	98.33544	28.346695
6644.63391	93.024875	98.33544	28.346695
6644.63391	93.091321	98.40568	47.21077
6561.69344	93.091321	98.40568	28.326462
6561.69344	91.994942	98.475919	28.664051
6561.69344	91.994942	98.475919	28.664051
6561.69344	91.994942	98.475919	28.664051

ANEXO J. Tabla de los datos de la toma de muestra 4 con el dinamómetro

RPM	TORQUE	POTENCIA(CV)	CONSUMO
1712.85493	11.676107	57.455993	229.203755
1712.85493	14.199567	58.228628	229.203755
1712.85493	14.387981	59.001264	229.203755
1712.85493	14.559267	59.70366	229.203755
1712.85493	14.901838	61.108452	229.203755
1712.85493	15.22728	62.443004	229.203755
1998.08352	15.381437	63.075161	229.203755
1998.08352	18.282464	64.269234	229.203755
1998.08352	18.582177	65.322828	229.203755
1998.08352	18.722043	65.814505	140.847225
2221.36664	19.221563	67.570495	140.847225
2221.36664	21.480615	67.921693	140.847225
2221.36664	21.591684	68.272891	140.847225
2221.36664	21.702752	68.624089	140.847225
2221.36664	21.858248	69.115766	140.847225
2221.36664	21.947102	69.396725	140.847225
2306.72855	22.080384	69.818162	140.847225
2306.72855	22.998084	70.028881	140.847225
2306.72855	23.067286	70.2396	140.847225
2306.72855	23.205689	70.661038	113.973556
2306.72855	23.251824	70.801517	113.973556
2306.72855	23.36716	71.152715	113.973556
2499.70921	23.436362	71.363434	113.973556
2499.70921	25.472037	71.574152	103.523238
2499.70921	25.597022	71.92535	103.523238
2499.70921	25.672014	72.136069	103.523238
2499.70921	25.846993	72.627746	102.318312
2499.70921	25.946982	72.908705	102.318312
2606.61828	26.021973	73.119424	101.335427
2606.61828	27.31736	73.611101	96.530111

2606.61828	27.421624	73.892059	96.530111
2606.61828	27.604088	74.383736	95.527437
2606.61828	27.708352	74.664695	95.527437
2606.61828	27.786551	74.875414	94.900146
2854.05163	27.890816	75.156372	94.900146
2854.05163	30.766677	75.718289	94.193255
2854.05163	30.880839	75.999247	85.391066
2854.05163	31.109163	76.561164	84.764343
2854.05163	31.366027	77.19332	84.764343
2992.59276	31.480189	77.474279	84.764343
2992.59276	33.247706	78.036196	79.312172
2992.59276	33.367409	78.317154	79.312172
2992.59276	33.576891	78.808831	78.74515
2992.59276	33.696595	79.08979	78.255615
2992.59276	33.936002	79.651706	77.703548
3148.51578	34.055706	79.932665	77.430424
3148.51578	36.176446	80.7053	77.430424
3148.51578	36.333872	81.056498	72.575467
3148.51578	36.648724	81.758894	71.951967
3148.51578	36.806149	82.110092	71.644217
3512.80565	37.089516	82.742249	71.09685
3512.80565	41.556491	83.093447	63.454534
3512.80565	41.732131	83.444645	63.454534
3512.80565	42.083412	84.147041	62.660028
3512.80565	42.223924	84.427999	62.451508
3512.80565	42.540076	85.060156	61.987377
3723.24533	45.311896	85.481593	61.834195
3723.24533	45.386361	85.622072	58.100004
3723.24533	45.498058	85.832791	57.957369
3723.24533	45.646988	86.11375	57.768275
3723.24533	45.721453	86.254229	57.768275
3973.1914	45.870382	86.535187	57.486936
3973.1914	49.108646	86.816146	53.696202
3973.1914	49.188109	86.956625	53.609455
3973.1914	49.347037	87.237583	53.4368

3973.1914	49.426501	87.378062	53.4368
3973.1914	49.585429	87.659021	53.179892
3974.91217	49.704624	87.86974	53.179892
3974.91217	49.924897	88.220938	52.818291
3974.91217	50.004395	88.361417	52.818291
3974.91217	50.24289	88.782854	52.483998
3974.91217	50.441635	89.134052	52.277206
4249.90307	50.560883	89.344771	52.15391
4249.90307	54.313761	89.766209	48.550269
4249.90307	54.526256	90.117407	48.361063
4249.90307	54.653754	90.328126	48.248246
4249.90307	54.866249	90.679324	48.061382
4570.23326	54.993746	90.890042	47.949957
4570.23326	59.36733	91.24124	44.417489
4570.23326	59.504437	91.451959	44.315145
4570.23326	59.595842	91.592438	44.247177
4570.23326	59.870056	92.013876	44.044518
4563.91361	60.098567	92.365074	43.877048
4563.91361	60.24366	92.716272	43.771374
4563.91361	60.380577	92.926991	43.672119
4563.91361	60.608773	93.278189	43.507691
4563.91361	60.74569	93.488908	43.409627
5373.92174	60.973886	93.840106	43.247166
5373.92174	72.064291	94.191304	36.591601
5373.92174	72.279247	94.472262	36.482778
5373.92174	72.547943	94.82346	36.347657
5373.92174	72.655422	94.963939	36.293888
5915.91407	80.397272	95.455616	32.79897
5915.91407	80.633909	95.736575	54.504525
5915.91407	80.752227	95.877054	32.654799
5915.91407	80.929704	96.087773	32.583188
5900.4309	81.107182	96.298492	32.51189
5900.4309	81.071921	96.50921	32.52603
5900.4309	81.130925	96.57945	32.502375
5900.4309	81.307938	96.790169	32.431615

5900.4309	81.366942	96.860408	32.408097
5908.95543	81.425946	96.930648	32.384613
5908.95543	81.661764	97.071127	32.291095
5908.95543	81.661764	97.071127	32.291095
5908.95543	81.720854	97.141367	32.267746
5908.95543	81.779943	97.211606	32.244431
5953.17769	81.839033	97.281846	53.701917
5953.17769	82.511043	97.352086	31.958725
5953.17769	82.570575	97.422325	31.935684
5953.17769	82.570575	97.422325	53.226139
5953.17769	82.630106	97.492565	31.912675
5982.15069	82.689638	97.562804	31.8897
5982.15069	83.092073	97.562804	52.892084
5982.15069	83.092073	97.562804	31.73525
5982.15069	83.092073	97.562804	31.73525
5982.15069	82.912609	97.352086	31.803941
5972.57826	82.733144	97.141367	31.87293
5972.57826	82.361854	96.860408	32.016615
5972.57826	82.122951	96.57945	32.109754
5972.57826	81.943774	96.368731	32.179965
5913.39798	80.954418	96.158012	54.288734
5913.39798	80.895284	96.087773	32.597051
5913.39798	80.83615	96.017533	32.620897
6471.25031	80.954418	96.158012	32.573241