



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE
CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE MECÁNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SOFTWARE
PARA OBTENCIÓN DE POTENCIA Y TORQUE POR EL
MÉTODO DE ACELERACIÓN LIBRE EN UN
SMARTPHONE CON PROTOCOLO OBD II PARA LA
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ”**

MERA GARRIDO EDUARDO LUIS

TRABAJO DE TITULACIÓN
TIPO: PROPUESTA TECNOLÓGICA

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

RIOBAMBA – ECUADOR

2018

APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

2018-8-1

Yo recomiendo que el Proyecto de Titulación preparada por:

MERA GARRIDO EDUARDO LUIS

Titulada:

“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SOFTWARE PARA OBTENCIÓN DE POTENCIA Y TORQUE POR EL MÉTODO DE ACELERACIÓN LIBRE EN UN SMARTPHONE CON PROTOCOLO OBD II PARA LA CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ”

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

INGENIERO AUTOMOTRIZ

Ing. Carlos José Santillán Mariño
DECANO FACULTAD DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Juan Carlos Castelo Valdivieso
DIRECTOR

Ing. Wilson Javier Villagrán Cáceres
ASESOR

EXAMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: MERA GARRIDO EDUARDO LUIS

TÍTULO DE LA TESIS: “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SOFTWARE PARA OBTENCIÓN DE POTENCIA Y TORQUE POR EL MÉTODO DE ACELERACIÓN LIBRE EN UN SMARTPHONE CON PROTOCOLO OBD II PARA LA CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ”

Fecha de Examinación: 2018-8-1

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Ángel Rigoberto Guamán Mendoza PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. Juan Carlos Castelo Valdivieso DIRECTOR DE TESIS			
Ing. Wilson Javier Villagrán Cáceres ASESOR DE TESIS			

RECOMENDACIONES: _____

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

Ing. Ángel Rigoberto Guamán Mendoza
PRESIDENTE TRIB. DEFENSA

DERECHOS DE AUTORÍA

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

Mera Garrido Eduardo Luis

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo, Eduardo Luis Mera Garrido, declaro que el presente trabajo de grado es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autor, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación.

Eduardo Luis Mera Garrido

CI: 0603888314

DEDICATORIA

Este trabajo de titulación va dedicado a mi amada esposa Eva Viteri por ser mi apoyo durante todo el tiempo de mi carrera y el transcurso de este trabajo de investigación. A mis Padres Alonso Mera y Luz Garrido, pilares fundamentales que me formaron como persona, por su dedicación, apoyo y paciencia, a mis hermanos Diego, Valeria y mis sobrinos Shannel Lilian y Valentino Alonso. Por su amor, apoyo, por ser incondicionales y por creer siempre en mí.

Eduardo Luis Mera Garrido

AGRADECIMIENTO

Primero gracias a mi Dios por haberme dado la vida y poder alcanzar esta meta tan anhelada para mí y toda familia. A mí amada esposa Evita, a los mejores padres Alonso y Luz, a mis querido hermanos, a mis sobrinos y mis suegros Juanito y Marisol, quienes de una y otro forma hicieron posible el alcanzar este objetivo tan anhelado para todos, a los docentes de la Escuela de Ingeniería Automotriz, quienes fortalecieron los conocimientos durante todo este proceso, y mi reconocimiento especial al Ing. Juan Carlos Castelo Valdivieso, por su aporte valioso en este trabajo de investigación.

Eduardo Luis Mera Garrido

CONTENIDO

PORTADA	
APROBACIÓN	
DERECHOS DE AUTORÍA	
DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD	
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTO	
CONTENIDO	
ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE FIGURAS	
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	
RESUMEN	
ABSTRACT	
CAPITULO I	1
1 INTRODUCCIÓN	1
1.1 Antecedentes	1
1.2 Justificación.....	3
1.3 Objetivos.....	4
1.3.1 Objetivo General.....	4
1.3.2 Objetivos Específicos	4
CAPITULO II	5
2. MARCO TEÓRICO	5
2.1 Generalidades	5
2.2 Motor de combustión interna	5
2.4 Curvas características de motores de combustión interna	9
2.5 Inyección electrónica	12
2.6 Métodos de obtención de torque y potencia	13

2.6.1	<i>Métodos directos</i>	13
2.6.2	<i>Métodos Indirectos.</i>	17
2.7	OB2 II Protocolos de comunicación	18
2.8	Protocolos de comunicación	22
2.9	Red CAN.....	23
2.10	Normas ISO 9141	24
CAPITULO III		28
3.	MARCO METODOLÓGICO	28
3.1	Características del vehículo de prueba.....	28
3.2	Flujograma del programa.....	28
3.3	Tiempo de muestreo de datos t del software.....	31
3.4	Obtención del valor del momento de inercia	33
3.5	Determinación del número de pruebas	35
3.5.1	Método Estadístico	36
3.7	Torque, Potencia y RPM obtenidos	39
CAPITULO IV		42
4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	42
4.1	Conclusiones.....	42
4.2	Recomendaciones	46

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2. Valores máximos del Torque y Potencia.....	10
Tabla 2-3. Datos de diferencia de Velocidad angular del motor KIA RIO R CVVT 4 cilindros 1.4 L.....	31
Tabla 3-3. Resultado de las pruebas de Torque, Potencia y RPM con Dinamómetro...	33
Tabla 4-3. Promedio de los resultados de la prueba con Dinamómetro	34
Tabla 5-3. Pruebas de aceleración libre con un valor $k = 0.071 \text{ kg.m}^2$ con software “CALCULO MOTOR”.....	34
Tabla 6-3. Pruebas de aceleración libre con un valor $k = 0.08 \text{ kg.m}^2$ con software “CALCULO MOTOR”.....	35
Tabla 7-3. Pruebas de aceleración libre con un valor $k = 0.078 \text{ [kg-m}^2\text{]}$ con software “CALCULO MOTOR”.....	35
Tabla 8-3. Datos del torque.....	36
Tabla 9-3. Valores del Torque, requeridos por el método estadístico.	37
Tabla 10-3. Resultados de las 6 pruebas y sus promedios.....	38
Tabla 11-3. Torque potencia y RPM Prueba 1	39
Tabla 12-3. Pruebas de Torque y Potencia software “CALCULO MOTOR”.....	41

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-2. Esquema para la obtención del par motor.....	7
Figura 2-2. Torque y potencia	10
Figura 3-2. Curvas multiparamétricas de un motor MEP sobrealimentado	11
Figura 4-2. Esquema del sistema de inyección electrónico.....	13
Figura 5-2. Funcionamiento básico de un freno tipo Prony	14
Figura 6-2. Partes básicas de un freno tipo Prony	15
Figura 7-2. Funcionamiento de un freno hidráulico	16
Figura 8-2. Funcionamiento de un freno eléctrico.....	17
Figura 9-2. Conexión de un pc con un OBD II a través de un interfaz	21
Figura 10-2. Lectores de códigos para OBD II.....	22
Figura 11-2. Esquema del protocolo ISO 9141	24
Figura 1-3. Vehículo VW Gol Plus estilo seleccionado para las pruebas	28
Figura 2-3. Motor del vehículo de prueba	28
Figura 3-3. Flujograma del software	30
Figura 4-3. Graficas de Torque, Potencia y RPM con un momento de inercia de 0.078. Prueba 1	40
Figura 5. Gráfico de Torque, potencia y RPM con un momento de inercia de 0.078. Prueba 2	¡Error! Marcador no definido.
Figura 6. Gráfico de Torque, potencia y RPM con un momento de inercia de 0.078. Prueba 3	¡Error! Marcador no definido.
Figura 7. Gráfico de Torque, potencia y RPM con un momento de inercia de 0.078. Prueba 4	¡Error! Marcador no definido.
Figura . Gráfico de Torque, potencia y RPM con un momento de inercia de 0.078. Prueba 5	¡Error! Marcador no definido.
Figura 20. Gráfico de Torque, potencia y RPM con un momento de inercia de 0.078. Prueba 6	¡Error! Marcador no definido.

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

- Ilustración 1.** Datos del vehículo de prueba **¡Error! Marcador no definido.**
- Ilustración 2.** Ubicación del vehículo en el Dinamómetro de Rodillos **¡Error! Marcador no definido.**
- Ilustración 3.** Ventilador externo para el vehículo **¡Error! Marcador no definido.**
- Ilustración 4.** Fijación de seguridad del vehículo para realizar la prueba **¡Error! Marcador no definido.**

ANEXOS

Anexo A: Certificado de CCICEV.....
Anexo B: Desarrollo del software “CÁLCULO MOTOR”.....
Anexo C: Ilustraciones de la ejecución de la prueba.....
Anexo D: Datos obtenidos con los dos métodos.....

RESUMEN

El objetivo de este trabajo de titulación fue diseñar e implementar un software para obtención de potencia y torque por el método de aceleración libre en un smartphone con protocolo OBD II. Para obtener el valor del momento de inercia k , se realizó varias pruebas para ajustarlo en un valor ideal, se inició con un valor de 0.071 [kg-m²] pero no se obtuvo los resultados esperados de los parámetros de interés, luego se asumió el valor 0.08 [kg-m²] pero no se obtuvo un buen ajuste, hasta que se determinó que el valor 0.078 [kg-m²] que entrega valores muy similares para ambos métodos (dinamómetro y software). Para establecer la confiabilidad de los resultados se aplicó la determinación del número de pruebas requerido y se realizó usando el método estadístico con un nivel de confianza del 95.45% y un margen de error de $\pm 5\%$ y se llegó a determinar que para obtener esa confiabilidad era necesario realizar 6 pruebas. Las pruebas obtenidas en el banco dinamométrico de rodillos de potencia efectiva se realizaron sin factor de corrección a una altura estimada de 2700 [m.s.n.m] donde se encuentra el CCICEV. Los resultados de la investigación sugieren que: la precisión en la obtención de los resultados depende en gran medida del ajuste del valor del momento de inercia. El valor del momento de inercia para el motor de 4 cilindros, tipo atmosférico de encendido provocado de Volkswagen Gol, versión Plus estilo 2014 fue de 0.078 [kg-m²]. En la comparación del método de dinamómetro con el del software por aceleración libre se obtuvo resultados próximos, lo que indica que, el software es confiable para evaluar estos parámetros. Se recomienda involucrarse con el método para poder utilizarlo como una línea de diagnóstico en un mantenimiento preventivo del motor de combustión interna.

Palabras clave: <TECNOLOGÍAS Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA>, <MECÁNICA AUTOMOTRIZ>, <MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA>, <SMARTPHONE>, <ACELERACIÓN LIBRE>, <TORQUE>, <POTENCIA>.

SUMMARY

The objective of this degree work was to design and implement a software to obtain power and torque by the free acceleration method in a smartphone with OBD II protocol. In order to obtain the moment of inertia k , several tests were carried out to adjust it to an ideal value, it started with a value of $0.071 \text{ [kg}\cdot\text{m}^2]$ but the expected results of parameters of interest, were not obtained, then the value was assumed $0.08 \text{ [kg}\cdot\text{m}^2]$ but a good adjustment was not obtained, until it was determined that the value $0.078 \text{ [kg}\cdot\text{m}^2]$ gives very similar values for both methods (dynamometer and software). To establish the reliability of the results, the determination of the number of tests required was applied and it was carried out using the statistical method with a confidence level of 95.45% and an error margin of $\pm 5\%$ and it was determined that to obtain this reliability it was necessary to perform 6 tests. The tests obtained in the chassis dynamometer of effective power rollers were carried out without a correction factor at an estimated height of 2700 [m.s.n.m] where the CCICEV (Centre for technology transference for training and research in vehicle emissions control) is located. The results of the research suggest that: the precision in obtaining the results depends on a great extent on the adjustment of the inertia moment value. The value of the inertia moment for the 4-cylinder engine, atmospheric type of ignition caused by Volkswagen golf, version plus style 2014 was $0.078 \text{ [kg}\cdot\text{m}^2]$. In the comparison of the dynamometer method with the software it is reliable to evaluate these parameters. It is recommended to be involved with the method in order to use it as a diagnosis line in a preventive maintenance of the internal combustion engine.

Keywords: <TECHNOLOGY AND SCIENCES OF ENGINEERING>, <AUTOMOTIVE MECHANICS>, <INTERNAL COMBUSTION ENGINES>, <SMARTPHONE>, <FREE ACCELERATION>, <TORQUE>, <POWER>.

CAPITULO I

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

El sector de la industria Automotriz del país requiere contar con profesionales científicos y técnicamente preparados, amparado bajo Leyes y Reglamentos; de tal manera que puedan desenvolverse con la seguridad sugerida para el ejercicio profesional.

En la actualidad se incorporan nuevas tecnologías en el campo automotriz, por lo tanto, la universidad debe estar permanentemente actualizada en estos nuevos adelantos para formar a profesionales competitivos.

La teoría y la práctica deben estar siempre consolidadas en un solo conjunto para facilitar el aprendizaje de estudiantes, de ahí que, para fortalecer el aspecto práctico, sea necesario la innovación de nuevos equipos de diagnóstico que incorporen software que facilitan el análisis del comportamiento del motor bajo diferentes condiciones.

Los motores de combustión interna pertenecen al grupo de las máquinas de combustión y juegan un papel primordial en la formación de los trabajadores especializados y los ingenieros. Estos motores funcionan frecuentemente como motores de los vehículos.

Un motor de combustión interna es un tipo de máquina que transforma energía química en energía mecánica por medio de un combustible que arde dentro de una cámara de combustión. Su nombre se debe a que dicha combustión se produce dentro de la máquina en sí misma, a diferencia de, por ejemplo, la máquina de vapor.

Los parámetros de torque y potencia por lo general se ignoran, lo que implica que al menos en la Facultad de Ingeniería Automotriz, el estudio teórico y práctico debe ser permanente sobre los motores de combustión interna.

1.2 Justificación

El diseño y la implementación de un software para obtención de potencia y torque por el método de aceleración libre en un smartphone con protocolo OBD II se realiza con la finalidad de ampliar las opciones de pruebas en los Laboratorios de la Escuela de Ingeniería Automotriz, para la utilización tanto de los docentes como de los estudiantes.

Las posibilidades de obtener reportes directamente en un smartphone, permite al docente y a los estudiantes generar soluciones a diferentes problemas del motor en cuanto a potencia y torque, con la ventaja de que no necesariamente el motor analizado deba ingresar al banco de pruebas.

Esta herramienta de aprendizaje complementario se diseña con la finalidad de complementar la formación del futuro Ingeniero Automotriz de la ESPOCH, fortaleciendo su competitividad, fiabilidad y calidad de procesos efectuados en la parte práctica.

Este proyecto representa un esfuerzo que se suma a otras investigaciones realizadas sobre el tema, pero abordadas desde perspectivas diferentes. El software desarrollado permite ampliar las pruebas en los Laboratorios de Automotriz para mejorar el desempeño académico fortaleciendo los conocimientos de los estudiantes.

A pesar del incremento paulatino del parque automotor en las carreteras del país, la sociedad técnica y los usuarios en general no disponen de una alternativa diferente para determinar el torque y potencia de un motor. En la actualidad la manera más usual de hacerlo es mediante un banco dinamométrico, al cual no se tiene acceso fácilmente debido a su elevado precio adquisitivo y los costos que se desprenden de su servicio.

La ejecución de este proyecto mediante el diseño de métodos alternativos para evaluar el torque y la potencia por aceleración libre utilizando un software para smartphone, pretende fortalecer la cultura de investigación y de esta forma seguir contando con experiencia y especialización en esta área del conocimiento, para luego aplicarla en el campo profesional.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Diseñar e implementar un software para obtención de potencia y torque por el método de aceleración libre en un smartphone con protocolo OBD II para la carrera de Ingeniería Automotriz.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Analizar los métodos directos e indirectos de obtención de torque y potencia en motores de combustión interna.
- Diseñar el software por el método de aceleración libre para obtener el torque y potencia compatible con smartphone según protocolo OBD II.
- Dotar al laboratorio de Ingeniería Automotriz de la ESPOCH, una herramienta complementaria de aprendizaje práctico.
- Proporcionar al estudiante de Ingeniería Automotriz de la ESPOCH, habilidades y destrezas en lo referente a la obtención de torque y potencia en motores de combustión interna por el método de aceleración libre.

CAPITULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Generalidades

El motor de combustión interna ha venido evolucionando, tanto en tamaño, materiales y sobre todo prestaciones y eficiencia, es así que una forma de caracterizar un motor es a través de los caballos de potencia que este puede entregar y es por eso que la presente investigación es de desarrollo de un software como un método de fácil aplicación para determinar el torque y potencia.

Ante los dinámicos cambios de la industria automotriz, los proveedores de software triunfan más al optimizar los diseños y mejorar la validación en el proceso de ingeniería. Muchos adoptan tecnologías de automatización avanzadas con este fin. Más importante todavía resulta el diseño e implementación de software creados en base a las necesidades específicas, que es el caso de la presente investigación. La entrega de información precisa y consistente sobre resultados prácticos de obtención de torque y potencia por medio de aceleración libre no solo es beneficiosa, sino que se trata de una exigencia.

2.2 Motor de combustión interna

Los motores de combustión interna alternativos

Se describe el ciclo con aire como fluido de trabajo. No era, por tanto, necesario, el empleo de un fluido condensable como el vapor de agua, y esa idea dio nacimiento a los denominados motores de aire caliente, que coexistieron con las máquinas de vapor en la segunda mitad del siglo XIX, que eran también motores de combustión externa, aunque de fluido no condensable. Algún motor de aire caliente, como el del escocés Robert Stirling (1790-1878), ha subsistido hasta nuestros días. Pero los motores de aire caliente

no influyeron de modo decisivo en la génesis de los MCI, cuya historia empieza realmente con el motor de Lenoir. (Payri & Desantes, 2011)

2.3 Potencia y torque de motores

Las características del proceso de formación de la mezcla en MEP (Motor de encendido provocado) y en MEC (Motor de encendido por compresión) llevan a que los últimos tengan una gran dificultad para operar con dosado global alto, cercano al estequiométrico, por lo que no pueden utilizar toda la masa de aire admitida para quemar combustible. Como consecuencia de ello, con la misma masa de aire admitida (básicamente misma cilindrada y misma densidad de aire en la admisión), un MEP podría quemar más combustible, y por tanto estaría en condiciones de producir más trabajo por ciclo. Por otro lado, el proceso de formación de la mezcla en los MEP está menos limitado en tiempo, lo que les permite operar a regímenes de giro más altos que los MEC similares. La consecuencia de esos dos factores es que un MEP pueda suministrar más potencia que un MEC similar (misma cilindrada y misma densidad de admisión), es decir mayor potencia específica (potencia por unidad de cilindrada).

La posibilidad de los MEC de operar con relaciones de compresión más altas y con dosados bajos, lleva a que el rendimiento térmico del ciclo sea mayor que en los MEP, similares. Este efecto se traduce normalmente en un rendimiento global mayor de los MEC. (Bocos, 2017)

Las diferencias en potencia específica se pueden paliar o incluso invertir en el caso de los motores sobrealimentados, ya que los MEC aceptan un mayor grado de sobrealimentación, pudiendo en esos casos competir en potencia con los MEP equivalentes, con la ventaja adicional de un rendimiento mejorado respecto al motor de aspiración natural.

Torque

La combustión de la mezcla aire-combustible, por acción de la chispa eléctrica, genera un aumento de la presión y temperatura en el interior de los cilindros del motor. Esta

presión interior produce a su vez una fuerza de empuje F sobre el pistón que lo desplaza generando el clásico mecanismo de biela-manivela de los motores de combustión interna alternativo, donde el movimiento lineal del pistón en el interior del cilindro se transforma en un movimiento rotatorio del cigüeñal. La fuerza que actúa sobre el pistón es proporcional a la presión media efectiva durante la carrera de expansión (Genta et al., 2014), la misma que depende del grado de llenado de los cilindros, de la relación de compresión, de la cilindrada y de la eficacia con que se desarrolla la combustión. En el esquema de la Figura 1, la fuerza F ejercida sobre el pistón se descompone en la fuerza Fb que actúa sobre la cabeza de biela y en la Fn que produce un empuje lateral sobre las paredes del cilindro. (Castillo, 2017)

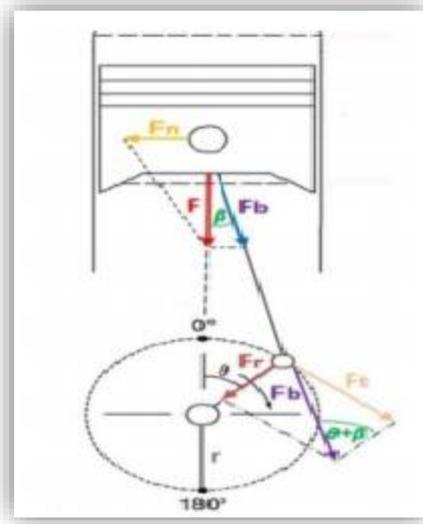


Figura 1-2. Esquema para la obtención del par motor
Fuente: (Castillo, 2017)

Por lo tanto, el producto de la fuerza Fb por el radio r de la manivela determina el par motor, reflejado algebraicamente en la Ecuación 1.

$$T = Fb \times r \quad (1)$$

T : Torque o par motor [N-m]

Fb : Fuerza sobre la biela [N]

r : Radio de la manivela del cigüeñal [m]

La fuerza F que produce el torque es variable, que en un motor de 4 tiempos es máxima en el momento que se lleva a cabo la fase de combustión y su posterior expansión en el cilindro, siendo negativo el torque en las demás fases. Dentro de la etapa donde se genera trabajo el rendimiento del motor no es igual en todos los puntos, depende del régimen de giro y consecuentemente de la fuerza de empuje que se genera. Es así que el número de revoluciones limita el llenado correcto de los cilindros y, por tanto, el par motor. A bajas revoluciones la combustión de la mezcla no resulta óptima debido a la escasa inercia que poseen los gases que provoca que el llenado del cilindro no sea el ideal, al igual que su vaciado. Por otro lado, si el motor funciona a un elevado régimen, tampoco el llenado de los cilindros es completo debido al escaso tiempo que dispone el gas para ocupar todo el espacio disponible (Reif, 2014). Además, a partir del punto óptimo de revoluciones del motor, aunque se queme más combustible acelerando el mismo y consiguiendo que la potencia todavía se incremente más, el par descende. De ahí que los consumos específicos óptimos estén en valores próximos a la zona de par máximo, aumentando el consumo del motor conforme se aleja de este rango. (Castillo, 2017)

El torque y la potencia son indicadores del funcionamiento del motor, e indican qué fuerza se produce y la rapidez con la que puede trabajar. En términos técnicos, el torque (par motor) es la fuerza que producen los cuerpos de rotación y se puede definir como la capacidad que tiene el motor para mover un vehículo, con o sin carga dentro de él. Se puede afirmar que el torque es la fuerza que saca de su estado de reposo a un vehículo y lo pone en movimiento, por lo que, a mayor torque, mayor aceleración tendrá el dicho vehículo.

Potencia

Expresa cuantas veces está disponible el par motor en el tiempo, es decir con qué velocidad se puede disponer del par. La potencia desarrollada por un motor depende de la relación de compresión y de la cilindrada, ya que a mayores valores de estas le corresponde mayor explosión y más fuerza aplicada al pistón; también depende íntimamente de las revoluciones por minuto a las que gira el motor. (Castillo, 2017)

En consecuencia, la potencia puede ser determinada mediante la Ecuación 2.

$$P = T \times W \quad (2)$$

P : Potencia del motor [kW]

T : Torque o par motor [N-m]

W : Velocidad angular del eje del cigüeñal [rad/s]

n : Revoluciones por minuto [rpm]

La potencia es la rapidez con que se realiza un trabajo, si se hace en menor tiempo es posible que la potencia que se produzca por el motor sea mayor. Se debe aclarar que este indicador no va ligado a la aceleración sino al tiempo que dura la sensación de empuje. También hay que recalcar que la potencia determina el caballaje de un motor. (Roshfrans, 2015)

2.4 Curvas características de motores de combustión interna

Las prestaciones de un motor de combustión interna se muestran en curvas características. Existen curvas llamadas de velocidad, que muestran el torque y la potencia en función de la velocidad y también hay otras curvas llamadas multiparamétricas que muestran varios parámetros adicionales.

Curvas de velocidad

Para elaborar estas gráficas, en un banco de pruebas el motor es sometido a aceleración a todo el rango de revoluciones que este puede arrojar. Dicho banco de pruebas registra los valores de torque y potencia en función de las revoluciones. (Figura.2)

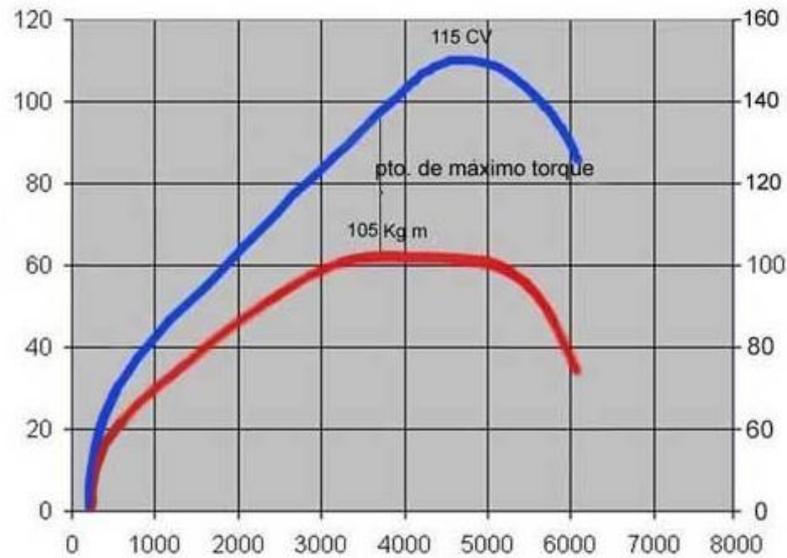


Figura 2-2. Torque y potencia

Fuente: (Eraso, 2017)

El resultado son dos curvas las cuales en el comienzo ascienden de manera vertiginosa, pero luego caen sin remedio y también con mucha rapidez.

Al superponer las dos gráficas se puede apreciar el punto de máximo torque. Dicho punto indica el régimen más óptimo para el motor en cuestión. O sea, el rango en el cual el motor es más eficiente, para ello se parte del punto de torque máximo (3500 rpm) hasta donde la gráfica de potencia llegue a su valor máximo (4500 rpm). Este es el punto donde el conductor conocedor, hará el cambio a la siguiente marcha. Consecuentemente, las revoluciones por minuto (rpm) bajaran de nuevo hasta el punto de torque máximo, llegando de nuevo al punto de potencia máxima y así, sucesivamente para todas las velocidades. (Eraso, 2017)

Tabla 1-2. Valores máximos del Torque y Potencia

Potencia máxima	115 [CV] a 4500 [rpm]
Torque máximo	105 [kg-m] a 3500 [rpm]
RPM máximo	6000 [rpm]
Punto de mayor eficiencia	95 [CV] 105 [Kg-m] a 3500 [rpm]

Fuente: (Eraso, 2017)

Curvas multiparamétricas

Estas curvas entregan mayor información sobre las prestaciones de un motor de combustión interna, pero han sido menos utilizadas que las curvas de velocidad.

Muestran la variación de uno o más parámetros en función de una variable de operación. Las variables independientes habituales para esta representación son el régimen de giro, la pme (potencia media efectiva), obteniéndose mapas bidimensionales donde se muestra el comportamiento del motor a carga parcial. Es usual representar en dichos mapas las curvas características de isoconsumo, isopotencia, isoemisiones, etc. La figura 3, muestra un ejemplo de curva multiparamétrica en un motor MEP sobrealimentado de dos litros. (Payri & Desantes, 2011)

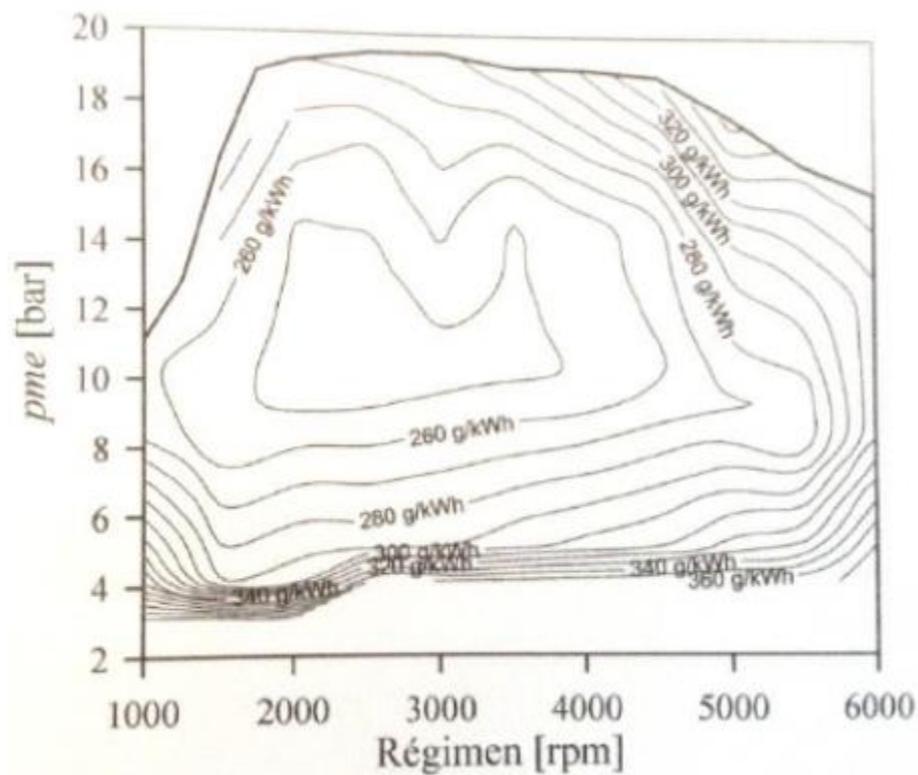


Figura 3-2. Curvas multiparamétricas de un motor MEP sobrealimentado

Fuente: (Payri, 2011)

2.5 Inyección electrónica

La inyección electrónica de combustible consta de un sistema que intenta reemplazar el carburador de los motores que funcionan con gasolina. Constituye un sistema bastante más amigable con el medio ambiente que el sistema clásico con el carburador, ya que disminuye en forma considerable la emisión de gases nocivos de los motores.

Una de las características más ventajosas de la inyección electrónica de combustible radica en la mayor efectividad, en comparación al carburador, para la dosificación del combustible, además de la considerable disminución de la emanación de gases tóxicos al ambiente. (Ecured, 2018)

La función de la inyección en los motores de gasolina es: Medir el aire del medio ambiente que es aspirado por el motor, controlado por el conductor mediante la mariposa, en función de la carga motor necesaria en cada caso, con objeto de adaptar el caudal de combustible a esta medición y conforme al régimen de funcionamiento del motor, dosificar mediante inyección la cantidad de combustible requerida por esta cantidad de aire, necesaria para que la combustión sea lo más completa posible, es decir guardando en la medida de lo posible la proporción estequiométrica, dentro de los límites del factor lambda.

Adicionalmente, el sistema de inyección de gasolina controlado electrónicamente puede enriquecer la mezcla aire/combustible al momento del arranque, aceleramiento incrementado, optimización de mezcla a plena carga, desaceleración fina o lenta, corte de suministro de aceite por pulsos, control de la velocidad en vacío o ralentí para reunir las condiciones adecuadas en estos diferentes modos de operación. (AutoDaewooSpark, 2018)

La presión de inyección de combustible se logra mediante la acción de la bomba de gasolina/combustible y regulador de presión de combustible, los que se encuentran instalados dentro del tanque de combustible.

Al ser energizada la bomba de gasolina, ésta succiona combustible del tanque, generando la presión de combustible.

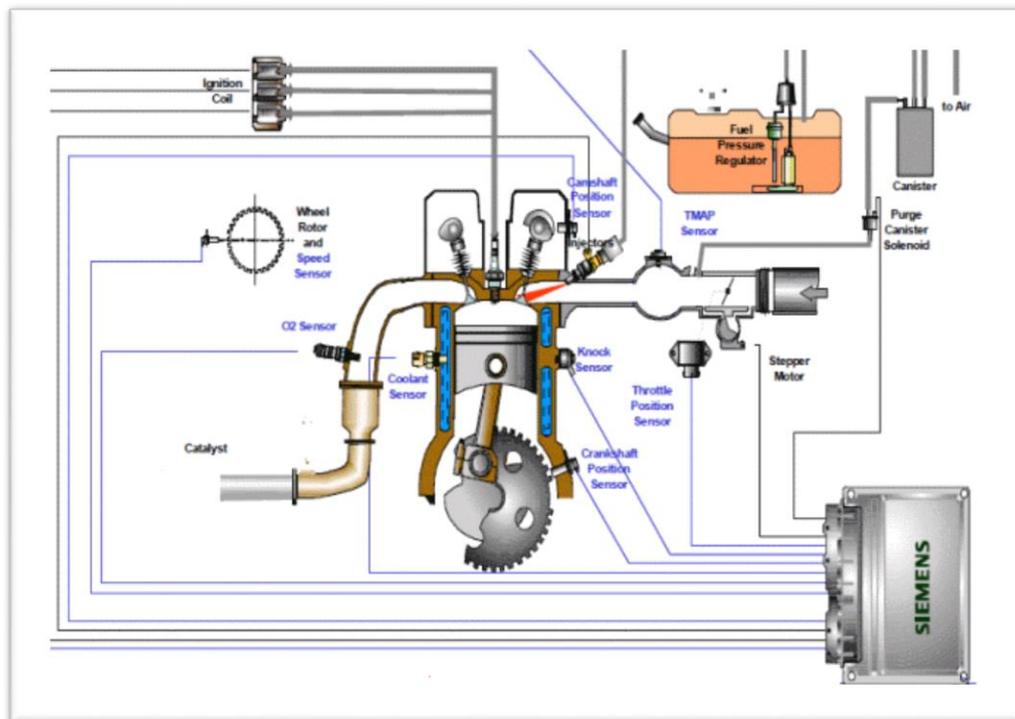


Figura 4-2. Esquema del sistema de inyección electrónico
Fuente: (Ecured, 2018)

2.6 Métodos de obtención de torque y potencia

Existen algunos métodos para obtener los valores máximos de potencia y torque, se clasifican en directos e indirectos, los primeros son precisos y los segundos son confiables en relación a la precisión del cálculo que se debe realizar. Se explica a continuación cada uno de ellos:

2.6.1 *Métodos directos*

Existen varios tipos, los principales son:

- Frenos de fricción
- Frenos hidráulicos
- Frenos eléctricos

Frenos de fricción

El método directo sería un Freno acoplado al eje que absorbería la potencia desarrollada por el motor, midiendo el par, y con ello se calcula la potencia efectiva.

El uso de frenos es bastante escaso, se emplean generalmente en bancos de pruebas de motores, pero a bordo están extinguidos. (García R. , 2017)

Una forma de medir torque es utilizando un dinamómetro estilo freno por fricción mecánica o freno Prony. Éste, en su forma básica, consiste de un sistema de acople a la máquina a prueba, un rotor, una cubierta y un brazo de torque como se puede apreciar en las figuras 4 y 5.

El sistema de acople y el rotor deben ser ensamblados de forma que giren al unísono, o incluso un solo elemento puede cumplir las dos funciones. El rotor tiene una cubierta montada que funciona como freno utilizando superficies de fricción y debe tener forma de girar libremente, excepto porque está restringida por un brazo de torque. El brazo de torque es conectado a la cubierta del dinamómetro y una balanza es puesta de forma que mida la fuerza ejercida por la cubierta del dinamómetro intentando rotar. El torque es la fuerza indicada por la balanza multiplicada por la longitud del brazo de torque medida desde el centro de giro del rotor del dinamómetro. Una celda de carga transductora puede sustituir la balanza a favor de proveer una señal eléctrica que es proporcional al torque. (Gutiérrez, 2015)

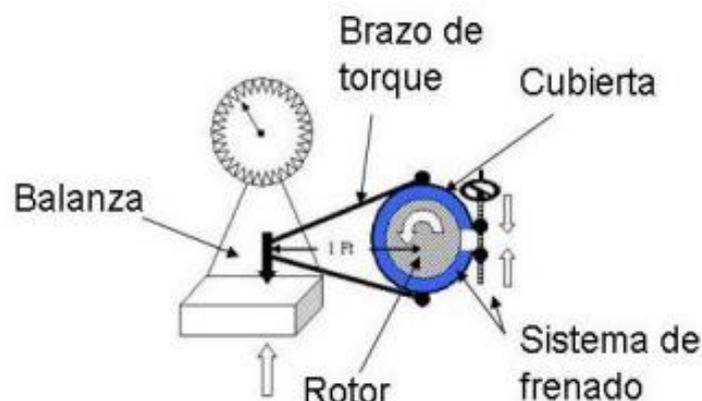


Figura 5-2. Funcionamiento básico de un freno tipo Prony
Fuente: (García R. , 2017)

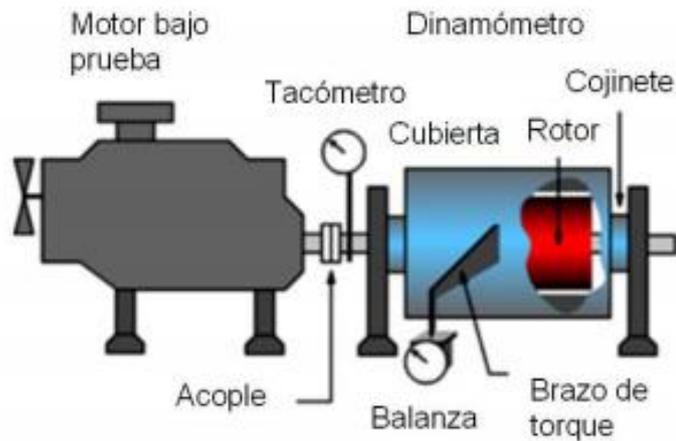


Figura 6-2. Partes básicas de un freno tipo Prony
 Fuente: (García R. , 2017)

Frenos hidráulicos

Este tipo de dinamómetro genera un torque opuesto al giro del motor de prueba, a través de una bomba hidráulica de desplazamiento positivo, cuya descarga es regulada por una válvula, al ser un sistema cerrado y restringir el flujo del hidráulico con la válvula, se aplica carga sobre los engranajes de la bomba, generando así, un torque opuesto al del giro del motor de combustión, que permite reducir la velocidad del motor, hasta la velocidad angular deseada. Cuando el motor de prueba trabaja a una velocidad determinada, cargado por el dinamómetro hidráulico, se puede calcular la capacidad que es entregada por el motor de combustión a la bomba hidráulica mediante cálculos matemáticos y así obtener la potencia que el motor está entregando en estas condiciones de trabajo, obteniendo sus curvas de desempeño. (Ariza, 2013)

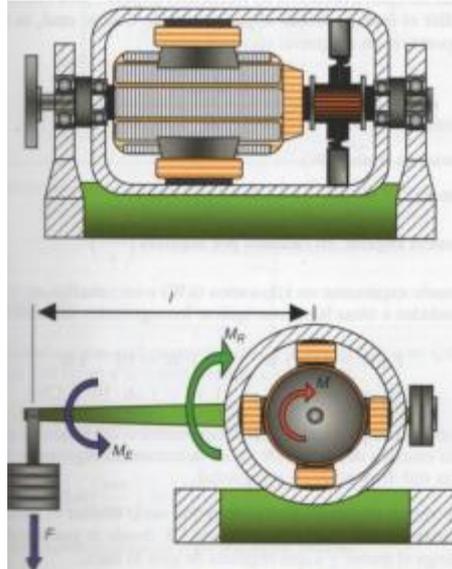


Figura 8-2. Funcionamiento de un freno eléctrico
Fuente: (Calderon, 2014)

2.6.2 Métodos Indirectos.

Existen varios tipos:

- Torsiómetro
- Aceleración libre

Torsiómetro

El Torsiómetro es un dispositivo acoplado al eje de cola que, a diferencia del método directo, no absorbe la potencia ejercida por el motor, sino que analiza el efecto provocado por el giro del eje que trasmite dicha potencia. El torsiómetro analiza el ángulo de giro y las revoluciones del eje, con esos parámetros puede calcularse la potencia efectiva. Es un sistema que podemos emplear a bordo acoplándolo al eje de salida del motor y en función del ángulo de torsión y las revoluciones podremos calcular la potencia efectiva. (García R. , 2017)

Aceleración libre

Dentro de los métodos indirectos se encuentra el método mediante la aceleración libre, y es el que se empleará en el desarrollo de la investigación. Estos métodos tienen las siguientes características: Son de bajo costo. Son versátiles en cuanto a manejo, comparados con los dinamómetros.

Determinan torque y potencia con alguna imprecisión, al ser evaluados sin la presencia de carga alguna, diferente a las producidas por pérdidas mecánicas inherentes al motor. Se dejan sin carga estabilizándose la temperatura del motor en un rango entre los 82 y 98 91[°C]. (Merchán, 2004)

La medición de la potencia mediante la prueba de aceleración libre se basa en que la potencia producida por el motor durante la aceleración sin carga es proporcional a la aceleración angular de mismo (α). La constante de proporcionalidad es el momento de inercia del conjunto del motor (I).

$$M = I * \alpha \quad (3)$$

El procedimiento consiste en acelerar a plenos gases (acelerar hasta llegar al tope del acelerador) y medir la aceleración angular del motor mediante el tiempo requerido para pasar de un régimen de giro inferior a otro superior. El momento de inercia (I) es necesario estimarlo a partir de motores en buen estado, debido a que no es conocido de antemano, y generalmente no es suministrado por el fabricante y experimentalmente medirlo con exactitud es muy costoso. Si se mide la deceleración del motor se puede calcular las pérdidas mecánicas del motor y, por lo tanto, la potencia indicada. (Merchán, 2004)

2.7 OBD II Protocolos de comunicación

OBD (On Board Diagnostics) es un sistema de diagnóstico a bordo en vehículos (coches y camiones). Actualmente se emplean los estándares OBD-II (Estados Unidos), EOBD (Europa) y JOBD (Japón) que aportan un monitoreo y control completo del motor y otros dispositivos del vehículo.

OBD II es un conjunto de normalizaciones que procuran facilitar el diagnóstico de averías y disminuir el índice de emisiones de contaminantes de los vehículos. La norma OBD II es muy extensa y está asociada a otras normas como SAE e ISO.

Estos requerimientos del sistema OBDII rigen para vehículos alimentados con gasolina, gasoil (diesel) y están comenzando a incursionar en vehículos que utilicen combustibles alternativos.

El sistema OBD II controla virtualmente todos los sistemas de control de emisiones y componentes que puedan afectar los gases de escape o emisiones evaporativas. Si un sistema o componente ocasiona que se supere el umbral máximo de emisiones o no opera dentro de las especificaciones del fabricante, un DTC (Diagnostic Trouble Code) debe ser almacenado y la lámpara MIL deberá encenderse para avisar al conductor de la falla. El sistema de diagnóstico de abordó no puede apagar el indicador MIL hasta que se realicen las correspondientes reparaciones o desaparezca la condición que provocó el encendido del indicador.

Un DTC es almacenado en la Memoria de Almacenamiento Activa (PCM Keep Alive Memory - KAM) cuando un mal funcionamiento es inicialmente detectado. En muchos casos la MIL es iluminada después de dos ciclos de uso consecutivos en los que estuvo presente la falla. Una vez que la MIL se ha iluminado, deben transcurrir tres ciclos de uso consecutivos sin que se detecte la falla para que la MIL se apague.

El DTC será borrado de la memoria después de 40 ciclos de arranque y calentamiento del motor después que la MIL se halla apagado.

En adición a las especificaciones y estandarizaciones, muchos de los diagnósticos y operaciones de la MIL requieren en OBD II el uso de Conector de Diagnóstico standard (Diagnostic Link Connector - DLC), enlaces de comunicaciones y mensajes standard, DTCs y terminologías estandarizados.

Ejemplos de información de diagnóstico standard son los Datos Congelados en Pantalla (Freeze Frame Data) y los Indicadores de Inspección y Mantenimiento (Inspection and Maintenance Readiness Indicators - IM). Los datos congelados describen los datos

almacenados en la memoria KAM en el momento que la falla es inicialmente detectada. Los datos congelados contienen parámetros tales como RPM y carga del motor, estado del control de combustible, encendido y estado de la temperatura de motor.

Los datos congelados son almacenados en el momento que la primera falla es detectada, de cualquier manera, las condiciones previamente almacenadas serán reemplazadas si una falla de combustible o pérdida de encendido (misfire) es detectada. Se tiene acceso a estos datos con un scanner para recibir asistencia en la reparación del vehículo.

Acceso a la información del sistema OBD II

Cuando el sistema almacena alguna información de error, nos indica, generalmente con una señal luminosa, que algo está funcionando incorrectamente y por tanto es aconsejable que acudamos a un taller para que revisen el automóvil.

Una vez en el taller, el equipo de mecánicos, conectará al automóvil un escáner o lector del sistema OBDII que le facilitará la información almacenada. A principios de los 80, cuando se extendió, el uso de este sistema de diagnosis, cada fabricante era libre de incorporar su propio conector y utilizar los códigos de error que quisiera. Esto dificultaba mucho la utilización de este sistema para las reparaciones, ya que la inversión que requería en los talleres mecánicos era altísima y poco practica (debían disponer de muchos lectores y de muchas tablas de códigos). Para que el uso de este sistema fuera practico y viable, en 1996, se llegó a un consenso entre los fabricantes y se estandarizaron los códigos y el conector. Así con un único lector de códigos y una tabla de errores, se puede diagnosticar un error en cualquier coche, independientemente del fabricante.

Lectores de códigos

Para poder extraer los datos del OBDII de un vehículo, se necesita un interfaz de conexiones, que recodifique la información que obtiene del vehículo, para que esta pueda ser entendida por el software del pc.

Dichos interfaces son bastante sencillos, y como podemos ver en la siguiente imagen, no



Figura 10-2. Lectores de códigos para OBD II
Fuente: (On Board Diagnostics OBD ICs, 2018)

2.8 Protocolos de comunicación

Básicamente existen tres protocolos de comunicación del sistema OBDII con los lectores de fallas. Los fabricantes han escogido que protocolo utilizar y todos los vehículos que salen de su fábrica salen con el mismo protocolo, por tanto, es fácil saber qué tipo de protocolo funcionan las comunicaciones de nuestro coche.

- ISO 9141-2 en vehículos europeos, asiáticos y Chrysler con variantes (Key Word Protocol = Palabra Clave)
- SAE J1850 VPW que significa Ancho de Pulso Variable (Variable Pulse Width) y lo utiliza GM USA (General Motors)
- SAE J1850 PWM que indica Modulación Ancho de Pulso (Pulse Width Modulación) utilizado por Ford USA.
- KWP 1281 y KWP 2000 utilizado por el grupo VAG.
- ISO 14230 que lo utiliza Renault, etc.

Como es fácil deducir, cada uno de estos protocolos, requiere de un tratamiento de la información diferente, antes de conectar el OBDII con el PC, y por tanto, se requieren interfaces de conexión diferentes. Esto no es del todo exacto, ya que existe la posibilidad de fabricar un interfaz de conexión del OBDII con el PC, capaz de utilizar

todos los protocolos e incluso seleccionar automáticamente cual es el protocolo utilizado por el vehículo a conectar.

2.9 Red CAN

Es un protocolo de comunicaciones desarrollado por la firma alemana Robert Bosch GmbH, basado en una topología bus para la transmisión de mensajes en entornos distribuidos. (acrónimo del inglés Controller Area Network)

Durante varios años, los fabricantes de automóviles solamente han tenido la opción de elegir entre cuatro protocolos de comunicación: ISO 9141, J1850PWM, J1850VPW, KWP 2000 / ISO 14230-4. El sistema CAN proporcionó a los fabricantes de automóviles una nueva conexión de alta velocidad, normalmente entre 50 y 100 veces más rápida que los protocolos de comunicación típicos, y redujo el número de conexiones requeridas para las comunicaciones entre los sistemas. (Augeri, 2016)

Al mismo tiempo, CAN proporcionó a los fabricantes de equipos de diagnóstico una manera de acelerar las comunicaciones entre el vehículo y su equipo. El diagnóstico se ve muy beneficiado ya que la mayor velocidad de comunicación les permitirá en el futuro, a través de su equipo de escaneado, ver datos casi en tiempo real, tal como ahora ven datos de sensores con sus scanners.

El estándar CAN ha sido incorporado a las especificaciones de OBD 2 por el comité de la International Standards Organization (ISO) y está especificado bajo la norma ISO 11898 (Road Vehicles - Controller Area Network) y definido en los documentos de ISO 15765 (sistemas de diagnóstico de vehículos). El California Air Resources Board (CARB) acepta estas normas de ISO debido a que contribuyen a cumplir con su misión de regular y reducir las emisiones de los vehículos. Desde 2003, varios fabricantes de automóviles ya han implementado la nueva norma en sus vehículos, pero CARB requiere que para 2008, todos los modelos de vehículos vendidos en los Estados Unidos deberán cumplirlo. (Augeri, 2016)

2.10 Normas ISO 9141

El protocolo ISO 9141 (y su posterior revisión 9141-2) es muy parecido al protocolo RS-232 ya que es orientado a byte, a diferencia del SAE J1850 que está orientado a mensajes con símbolos de encabezado, datos y CRC. Los mensajes de diagnóstico se forman en la capa de aplicación (SAE J1979) y son enviados byte a byte por la capa de enlace. En la Figura 6 se muestra la arquitectura del protocolo. Las líneas K y L son independientes y referenciadas a tierra. La línea K trabaja en dos direcciones (bidireccional) y se usa para transmitir los mensajes de solicitud y respuesta del estado de los parámetros; La línea L es unidireccional y sólo se usa en el proceso de inicialización en determinados vehículos que lo soportan.

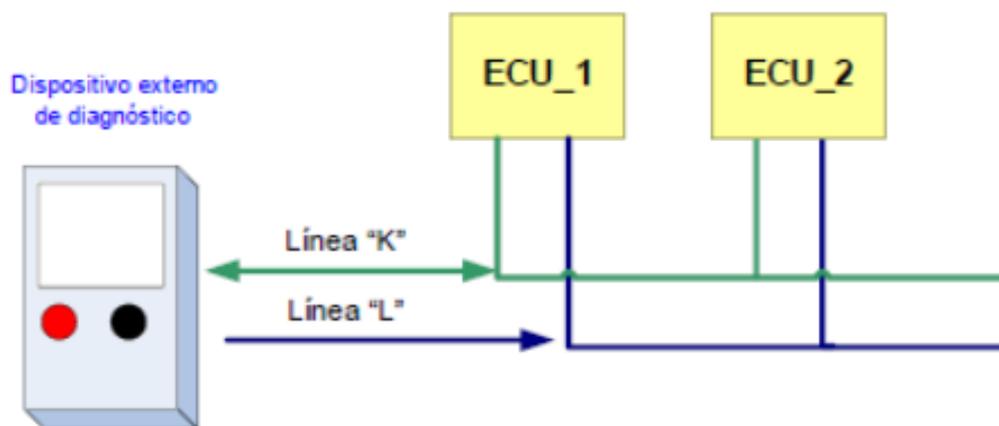


Figura 11-2. Esquema del protocolo ISO 9141

Fuente: (Augeri, 2016)

2.11 ELM327 Interfaz de comunicación vía bluetooth

Prácticamente todos los automóviles en producción hoy en día tienen por ley una interface para conexión de equipo de diagnóstico. La transferencia de datos de estas interfaces obedece a diversos estándares, pero ninguno de ellos es directamente utilizable por una PC o dispositivo inteligente. El circuito integrado ELM 327 (ELM Electronics, 2014) basado en un PIC de Microchip está diseñado para actuar como un puente entre estos puertos OBD y una interface estándar RS232 serial. Además de poder detectar automáticamente e interpretar nueve protocolos OBD, el ELM327 también provee

soporte para comunicaciones de alta velocidad, un modo de bajo consumo de energía y el estándar J1939 para vehículos de carga pesada. (On Board Diagnostics OBD ICs, 2018)

La relevancia de esta interfaz de comunicación para cualquier proyecto que involucre OBD es, como la compañía lo publicita permite delegar a la Interfaz de Comunicación (IC) toda la comunicación a bajo nivel para el estándar que sea, para poder enfocarse en alto nivel al desarrollo del proyecto.

Si bien está pensado para comunicación RS232, la salida corresponde a Transmisor-Receptor Asíncrono Universal (UART) a la cual se le puede conectar interfaces RS232, USB, Bluetooth o similares. El default es 38400bps, 8 bits, no parity, 1 stop. Si todo es correcto, en reset el IC prende sus 4 leds en secuencia (lamp test) y envía el mensaje.

El sistema de diagnóstico OBD-II con Bluetooth inalámbrico ELM327 utiliza el software de Scantool, ScanMaster, ProScan, PCMSCAN, Digimoto, AT. También utiliza instrucciones de colocación de HyperTerminal. Compatible con el protocolo de diagnóstico de comunicación OBD II: ISO9141-2 (5 baud init, 10,4Kbaud), ISO14230-4 KWP (5 baud init, 10,4Kbaud), ISO14230-4 KWP (fast init, 10,4 Kbaud), ISO15765-4 CAN (11 bit ID, 500 Kbaud), ISO15765-4 CAN (29 bit ID, 500 Kbaud), ISO15765-4 CAN (11 bit ID, 250 Kbaud), ISO15765-4 CAN (29 bit ID, 250 Kbaud). Protocolo de salida: RS232. Velocidad en baudios: 9600 o 38400. Indicador LED: OBDDx/Rx, RS232Tx. Voltaje de funcionamiento: 12 V. Corriente de funcionamiento: 45 mA. Compatible con los siguientes modelos de vehículos: BMW, Ford, MINI, Astra, Jaguar, Mercedes Benz, Volkswagen, Liana, Qashqai, Chrysler, Dodge, Acura, BYD F3/F0, Chery 09 Alto Fawkes 11, Suzuki, Honda, Toyota, Mazda, Mitsubishi, Nissan, Subaru 01 Mercedes Benz w203, Land Rover, Chevrolet, Skoda, Infiniti, Kia, Hyundai, Geely panda 05 excelle, Audi, Saab, Opel, Citroën, Peugeot, Volvo, Fiat, etc. Procesador: versión de hardware: V1.5; versión de software: V2.1; chip pic18f25k80.

ELM 327 por USB es idóneo para un computador portátil (laptop) donde el programa que se usa ofrece más cantidad de información visual y se puede configurar muchas opciones del programa que se esté utilizando como por ejemplo la opción de ver gráficos y datos.

2.12 APLICACIONES PARA SMARTPHONE Para plataforma Android.

Las aplicaciones para Smartphones, son muy versátiles y tienen infinidad de usos. Y en muchos casos pueden ser independientes de la conectividad a internet. Además, su uso es tan variado como su cantidad. De igual forma, pueden ser informativas, de juegos, para fotografía.

Un smartphone no es realmente un teléfono móvil inteligente si no se aprovecha la amplia variedad de aplicaciones que están disponibles en plataformas como la tienda Google Play o el App Store. Pero precisamente por la gran cantidad de apps que existen, puede resultar algo confuso saber cuáles de ellas son las más adecuadas para los usos que cada usuario quiera darles.

A la hora de desarrollar una app hay algunas diferencias. Pero la principal es el sistema operativo en sí y el lenguaje de programación. Cada desarrollo nativo utilizará un código y lenguaje. (Mora, 2018)

Cualquier móvil llevará incluida una aplicación para llamar y enviar SMS, pero existen alternativas gratuitas que te permitirán hacerlo mediante una conexión a Internet, y no desde una red telefónica.

2.13 APP INVENTOR 2

AppInventor 2 es una aplicación web de Google que permite crear aplicaciones para el sistema operativo de dispositivos móviles Android. Utiliza un editor Drag and Drop (Arrastrar y soltar) para la generación de interfaces gráficas y un sistema de bloques para gestionar el comportamiento de la aplicación. Los proyectos generados a través de esta herramienta se almacenan automáticamente en los servidores de App Inventor, permitiendo llevar en todo momento un seguimiento y control de todo nuestro trabajo.

¿Qué tipo de aplicaciones pueden crearse con AppInventor?

AppInventor ofrece un amplio abanico de posibilidades para los desarrolladores:

- Juegos Puede crearse juegos sencillos haciendo uso incluso del acelerómetro incluido en el dispositivo móvil.

- Aplicaciones educativas Es posible desarrollar aplicaciones útiles para educación, como por ejemplo test de respuestas múltiples o preguntas directas.
- Aplicaciones de geolocalización Puede hacerse uso del dispositivo GPS incluido en el móvil para crear aplicaciones de geolocalización.
- Aplicaciones multimedia complejas Pueden crearse aplicaciones que van desde reconocimiento de códigos de barras hasta reproducir vídeos y música o tomar fotografías.
- Aplicaciones orientadas a la Web Pueden desarrollarse aplicaciones que se comuniquen con la web (Twitter, RSS, etc.). (USAL, 2015)

CAPITULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1 Características del vehículo de prueba

Como vehículo de prueba para la investigación se escogió al automóvil marca Volkswagen, modelo Gol, versión Plus estilo. La categoría es Hatchback, con transmisión delantera.



Figura 12-3. Vehículo VW Gol Plus estilo seleccionado para las pruebas

Fuente: Autor



Figura 2-3. Motor del vehículo de prueba

Fuente: Autor

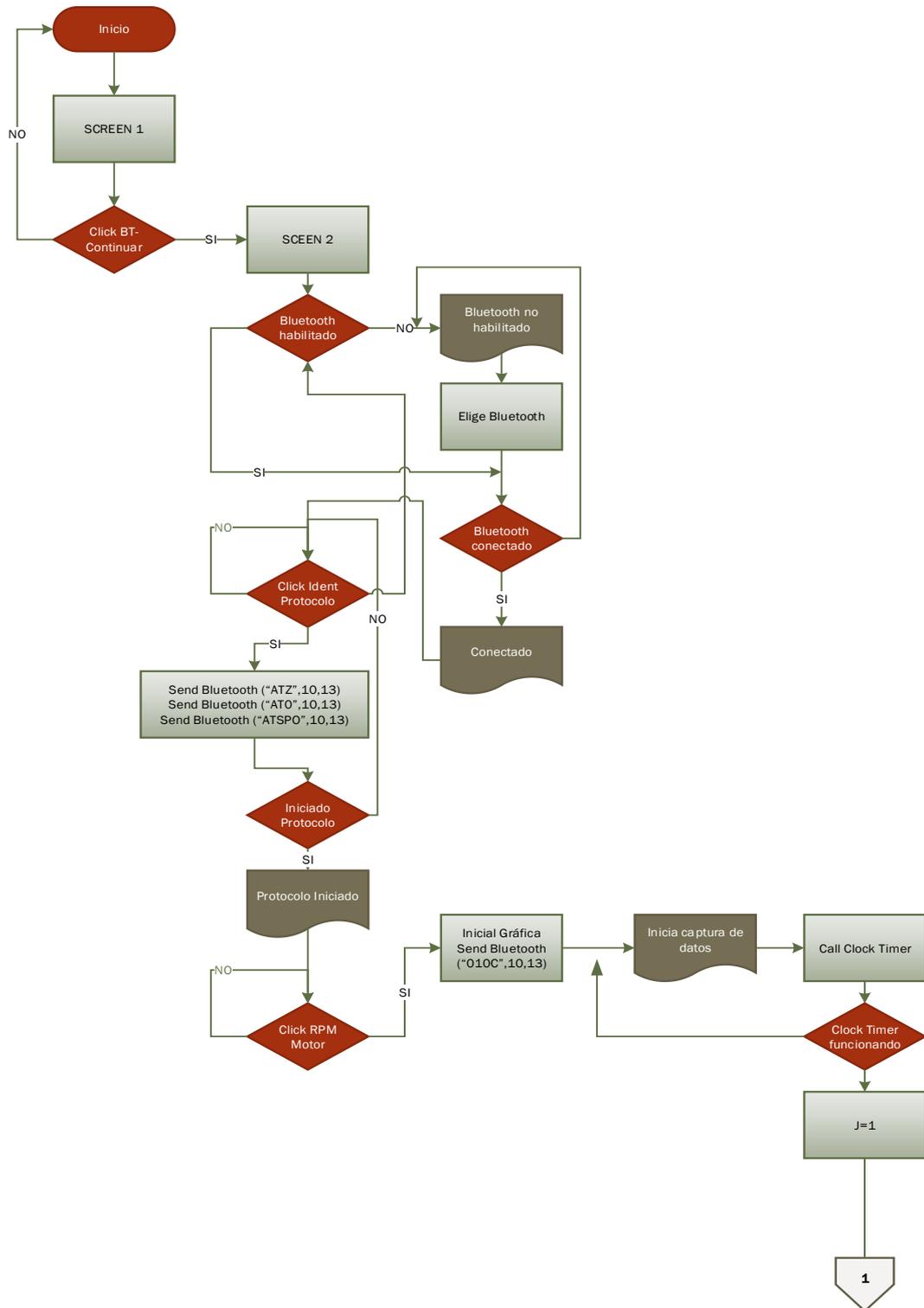
Las características del motor son:

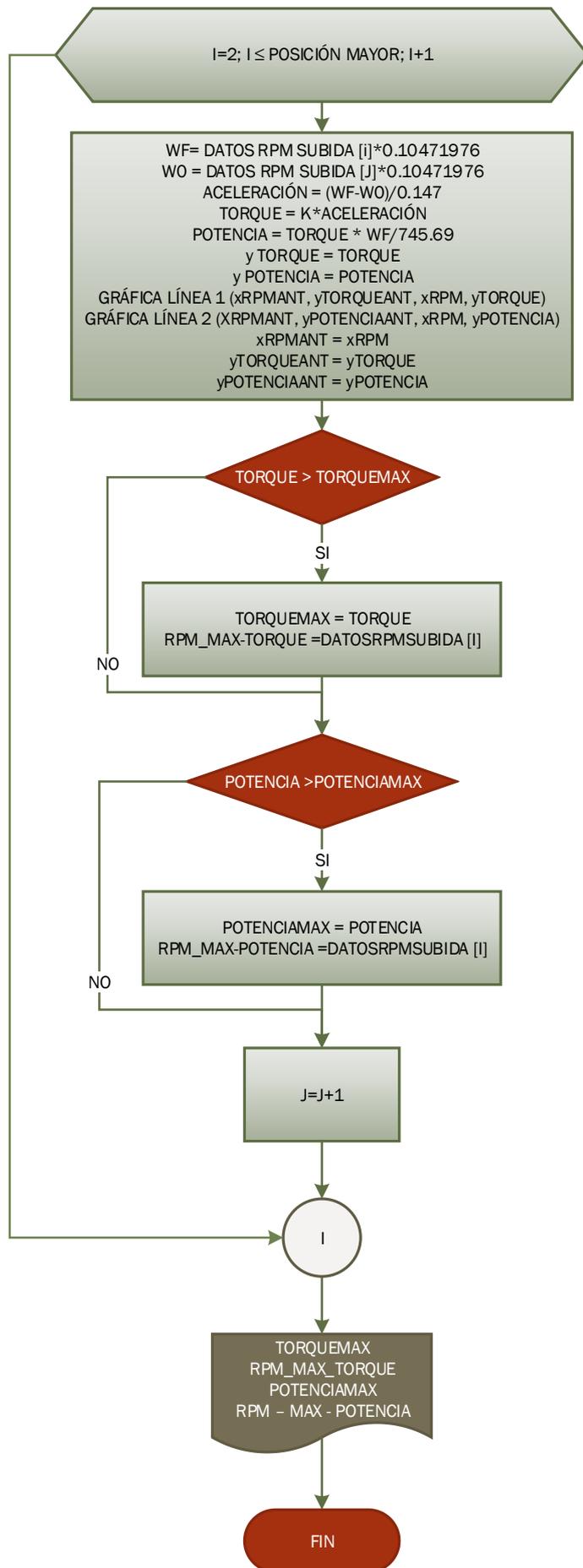
- Motor: Atmosférico, tipo MEP
- Posición del motor: Delantero transversal
- Número de cilindros y disposición: 4 en línea
- Válvulas: 8
- Cilindraje: 1600 [cc]
- Combustible: Gasolina
- Alimentación: Inyección multipunto

Al software diseñado se le denominó “CÁLCULO MOTOR”

Se trata de aplicar este software para determinar las variables de Torque, Potencia y RPM en aceleración libre de un motor atmosférico.

3.2 Flujoograma del programa





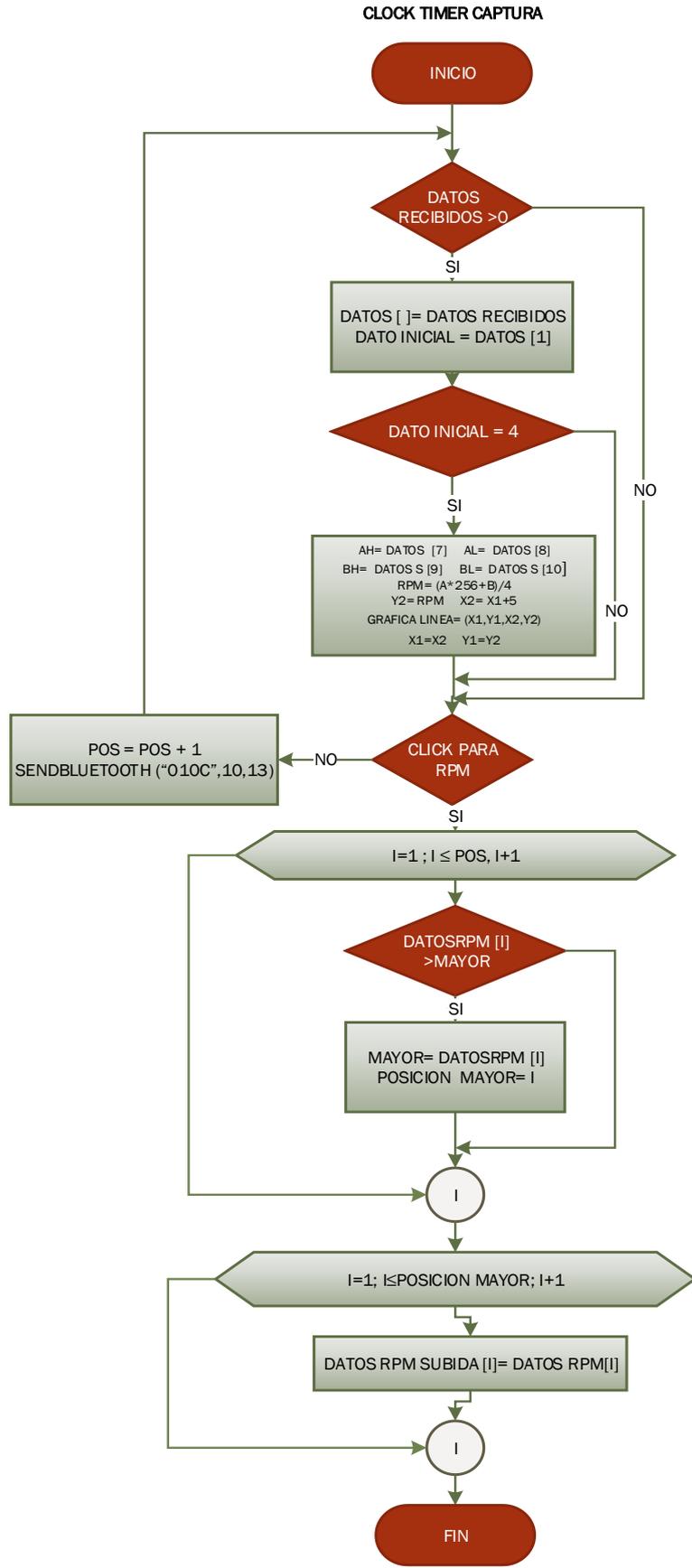


Figura 3-3. Flujograma del software
Elaborado por: Autor

3.3 Tiempo de muestreo de datos t del software

La t es igual al tiempo de muestreo de la captura de datos, determinada por la latencia, que es la captura entre dato y dato.

Es necesario la conversión de los datos de (rpm) a (rad/s) para establecer el tiempo de muestreo de datos en segundos.

$$1\text{RPM} = 0.10471976 \text{ [rad/s]}$$

La Tabla 2. Muestra los datos obtenidos a través del software con la ECU del vehículo en [rpm], la conversión de [rpm] a [rad/s] por la constante 0.10471976 [rad/s] y las diferencias de las velocidades angulares de los datos proporcionados por el software.

Tabla 1-3. Datos de diferencia de Velocidad angular del motor KIA RIO R CVVT 4 cilindros 1.4 L

Datos del motor KIA RIO R CVVT ω [RPM]	RPM x 0.10471976 [rad/s]	$\omega_f - \omega_o$ [rad/s]
$\omega_o = 659$	69.01	110.2178
$\omega_f = 1711.5$	179.2278	
$\omega_o = 1711.5$	179.2228	146.5815
$\omega_f = 3101.25$	325.8093	
$\omega_o = 3101.25$	325.8093	169.8555
$\omega_f = 4733.25$	495.6648	
$\omega_o = 4733.25$	495.6648	165.3001
$\omega_f = 6311.75$	660.9649	

Fuente: Autor

TORQUE

El torque o par motor está denominada por valor del momento de inercia y la aceleración angular como se muestra en la. Ecuación 4.

$$T = k\alpha \quad (4)$$

T = Torque del motor [N-m]

α = Aceleración angular [rad/s²]

ACELERACIÓN ANGULAR

La aceleración angular esta determina por la diferencia de las velocidades angulares sobre el tiempo como se muestra en la Ecuación 5.

$$\alpha = \frac{\omega_f - \omega_0}{t} \quad (5)$$

ω_f = velocidad angular final [rad/s]

ω_0 = velocidad angular inicial [rad/s]

t = tiempo de captura entre las dos velocidades angulares en segundos.

Para obtener t se toma el valor del momento de inercia y torque del trabajo de investigación realizada por (Castelo & Cargua, 2017) referente al cálculo de torque y potencia por el método de aceleración libre. Siendo 0.071 [kg-m²] el valor del momento de inercia y 81.89 [N-m] el torque, valores que se remplaza en la Ecuación 7.

Para determinar un valor t adecuado para el método de aceleración libre en el presente software “CALCULO MOTOR” se tomó datos de las velocidades angulares de un motor similar KIA RIO R CVVT, como se muestra en la Tabla 2.

$$T = \frac{\omega_f - \omega_0}{t} k \quad (6)$$

De la Ecuación 6 se despeja t para obtener. la Ecuación 7.

$$t = \frac{\omega_f - \omega_0}{T} k \quad (7)$$

k = Momento de inercia [kg-m²] Kia Rio CVVT

T = Torque del motor [N-m] Kia Rio CVVT

Para determinar el valor t de captura de datos se toma el valor máximo de la diferencia de las velocidades angulares, que en este caso corresponde a 169.8555 [rad/s] de la Tabla 2.

El valor de t no puede ser menor al establecido de 0.1472 [s] debido a que ocasiona pérdidas de datos, por el lenguaje de programación que APP inventor emplea para este tipo de software, debido a las instrucciones gráficas que utiliza.

POTENCIA

La Ecuación 8 está determinada por la multiplicación del torque del motor y velocidad angular sobre 745.69 que es la constante de conversión en [watt] para obtener la potencia en [HP]

$$P = \text{[HP]} \quad \text{Ecuación (8)}$$

T = Torque del motor [N.m]

ω = Velocidad angular [rad/s]

745,69 = Constante de conversión [watt]

3.4 Obtención del valor del momento de inercia

La aproximación del valor del momento de inercia se realiza por prueba error, partiendo del promedio del torque y potencia efectiva obtenida en las tres pruebas del banco dinamómetro.

Tabla 2-3. Resultado de las pruebas de Torque, Potencia y RPM con Dinamómetro

Hora de inicio	9:00	Hora final	10:40	Código equipo		
RESULTADOS DEL DINAMÓMETRO DE CHASIS - TORQUE Y POTENCIA						
Parámetros	POTENCIA			TORQUE		
	kw	hp	rpm	Nm	lbf.ft	rpm
PRUEBA 1	45,9	61,6	6025	83,38	61,5	2695
PRUEBA 2	47,5	63,7	6005	83,93	61,9	2695
PRUEBA 3	47	63	5875	84,87	62,6	2665
Norma de Corrección						

Fuente: CCICEV

Tabla 3-3. Promedio de los resultados de la prueba con Dinamómetro

	Torque [N-m]	[RPM]	Potencia [Hp]	[RPM]
PROMEDIO	84.01	2685	62.76	5968.33

Fuente: Autor

Las pruebas obtenidas en el banco dinamométrico de rodillos de potencia efectiva se realizaron sin factor de corrección. A una altura estimada de 2700 [m.s.n.m] donde se encuentra el CCICEV.

Para obtener el valor del momento de inercia k , se realizó varias pruebas que permita obtener valores aproximados a los del dinamómetro, pruebas que se realiza en el software “CALCULO MOTOR” a las mismas condiciones atmosféricas. Asumiendo en primera instancia el valor de $k = 0.071$ [kg·m²]. Valor que se utiliza para un motor de KIA RIO R CVVT de 1.4 [L] en el trabajo de investigación de (Castelo & Cargua, 2017)

Tabla 4-3. Pruebas de aceleración libre con un valor $k = 0.071$ kg·m² con software “CALCULO MOTOR”

K=0.071 [kg·m²]	Torque [N-m]	[RPM]	Potencia [Hp]	[RPM]
Prueba 1	75.61	1115.75	45.62	6163.75
Prueba 2	70.93	1658.25	51.74	5992.75
Prueba 3	73.32	2067.25	49.23	6548.75

Fuente: Autor

El valor de torque y potencia obtenidos por el software “CALCULO MOTOR” con el momento de inercia de 0.071 [kg·m²] no fueron los esperados, al no tener la proximidad necesaria con los datos obtenidos por el dinamómetro de rodillos, lo que nos muestra que en un motor de VW Gol Plus Estilo 1.6 [L], tomado para este trabajo de investigación, es necesario otro valor de momento de inercia que se ajuste a los datos del dinamómetro.

Para llegar a una aproximación más ajustada del torque y potencia como se muestra en las pruebas desarrolladas en el banco dinamométrico de rodillos se establece de manera empírica el siguiente valor de k en 0.08 [kg·m²].

Tabla 5-3. Pruebas de aceleración libre con un valor $k = 0.08 \text{ kg}\cdot\text{m}^2$ con software “CALCULO MOTOR”

K=0.08 [kg.m²]	Torque [N-m]	[RPM]	Potencia [Hp]	[RPM]
Prueba 1	87.7	4658.4	70.31	6207.25
Prueba 2	90.8	3965	79.26	6364
Prueba 3	86.76	4387.9	76.96	6592.25

Fuente: Autor

Los datos muestran que el valor del momento de inercia utilizado no es el adecuado por no encontrar una similitud con los datos que muestra las pruebas realizadas en el dinamómetro para lo cual se toma otro valor de $0.078 \text{ [kg}\cdot\text{m}^2]$.

Luego de varias pruebas y errores se llegó a ajustar el valor del momento de inercia k en $0.078 \text{ [kg}\cdot\text{m}^2]$. Valor que se introduce en el software para mostrar los resultados de la prueba de aceleración libre en las mismas condiciones atmosféricas.

Tabla 6-3. Pruebas de aceleración libre con un valor $k = 0.078 \text{ [kg}\cdot\text{m}^2]$ con software “CALCULO MOTOR”

K=0.078 [kg.m²]	Torque [N-m]	[RPM]	Potencia [Hp]	[RPM]
Prueba 1	82.51	4807	61.95	6107
Prueba 2	82.40	4602	68.53	6053
Prueba 3	78.45	2214	60.55	6268

Fuente: Autor

En el ajuste del valor k del momento de inercia, se obtiene valores muy similares para ambos métodos (dinamómetro y software). Por esto se establece el valor de $0.078 \text{ [kg}\cdot\text{m}^2]$ como el óptimo para el cálculo del motor en estudio.

3.5 Determinación del número de pruebas

El tamaño de la muestra o cálculo de número de observaciones es un proceso vital en la etapa de cronometraje, dado que de este depende en gran medida el nivel de confianza del estudio de tiempos. Este proceso tiene como objetivo determinar el valor del promedio representativo para cada elemento.

Los métodos más utilizados para determinar el número de observaciones son:

- **Método Estadístico**
- **Método Tradicional**

3.5.1 Método Estadístico

El método estadístico requiere que se efectúen cierto número de observaciones preliminares (n'), para luego poder aplicar la siguiente fórmula:

NIVEL DE CONFIANZA DEL 95,45% Y UN MÁRGEN DE ERROR DE $\pm 5\%$

$$n = \left(\frac{40 \sqrt{n' \sum x^2 - \sum (x)^2}}{\sum x} \right)^2 \quad (9)$$

siendo:

n = Tamaño de la muestra que deseamos calcular (número de observaciones)

n' = Número de observaciones del estudio preliminar

Σ = Suma de los valores

x = Valor de las observaciones.

40 = Constante para un nivel de confianza de 94,45%

Para desarrollar la ecuación 7 es necesario utilizar los datos que se obtuvieron mediante el software, al momento de ajustar el valor del momento de inercia. Ver tabla 7.

Tabla 7-3. Datos del torque

Sumatoria de x	Sumatoria de los cuadrados
78.458	6155.65776
90.294	8153.00644
87.349	7629.8478
$\Sigma x = 256.101$	$\Sigma x^2 = 21938.512$

Fuente: Autor

$$n' = 3$$

Sustituyendo estos valores en la fórmula anterior tendremos el valor de n :

$$n = \left(\frac{40\sqrt{3(21938.512) - (256.1)^2}}{256.1} \right)^2 \quad (10)$$

$$n = 5.57$$

Dado que el número de observaciones preliminares 3 es inferior al requerido 6, debe aumentarse el tamaño de las observaciones preliminares, luego recalculamos n , determinando que la cantidad de 6 observaciones son suficientes. (Salazar, 2016)

Tabla 8-3. Valores del Torque, requeridos por el método estadístico.

Sumatoria de x	Sumatoria de los cuadrados
78.458	6155.65776
90.294	8153.00644
87.349	7629.8478
82.51	6807.9001
82.40	6789.76
83.07	6900.6249
$\Sigma x = 504.06$	$\Sigma x^2 = 42433.2472$

Fuente: Autor

$$n = \left(\frac{40\sqrt{6(21938.512) - (256.1)^2}}{256.1} \right)^2 \quad (11)$$

$$n = 3.29$$

Con este valor de momento de inercia $k = 0.078$ [kg.m²] se realizaron en el software las 6 pruebas por aceleración libre, requeridas para tener un nivel de confianza equivalente al 95.45%

Tabla 9-3. Resultados de las 6 pruebas y sus promedios

	Torque [N-m]	[RPM]	Potencia [Hp]	[RPM]
Prueba 1	82.51	4807	61.95	6107
Prueba 2	82.40	4602	68.53	6053
Prueba 3	78.45	2214	60.55	6268
Prueba 4	90.29	2966	62.86	5738
Prueba 5	87.34	3809	65.08	5364
Prueba 6	83.07	4513	60.64	5843
PROMEDIO	84.01	3818.5	63.26	5895.5

Fuente: Autor

El ajuste del valor del momento de inercia dio como resultado valores muy similares para ambos métodos (dinamómetro y software). A partir de la verificación del momento de inercia como efectivo, se procedió con determinación de torque máximo, potencia máxima y [RPM] máximo.

3.6 Procedimiento para obtención de las gráficas de torque y potencia por el método de aceleración libre de software “CALCULO MOTOR”

La secuencia a seguir para realizar la prueba de aceleración libre con el software “Cálculo Motor” son los siguientes

- Previamente el vehículo debe estar estacionado con el freno de mano activo
- La prueba se realiza cuando el vehículo llega a la temperatura ideal del motor, esto es 90 [°C].
- Se localiza el OBDII del vehículo
- Conectar interface ELM 327
- En el Smartphone debe encenderse la opción Bluetooth
- Seleccionar el OBDII de interfaz para vincular al smartphone
- Una vez instalada el software “Cálculo Motor” se debe inicializar
- Se obtiene la pantalla de inicio
- Continuar
- Se obtiene la segunda pantalla “Interfaz de trabajo”
- Ajustar el valor de k de acuerdo al tipo de vehículo
- Dar click en conectar.
- Seleccionar Bluetooth OBDII
- Debe confirmarse el mensaje recibido “CONECTADO”

- Click en IDENT PROTOCOLO
- El mensaje recibido debe empezar con el código 13 13 que indica que el software se conectó correctamente a un protocolo del vehículo.
- Click en RPM
- La prueba iniciará luego de transcurrir aproximadamente 3 segundos, e inmediatamente se debe dar aceleración máxima del motor.
- Cuando llega a las 5000 [rpm] o 6000 [rpm] se deja de acelerar.
- Click en PARAR RPM
- Click en GRAFICAR
- Se obtiene el reporte de TORQUE, POTENCIA con sus correspondientes valores de RPM máximo.
- Cuando se completa el número de pruebas requerido se usa la opción DESCONECTAR para desconectar el Bluetooth OBDII

3.7 Torque, Potencia y RPM obtenidos

Siguiendo el proceso detallado en la metodología, el software entrega los siguientes resultados:

Prueba 1

Tabla 10-3. Torque potencia y RPM Prueba 1

Torque máximo [N-m]	RPM máximo
82.51	4807
Potencia Máxima [HP]	RPM máximo
61.95	6107

Fuente: Autor

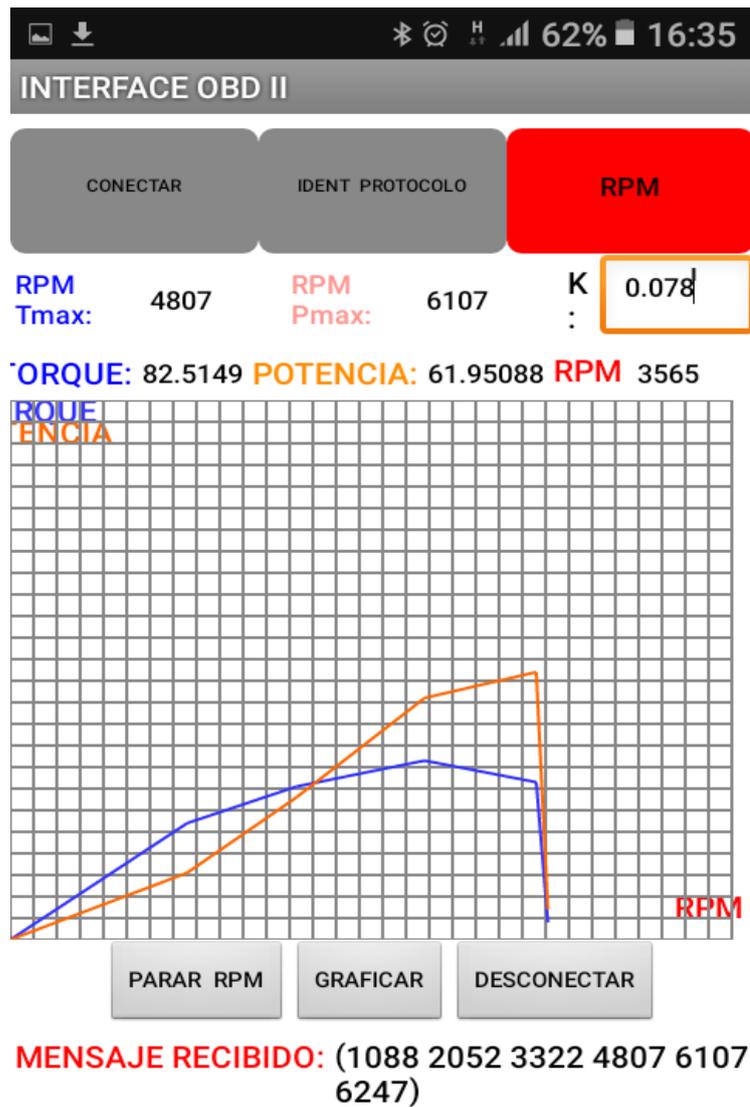


Figura 4-3. Graficas de Torque, Potencia y RPM con un momento de inercia de 0.078. Prueba 1
Fuente: Autor

En la figura 15 se puede observar los valores encontrados por el software para el Torque, la Potencia y RPM.

Tabla 11-3. Pruebas de Torque y Potencia software “CALCULO MOTOR”

PRUEBA 1	Torque máximo [N-m]	RPM máximo
	82.51	4807
PRUEBA 2	Potencia Máxima [HP]	RPM máximo
	61.95	6107
PRUEBA 3	Torque máximo [N-m]	RPM máximo
	82.40	4602
PRUEBA 4	Potencia Máxima [HP]	RPM máximo
	68.53	6053
PRUEBA 5	Torque máximo [N-m]	RPM máximo
	78.45	2214
PRUEBA 6	Potencia Máxima [HP]	RPM máximo
	60.55	6268
PRUEBA 7	Torque máximo [N-m]	RPM máximo
	90.29	2966
PRUEBA 8	Potencia Máxima [HP]	RPM máximo
	62.86	5738
PRUEBA 9	Torque máximo [N-m]	RPM máximo
	87.34	3809
PRUEBA 10	Potencia Máxima [HP]	RPM máximo
	65.08	5364
PRUEBA 11	Torque máximo [N-m]	RPM máximo
	83.07	4513
PRUEBA 12	Potencia Máxima [HP]	RPM máximo
	60.64	5843

Fuente: Autor

CAPITULO IV

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

Se cumplió con todos los objetivos planteados, llegándose a establecer un procedimiento de cálculo del Torque máximo, Potencia máxima y RPM máximo, mediante la aplicación del software desarrollado e implementado “CÁLCULO MOTOR” por aceleración libre en un smartphone con protocolo OBD II., obteniéndose resultados confiables en comparación con al dinamómetro.

Se analizó los métodos directos e indirectos de obtención de torque y potencia en motores de combustión interna que permitió comparaciones entre ellos, el de dinamómetro y el método de aceleración libre, llegando a que en los ambos métodos se puede obtener resultados similares y altamente confiables.

Se diseñó el software por el método de aceleración libre con el fin de obtener el torque y potencia compatible con smartphone según protocolo OBD II se desarrolló un procedimiento, el mismo que se encuentra totalmente detallado en el flujograma elaborado y en el que constan secuencialmente todos los pasos a seguir.

Se dotó al laboratorio de Ingeniería Automotriz de la ESPOCH con un software para obtención de potencia y torque por el método de aceleración libre en un smartphone con protocolo OBD II con interfaz ELM 327 que proporciona resultados similares a los que se tiene cuando se realiza la prueba con el dinamómetro.

4.2 Recomendaciones

- Se recomienda a los usuarios del software “CÁLCULO MOTOR” se involucren en un proceso de capacitación; para que adquieran el conocimiento suficiente sobre la nueva posibilidad de evaluar el torque y potencia por aceleración libre.
- Se debe realizar diferentes pruebas en distintos vehículos para evaluar el funcionamiento del software implementado, para comprobar el desempeño del mismo.
- Socializar el software por el método de aceleración libre en un smartphone con protocolo OBD II con interfaz ELM 327 con docentes y estudiantes de Ingeniería Automotriz de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- Se recomienda involucrarse con el método para poder utilizarlo como una línea de diagnóstico en un mantenimiento preventivo del motor de combustión interna.

BIBLIOGRAFÍA

Ariza, C. *Diseño de un dinamómetro hidráulico para motores de combustión interna con una potencia menos a 65 HP.* (2013). Disponible en: http://biblioteca.upbbga.edu.co/docs/digital_25025.pdf.

Augeri, F. *Protocolo de comunicación CAN.* (2016). Disponible en: <http://www.cise.com/porta1/notas-tecnicas/item/166-protocolo-de-comunicaci%C3%B3n-can.html>.

AutoDaewooSpark. *Principio de funcionamiento del sistema de inyección electrónico.* (2018). Disponible en: <http://www.autodaewoospark.com/principio-funcionamiento-sistema-inyeccion-electronico-chery.php>.

Calderon, F. *Diseño y construcción de un freno eléctrico.* (2014). Disponible en: http://dspace.otalca.cl/handle/1950/9739?mode=full&submit_simple=Show+full+item+record.

CARGUA, F., & CASTELO, J. C. *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.* . Quito - Ecuador: EPN. (2017).

CASTILLO, J. *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.* Quito - Ecuador: Escuela Politécnica Nacional. (2017).

Ecured. *Inyección electrónica.* (Mayo de 2018) Disponible en: https://www.ecured.cu/Inyecci%C3%B3n_Electr%C3%B3nica

Fraser, N. (2015). *Ten Things We've Learned from Blockly.* Disponible en: <https://developers.google.com/blockly/publications/papers/TenThingsWeveLearnedFromBlockly.pdf>.

García, R. *Torsiómetro.* (2017). Obtenido de <https://ingenieromarino.com/torsiometro/>.

González, J. *Gestión y Logística del Mantenimiento de Vehículos.* (2013). Club Universitario.

Gutiérrez, L. *Diseño de un freno Prony para la medición de potencia.* (2015) Disponible en:

https://repository.eafit.edu.co/bitstream/handle/10784/4322/LauraGutierrez_CarlosCorrales_2008.pdf?sequence=1.

JavaScript Library APIs. *Introduction to Blockly.* (2016). Disponible en: <https://developers.google.com/blockly/guides/overview>.

Keeping, S. *Control en modos de voltaje y de corriente para la generación de señales PWM en reguladores de conmutación CC-CC.* (1 de Octubre de 2014).

Disponible en: <https://www.digikey.com/es/articles/techzone/2014/oct/voltage-and-current-mode-control-for-pwm-signal-generation-in-dc-to-dc-switching-regulators>.

Merchán, C. *Determinación de la potencia y torque en motores de combustión interna mediante la técnica de aceleración libre.* (2004). Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander.

Mora, A. *Planeación, ejecución y control.* (10 de Abril de 2018). Editorial Alfaomega Colombia.

Mora, A. *Las mejores apps para Android de 2018.* (2009). Disponible en: <https://www.pcworld.es/mejores-productos/smartphones/mejores-apps-android-3674994/>.

Moreno, R. *Desarrollo de aplicaciones para Android usando App Inventor 2.* (2016). Disponible en: <http://www.bolanosdj.com.ar/MOVIL/LENGUAJES/Usando-MIT-App-Inventor-2.pdf>.

National Instruments. *Que es una Señal Modulada por Ancho de Pulso (PWM).* (26 de Mayo de 2014). Disponible en: <http://digital.ni.com/public.nsf/allkb/AA1BDEA4AA224E3E86257CE400707527>.

On Board Diagnostics OBD ICs. *El OBDII Completo/Herramientas de Diagnostico/ELM327.* (7 de Mayo de 2018). Disponible en: https://es.wikibooks.org/wiki/El_OBDII_Completo/Herramientas_de_Diagnostico/ELM327.

Pasternak, E. *Tips for Creating a Block Language with Blockly.* (2017). Disponible en: <https://developers.google.com/blockly/publications/papers/TipsForCreatingABlockLanguage.pdf>.

Payri, F., & Desantes, J. *Motores de combustión interna alternativos.* (2011). Barcelona: Reverté.

RENOVETEC. *Ingeniería de mantenimiento.* Obtenido de Estrategias de mantenimiento: <http://ingenieriadelmantenimiento.com/index.php/9-estrategias-de-mantenimiento/6-estrategias-de-mantenimiento>. (2013).

Roshfrans. *Que es el torque y potencia en un motor.* Disponible en: <http://www.roshfrans.com/torque-potencia-motor/>.

Torres, L. D. *Mantenimiento su Implementación y Gestión.* (2010).

Usal. *APPInventor.* (2015). Disponible en:

<http://diarium.usal.es/igallego/files/2015/06/Basicos-APPInventor-Manual-de-Introduccion.pdf>.