



**FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y  
URBANISMO**  
**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA  
MECÁNICA ELÉCTRICA**

**TESIS**

**MODELADO Y SIMULACIÓN DEL MOTOR  
GASOLINERO SUZUKI M16A MEDIANTE EL USO  
DE UNA INTERFAZ GRÁFICA DE USUARIO EN EL  
TALLER DE CIENCIAS TÉRMICAS DE LA  
USS – CHICLAYO**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO  
MECÁNICO ELECTRICISTA**

**Autores:**

**Bach. Arbulú Vergara Jorge Armando**

**Bach. García Rivas Guillermo André**

**Asesor:**

**Dr. Olórtegui Yume Jorge Antonio, Ph.D.**

**Línea de Investigación:**

**Gestión de la Energía**

**Pimentel – Perú**

**2018**

**MODELADO Y SIMULACIÓN DEL MOTOR GASOLINERO SUZUKI M16A  
MEDIANTE EL USO DE UNA INTERFAZ GRÁFICA DE USUARIO EN EL  
TALLER DE CIENCIAS TÉRMICAS DE LA USS –CHICLAYO**

**Aprobación de tesis**

---

Bach. Arbulú Vergara Jorge Armando

---

Bach. García Rivas Guillermo André

**Autores**

---

Dr. Olórtegui Yume Jorge Antonio, Ph.D.  
**Asesor**

---

Mg. Vives Garnique Juan Carlos  
**Presidente del jurado de Tesis**

---

Mg. Gastiaburú Morales Silvia Yvone  
**Secretario del jurado de Tesis**

---

Mg. Alvarado Silva Carlos Alexis  
**Vocal del jurado de Tesis**

## **DEDICATORIA**

Han pasado algunos años desde que ya no estas entre nosotros, y de manera especial dedico esta tesis para ti, pues tú fuiste el motor y motivo por el cual quise seguir superándome como persona y profesional.

Poniendo en práctica tus consejos, enseñanzas y la importancia de estar unidos como familia, siempre estarás en nuestros corazones.

Te amo mucho mamá.

**Jorge Armando Arbulú Vergara**

## **DEDICATORIA**

En primer lugar, a Dios, por permitirme llegar a este momento y brindarme los dones y sabiduría necesaria para hacerlo. Por cada lección de vida que ha puesto en mi camino, las cuales me han ido formando y preparando especialmente para este momento.

A mis padres, por ser las personas que me han acompañado en todo este trayecto, formarme como la persona que soy ahora y no haber desistido pese a todos los obstáculos y momentos difíciles en el camino.

A mis tíos y mis abuelos, que siempre han estado expectantes del momento que me logre formar como profesional y me han alentado a alcanzar mis metas.

**Guillermo André García Rivas**

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por haberme dado la oportunidad de cumplir uno más de mis objetivos propuestos en la vida; agradezco a mi madre Yolanda quien supo guiarme por el camino del bien y sé que desde el cielo estará orgullosa de mí; agradezco padre Enrique por el esfuerzo y sacrificio que has hecho por mí y mis hermanos, brindándonos la fortaleza para seguir adelante y aconsejándonos para ser buenos profesionales; agradezco a mi tía Amelia por brindarme su cariño y apoyo durante este proyecto de formación; agradezco también a mis hermanos Tulio y Claudia por estar junto a mí apoyándome en cada momento; agradezco también a mi compañero de tesis Guillermo por no haber desistido y logrado juntos cumplir esta meta propuesta; también agradezco a sus padres al señor Guillermo y la señora Maria por habernos apoyado en todo; y a todas las personas que estuvieron junto a mí durante todo este proceso de formación profesional.

**Jorge Armando Arbulú Vergara**

## **AGRADECIMIENTO**

Le agradezco a Dios por darme la fuerza y sabiduría para poder superar todos los obstáculos y dificultades en mi vida y finalmente por permitirme compartir esta alegría con todos mis seres queridos que me rodean.

A mi madre, por ser siempre una mujer ejemplar y comprensiva, que, sin desfallecer en las dificultades del día a día, me ayudo a salir adelante y estar ahí siempre que la necesitaba.

A mi padre, quien siempre se ha esforzado por darnos lo mejor, lograr que salga adelante profesionalmente y formarme como la persona que soy.

A mi tío Beto, mi tía Maribel y mi hermana Angela, quienes siempre han estado detrás de mí, compartiéndome sus lecciones de vida, dándome un pequeño empujón y alentándome a concluir satisfactoriamente mi carrera profesional.

A mis abuelos, que dentro de la medida de sus posibilidades me han apoyado y dado un aliento por seguir adelante y me han acompañado en cada etapa de mi vida.

A mi compañero Jorge Arbulú, quien ha sido un gran amigo y apoyo en toda mi etapa universitaria, con quien he compartido gratos momentos y junto a él hemos culminado exitosamente este gran proyecto.

A todos los que me han brindado su apoyo para llegar a este momento.

**Guillermo André García Rivas**

## RESUMEN

Las necesidades del Taller de Ciencias Térmicas se han determinado a través de encuestas a los estudiantes y docentes que hacen uso del mismo, verificándose la falta de implementación de motores de combustión interna.

Este proyecto se propone implementar una interfaz gráfica de usuario (GUI) que permita el modelado y simulación de motores de combustión interna en el Taller de Ciencias Térmicas de la EAP de Ingeniería Mecánica Eléctrica, y por tanto reforzar los conocimientos de los estudiantes.

Así pues, con este software, se podrán analizar el comportamiento del motor de ciclo Otto, cuyas pruebas experimentales permitió obtener datos en tiempo real, basándonos en un motor gasolinero Suzuki M16A y una interfaz gráfica accesible y de manejo sencillo creada gracias a una herramienta del MATLAB.

Con este software de simulación se podrán obtener las curvas características de los motores de combustión interna, como lo son la potencia, torque, consumo y rendimiento.

Una vez probada y verificado el correcto funcionamiento de la GUI se procederá a la implementación del Taller de Máquinas Térmicas como Laboratorio Virtual.

**Palabras clave:** Simulación, Modelado, Software, interfaz gráfica, Identificación de parámetros, Motor, Combustión interna, MATLAB.

## ABSTRACT

The needs of the Thermal Sciences Workshop have been determined through surveys to students and teachers who make use of it, verifying the lack of implementation of internal combustion engines.

This project intends to implement a graphical user interface (GUI) that allows the modeling and simulation of internal combustion engines in the Workshop of Thermal Sciences of the Electrical Mechanical Engineering School, and therefore reinforce the knowledge of the students.

So, with this software, you can analyze the behavior of Otto cycle engine, whose experimental tests allowed to obtain data in real time, based on a Suzuki M16A gasoline engine and an accessible and user-friendly graphic interface created thanks to a tool of the MATLAB.

With this simulation software you can obtain the characteristic curves of internal combustion engines, such as power, torque, consumption and performance.

Once the correct functioning of the GUI has been tested and verified, the Thermal Machines Workshop will be implemented as a Virtual Laboratory.

**Keywords:** Simulation, Modeling, Software, graphical interface, Parameter identification, Engine, Internal combustion, MATLAB.



## INDICE

<b>I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>12</b>
1.1. Realidad Problemática.....	12
1.2. Antecedentes de Estudio.....	14
1.3. Teorías relacionadas al tema.....	18
1.3.1. Historia de los motores. ....	18
1.3.2. Motor de ciclo Otto .....	20
1.3.3. Motor de ciclo Otto ideal.....	21
1.3.4. Procesos termodinámicos de ciclo Otto.....	23
1.3.5. Partes del Motor de ciclo otto .....	26
1.3.6. Fórmulas para modelado del motor.....	27
1.3.7. Principios de funcionamiento.....	32
1.3.8. Software para modelado y simulación de sistemas térmicos.....	33
1.4. Formulación del problema.....	33
1.5. Justificación e importancia del estudio.....	33
1.5.1. Justificación técnica. ....	33
1.5.2. Justificación económica.....	34
1.5.3. Justificación ambiental. ....	34
1.6. Objetivos.....	34
1.6.1. Objetivo General.....	34
1.6.2. Objetivos Específicos.....	34
<b>II. MATERIAL Y MÉTODO .....</b>	<b>37</b>
2.1 Tipo y diseño de investigación .....	37
2.1.1 Tipo.....	37
2.1.2 Diseño.....	37

2.2. Población y Muestra .....	37
2.3. Variables, Operacionalización.....	37
2.2.1. Variables .....	37
2.2.2. Variables de una interfaz gráfica de usuario para modelado y simulación de un motor Otto. ....	38
2.2.3. Operacionalización de Variables .....	39
2.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad .....	40
2.4.1    Técnica de recolección de datos, validez y confiabilidad .....	40
2.4.2    Instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad .....	40
2.4.3    Procedimientos para recolección de datos.....	42
2.5. Procedimiento de análisis de datos .....	44
2.6. Criterios éticos.....	45
<b>III. RESULTADOS .....</b>	<b>48</b>
3.1.    Resultados en Tablas y Figuras .....	48
3.1.1.    Necesidades del Taller de Ciencias Térmicas.....	48
3.1.2.    Identificación de modelos matemáticos.....	48
3.1.3.    Parámetros de funcionamiento del motor Suzuki M16A en el Banco de Pruebas .....	49
3.1.4.    Programación del modelamiento matemático e interfaz gráfica de usuario .....	50
3.1.5.    Validación de resultados.....	50
3.2.    Discusión de resultados .....	58
<b>IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>61</b>
<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>63</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>66</b>

**CAPÍTULO I**  
**INTRODUCCIÓN**

# I. INTRODUCCIÓN

## 1.1. Realidad Problemática

Durante muchos años los motores de combustión interna han sido imprescindibles para la humanidad, hoy en día estos motores son utilizados para distintas aplicaciones, ya sea para el transporte, la generación de energía y la producción industrial<sup>1</sup>. Pero uno de los factores que los afecta es la dependencia de combustibles fósiles para su funcionamiento, actualmente la demanda de los combustibles aumenta sustancialmente. Por consiguiente, el uso de estos combustibles son los que producen gases contaminantes de mayor impacto como el CO<sup>2</sup>, los cuales contaminan el medio ambiente<sup>2</sup>. Una forma de ver más de cerca esta situación es implementar una herramienta que permita predecir el comportamiento de los motores de manera sencilla.

Se tiene poca referencia acerca de universidades en el Perú que hayan implementado Laboratorios Virtuales como una herramienta pedagógica, especialmente en el ámbito de motores de combustión interna, sin embargo, la pionera en este ámbito en el Perú es la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas – UPC con lo que pone a disposición de toda su comunidad universitaria diversos softwares, a través de su Intranet académica, que los alumnos necesitan para realizar sus actividades académicas de manera óptima<sup>3</sup>.

La Universidad Señor de Sipán - USS es una de las universidades líderes en el norte del país, además de encontrarse en el top 20 del ranking de universidades del Perú realizado por América Economía. Siempre a la vanguardia, la USS atiende las necesidades y requerimientos de la población y del mundo globalizado, cuenta con diecinueve Carreras Profesionales. Durante los últimos años el uso de las Aulas Virtuales se ha expandido a todos los niveles. Por este motivo, la USS cuenta con un programa USS virtual, como un modelo pedagógico con miras a la innovación de la educación, buscando que nuestros docentes y estudiantes estén a la vanguardia de la

---

<sup>1</sup> [https://es.wikipedia.org/wiki/Historia\\_del\\_motor\\_de\\_combusti%C3%B3n\\_interna](https://es.wikipedia.org/wiki/Historia_del_motor_de_combusti%C3%B3n_interna)

<sup>2</sup> [http://sgccc.org.gt/wp-content/uploads/2017/05/11.-Emisiones-Vehiculos\\_05may17-2.pdf](http://sgccc.org.gt/wp-content/uploads/2017/05/11.-Emisiones-Vehiculos_05may17-2.pdf)

<sup>3</sup> <http://tice.upc.edu.pe/blog/laboratorios-virtuales-en-la-upc>

tecnología educativa, basándonos en investigaciones ya existentes e identificando su practicidad, utilidad y su eficacia.

Con una interfaz agradable y ordenada, una mayor capacidad de almacenamiento y mejores tiempos de respuesta, con lo cual busca mejorar la experiencia de nuestros estudiantes y docentes en temas de E-learning.

Así mismo, la USS cuenta con una flamante **biblioteca “Puerta del Conocimiento”**, considerada la más grande y equipada del norte del país por la bibliografía física y virtual con la que cuenta, a la que se accede virtualmente desde cualquier parte del mundo.

La Facultad de Ingeniería, Arquitectura y Urbanismo de la USS ofrece la carrera de Ingeniería Mecánica Eléctrica, la cual cuenta con laboratorios especializados para la enseñanza de diversas materias y optimizar su aprendizaje como; Laboratorio de Procesos industriales, Laboratorio de automatización y simulación de procesos, Laboratorio de circuitos eléctricos, laboratorio de Hidráulica, implementado con equipos que cumplen con certificación internacional ISO 9001; Laboratorio de PACTUSS agrobiotecnología, Laboratorio de sistemas inteligentes y seguridad informática, entre otros. Así mismo, sus estudiantes han sido reconocidos en importantes concursos a nivel nacional como el CONEIMERA y EXPOTRON.

Sin embargo, para la enseñanza de ciencias térmicas, a pesar que se cuenta con algunas herramientas y equipos implementados por los propios alumnos, no se cuenta con un laboratorio propio, lo que dificulta la realización de prácticas. Además, equipos como motores de combustión interna, requieren de una elevada inversión que son de difícil adquisición. Por este motivo, la urgencia de gestionar e implementar este laboratorio es prioridad de la USS, además que la USS se encuentra en proceso de acreditación de gran parte de sus carreras, incluida la de Ingeniería Mecánica Eléctrica. Sin embargo, el software de simulación a la vez puede ayudar a realizarse las prácticas en el Taller de Ciencias Térmicas, hasta que se pueda contar con un laboratorio adecuado, a la vanguardia actual.

En este proyecto se propone la implementación de una interfaz gráfica de usuario que permita el modelado y simulación del motor gasolinero Suzuki M16A.

## 1.2. Antecedentes de Estudio

### 1.2.1. Investigaciones internacionales.

**González J. (2001), Simuló Termodinámicamente Cero-Dimensional un motor de Combustión Interna Mono cíclico de cuatro tiempos de Encendido por Chispa Trabajando con Gasolina**”, tiene como objetivos principales efectuar una simulación termodinámica cero-dimensional de un motor de combustión interna monocilíndrico de cuatro tiempos de encendido por chispa trabajando con gasolina. En esta investigación, se utilizó el software Matlab el mismo que permitirá predecir la variación de potencia, eficiencia térmica, eficiencia volumétrica, y emisiones de NO y CO del motor al variar parámetros como; diámetro del cilindro, carrera, relación de compresión, diámetros de las válvulas de escape y admisión, etc. Se concluyó que pesar de la considerable complejidad de los fenómenos físicos que ocurren durante los procesos de un MCIECH, con esta simulación se logró predecir con éxito la variación de los parámetros de funcionamiento de un MCIECH teniendo en cuenta las características de diseño y condiciones de operación. Este modelo puede ser fácilmente modificado de acuerdo a nuestras necesidades y de acuerdo con ello simular el uso de diversos combustibles a usar en un MCIECH. Otra conclusión de interés es la inclusión de la cinética de las reacciones de formación de NO mejoraron mucho la predicción de las emisiones de NO. Debido a que las reacciones químicas del mecanismo térmico de formación de NO es mucho más lenta que la de otras reacciones que ocurren durante la expansión y combustión.

**Rodríguez V. & Rodríguez G. (2012), aplicó el método de level set para modelar el proceso de combustión premezclada en un motor Otto de dos tiempos**”, utilizó el método numérico conocido como level set para modelar el proceso de combustión en un motor Otto de dos tiempos. Este método se ha implementado en un software libre de mecánica de fluidos computacional (CFD) basado en volúmenes finitos, y de esta forma podemos observar los campos de presión y temperatura, así como la propagación del frente de llama. Para validar el modelo, los resultados obtenidos

numéricamente se han comparado con datos experimentales, los mismos que concuerdan satisfactoriamente. En este trabajo de investigación se concluye que: para simular el proceso de combustión en un motor Otto de dos tiempos, en un código de CFD se implementó el método numérico level set. La programación para este procedimiento consiste en resolver la ecuación G junto a su reinicialización, así también se han obtenido resultados de la propagación del frente de llama, campo de presiones y campo de temperaturas. Los datos obtenidos a partir de este trabajo serán útiles para diseñar nuevos modelos de motores. Por otro lado, tenemos que el campo de presiones está relacionado con el rendimiento del motor y las emisiones de NOx con el campo de temperaturas. Para trabajos futuros, es importante que se amplíe el código programado para cuantificar las emisiones.

**Mantilla G. (2010), Modeló la Combustión de mezclas Gasolina-Etanol en Motores de Combustión Interna.** En esta tesis el proceso de combustión en MCI involucra el conocimiento de las propiedades del combustible, como son las variables termodinámicas del ambiente y las características de los flujos (combustible y aire). A partir de parámetros de salida del MCI, como la potencia, el consumo de combustible y las emisiones gaseosas, nos da a conocer la forma en que el proceso de combustión se está llevando a cabo. Es por ello que en este estudio se dan a a conocer los factores que influyen el desarrollo del proceso de combustión, relacionándolos directamente con el problema de estudio y planteando a la vez nuevas inquietudes, que en algunos casos están fuera del alcance de este estudio. Se inicia entonces con una presentación de las propiedades físico-químicas más importantes, para continuar con los parámetros de operación divididos en: emisiones gaseosas, consumo de combustible y potencia al freno. Se tiene que las conclusiones a las que llegó son: Que el fenómeno turbulento es el que controla el proceso de combustión, produciéndose la turbulencia, la cual se toma como factor significativo, la misma que se va disipando luego de que las válvulas se cierran durante el proceso de compresión. La efectividad del proceso de combustión está determinada por la intensidad de esta turbulencia. Entonces, a mayor generación de turbulencia, mayor será este valor cuando inicie el proceso de combustión. Otro aspecto que se observa con la experimentación es la diferencia en las velocidades y la duración de combustión.

**Riesco A. & Rivera R. (2013). Analizaron modelos para la Simulación de Motores de Combustión Interna**, en este trabajo se compara el efecto de siete correlaciones del coeficiente de transferencia de calor por convección, para el cálculo de las pérdidas de calor en un motor de combustión interna, y de cuatro modelos de cálculo de la duración de la combustión, en el comportamiento del ciclo termodinámico usado en el análisis de motores de encendido provocado.

De acuerdo a esto vemos, que hoy en día se siguen usando los ciclos ideales para el estudio termodinámico de los MCIA, lo que nos ayuda a extraer conclusiones válidas desde el punto de vista cualitativo y de tendencias al modificar determinados parámetros. Refiere que los ciclos de aire estándar y teniendo en cuenta las leyes de quemado, permiten tener resultados más aproximados a los reales, que los ciclos teóricos de aire estándar, toman en cuenta las pérdidas de energía por refrigeración y no se supone que la adición de calor se realice a presión o volumen constante, sino que su velocidad se controla mediante expresiones empíricas. Los resultados muestran que, debido al cambio continuo de los motores, la elección tanto del modelo de transferencia de calor como el de la duración de la combustión es muy subjetiva y se deberán ajustar las constantes que aparecen en dichos modelos para cada motor en particular.

### **1.2.2. Investigaciones nacionales.**

**Aybar Ch. (2004), Modeló matemáticamente un motor de encendido por chispa que utiliza gas natural como combustible**, tiene como finalidad desarrollar un modelo matemático cero dimensional con el cual se calcula el ciclo de trabajo que desarrolla en los motores de combustión interna de encendido por chispa de cuatro tiempos que utilizan gas natural como combustible. Para ello, se utilizó las ecuaciones fundamentales de conservación de energía, masa; y la ecuación de estado de los gases ideales; otro objetivo en el que basa este estudio es predecir y analizar las principales emisiones gaseosas producidas por estos motores. Se considera que la fase de combustión se realiza en dos zonas; durante las fases de combustión y



expansión, se utilizan ecuaciones de equilibrio químico de los gases, productos de la combustión.

Con esta tesis demostró que este modelo es una herramienta adecuada para la predicción y análisis del ciclo de trabajo y de las emisiones de un motor E.CH. ha gas natural, en función de los parámetros constructivos y de operación más importantes del motor. Este modelo puede ser extendido y mejorado para predecir una mayor cantidad de especies químicas, ya que el mecanismo de reacción del gas natural incluye 354 reacciones químicas y 182 especies. Por otro lado, se observa una buena predicción de las emisiones que influyen en la eficiencia térmica del motor, ya que a pesar de que en algunos casos el error relativo obtenido fue del orden de 17%, el promedio total de errores es de 9,13%. Así mismo, se afirma que el modelo matemático desarrollado simula adecuadamente el funcionamiento del tipo de motor en estudio, ya que se obtienen curvas características externas de velocidad que son cualitativa y cuantitativamente muy parecidas.

**Alianak & Tofoni (2014). Simularon computacionalmente motores pluricilindros de combustión interna,** donde abarcaron el modelo físico-matemático que gobierna el flujo de gases en ductos de sección variable y toberas, así como de los aspectos numéricos que posibilitan su tratamiento computacional. Para esta validación se utilizó un motor 6 y 4 cilindros. Los ensayos se organizaron de la siguiente manera: para el Motor 6 cilindros, se hizo un ensayo en busca de un mejor reglaje de válvulas, cuyo objetivo es el de ganar potencia, sin tener en cuenta otros factores (consumo de combustible, emisiones, etc.). Posterior se construyó y ensayo dinámicamente un árbol de levas con el nuevo reglaje en un software de análisis dinámico de mecanismos, MECANO. Luego se realizó la optimización del múltiple de escape, determinado por la mejor combinación de largos y diámetros para el mismo. Para el Motor 4 cilindros los ensayos que se hicieron buscaron una configuración óptima de múltiples de admisión y escape, junto con el reglaje de válvulas. Con esto se logró obtener una herramienta de diseño de última generación, en lo que hace al desarrollo de motores de combustión interna capaz de simular el comportamiento fluido-dinámico que se sucede dentro del motor. Se concluye que logró obtener una herramienta de diseño de última generación para el desarrollo de

motores de combustión interna que simula el comportamiento fluidodinámico que sucede dentro del motor. Con este cálculo resolvieron una cantidad de variables interrelacionadas imposibles de analizar de otra forma. La importancia para futuras líneas de investigación en esta área, fue acoplar este tipo de simuladores unidimensionales con modelos tridimensionales parciales para resolver elementos que posean formas geométricas complicadas (uniones, válvulas, toma dinámica, etc.). Esto les permitió hacer al simulador aún más independiente de ajustes empíricos o mediciones necesarias actualmente.

**UPC (2014) Implemento Laboratorios Virtuales**, lo realizó junto a la ayuda de las empresas Cosapi, Data, Citrix y Dell, y de esta forma se convierte en la primera universidad del Perú en implementar esta herramienta a disposición de sus alumnos. Esta plataforma virtual permite acceder a todo software que posee la UPC para que los alumnos tengan un aprendizaje óptimo y de forma remota, conectándose a través de la Intranet que posee la universidad y así mismo generando un ahorro de tiempo, dinero y espacio. Este servicio brindado por la universidad ha ido incrementando un 70% cada mes desde su implementación y actualmente se registra un uso por parte de los alumnos de 168 mil horas al mes. Por lo que se concluye que los laboratorios virtuales es una muy buena herramienta pedagógica que poco a poco está teniendo acogida en el país y que debería ser copiado por otras casas de estudio, ya que se tiene buenas referencias de su implementación y realmente ayuda mejorar la enseñanza de los estudiantes.

### **1.3. Teorías relacionadas al tema**

#### **1.3.1. Historia de los motores.**

Unos de los primeros inventores fue el francés Alphonse Beau de Rochas por el año 1862. Y el segundo fue el alemán doctor Nikolaus August Otto por el año 1875. Pero debido a ambos eran de diferentes países ninguno sabía de la patente del otro hasta que se fabricaron los motores, producto de dicha manufactura los señores llegaron a un acuerdo en donde el francés De Rochas obtenía cierta suma de dinero y el alemán

Otto se quedaba con la fama y la patente. Es por esto que el principio termodinámico del motor de cuatro tiempos se llama Ciclo de Otto.

Otto construyó su motor en 1866 junto con su compatriota Eugen Langen. Se trataba de un motor de gas que poco después dio origen al motor de combustión interna de cuatro tiempos. Otto desarrolló esta máquina, que después llevaría su nombre (motor cíclico Otto), en versiones de cuatro y dos tiempos.

El motor ha ido evolucionando desde el inicio de sus días siguiendo un proceso de perfeccionamiento que se debió a la necesidad del hombre para transportarse, optimizando su rendimiento con modificaciones para obtener potencia máxima al más bajo consumo de combustible. Esta evolución a través de los años produjo una serie de clases de motores entre las cuales tenemos:

**a) Según el campo de aplicación**

- Estacionarios: Se usan para mover maquinas fijas como un generador.
- De transporte: Se usan para propulsar un vehículo.

**b) Por la transformación de la energía calorífica en mecánica**

- Motores de combustión interna alternativos: Los gases de combustión empujan a un embolo o pistón que posteriormente hacen girar un cigüeñal.
- Motores de combustión interna rotativos: Utiliza rotores en vez de pistones un ejemplo es el motor Wankel.
- Motores de combustión externa: La combustión se realiza en una cámara externa.

**c) Según el combustible utilizado**

- Combustible líquido ligero: Poseen una baja densidad.
- Combustible líquido pesado: Poseen una alta densidad.
- Combustible gaseoso: Utilizan gases licuados como GLP, GNV, etc.
- Policombustibles: Utilizados en maquinaria militar, son escasos.

**d) Según el ciclo de trabajo**

- De dos tiempos: Todo el ciclo de trabajo se realiza en cada vuelta de cigüeñal o manivela
- De cuatro tiempos: El ciclo de trabajo se realiza cada dos vueltas del cigüeñal o manivela.

**e) Según su estructura**

- En línea: Los cilindros están dispuestos en línea recta.
- En “V”: Los cilindros están dispuestos en dos bloques formando un “V”.
- En estrella: Están ubicados en forma radial al cigüeñal.
- De pistones rotativos: Son del tipo Wankel.

**1.3.2. Motor de ciclo Otto**

El motor convencional del tipo Otto es un motor de cuatro tiempos. El rendimiento térmico de los motores Otto moderno se ve limitado por varios factores, entre otros la pérdida de energía por la fricción, la refrigeración y falta de constancia en las condiciones de funcionamiento.

El rendimiento de un motor Otto depende en primera aproximación del grado de compresión. Esta relación suele ser de 8 a 1 o 10 a 1 en la mayoría de los motores Otto modernos. Se pueden utilizar proporciones mayores, como de 12 a 1, aumentando así la eficiencia del motor, pero este diseño requiere la utilización de combustibles de alto índice de octano para evitar el fenómeno de la detonación, que puede producir graves daños en el motor. La eficiencia o rendimiento medio de un buen motor Otto es de un 20 a un 25 %: solo la cuarta parte de la energía calorífica se transforma en energía mecánica.

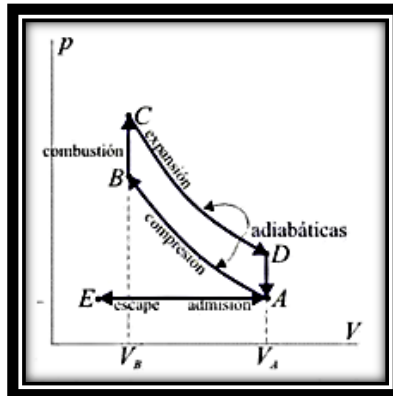
### 1.3.3. Motor de ciclo Otto ideal

Analizar los procesos de combustión en un motor puede resultar muy engorroso por ello para hacer este estudio se consideran ciertas suposiciones que idealizan el proceso, así tenemos las más importantes:

- Los gases de combustión se consideran como un gas ideal, lo cual no es cierto ya que estos poseen una cantidad de gases residuales además de otros elementos que lo obligan a interactuar de diferente manera que los gases ideales.
- Se considera que la combustión se hace a volumen constante, pero en realidad le toma de 30 a 40 grados de giro de la manivela para que se realice el proceso de combustión.
- Se considera al pistón como un sistema cerrado, sin embargo, esto no es cierto ya que existe ingreso y de salida de masa, además existe intercambio de calor a través de las paredes ya que el proceso no es adiabático ni irreversible. Adicionalmente el fluido se transforma de una mezcla de aire-combustible a gases de combustión.
- Se consideran los calores específicos durante el ciclo como constantes, este no se cumple ya que existe variaciones en función de la temperatura.

Teniendo en cuenta las suposiciones antes mencionadas se define el Ciclo Otto ideal con los siguientes procesos.

**Figura 1: Ciclo termodinámico del motor Otto.**



**Fuente: Motores de combustión interna - Dante Giacosa - Editorial Hoepli**

El ciclo consta de seis procesos, de los cuales dos procesos no participan en el ciclo termodinámico del fluido operante, pero son fundamentales para la renovación de la carga del mismo:

- E-A: El pistón baja con la válvula de admisión abierta, aumentando la cantidad de mezcla en la cámara. Esto se modela como una expansión a presión constante (ya que al estar la válvula abierta la presión es igual a la exterior). En el diagrama PV aparece como la línea recta E→A. (renovación de la carga-Admisión)
- A-B: El pistón sube comprimiendo la mezcla. Dada la velocidad del proceso se supone que la mezcla no tiene posibilidad de intercambiar calor con el ambiente, por lo que el proceso es adiabático. Se modela como la curva adiabática reversible A→B, aunque en realidad no lo es por la presencia de factores irreversibles como la fricción (compresión isoentrópica)
- B-C: Con el pistón en su punto más alto, la bujía genera una chispa que produce la ignición. El calor generado en la combustión calienta bruscamente el aire que incrementa su temperatura a volumen prácticamente constante (ya que al pistón no le ha dado tiempo a bajar). Esto se representa por una isócara B→C. Este paso es claramente irreversible, pero para el caso de un proceso isócoro en un gas ideal el balance es el mismo que en uno reversible (combustión).

- C-D: La alta temperatura del gas empuja al pistón hacia abajo, realizando trabajo sobre él. De nuevo, por ser un proceso muy rápido se aproxima por una curva adiabática reversible  $C \rightarrow D$ . Este proceso es una expansión isoentrópica que entrega trabajo al eje del motor.
- D-A: Se abre la válvula de escape y el gas sale al exterior, empujado por el pistón a una temperatura mayor que la inicial, siendo sustituido por la misma cantidad de mezcla fría en la siguiente admisión. El sistema es realmente abierto, pues intercambia masa con el exterior. No obstante, dado que la cantidad de aire que sale y la que entra es la misma podemos suponer que es el mismo aire que se ha enfriado y así facilitar el balance energético. Este enfriamiento ocurre en dos fases. Cuando el pistón está en su punto más bajo, el volumen permanece aproximadamente constante y tenemos la isócora  $D \rightarrow A$ . (Escape-cesión del calor residual al ambiente a volumen constante)
- Cuando el pistón empuja el aire hacia el exterior, con la válvula abierta, empleamos la isobara  $A \rightarrow E$ , cerrando el ciclo A-E: (Escape, vaciado de la cámara a presión constante -renovación de la carga)

Hay dos tipos de motores que se rigen por el ciclo de Otto, los motores de dos tiempos y los motores de cuatro tiempos. Este último, junto con el motor diésel, es el más utilizado en los automóviles ya que tiene un buen rendimiento y contamina mucho menos que el motor de dos tiempos debido a que este último posee lumbreras que no controlan perfectamente la apertura y cierre durante el ciclo termodinámico produciendo que la mezcla de aire combustible escape al ambiente.

#### **1.3.4. Procesos termodinámicos de ciclo Otto**

A continuación, se detallan los procesos termodinámicos que se realizan en un Motor de combustión interna:

##### **1.3.4.1. Proceso de admisión**

Durante la primera fase la válvula de admisión permanece abierta mientras que el pistón se desplaza hasta el PMI permitiendo aspirar la mezcla de aire-combustible

hacia dentro del cilindro (esto no significa que entre de forma gaseosa). El proceso inicia con la apertura de la válvula de admisión que se da 10 a 20 grados antes del PMS ocasionando un lapso de tiempo en que tanto la válvula de admisión como la de escape estén abiertas simultáneamente, efecto que favorece al enfriamiento de la bujía y el llenado del cilindro de carga fresca.

Otros factores que afectan el proceso de admisión son:

- Resistencia hidráulica que disminuye la presión de llenado y a la vez el trabajo neto del ciclo ya que el trabajo de bombeo aumenta. Para mejorar el llenado del cilindro se utilizan sistemas de sobrealimentación, ya sea mediante empleo del turbocompresor o mediante compresores volumétricos o también llamados positivo. Otra opción es de mejorar el acabado del múltiple de admisión para reducir la fricción del fluido.
- Existencia de gases residuales en el cilindro ya que durante el proceso de barrido no se expulsan el total de los gases producto de la combustión formando una mezcla de carga fresca y gases de combustión. La relación entre los gases y la mezcla se denomina coeficiente de gases residuales.
- Calentamiento de la mezcla que produce la reducción de la densidad de la carga aumentando el trabajo de bombeo, sin embargo, se puede aprovechar la pre vaporización de la mezcla en el múltiple en un rango de 10 a 20 ° C para que luego se vaporice en la compresión.

#### **1.3.4.2. Proceso de compresión**

Durante la segunda fase las válvulas permanecen cerradas y el pistón se mueve hacia el PMS, comprimiendo la mezcla de aire y combustible llevándola a condiciones apropiadas de presión y temperatura para la ignición donde la bujía se activa y enciende la mezcla.



En este proceso también se produce la transferencia de calor que en un inicio se da desde el cilindro hacia la mezcla para luego cambiar de sentido. Para determinar los valores de presión y temperatura que resultan de este proceso se tiene que tener en cuenta los factores tales como la hermeticidad de los anillos de compresión, condiciones finales de admisión, y la consideración de un proceso poli trópico no adiabático cuyo exponente dependerá de cómo opere el sistema de refrigeración (área de transferencia, material, hermeticidad y velocidad del proceso).

#### **1.3.4.3. Proceso de combustión**

Durante la tercera fase se produce la combustión de la mezcla, liberando energía que provoca la expansión de los gases y el movimiento del pistón hacia el PMI. En este proceso se da la oxidación del combustible que transforma la energía química del combustible en energía mecánica, pero para ello se tiene que tener en consideración ciertas requerimientos tales como:

- La combustión se debe desarrollar por completo sin formación de carbonilla o productos corrosivos cuya toxicidad no sea mayor que la establecida.
- La combustión debe realizarse satisfactoriamente en cualquier condición de carga y temperatura.
- Para un combustible líquido se necesita de una cantidad teórica de oxígeno en el aire de 23 % en masa y 21% en volumen para garantizar la combustión completa de 1 kg de combustible.

#### **1.3.4.4. Proceso de expansión**

Se produce la transformación de la energía química contenida en el combustible en energía mecánica que se transmite al pistón. Este último lo transmite a la biela, y la biela al cigüeñal, de donde se toma para su utilización.

Se inicia en el PMS durante los próximos 180 grados mecánicos en donde se produce el trabajo útil o carrera de trabajo, aquí se aprovecha la presión y temperatura máxima de los gases que se dan aproximadamente unos 10 grados

mecánicos luego del PMS terminando unos 40 a 60 grados antes del PMI cuando se abre la válvula de escape. Como todo proceso presenta irreversibilidades debido a fugas y rozamiento de los anillos de compresión con la camisa del cilindro.

### **1.3.5. Partes del Motor de ciclo otto**

Un motor se compone de 3 secciones fundamentales:

#### **1.3.5.1. La culata**

La culata es la parte superior de un motor que garantiza el cierre de las cámaras de combustión (cámara de los cilindros) para evitar pérdidas de compresión y salida inapropiada de los gases de escape. Es una parte hueca que posee conductos por donde se desplaza el refrigerante (agua) para evitar las compensar las altas temperaturas que se generan durante la combustión.

En esta parte del motor se encuentra las válvulas, el tren de balancines, el eje de las levas y también los orificios o lumbreras que permiten el flujo de los gases. Además, se encuentran las bujías que son las encargadas de generar el arco eléctrico que inicia la combustión.

#### **1.3.5.2. El bloque**

En el bloque están ubicados los cilindros con sus respectivas camisas, que son barrenos o cavidades practicadas en el mismo, por cuyo interior se desplazan los pistones. Estos últimos se consideran el corazón del motor.

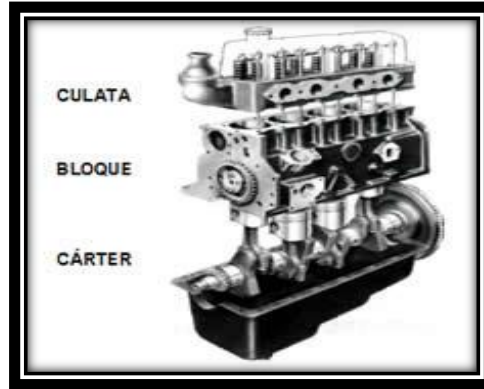
La cantidad de cilindros que puede contener un motor es variable, así como la forma de su disposición en el bloque. Existen motores de uno o de varios cilindros, aunque la mayoría de los coches o automóviles utilizan motores con bloques de cuatro, cinco, seis, ocho y doce cilindros.

#### **1.3.5.3. El cárter**

El cárter es el lugar donde se deposita el aceite lubricante que permite lubricar el cigüeñal, los pistones, el árbol de levas y otros mecanismos móviles del motor.

Durante el tiempo de funcionamiento del motor una bomba de aceite extrae el lubricante del cárter y lo envía a los mecanismos que requieren lubricación.

**Figura 2. Secciones principales del motor.**



**Fuente: Wikipedia**

### 1.3.6. Fórmulas para modelado del motor

Para obtener realizar el modelado del motor se requieren las especificaciones técnicas de fabricante iniciales, las cuales permitirán obtener las curvas características del motor en función a los rpm, como lo son Potencia, Par motor, Gasto específico efectivo del combustible y Eficiencia efectiva:

- Par Motor nominal ( $M_{e_{nom}}$ )

Es el par motor entregado al número de revoluciones nominal de la potencia máxima entregada por el motor.

$$M_{e_{nom}} = 9550 \times \frac{N_{e_{max}}}{n_{Ne}} \quad \dots (1)$$

Donde:

$M_{e_{nom}}$ : Par Motor nominal	(N.m)
$N_{e_{max}}$ : Potencia máxima del motor	(kW)
$n_{Ne}$ : Rpm a Potencia máxima del motor	(rpm)

- Reserva de Par Motor ( $M_r$ )

Relación de la diferencia del Par máximo y Par nominal entre el Par Máximo.

$$M_r = \frac{M_{e_{max}} - M_{e_{nom}}}{M_{e_{max}}} \times 100 \quad \dots (2)$$

Dónde:

$M_r$  : Reserva de Par Motor (%)  
 $M_{e_{max}}$ : Par Motor máximo (N.m)  
 $M_{e_{nom}}$ : Par Motor nominal (N.m)

- Coeficiente de Adaptación por Par Motor ( $K_m$ )

$$K_m = \frac{M_{e_{max}}}{M_{e_{nom}}} \quad \dots (3)$$

Dónde:

$K_m$  : Coeficiente de Adaptación por Par Motor (%)  
 $M_{e_{max}}$ : Par Motor máximo (N.m)  
 $M_{e_{nom}}$ : Par Motor nominal (N.m)

- Coeficiente de Adaptación por frecuencia de giro ( $K_n$ )

$$K_n = \frac{n_{Ne}}{n_{Me}} \quad \dots (4)$$

Dónde:

$K_n$  : Coeficiente de Adaptación por frecuencia de giro (%)  
 $n_{Ne}$  : Rpm a Potencia máxima del motor (rpm)  
 $n_{Me}$  : Rpm a Par Motor máximo del motor (rpm)

- Coeficientes de Leiderman

$$a = 1 - \left(\frac{M_r}{100}\right) \times \frac{K_n(2-K_n)}{(K_n-1)^2} \quad \dots (5)$$

$$b = \frac{2 \times M_r \times K_n}{100 \times (K_n-1)^2} \quad \dots (6)$$

$$c = \left(\frac{Mr}{100}\right) \times \frac{Kn^2}{(Kn-1)^2} \quad \dots (7)$$

Dónde:

$Kn$  : Coeficiente de Adaptación por frecuencia de giro (%)

$Mr$  : Reserva de Par Motor (%)

- Curva de Par Motor ( $Me$ )

La curva característica del Par Motor se puede modelar mediante la siguiente función en base a los rpm:

$$Me = Me_{nom} \left[ a + b \times \left(\frac{rpm}{nNe}\right) - \left( c \times \left(\frac{rpm}{nNe}\right)^2 \right) \right] \quad \dots (8)$$

Dónde:

$Me$  : Par Motor (N.m)

$Me_{nom}$ : Par Motor nominal (N.m)

$nNe$  : Rpm a Potencia máxima del motor (rpm)

a, b, c: Coeficientes de Leiderman (-)

- Curva de Potencia ( $Ne$ )

La curva característica de la Potencia del motor se puede modelar mediante la siguiente función en base a los rpm:

$$Ne = Ne_{max} \times \left(\frac{rpm}{nNe}\right) \times \left[ a + b \times \left(\frac{rpm}{nNe}\right) - \left( c \times \left(\frac{rpm}{nNe}\right)^2 \right) \right] \quad \dots (9)$$

Dónde:

$Ne$  : Potencia del motor (kW)

$Ne_{max}$ : Potencia máxima desarrollada por el motor (kW)

$nNe$  : Rpm a Potencia máxima del motor (rpm)

a, b, c: Coeficientes de Leiderman (-)

- Cilindrada total del motor ( $V_h$ )

Es la presión que desarrolla un trabajo equivalente al trabajo desarrollado en la curva del ciclo Otto real.

$$V_h = \frac{\pi \times D^2 \times s \times i}{4} \quad \dots (10)$$

Dónde:

$V_h$	: Cilindrada total del motor	( $\text{cm}^2$ )
$D$	: Diámetro del pistón	(cm)
$s$	: Longitud de carrera del motor	(cm)
$i$	: Numero de cilindros del motor	( - )

- Presión Media Efectiva ( $p_{me}$ )

Es la presión que desarrolla un trabajo equivalente al trabajo desarrollado en la curva del ciclo Otto real.

$$p_{me} = \frac{1.36 \times 900 \times 98.066 \times N_e}{V_h \times r_{pm}} \quad \dots (11)$$

$$p_{me} = p_{mi} \times \eta_m \quad \dots (12)$$

Dónde:

$p_{me}$	: Presión media efectiva	(MPa)
$p_{mi}$	: Presión media indicada	(Mpa)
$N_e$	: Potencia del motor	(kW)
$V_h$	: Cilindrada total del motor	( $\text{cm}^2$ )
$\eta_m$	: Rendimiento mecánico	( % )

- Consumo específico de combustible ( $G_e$ )

Consumo de combustible del motor por cada kW-h de energía consumidos.

$$G_e = \frac{G_i}{\eta_m} \quad \dots (13)$$

$$G_i = \frac{3600 \times N_v \times \rho_o}{p_{mi} \times \alpha \times l_o} \quad \dots (14)$$

Reemplazando la ec. (12) en la ec. (14):

$$Gi = \eta_m \times \frac{3600 \times Nv \times \rho_o}{p_{me} \times \alpha \times l_o} \quad \dots (15)$$

Reemplazando la ec. (15) en la ec. (13):

$$Ge = \frac{3600 \times Nv \times \rho_o}{p_{me} \times \alpha \times l_o} \quad \dots (16)$$

Dónde:

Ge	: Consumo específico de combustible efectivo	(g/kW-h)
Gi	: Consumo específico de combustible indicado	(g/kW-h)
p <sub>me</sub>	: Presión media efectiva	(MPa)
p <sub>mi</sub>	: Presión media indicada	(MPa)
η <sub>m</sub>	: Rendimiento mecánico	( % )
Nv	: Coeficiente de llenado teórico	( - )
α	: Coeficiente de exceso de aire	( - )
ρ <sub>o</sub>	: Densidad del aire en la admisión	(kg/m <sup>3</sup> )
l <sub>o</sub>	: Cantidad teórica de aire	(kg)

- Eficiencia efectiva o total (η<sub>e</sub>)

Relación del poder calorífico ingresado al sistema por medio del combustible que termina convirtiéndose en trabajo efectivo.

$$\eta_e = \frac{3600}{Hu \times Ge} \quad \dots (17)$$

Dónde:

η <sub>e</sub>	: Eficiencia efectiva o total	(%)
Ge	: Consumo específico de combustible efectivo	(g/kW-h)
Hu	: Poder calorífico del combustible	(MJ/Kg)

Modelado matemático realizado en base a fórmulas obtenidas del libro Motores de Automóvil, M.S. Jovaj, 1982.

### 1.3.7. Principios de funcionamiento

#### 1.3.7.1. Gasolina

Es una mezcla de hidrocarburos obtenida del petróleo por destilación fraccionada, que se utiliza principalmente como combustible en motores de combustión interna, también tiene usos en estufas, lámparas, limpieza con solventes y otras aplicaciones.

Tiene una densidad aproximada de  $720 \text{ kg/m}^3$ , dependiendo del octanaje. Posee un poder calorífico de aproximadamente  $47.7 \text{ MJ/kg}$ .

En general se obtiene a partir de la gasolina de destilación directa, que es la fracción líquida más ligera del petróleo (exceptuando los gases). La gasolina también se obtiene a partir de la conversión de fracciones pesadas del petróleo (gasóleo de vacío) en unidades de proceso denominadas FCC (craqueo catalítico fluidizado) o hidro craqueo.

La gasolina es una mezcla de cientos de hidrocarburos individuales desde C4 (butanos y butenos) hasta C11 como, por ejemplo, el metilnaftaleno.

**Figura 3. Gasolina**



**Fuente: Wikipedia**



### **1.3.8. Software para modelado y simulación de sistemas térmicos**

MATrix LABoratory o simplemente MATLAB, es una herramienta de software matemático que ofrece un entorno de desarrollo integrado (IDE) con un lenguaje de programación propio (lenguaje M). Está disponible para la gran mayoría de SO como: Windows, Unix, Mac OS X y GNU/Linux .

Entre sus capacidades básicas se hallan: la manipulación de matrices, la implementación de algoritmos, la representación de datos y funciones, la creación de interfaces de usuario (GUI) y la comunicación con programas en otros lenguajes y con otros dispositivos hardware. El paquete MATLAB dispone de dos herramientas adicionales que expanden sus capacidades, como lo son: Simulink (plataforma de simulación multidominio) y GUIDE (editor de interfaces de usuario - GUI). Además, se pueden ampliar las capacidades de MATLAB con las cajas de herramientas (toolboxes); y las de Simulink con los paquetes de bloques (blocksets).

**Figura 4. Logo MATLAB**



**Fuente: Wikipedia**

## **1.4. Formulación del problema**

¿Cuáles serán las características de la interfaz gráfica de usuario que permita modelar y simular el motor gasoliner Suzuki M16A de manera que se analicen los parámetros de funcionamiento?

## **1.5. Justificación e importancia del estudio**

### **1.5.1. Justificación técnica.**

Por medio de este software, el modelado y simulación del motor mediante la interfaz gráfica de Matlab nos brindará las ventajas de identificar las principales pérdidas de

combustión interna, lo que permitirá sugerir estrategias específicas para aminorarlas y así mejorar su rendimiento.

### **1.5.2. Justificación económica.**

Utilizando este software podríamos obviar un laboratorio real, ya que mediante esta interfaz gráfica no sería necesario tener el motor en físico para su estudio, evitando así, un costo de inversión alto por parte de la universidad.

### **1.5.3. Justificación ambiental.**

El modelado y simulación del motor de combustión interna mediante la interfaz gráfica Matlab, contribuirá a reducir las emisiones de gases contaminantes, como el Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>), Óxido Nitroso (N<sub>2</sub>O) y Metano (CH<sub>4</sub>), que ocasiona la destrucción de la capa de ozono y afecta la salud de los seres vivos.

## **1.6. Objetivos**

### **1.6.1. Objetivo General.**

Desarrollar una interfaz gráfica de usuario que permita modelado y simulación del motor gasoliner Suzuki M16A para analizar sus parámetros de funcionamiento.

### **1.6.2. Objetivos Específicos.**

- Identificar las necesidades del Taller de Ciencias Térmicas de la EAP Ingeniería Mecánica Eléctrica de la USS.
- Identificar modelos matemáticos que permitan describir el comportamiento del motor gasoliner Suzuki M16A.
- Obtener los parámetros de funcionamiento del motor gasoliner Suzuki M16A en el banco de pruebas.

- Realizar la programación que contenga el modelado matemático y permita la simulación del motor a través de una interfaz gráfica de usuario.
- Validar los resultados obtenidos del motor en el software con los datos del banco de pruebas.

# **CAPÍTULO II**

## **MATERIAL Y MÉTODO**

## II. MATERIAL Y MÉTODO

### 2.1 Tipo y diseño de investigación

#### 2.1.1 Tipo

Aplicada, Cuantitativa

#### 2.1.2 Diseño

Investigación Experimental

### 2.2. Población y Muestra

No aplicable para este tipo de investigación.

### 2.3. Variables, Operacionalización

#### 2.2.1. Variables

El presente trabajo de Investigación Aplicada y Cuantitativa es un Modelado y Simulación asociada a una metodología de estudio para el Taller de Ciencias Térmicas. Debido a ello, se utilizará una adaptación del esquema de variables basado en el trabajo de especialistas en el área de modelado y simulación. Que propone variables de entrada, variables de salida y parámetros de definición del problema.

#### **Variables de Entrada**

- Potencia máxima del motor (kW@rpm)
- Torque máximo del motor (N.m@rpm)
- Longitud de Carrera (cm)
- Diámetro de pistón (cm)

#### **Parámetros de definición**

- Velocidad del Motor (RPM)

## VARIABLES DE SALIDA

- Curva de eficiencia del Motor (% vs rpm)
- Curva de Potencia (kW vs rpm)
- Curva de Torque (N.m vs rpm)
- Curva de Consumo de Combustible (Kg/Kw.h vs rpm)

### 2.2.2. Variables de una interfaz gráfica de usuario para modelado y simulación de un motor Otto.

#### 2.2.2.1 Caja Negra

La caja negra o black box es un sistema cuyo funcionamiento interno es desconocido, pero posee entradas o inputs que experimentan unas determinadas transformaciones en el interior de la caja y que, como consecuencia de esto, brindan unas salidas u outputs (Nava, T. et al., 2013). En nuestro caso las variables de entrada serán los factores controlables, y las variables de salida, factores hallados o de solución.

**Figura 5: Gráfica de la caja negra para el modelado y simulación empleando los factores que definen el problema, con las variables intervinientes.**



Fuente: Elaboración propia

### 2.2.3. Operacionalización de Variables

VARIABLES	DEFINICIÓN	DIMENSIÓN	INDICADOR	ESCALA	
VARIABLES DE ENTRADA	Torque máximo del motor	Es el torque máximo que entrega el motor en condiciones de trabajo a cierta cantidad de rpm	$Me = T$	Torque (T)	N.m
	Potencia nominal del motor	Es la potencia máxima que demanda el motor en condiciones normales	$Ne = P$	Potencia (P)	kW
	Longitud de carrera	Es la distancia que recorre el pistón dentro de la cámara de combustión desde el PMI hasta el PMS	$S = L$	Longitud (L)	cm
	Diámetro de pistón	Suma del volumen útil de del total de cilindros del motor	$D = L$	Longitud (L)	cm
VARIABLES DE SALIDA	Curva de eficiencia	Representación del rendimiento del motor a diferentes rpm	$n = \%.rpm$	Porcentaje (%)	-
	Curva de torque	Representación del torque generado por el motor a diferentes rpm	$Ct = T.rpm$	Torque (T)	N.m
	Curva de Potencia	Representación de la potencia generada por el motor a diferentes rpm	$Cp = P.rpm$	Potencia (P)	HP
	Curva de consumo	Representación del consumo de combustible del motor a diferentes rpm	$Cc = C.rpm$	Consumo (C)	g/kW-h

## **2.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad**

### **2.4.1 Técnica de recolección de datos, validez y confiabilidad**

Con la finalidad de realizar un buen trabajo de investigación, se emplearon técnicas de recolección de datos que ayudan a obtener una información valiosa y necesaria que permiten el logro de los objetivos del presente proyecto.

#### **2.4.1.1. Observación**

Mediante el modelado y simulación del motor de ciclo Otto, observaremos los parámetros de funcionamiento y cotejaremos los datos obtenidos con análisis matemático.

#### **2.4.1.2. Información Bibliográfica**

Nos ayudará a buscar ejemplos de cómo desarrollar esta interface gráfica, permitiéndonos así obtener los parámetros de funcionamiento del motor.

#### **2.4.1.3. Análisis de documentos**

Brindará información valiosa para la realización de este proyecto.

### **2.4.2 Instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad**

#### **2.4.2.1. Instrumentación aplicada en el ensayo**

Sera necesario el uso de los siguientes instrumentos de medición para realizar las pruebas en el motor de laboratorio permitiendo registrar variables que serán necesarias para el proceso de análisis durante los diferentes regímenes en el que opera el motor tales como las pruebas a carga y velocidad variable. Entre las variables principales que se deberán controlar son las siguientes:

- Consumo de combustible
- Velocidad del motor.
- Torque.
- Potencia
- Rendimiento



Por tal motivo será necesario el uso de instrumentos que deberán entregar una exactitud de las siguientes variables que se detalla a continuación:

- Torque ( $\pm 0.5\%$  de valor medido)
- Velocidad ( $\pm 0.2\%$  de valor medido)
- Flujo de combustible ( $\pm 1\%$  de valor medido)

Estos instrumentos utilizados son:

**Tabla 1:**  
*Tabla de Instrumentos y Rangos*

<b>INSTRUMENTO</b>	<b>RANGO</b>
<b>SCANER DE DIAGNÓSTICO BOSCH KTS 570</b>	<b>VARIOS</b>
<b>INJECTOR CLEANER AND TESTER</b>	<b>VARIOS</b>

**Fuente: Elaboración propia**

**Tabla 2:**  
*Datos técnicos del motor*

<b>Características</b>	
<b>Marca</b>	Suzuki M16A
<b>Potencia</b>	89 kW @ 6000 RPM
<b>Torque</b>	156 N.m @ 4400 RPM
<b>Cilindrada</b>	1586 cc
<b>Diámetro y carrera</b>	78 mm y 83 mm respectivamente

**Fuente: Elaboración propia**

#### **2.4.2.2. Encuesta**

Para los fines de nuestro estudio, se aplicó una “Encuesta de Evaluación de Desempeño del taller de Ciencias Térmicas”. (Anexo 1)

#### **2.4.3 Procedimientos para recolección de datos**

##### **Etapa 1: Elaboración de la Encuesta para la determinación de la Problemática.**

En este apartado debemos de formular las preguntas enfocadas en la determinación de la problemática.

##### **Etapa 2: Determinación del cronograma de aplicación de la encuesta**

Realizar un cronograma para la aplicación de las entrevistas.

##### **Etapa 3: Ejecución de la encuesta**

Ejecutar las entrevistas a los diferentes estudiantes y profesores del Taller de Ciencias Térmicas.

##### **Etapa 4: Identificación de las necesidades del Taller de Ciencias Térmicas**

Revisar la información obtenida mediante la entrevista y según la problemática identificar las necesidades del Taller de Ciencias Térmicas.

##### **Etapa 5: Evaluación de posibles soluciones**

Al haber identificado las necesidades del Taller de Ciencias Térmicas, buscaremos posibles soluciones a esta problemática.

**Etapa 6: Propuesta de un Software de simulación de motor para el Taller de Ciencias Térmicas como herramienta pedagógica.**

Para cubrir el déficit de enseñanza del Taller de Ciencias Térmicas, es factible proponer un software de simulación que ayude a la mejora del aprendizaje.

**Etapa 7: Selección del motor para su estudio**

Se selecciona un motor con el cual trabajaremos para así poder determinar sus parámetros de funcionamiento.

**Etapa 8: Desarrollo de la Interfaz Gráfica de Usuario (GUI) para modelado y simulación del motor**

Seleccionar un programa en el cual desarrollaremos la evaluación del motor.

**Etapa 9: Realizar el ensayo del motor en el Banco de Pruebas para obtener sus parámetros de funcionamiento.**

Obtener los parámetros de funcionamiento del motor mediante el Banco de Pruebas.

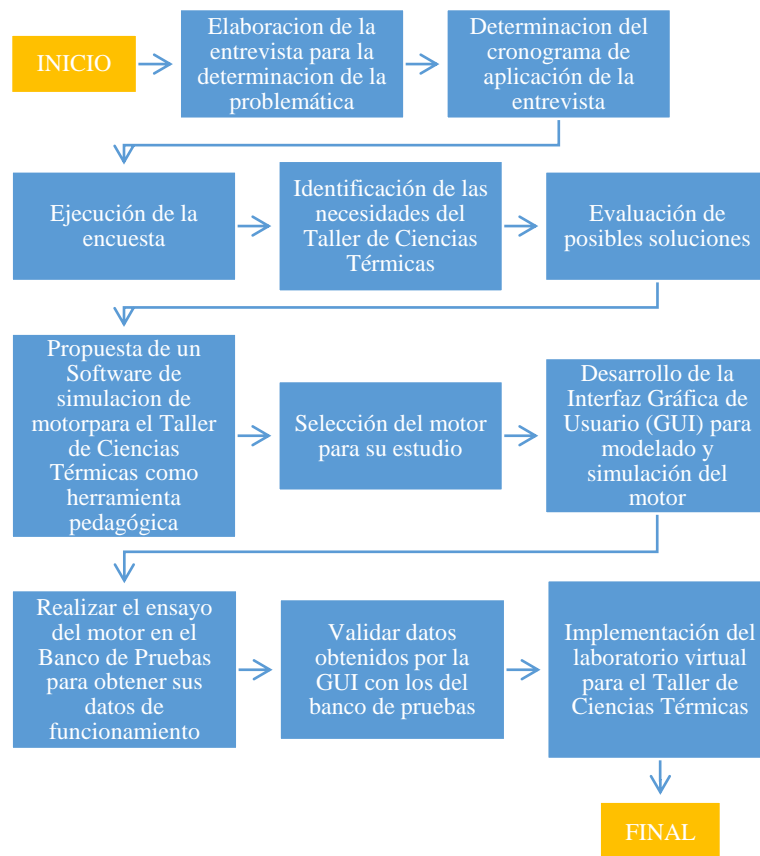
**Etapa 10: Validar datos obtenidos por la GUI con los del Banco de Pruebas**

Cotejar los datos obtenidos mediante la simulación del software con los datos Obtenidos en el banco de Pruebas.

## Etapa 11: Implementación del Software de simulación para el Taller de Ciencias Térmicas

Una vez probada y verificado el correcto funcionamiento de la GUI se procede a ser implementado en el Taller de Ciencias Térmicas.

**Figura 7: Procedimientos para recolección de datos**



**Fuente: Elaboración propia**

### 2.5. Procedimiento de análisis de datos

Para los métodos de análisis de datos se empleará elementos gráficos de la estadística computacional, Ahora complejos computadores junto con apropiados algoritmos numéricos han causado un renacer del interés en modelos no lineales (especialmente en redes neuronales y árboles de decisión) y creación de nuevos tipos tales como modelos líneas generalizados y modelos multinivel los cuales tienen tablas de distribución de frecuencias y demás estadísticas generales.

## 2.6. Criterios éticos

El presente Proyecto de Investigación se basará en los siguientes términos éticos, establecido en el Código Ética del Colegio de Ingenieros del Perú (CIP, 1999) y el Código de Ética de Investigación de la Universidad Señor de Sipán (USS, 2017)

- **Código de ética del Colegio de ingenieros del Perú (CIP, 1999)**

Este documento consigna lineamientos a seguir por parte del ingeniero en su relación con la sociedad, el público, colegas en ejercicio de su profesión, todo esto apuntado a su desenvolvimiento y competencia dentro de su profesión. Es así que en sus primeros artículos se menciona lo siguiente:

Art. 1 – Los ingenieros están al servicio de la sociedad. Por consiguiente, tienen la obligación de contribuir al bienestar humano, dando importancia primordial a la seguridad y adecuada utilización de los recursos en el desempeño de sus tareas profesionales.

Art. 4 – Los ingenieros reconocerán que la seguridad de la vida, la salud, los bienes y el bienestar del país de la población y del público en general, así como el desarrollo tecnológico del país depende de los juicios, decisiones incorporados por ellos o por su consejo, en dispositivos, edificaciones, estructuras, máquinas, productos y procesos. Por ninguna razón pondrán sus conocimientos al servicio de todo aquello que afecte la paz y la salud.

Art. 5 - Los ingenieros cuidarán que los recursos humanos, económicos, naturales y materiales, sean racional y adecuadamente utilizados, evitando su abuso o dispendio, respetarán y harán respetar las disposiciones legales que garanticen la preservación del medio ambiente.

- **Código de Ética de Investigación de la Universidad Señor de Sipán (USS, 2017)**

Este código está enfocado en delimitar la ética y su aplicación en el quehacer de la investigación universitaria, En este documento se presentará los principios y deberes éticos, con el consentimiento para el uso de datos, las políticas anti plagio y los procedimientos de sanción. A continuación, un breve resumen de este documento.

#### ART. 1º: Finalidad

El Código de Ética de investigación de la Universidad Señor de Sipán (USS), tiene como finalidad proteger los derechos, la vida, la salud, la intimidad, la dignidad y el bienestar de la(s) persona(s) que participan en una actividad de investigación Científica, Tecnológica e innovación, ciñéndose a los principios éticos acogidos por la normativa nacional e internacional, y los acuerdos suscritos por nuestro país en la materia.

#### ART. 2º: Objetivo

El Código de ética de Investigación de la Universidad Señor de Sipán tiene por objetivo definir los principios éticos que orientan la actividad investigativa y su gestión, por las autoridades, investigadores, docentes, estudiantes y egresados de la USS.

#### ART. 3º: Alcance

El presente código de ética de investigación es de cumplimiento obligatorio para todas las autoridades académicas, administrativas, docentes, estudiantes, egresados y administrativo de la Universidad Señor de Sipán.

# **CAPÍTULO III**

## **RESULTADOS**

### **III. RESULTADOS**

#### **3.1. Resultados en Tablas y Figuras**

##### **3.1.1. Necesidades del Taller de Ciencias Térmicas**

Las necesidades del Taller de Ciencias Térmicas han sido determinadas gracias al análisis de las de las encuestas realizadas a estudiantes y docentes que hacen uso del taller, y por lo tanto conocen un poco más de cerca las carencias del mismo.

Lo que se ha podido observar según las encuestas realizadas, es que el Taller de Ciencias Térmicas despierta interés en los alumnos, sin embargo, debido a que no se tiene una adecuada implementación del mismo, especialmente en lo que se refiere a motores de combustión interna, los alumnos no pueden desarrollar su conocimiento o realizar algún tipo de investigación con las maquetas que se encuentran ahí; por lo que ven a bien que se pueda implementar un software con el que se logre realizar una simulación de un motor y poder entender mejor sus parámetros de funcionamiento.

##### **3.1.2. Identificación de modelos matemáticos**

El modelo matemático planteado para la simulación del motor ha sido en base al libro “Motores de automóvil” de M.S. Jovaj, con lo cual se puede determinar de manera teórica unas curvas características ideales de funcionamiento del motor con respecto a los RPM, como la curva de potencia, torque, consumo específico y eficiencia; en base a las especificaciones técnicas de brindadas por el fabricante, como lo son la potencia y torque máximo, las revoluciones a las cuales se desarrolla esos parámetros, la longitud de la carrera, el diámetro del pistón, número de cilindros, la cilindrada total y también teniendo en cuenta el tipo de combustible usado, el cual brinda determinado poder calorífico dependiendo del octanaje.



### 3.1.3. Parámetros de funcionamiento del motor Suzuki M16A en el Banco de Pruebas

Se realizó la toma de datos del motor Suzuki M16A, en régimen de ralentí y a temperatura de trabajo, en el banco de ensayos en la empresa Visa Motors, los cuales se presentan en la siguiente tabla:

**Tabla 3: Datos de Banco de pruebas del motor Suzuki M16A a varios rpm**

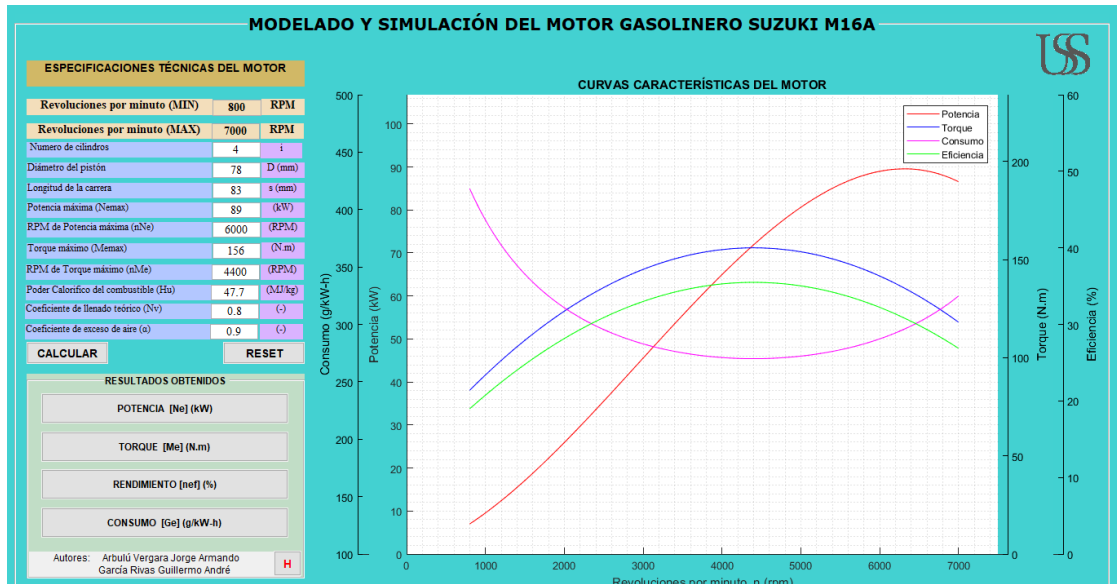
<b>MOTOR SUZUKI M16A</b>				
<b>Datos de Banco de Pruebas</b>				
<b>Revoluciones por minuto (n)</b>	<b>Potencia (Ne)</b>	<b>Torque (Me)</b>	<b>Consumo específico (Ge)</b>	<b>Rendimiento (<math>\eta_{ef}</math>)</b>
<b>(rpm)</b>	<b>(Kw)</b>	<b>(N.m)</b>	<b>(g/kW-h)</b>	<b>(%)</b>
800	7.47	101.47	372.01	20.09
1000	10.18	109.03	341.16	21.85
1200	11.94	106.20	348.89	21.38
1400	14.62	110.92	332.46	22.41
1600	17.18	113.74	323.47	23.01
1800	19.99	117.51	312.67	23.79
2000	22.39	118.45	310.15	23.97
2200	26.61	127.85	287.10	25.85
2400	30.46	130.66	273.60	27.09
2600	32.97	130.66	273.87	27.06
2800	37.01	136.28	262.75	28.18
3000	38.23	131.60	272.48	27.20
3200	42.78	138.15	259.77	28.49
3400	45.71	139.09	258.32	28.65
3600	47.69	137.22	262.17	28.24
3800	51.65	140.96	255.50	29.96
4000	55.08	140.49	252.19	32.33
4200	61.03	148.43	238.98	31.91
4400	64.26	149.37	237.77	32.56
4600	66.27	147.50	241.06	32.65
4800	69.83	146.57	238.72	32.94
5000	72.65	146.57	238.99	30.91
5200	72.60	140.96	248.74	29.72
5400	74.81	140.03	250.66	29.50
5600	78.53	141.90	247.63	29.85
5800	78.59	137.22	256.29	28.87
6000	82.74	136.28	251.84	29.37
6200	83.08	132.54	259.17	28.56
6400	80.85	125.03	274.90	26.96
6600	80.19	120.33	285.82	25.96
6800	70.19	100.52	316.46	23.51
7000	66.10	92.00	328.74	22.66

**Fuente: Elaboración propia**

### 3.1.4. Programación del modelamiento matemático e interfaz gráfica de usuario

La programación del modelamiento matemático se ha llevado a cabo dentro del programa MATLAB, el cual posee la herramienta de Interfaz Gráfica de Usuario, donde se ha podido colocar diversas opciones para obtener la simulación de las curvas características del motor de combustión interna. En primer lugar, se observa a lado izquierdo una tabla editable de para ingresar los datos de las especificaciones técnicas brindadas por el fabricante del motor. En la parte inferior se tiene las opciones de gráficas de las curvas características, y a su vez la opción de combinar las curvas en una sola gráfica para realizar una comparación y tener una mayor visión del desempeño del motor.

**Figura 8: Curvas características obtenidas en la GUI**



Fuente: Elaboración propia

### 3.1.5. Validación de resultados

Los resultados de los parámetros de funcionamiento del motor analizado, arrojados por medio del software de simulación se asemejan en forma a los obtenidos en el banco de pruebas. Sin embargo, con el tiempo de uso de varios años el motor, este reduce su rendimiento, por lo que los demás parámetros también se reducen. El comportamiento del motor en condiciones reales no es de una curva perfecta como el modelado, sin embargo, comparten los momentos en los que los parámetros experimentan un aumento o descenso de sus valores.

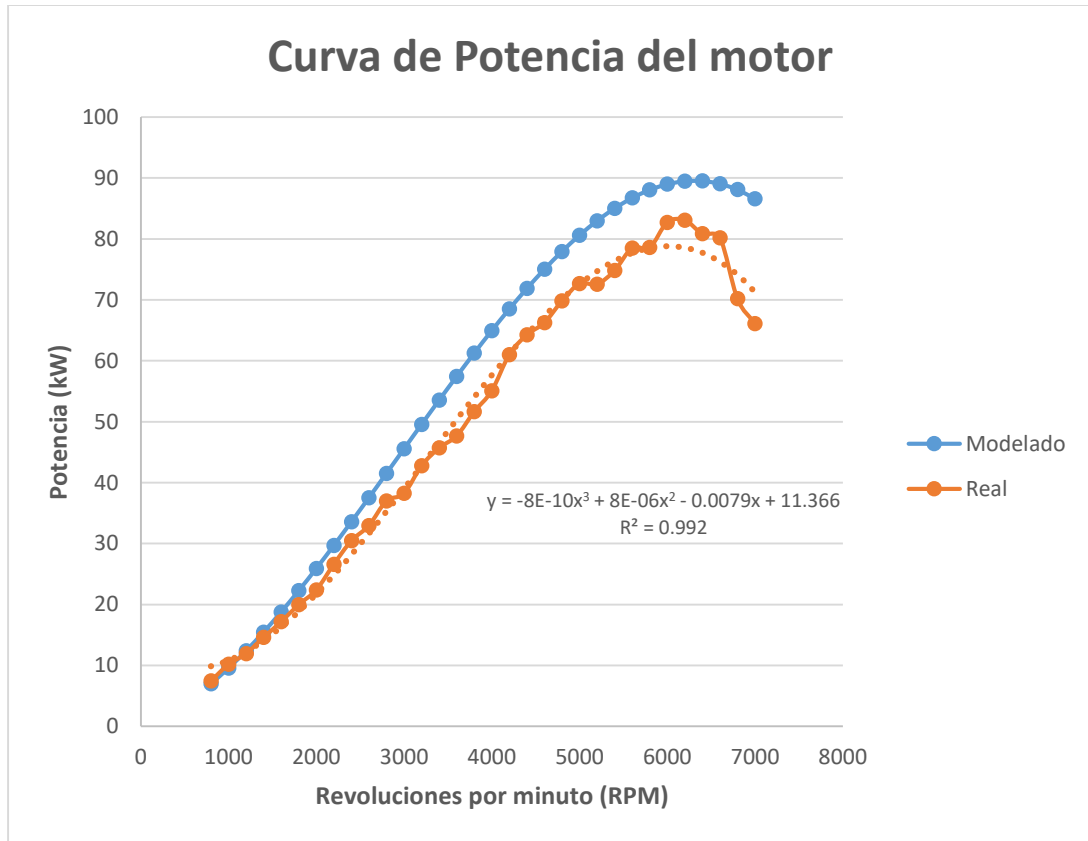
A continuación, se presenta las tablas y graficas comparativas de los parámetros de funcionamiento del motor:

**Tabla 4: Comparativa la Potencia obtenida del banco de pruebas y mediante GUI**

Revoluciones por minuto (n)	Potencia (Ne)	
	Datos de Banco de Pruebas	Datos del Modelado
(rpm)	(Kw)	
800	7.5	6.985994764
1000	10.2	9.553760362
1200	11.9	12.39371728
1400	14.6	15.47770779
1600	17.2	18.77757417
1800	20.0	22.2651587
2000	22.4	25.91230366
2200	26.6	29.69085133
2400	30.5	33.57264398
2600	33.0	37.52952389
2800	37.0	41.53333333
3000	38.2	45.55591459
3200	42.8	49.56910995
3400	45.7	53.54476167
3600	47.7	57.45471204
3800	51.6	61.27080334
4000	55.1	64.96487784
4200	61.0	68.50877781
4400	64.3	71.87434555
4600	66.3	75.03342332
4800	69.8	77.9578534
5000	72.7	80.61947808
5200	72.6	82.99013962
5400	74.8	85.0416803
5600	78.5	86.74594241
5800	78.6	88.07476822
6000	82.7	89
6200	83.1	89.49348004
6400	80.8	89.52705061
6600	80.2	89.07255399
6800	70.2	88.10183246
7000	66.1	86.58672829

**Fuente: Elaboración propia**

**Figura 9: Curva de Potencia obtenido en la GUI y Banco de pruebas**



**Fuente: Elaboración propia**

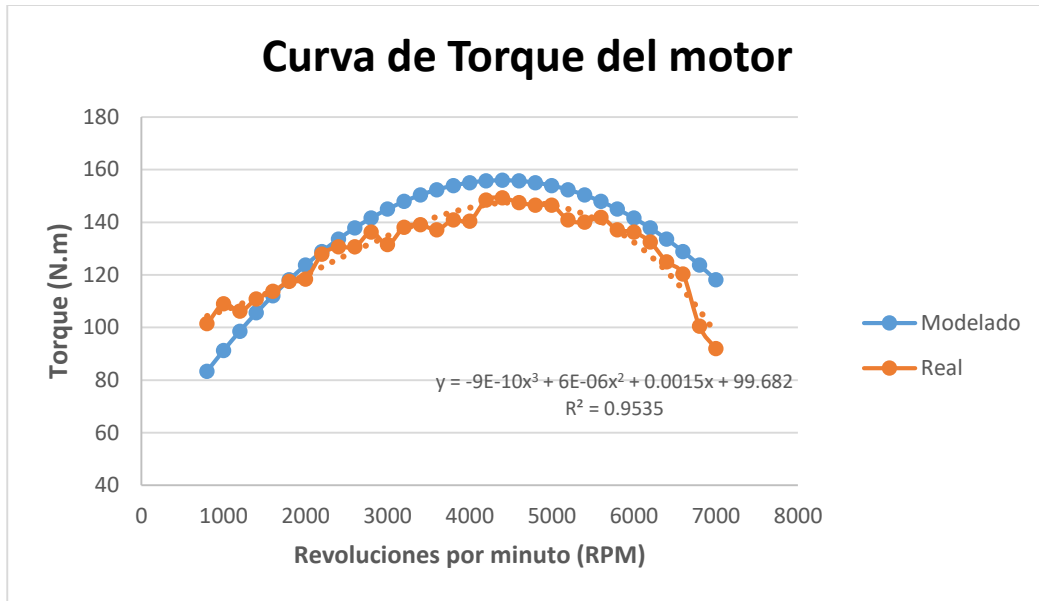
El modelado de la curva de potencia presenta un error promedio de del 13.15% en el rango de funcionamiento del motor mostrado en la Figura 9.

**Tabla 5: Comparativa la Torque obtenida del banco de pruebas y mediante GUI**

Revoluciones por minuto (n)	Torque (Me)	
	Datos de Banco de Pruebas	Datos del Modelado
(rpm)	(N.m)	
800	101.5	83.3953125
1000	109.0	91.23841146
1200	106.2	98.63333333
1400	110.9	105.5800781
1600	113.7	112.0786458
1800	117.5	118.1290365
2000	118.5	123.73125
2200	127.8	128.8852865
2400	130.7	133.5911458
2600	130.7	137.8488281
2800	136.3	141.6583333
3000	131.6	145.0196615
3200	138.2	147.9328125
3400	139.1	150.3977865
3600	137.2	152.4145833
3800	141.0	153.9832031
4000	140.5	155.1036458
4200	148.4	155.7759115
4400	149.4	156
4600	147.5	155.7759115
4800	146.6	155.1036458
5000	146.6	153.9832031
5200	141.0	152.4145833
5400	140.0	150.3977865
5600	141.9	147.9328125
5800	137.2	145.0196615
6000	136.3	141.6583333
6200	132.5	137.8488281
6400	125.0	133.5911458
6600	120.3	128.8852865
6800	100.5	123.73125
7000	92.0	118.1290365

**Fuente: Elaboración propia**

**Figura 10: Curva de Torque obtenido en la GUI y Banco de pruebas**



**Fuente: Elaboración propia**

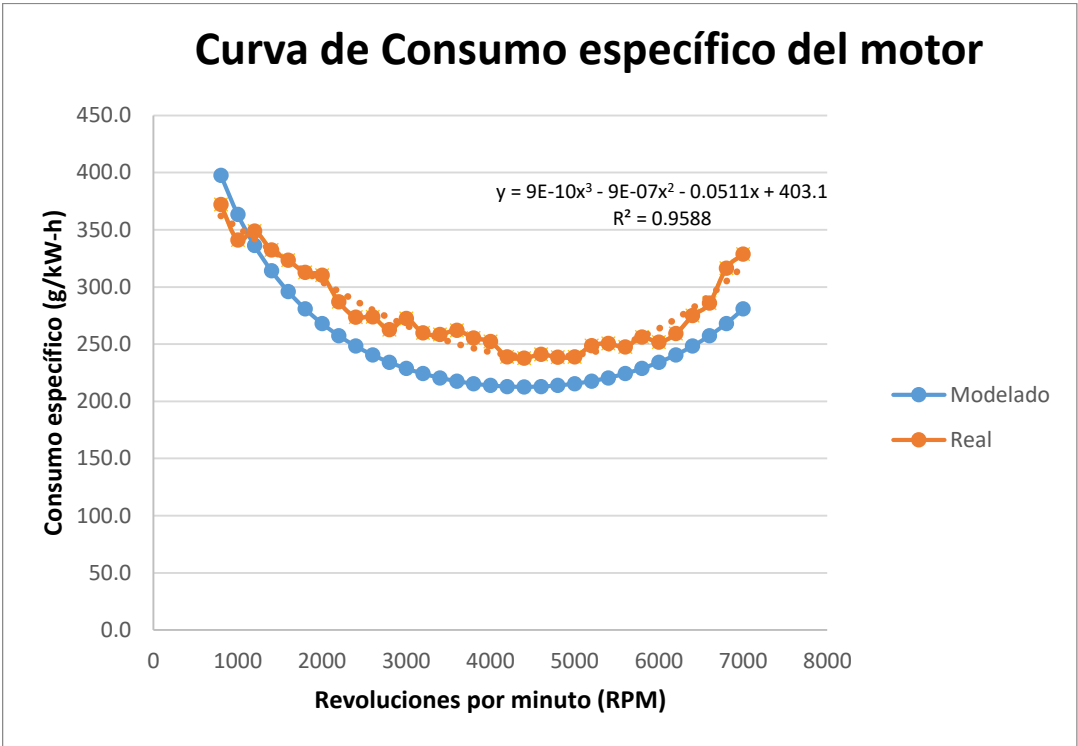
El modelado de la curva de torque presenta un error promedio de del 7.68% en el rango de funcionamiento del motor mostrado en la Figura 10.

**Tabla 6: Comparativa del Consumo específico obtenido del banco de pruebas y mediante GUI**

Revoluciones por minuto (n)	Consumo (Ge)	
	Datos de Banco de Pruebas	Datos del Modelado
(rpm)	(g/kW-h)	
800	372.0	397.6797748
1000	341.2	363.494153
1200	348.9	336.2415927
1400	332.5	314.1182474
1600	323.5	295.9049768
1800	312.7	280.7491713
2000	310.2	268.0376146
2200	287.1	257.3189695
2400	273.6	248.2546945
2600	273.9	240.5869498
2800	262.7	234.1170358
3000	272.5	228.6905704
3200	259.8	224.1871059
3400	258.3	220.5127474
3600	262.2	217.5948546
3800	255.5	215.3782258
4000	252.2	213.8223697
4200	239.0	212.8995991
4400	237.8	212.5937763
4600	241.1	212.8995991
4800	238.7	213.8223697
5000	239.0	215.3782258
5200	248.7	217.5948546
5400	250.7	220.5127474
5600	247.6	224.1871059
5800	256.3	228.6905704
6000	251.8	234.1170358
6200	259.2	240.5869498
6400	274.9	248.2546945
6600	285.8	257.3189695
6800	316.5	268.0376146
7000	328.7	280.7491713

**Fuente: Elaboración propia**

Figura 11: Curva de Consumo específico obtenido en la GUI y Banco de pruebas



Fuente: Elaboración propia

El modelado de la curva de consumo presenta un error promedio de del 11% en el rango de funcionamiento del motor mostrado en la Figura 11.

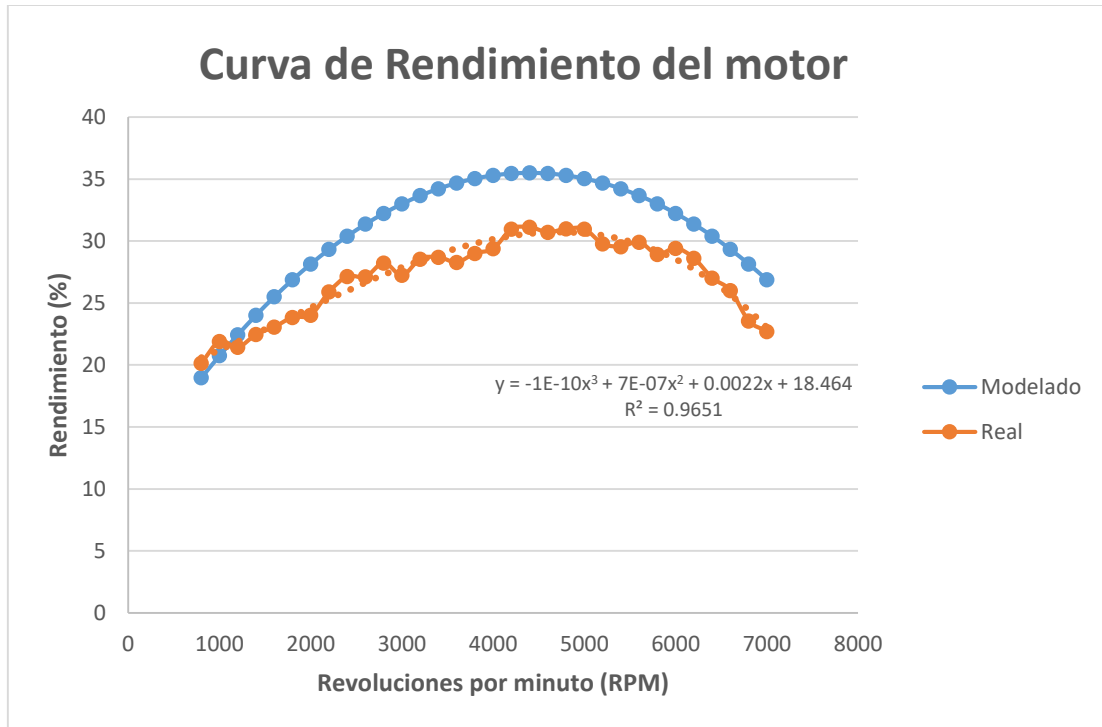


**Tabla 7: Comparativa del Rendimiento obtenido del banco de pruebas y mediante GUI**

Revoluciones por minuto (n)	Rendimiento (nef)	
	Datos de Banco de Pruebas	Datos del Modelado
(rpm)	(%)	
800	20.1	18.97800766
1000	21.9	20.76283689
1200	21.4	22.44567589
1400	22.5	24.02652464
1600	23.1	25.50538316
1800	23.8	26.88225142
2000	24.0	28.15712945
2200	25.9	29.33001724
2400	27.1	30.40091478
2600	27.1	31.36982208
2800	28.2	32.23673914
3000	27.2	33.00166596
3200	28.5	33.66460253
3400	28.7	34.22554886
3600	28.3	34.68450495
3800	29.0	35.0414708
4000	29.4	35.2964464
4200	31.0	35.44943177
4400	31.1	35.50042689
4600	30.7	35.44943177
4800	31.0	35.2964464
5000	31.0	35.0414708
5200	29.8	34.68450495
5400	29.6	34.22554886
5600	29.9	33.66460253
5800	28.9	33.00166596
6000	29.4	32.23673914
6200	28.6	31.36982208
6400	27.0	30.40091478
6600	26.0	29.33001724
6800	23.6	28.15712945
7000	22.7	26.88225142

**Fuente: Elaboración propia**

**Figura 12: Curva de Rendimiento obtenido en la GUI y Banco de pruebas**



**Fuente: Elaboración propia**

El modelado de la curva de rendimiento presenta un error promedio de del 14.15% en el rango de funcionamiento del motor mostrado en la Figura 12.

### 3.2. Discusión de resultados

En el objetivo general que se planteó en la investigación fue implementar un software de simulación que permita obtener los parámetros de funcionamiento del motor gasolinero Suzuki M16A y a la vez puedan realizarse las prácticas en el Taller de Ciencias Térmicas.

En otras investigaciones como, por ejemplo, en la tesis “Propuesta de metodología para el análisis exergético de un motor de encendido por chispa” de en la cual también se planteó una metodología de análisis a motores de combustión interna de ciclo Otto, solo se observó bases teóricas, mas no una herramienta que permita aplicar dicha metodología de forma sencilla como lo es en la interfaz gráfica de usuario.

Habiendo realizado el modelado y simulación se obtuvo resultados semejantes a los cálculos teóricos, teniendo un error promedio en el modelado de las curvas de

funcionamiento entre 7.68% y 14.15%, por lo cual, este software viene a ser una herramienta practica para obtener los parámetros de funcionamiento, de forma cercana al comportamiento real del motor, sin embargo, se ha comprobado que la simulación de los motores responden adecuadamente siempre y cuando los valores de fabricante no son muy elevados, por lo que se sugiere realizar otras pruebas con motores de similares características.

**CAPÍTULO IV**  
**CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1. Conclusiones

- Se evidencia un pequeño déficit en la implementación de bancos de ensayo para análisis de motores, en el Taller de Ciencias Térmicas por lo que hay una necesidad de implementar un software de simulación, según análisis de las encuestas aplicadas las cuales se muestran en los anexos.
- El modelo matemático más factible de realizar, es el de análisis energético en base al libro “Motores de Automóvil” de M.S. Jovaj.
- Los datos obtenidos del motor Suzuki M16A en el banco de pruebas de la empresa Visa Motors Chiclayo, permitió observar el comportamiento real del motor, los cuales se evidencian en los anexos.
- El entorno de la interfaz gráfica del software de simulación es de fácil comprensión para el usuario, grafica las principales curvas características del motor y además poder realizar una combinación de todas para realizar una comparación.
- Los resultados obtenidos a través del software de simulación y del banco de pruebas, los cuales se muestran en las tablas de la 4 a la 7, arrojaron resultados muy semejantes, los cuales pueden variar más de los reales mientras exista mayor tiempo de uso del motor y, a la vez, puede ser usado para observar comportamientos de motores de similares características.

### 4.2. Recomendaciones

- Se recomienda realizar pruebas en otros regímenes de funcionamiento, como en primera marcha, segunda marcha, etc; las cuales nos brindaran otros parámetros de funcionamiento.

- Se recomienda también realizar las pruebas con intervalos de rpm más cortos, de manera que se obtengan cada vez datos más exactos por la interpolación que realiza el software.
- Es recomendable utilizar otros datos variables como las características físico químicas del combustible para apreciar variaciones en las curvas de funcionamiento.
- Se recomienda realizar futuras investigaciones donde a la simulación se le pueda ingresar un factor de corrección dependiendo del tiempo de uso del motor, y así, acercarse aún más al comportamiento real del motor.

## REFERENCIAS

- Jóvaj, M. S. (1982). *Motores del automóvil*. Lima-Perú: MIR-MOSCU.
- Montesinos, A. (2017). *Propuesta de metodología para el análisis exergético de un motor de encendido por chispa*. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Galindo J, & Hernández J. (2011). *Modelado de Motores. En: Motores de combustión interna alternativos*. Payri F, Desantes JM. España: Reverte:. p. 746-796.
- Galindo J, Luján JM, Serrano JR, Hernández L. (2005). *Combustión simulation of turbocharger HSDI Diesel engines during transient operation using neural networks*. Appl Therm Eng.; 25(5-6):877-98.
- Harris HD, Pearce F. (1990). *A universal mathematical model of Diesel engine performance*. J Agr Eng Res.; 47:165-76.
- Al-Hasan, M., (2003). *Effect of ethanol-unleaded gasoline blends on engine performance and exhaust emission*. Journal Energy Conversion and Management, vol.44, n.9, p. 1547-1561, ISSN 0196-8904.
- Eyidogan, M.; *et al.*, (2010). *Impact of alcohol-gasoline fuel blends on the performance and combustion characteristics of an SI engine*. Journal Fuel. vol.89, n.10, p. 2713-2720, ISSN 0016-2361.
- Riesco J., Rivera G., Belman J., Martínez S., Sánchez F., Carrera J. (2013). *Análisis de modelos para la simulación de motores de combustión interna*. Memorias del xix congreso internacional anual de la SOMIM, pág. 141.
- Mantilla J. (2013). *Modelado de la combustión de mezclas gasolina-etanol en motores de combustión interna*. Medellín Colombia

Melo E., Sánchez Y., Ferrer N., Ferrer N. (2012). *Evaluación de un motor de encendido por chispa trabajando con mezclas etanol-gasolina*. Centro de Estudio de Tecnologías Energéticas Renovables (CETER). Cujae, La Habana, Cuba.

González, O. (2015) *Modelado termodinámico y estructural de un motor de combustión interna alternativo*. Universidad Tecnológica de Pereira.

Rafael M, Hernández A. (2014). *Caracterización de un motor de combustión interna con dos tipos de combustible*. Sanfandilla: Instituto Mexicano del Transporte.


Payri F., Desantes J. (2011). *Motores de combustión interna alternativos*. Editorial Reverte S.A.



# **ANEXOS**

## ANEXOS

### Encuesta de Evaluación de Desempeño del taller de Ciencias Térmicas

 UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPÁN <small>1976</small>		ENCUESTA DE EVALUACIÓN DE DESEMPEÑO DEL TALLER DE CIENCIAS TÉRMICAS.	
ALUMNO	DOCENTE	<input checked="" type="checkbox"/>	
1) ¿Cree usted que el Taller de Ciencias Térmicas sea importante? Por qué?			
<i>✓ Se ejecutan proyectos tecnológicos.                      ✓ Sirve como almacén de módulos para exposiciones - ferias.</i>			
2) ¿Está conforme con la enseñanza del Taller de Ciencias Térmicas? Por qué?			
<i>es la mejor forma / metodología de enseñanza con la tecnología</i>			
3) ¿Utiliza el Taller de Ciencias Térmicas? Cómo?			
<i>Si para relacionar teoría, la práctica y la experiencia tecnológica</i>			
4) ¿Qué mejoras sugeriría al Taller de Ciencias Térmicas? Por qué?			
<i>buscar un ambiente más amplio y en el 2º piso;                      Separado de los aulas para evitar ruidos</i>			
5) ¿Cree usted que sería bueno implementar un Software de simulación de un motor de ciclo Otto para reforzar la enseñanza en el Taller de Ciencias Térmicas?			
<i>es necesario implementar con software para verificar los principios físicos con las condiciones de trabajo de la máquina - motor.</i>			

ENCUESTA DE EVALUACIÓN DE DESEMPEÑO DEL TALLER  
DE CIENCIAS TÉRMICAS.

ALUMNO  DOCENTE

1) ¿Cree usted que el Taller de Ciencias Térmicas sea importante? Por qué?

Si, refuerza el conocimiento repartido en las aulas. (teoría).

2) ¿Está conforme con la enseñanza del Taller de Ciencias Térmicas? Por qué?

No del todo, aún quedan pendiente trabajar en nuevas proyectos de implementación del taller.

3) ¿Utiliza el Taller de Ciencias Térmicas? Cómo?

Si, utilizando equipos para la enseñanza del curso de transf. de calor.

4) ¿Qué mejoras sugeriría al Taller de Ciencias Térmicas? Por qué?

Implementación de equipos en otras áreas de enseñanza (Termodinámica, Máquinas Térmicas).

5) ¿Cree usted que sería bueno implementar un Software de simulación de un motor de ciclo Otto para reforzar la enseñanza en el Taller de Ciencias Térmicas?

Si, un software muchas veces es más accesible que un equipo de laboratorio.

ENCUESTA DE EVALUACIÓN DE DESEMPEÑO DEL TALLER  
DE CIENCIAS TÉRMICAS.

ALUMNO  DOCENTE

1) ¿Cree usted que el Taller de Ciencias Térmicas sea importante? Por qué?

Si, por el motivo que ahí podemos adquirir conocimientos referente a motores que nos pueden ayudar en un futuro.

2) ¿Está conforme con la enseñanza del Taller de Ciencias Térmicas? Por qué?

Por oportuna que el temido de asistir a ese taller recibí una enseñanza buena y muy satisfactoria, el docente se dio a entender bien.

3) ¿Utiliza el Taller de Ciencias Térmicas? Cómo?

por ahora No muchos.

4) ¿Qué mejoras sugeriría al Taller de Ciencias Térmicas? Por qué?

por el momento no sugiero muchos, ya que no estoy llevando muy seguido algún curso en ese laboratorio.

5) ¿Cree usted que sería bueno implementar un Software de simulación de un motor de ciclo Otto para reforzar la enseñanza en el Taller de Ciencias Térmicas?

Si, sería interesante ver como se produce la chispa, y para documentar el tipo de empujones y sería más didáctico.

**ENCUESTA DE EVALUACIÓN DE DESEMPEÑO DEL TALLER DE CIENCIAS TÉRMICAS.**

ALUMNO  DOCENTE

1) ¿Cree usted que el Taller de Ciencias Térmicas sea importante? Por qué?  
 Sí, ya que permite conocer cosas más precisas y el funcionamiento de alguna máquina, sus partes; y eso nos ayuda a tener más conocimientos en el ámbito laboral como que respecta a nuestra carrera.

2) ¿Está conforme con la enseñanza del Taller de Ciencias Térmicas? Por qué?  
 Sí, ya que hasta donde tengo conocimiento les sirve mucho a los alumnos y les ayuda a saber más ya que son como unas pre-prácticas para poder obtener nuevos conocimientos.

3) ¿Utiliza el Taller de Ciencias Térmicas? Cómo?  
 Aun así, ya que todavía perteneces al curso (P.L.O)

4) ¿Qué mejoras sugeriría al Taller de Ciencias Térmicas? Por qué?  
 Una mejor implementación de herramientas, motores, máquinas.

5) ¿Cree usted que sería bueno implementar un Software de simulación de un motor de ciclo Otto para reforzar la enseñanza en el Taller de Ciencias Térmicas?  
 Claro que sí, ya que un simulador nos ayuda mucho con respecto a costos a la hora de elaborar un motor, al simular obtenemos valores más precisos para un mejor rendimiento de un motor, y nos ahorra tiempo.

## Código de Ética del CIP



## **CÓDIGO DE ETICA DEL CIP**

**APROBADO EN LA III SESIÓN ORDINARIA DEL CONGRESO NACIONAL DE CONSEJOS  
DEPARTAMENTALES DEL PERÍODO 1998 - 1999  
EN LA CIUDAD DE TACNA 22, 23 Y 24 ABRIL 1999**

## Código de Ética de la USS



[www.uss.edu.pe](http://www.uss.edu.pe)

# CÓDIGO DE ÉTICA DE INVESTIGACIÓN DE LA USS

VERSIÓN 03

RATIFICADO POR ACUERDO DE CONSEJO UNIVERSITARIO CON RESOLUCIÓN  
RECTORAL N° 0851-2017/USS

CHICLAYO - PERÚ

Versión: 03	Código: VR-CE	F. Implementación:	Página 1 de 29
Elaborado por: Dirección de Investigación	Revisado por: Planificación y Desarrollo Institucional – Asesoría Legal		Ratificado con Resolución Rectoral N° 0851- 2017/USS

## Especificaciones técnicas del motor Suzuki M16A

### Características técnicas Suzuki

Tipo	M16A
Número de cilindros	4 en línea
Posición del motor	Delantero-transversal
Cilindrada (cc)	1586
Diámetro x Carrera (mm)	78 mm x 83 mm
Relación de compresión	11 : 1
Numero de válvulas	16
Alimentación	Inyección multipunto
Potencia	120 Cv (89 kw) / 6.000 r.p.m.
Par	156 Nm / 4.400 r.p.m.



## Especificaciones gasolina 95 octanos

### FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

(Conforme al D.S. 026-94-EM)

#### GASOLINA DE 95

1. IDENTIFICACIÓN DEL PRODUCTO		
<b>Empresa:</b> REFINERÍA LA PAMPILLA S.A.  <b>Dirección:</b> Casilla Postal 10245 Km. 25 Carretera a Ventanilla. Lima-1  <b>Tel# (51-1) 517-2021 (51-1) 517-2022</b>  <b>Fax# (51-1) 517-2026</b>	<b>Nombre comercial:</b> GASOLINA DE 95 <b>Nombre químico:</b> Gasolina sin plomo.  <b>Sinónimos:</b> Primera fracción de productos de: craqueo catalítico y de la destilación de petróleo; naftas de baja temperatura de ebullición.  <b>Fórmula:</b> Mezcla compleja de hidrocarburos alifáticos y aromáticos.	<b>N° CAS:</b> NP   <b>N° Anexo I (Dir. 67/548/CEE):</b>
<b>N° CE (EINECS):</b>		<b>N° Anexo I (Dir. 67/548/CEE):</b>

9. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS	
<b>Aspecto:</b> Líquido brillante y transparente.	<b>pH:</b> NP
<b>Color:</b> Visual: Azul.	<b>Olor:</b> Característico.
<b>Punto de ebullición:</b> PI: 33 °C / PF: 221 °C	<b>Punto de fusión/congelación:</b>
<b>Punto de inflamación/Inflamabilidad:</b> - 46 °C	<b>Autoinflamabilidad:</b> > 200 °C
<b>Propiedades explosivas:</b> LSU: 5.0% / LIE: 0.8%	<b>Propiedades comburentes:</b>
<b>Presión de vapor:</b> 0.7 atm a 25 °C	<b>Densidad:</b> 0.709 - 0.727 g/cm <sup>3</sup> a 15 °C
<b>Tensión superficial:</b> 19 - 24 dinas/cm a 25 °C	<b>Viscosidad:</b>
<b>Densidad de vapor:</b> 3 (aire=1)	<b>Coef. reparto (n-octanol/agua):</b> 3 - 5
<b>Hidrosolubilidad:</b> 50 mg/l	<b>Solubilidad:</b> En disolventes del petróleo.
<b>Otros datos:</b> Hidrocarburos aromáticos: 9 % Vol. Azufre: 0.2 % Masa máx. Hidrocarburos saturados: 80 % Vol. Contenido de Plomo 0.013 g / L Máx. Calor de combustión: -11400 Kcal/Kg	

Fuente: [https://www.repsol.com/imagenes/pe\\_es/gas95\\_\\_168184\\_tcm18-208310.pdf](https://www.repsol.com/imagenes/pe_es/gas95__168184_tcm18-208310.pdf)

Property	Gasoline	No. 2 Diesel Fuel	Methanol	Ethanol	MTBE	Propane	Compressed Natural Gas (CNG)	Hydrogen
Heating value (2)								
Higher (liquid fuel-liquid water) Btu/lb	18,800–20,400	19,200–20000	9,750 <sup>(2)</sup>	12,800 <sup>(q)</sup>	18,290 <sup>(h)</sup>	21,600	23,600	61,002 <sup>(v)</sup>
Lower (liquid fuel-water vapor) Btu/lb	18,000–19,000	18,000–19,000	8,570 <sup>(b)</sup>	11,500 <sup>(q)</sup>	15,100 <sup>(h)</sup>	19,800	21,300	51,532 <sup>(v)</sup>
Higher (liquid fuel-liquid water) Btu/gal	124,800	138,700	64,250	84,100	–	91,300	–	–
Lower (liquid fuel-water vapor) Btu/gal @ 60° F	115,000	128,400	56,800 <sup>(3)</sup>	76,000 <sup>(3)</sup>	93,500 <sup>(4)</sup>	84,500	19,800 <sup>(6)</sup>	–
Heating value, stoichiometric mixture								
Mixture in vapor state, Btu/cubic foot @ 68° F	95.2 <sup>(b)</sup>	96.9 <sup>(5,q)</sup>	92.5 <sup>(b)</sup>	92.9 <sup>(b)</sup>	–	–	–	–
Fuel in liquid state, Btu/lb or air	1,290 <sup>(b)</sup>	–	1,330 <sup>(b)</sup>	1,280 <sup>(b)</sup>	–	–	–	–
<b>Specific heat, Btu/lb °F</b>	<b>0.48<sup>(g)</sup></b>	0.43	0.6 <sup>(i)</sup>	0.57 <sup>(i)</sup>	0.5 <sup>(i)</sup>	--	--	--
Stoichiometric air/fuel, weight	14.7 <sup>(3)</sup>	14.7	6.45 <sup>(l)</sup>	9 <sup>(l)</sup>	11.7 <sup>(j)</sup>	15.7	17.2	34.3 <sup>(u)</sup>
Volume % fuel in vaporized stoichiometric mixture	2 <sup>(b)</sup>	–	12.3 <sup>(b)</sup>	6.5 <sup>(b)</sup>	2.7 <sup>(j)</sup>	–	–	–

Fuente: <http://walshcarlines.com/pdf/fueltable.pdf>

(g) “Status of Alcohol Fuels Utilization Technology for Highway Transportation: A 1981 Perspective,” Vol. 1, Spark-Ignition Engine, May 1982, DOE/CE-56051-7.

## Datos de ensayo en banco de pruebas



**VISA MOTORS CHICLAYO S.R.L**

RUC: 20480149174

CENTRO AUTOMOTRIZ MULTIMARCAS

SERVICIOS Y REPUESTOS



Confianza Total

RENAULT

HYUNDAI

TOYOTA

Volkswagen

NISSAN

MITSUBISHI

Car Service

Chiclayo, 12 de Julio del 2018

### ANÁLISIS DE MOTOR GASOLINERO SUZUKI M16A

Empresa: VISA MOTORS CHICLAYO SRL

Motor: M16A DOHC 16v

#### INSTRUMENTOS UTILIZADOS PARA EL ANÁLISIS

INSTRUMENTO	RANGO
TERMOMETRO INFRAROJO LASER DIGITAL PRASEK PREMIUM PR 302B	0 - 550°C
SCANNER DE DIAGNÓSTICO BOSCH KTS 570	VARIOS
INJECTOR CLEANER AND TESTER	VARIOS

#### DATOS OBTENIDOS A TRAVÉS DEL ENSAYO

MOTOR SUZUKI M16A				
Datos de Banco de Pruebas				
Revoluciones por minuto (n)	Potencia (Ne)	Torque (Me)	Consumo Especifico(Ge)	Rendimiento (nef)
(rpm)	(Kw)	(N.m)	(g/kW-h)	(%)
800	7.47	101.47	372.01	20.09
1000	10.18	109.03	341.16	21.85
1200	11.94	106.20	348.89	21.38
1400	14.62	110.92	332.46	22.41
1600	17.18	113.74	323.47	23.01
1800	19.99	117.51	312.67	23.79
2000	22.39	118.45	310.15	23.97
2200	26.61	127.85	287.10	25.85
2400	30.46	130.66	273.60	27.09
2600	32.97	130.66	273.87	27.06
2800	37.01	136.28	262.75	28.18
3000	38.23	131.60	272.48	27.20

AV. ANTENOR ORREGO N° 1730 (La Victoria – Chiclayo – Lambayeque)

Telf: 074-214816 / 994187897 / 978048073 / 418\*7897 / \*562518

WEB: [www.visamotors.com.pe](http://www.visamotors.com.pe)



**VISA MOTORS CHICLAYO S.R.L**

RUC: 20480149174

CENTRO AUTOMOTRIZ MULTIMARCAS

SERVICIOS Y REPUESTOS

**BOSCH**  
Service



Car Service

Confianza Total



RENAULT



HYUNDAI



TOYOTA



Volkswagen



MITSUBISHI



MITSUBISHI

<b>MOTOR SUZUKI M16A</b>				
<b>Datos de Banco de Pruebas</b>				
Revoluciones por minuto (n)	Potencia (Ne)	Torque (Me)	Consumo Especifico(Ge)	Rendimiento (nef)
(rpm)	(Kw)	(N.m)	(g/kW-h)	(%)
3200	42.78	138.15	259.77	28.49
3400	45.71	139.09	258.32	28.65
3600	47.69	137.22	262.17	28.24
3800	51.65	140.96	255.50	29.96
4000	55.08	140.49	252.19	32.33
4200	61.03	148.43	238.98	31.91
4400	64.26	149.37	237.77	32.56
4600	66.27	147.50	241.06	32.65
4800	69.83	146.57	238.72	32.94
5000	72.65	146.57	238.99	30.91
5200	72.60	140.96	248.74	29.72
5400	74.81	140.03	250.66	29.50
5600	78.53	141.90	247.63	29.85
5800	78.59	137.22	256.29	28.87
6000	82.74	136.28	251.84	29.37
6200	83.08	132.54	259.17	28.56
6400	80.85	125.03	274.90	26.96
6600	80.19	120.33	285.82	25.96
6800	70.19	100.52	316.46	23.51
7000	66.10	92.00	328.74	22.66

VISA MOTORS CHICLAYO S.R.L.  
  
 CHARLES LARIOS CHOZO  
 REPRESENTANTE LEGAL  
 Charles Larios CH.

Visa Motors Chiclayo

AU. ANTENOR ORREGO N° 1730 (La Victoria – Chiclayo – Lambayeque)

Tel: 074-214816 / 994187897 / 978048073 / 418\*7897 / \*562518

WEB: [www.visamotors.com.pe](http://www.visamotors.com.pe)

## Código de programación de Interfaz Gráfica de Usuario en MatLab

```
function varargout = interfacer1(varargin)

% INTERFACE1 MATLAB code for interfacer1.fig
%   INTERFACE1, by itself, creates a new INTERFACE1 or raises the
existing
%   singleton*.
%
%   H = INTERFACE1 returns the handle to a new INTERFACE1 or the
handle to
%   the existing singleton*.
%
%   INTERFACE1('CALLBACK', hObject,eventData,handles,...) calls the
local
%   function named CALLBACK in INTERFACE1.M with the given input
arguments.
%
%   INTERFACE1('Property','Value',...) creates a new INTERFACE1 or
raises the
%   existing singleton*. Starting from the left, property value pairs
are
%   applied to the GUI before interfacer1_OpeningFcn gets called. An
%   unrecognized property name or invalid value makes property
application
%   stop. All inputs are passed to interfacer1_OpeningFcn via
varargin.
%
%   *See GUI Options on GUIDE's Tools menu. Choose "GUI allows only
one
%   instance to run (singleton)".
%
% See also: GUIDE, GUIDATA, GUIHANDLES

% Edit the above text to modify the response to help interfacer1

% Last Modified by GUIDE v2.5 23-Oct-2018 21:48:24

% Begin initialization code - DO NOT EDIT
gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name',       mfilename, ...
                  'gui_Singleton',  gui_Singleton, ...
                  'gui_OpeningFcn', @interfacer1_OpeningFcn, ...
                  'gui_OutputFcn',  @interfacer1_OutputFcn, ...
                  'gui_LayoutFcn',  [], ...
                  'gui_Callback',   []);
if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end

if nargout
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
else
```

```

    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end
% End initialization code - DO NOT EDIT

% --- Executes just before interfacel is made visible.
function interfacel_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles, varargin)
% This function has no output args, see OutputFcn.
% hObject    handle to figure
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
% varargin   command line arguments to interfacel (see VARARGIN)

% Choose default command line output for interfacel
handles.output = hObject;
% Update handles structure
axes(handles.axes2)
matlabImage = imread('logo.png');
image(matlabImage);
axis off
axis image
axes(handles.axes1)
v=ones(1,70);
v(1:10)=[1000,71.4,80,83,85,93,3.785,50,42.32,7570];
v(11:20)=[2000,59.4,126,86,86,95,3.785,50,39.39,7570];
v(21:30)=[3000,47.5,180,87,87,96,3.785,50,40.17,7570];
v(31:40)=[4000,35.6,260,89,88,96,3.785,50,38.25,7570];
v(41:50)=[5000,23.6,322,90,89,98,3.785,50,38.61,7570];
v(51:60)=[6000,11.7,420,93,89,98,3.785,50,35.79,7570];
handles.v=v;
guidata(hObject, handles);
%set(handles.pan1,'backgroundcolor',get(F,'color'))
%set(handles.pan1,'BackgroundColor','none')

%set(gcf, 'units','normalized','outerposition',[0 0 1 1]);

%set(hObject,'PaperType')
%set(handles.uipanel5)
% UIWAIT makes interfacel wait for user response (see UIRESUME)
% uiwait(handles.figure1);

% --- Outputs from this function are returned to the command line.
function varargout = interfacel_OutputFcn(hObject, eventdata, handles)
% varargout  cell array for returning output args (see VARARGOUT);
% hObject    handle to figure
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Get default command line output from handles structure
varargout{1} = handles.output;

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function axes1_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to axes1 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB

```

```
% handles      empty - handles not created until after all CreateFcns
called
```

```
% Hint: place code in OpeningFcn to populate axes1
plot(sin(0:.01:10));
```

```
% --- Executes on button press in btnC.
```

```
function btnC_Callback(hObject, eventdata, handles)
```

```
% hObject      handle to btnC (see GCBO)
```

```
% eventdata    reserved - to be defined in a future version of MATLAB
```

```
% handles      structure with handles and user data (see GUIDATA)
```

```
v=handles.v;
```

```
v(1)=str2double(get(handles.text01,'String'));%n0
```

```
v(2)=str2double(get(handles.text02,'String'));%nmax
```

```
v(3)=str2double(get(handles.text03,'String'));%i
```

```
v(4)=str2double(get(handles.text04,'String'));%D
```

```
v(5)=str2double(get(handles.text05,'String'));%s
```

```
v(6)=str2double(get(handles.text06,'String'));%Nemax
```

```
v(7)=str2double(get(handles.text07,'String'));%nNe
```

```
v(8)=str2double(get(handles.text08,'String'));%Memax
```

```
v(10)=str2double(get(handles.text09,'String'));%nMe
```

```
v(9)=str2double(get(handles.text10,'String'));%Hu
```

```
v(19)=str2double(get(handles.text11,'String'));%Nv
```

```
v(20)=str2double(get(handles.text12,'String'));%?
```

```
% CALCULOS DE CONSTANTES
```

```
v(11)= v(3)*(v(5)/10)*(v(4)/10)^2*pi/4; % Cilindrada total en cm2      %Vh
```

```
v(12)= 9550*v(6)/v(7); %Torque a regimen nominal
```

```
%Menom
```

```
v(13)=((v(8)-v(12))/v(12))*100; %Reserva de torque (%)
```

```
%Mr
```

```
v(14)= v(8)/v(12); %Coef. de adaptacion por torque
```

```
%Km
```

```
v(15)= v(7)/v(9); %Coef. de adaptacion por frecuncia de giro
```

```
%Kn
```

```
% COEFICIENTES DE LEIDERMAN
```

```
v(16) = 1-(v(13)/100)*v(15)*(2-v(15))/(v(15)-1)^2;
```

```
%a
```

```
v(17) = 2*v(13)*v(15)/(100*(v(15)-1)^2);
```

```
%b
```

```
v(18) = (v(13)/100)*(v(15)/(v(15)-1))^2;
```

```
%c
```

```
% CALCULOS DE TORQUE Y POTENCIA, CONSUMO Y EFICIENCIA
```

```
rpm = v(1):50:v(2); % Vector de rpm a graficar
```

```
Ne = v(6)*(rpm/v(7)).*(v(16)+(v(17)*(rpm/v(7))))-(v(18)*(rpm/v(7)).^2));
```

```
%Vector de Potencia (kW) a graficar
```

```
Me = v(12)*(v(16)+v(17)*(rpm/v(7))-(v(18)*(rpm/v(7)).^2)); %Vector de
```

```
Torque (N.m) a graficar
```

```
Pme = 1.36*900*98.066*Ne./(v(11)*rpm); % Presion media efectiva en MPa -
```

```
NO SE GRAFICA
```

```
Ge = (3600*v(19)*1.209)./(v(20)*14.72*Pme); %Consumo especifico efectivo
```

```
de combustible g/kW-h
```

```
nef = 100*3600./(v(10)*Ge); % Rendimiento efectivo (%)
```

```

handles.v=v;
handles.rpm=rpm;
handles.Ne=Ne;
handles.Me=Me;
handles.Ge=Ge;
handles.nef=nef;

guidata(hObject,handles);

%assignin('base','result',whos);
% --- Executes on button press in btn_H.
function btn_H_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to btn_H (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
v=handles.v;
rpm=handles.rpm;
Ne=handles.Ne;
Me=handles.Me;
Ge=handles.Ge;
nef=handles.nef;

cla(handles.axes1)
cla(handles.axes1,'reset');

plot(rpm,Ne,'color','red');
axis ([0 v(2)+500 0 v(6)*1.2])
hold on
plot(rpm,v(6)*1.2*Me/(v(8)*1.5),'color','blue')
xlabel ('Revoluciones por minuto, n (rpm)')
hold on
plot(rpm,v(6)*1.2*Ge/500,'color','magenta')
hold on

plot(rpm,v(6)*1.2*nef/60,'color','green')
hold off

addaxis(handles.pan1,rpm,max(Ne)*Me/(v(8)*1.5),[0 v(8)*1.5]);
addaxis(handles.pan1,rpm,Ge,[100 500],'linewidth',2);
addaxis(handles.pan1,rpm,nef,[0 60],'v-','linewidth',2);

addaxislabel(1,'Potencia (kW)');
addaxislabel(2,'Torque (N.m)');
addaxislabel(3,'Consumo (g/kW-h)');
addaxislabel(4,'Eficiencia (%)');

legend('Potencia','Torque','Consumo','Eficiencia');
%set(handles.axes1,'Clipping','Off');

% yyaxis left

```

```

% plot(rpm,Me)
% xlabel ('Revoluciones por minuto, n (rpm)'), ylabel('Par motor, Me
(N.m)')
% axis ([0 v(2)+500 0 v(8)*1.2])
% hold on
% %
% yyaxis left
% plot(rpm,Ge)
% ylabel('Consumo especifico, Ge, (g/kW-h)')
% axis ([0 v(2)+500 0 v(8)*1.8])
% %
% yyaxis right
% plot(rpm,Ne)
% ylabel('Potencia efectiva, Ne (kW)')
% %
% yyaxis right
% plot(rpm,nef)
% ylabel('Rendimiento efectivo, nef (%)')
% grid on
% hold off
% %
title('CURVAS CARACTERÍSTICAS DEL MOTOR');
grid minor;
legend('show')
datacursormode on;

% --- Executes on button press in btnL.
function btnL_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to btnL (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles      structure with handles and user data (see GUIDATA)
set(handles.text01, 'String', '0');
set(handles.text02, 'String', '0');
set(handles.text03, 'String', '0');
set(handles.text04, 'String', '0');
set(handles.text05, 'String', '0');
set(handles.text06, 'String', '0');
set(handles.text07, 'String', '0');
set(handles.text08, 'String', '0');
set(handles.text09, 'String', '0');
set(handles.text10, 'String', '0');
cla(handles.axes1)
cla(handles.axes1, 'reset');
asd=findobj(handles.pan1.Children, 'type', 'axes');
if length(asd) >= 2
    delete(asd(2:end-1))
end
set(handles.axes1, 'Position', [0.28901273885350326,0.05815831987075929,0.6
576433121019107,0.8303715670436188])
OrigDlgH = ancestor(hObject, 'figure');
delete(OrigDlgH);
interfacel;
%v=zeros(1,70);
%handles.v=v;
%guidata(hObject,handles);

% --- Executes on button press in btn1.
function btn1_Callback(hObject, eventdata, handles)

```



```

% hObject    handle to btn1 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
v=handles.v;
rpm=handles.rpm;
Ne=handles.Ne;
cla(handles.axes1)
cla(handles.axes1,'reset');
asd=findobj(handles.pan1.Children,'type','axes');
if length(asd)>=2
    delete(asd(2:end-1))
end
set(handles.axes1,'Position',[0.31289808917197454,0.05815831987075929,0.6
369426751592357,0.8303715670436188])

hold off
plot(rpm,Ne,'Color','red')
ylabel('Potencia efectiva, Ne (kW)')
axis ([0 v(2)+500 0 v(6)*1.2])
grid on

%plot(xx,yy,'LineStyle','-','LineWidth',2,'DisplayName','Wc');
%a=plot(x,y,'.','markersize',25,'Color','red');
grid minor;
title('\fontsize{14}Potencia efectiva vs Revoluciones por minuto ');
datacursormode on;

% --- Executes on button press in btn2.
function btn2_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to btn2 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
v=handles.v;
rpm=handles.rpm;
Me=handles.Me;
cla(handles.axes1)
cla(handles.axes1,'reset');
asd=findobj(handles.pan1.Children,'type','axes');
if length(asd)>=2
    delete(asd(2:end-1))
end
set(handles.axes1,'Position',[0.31289808917197454,0.05815831987075929,0.6
369426751592357,0.8303715670436188])

hold off
plot(rpm,Me,'Color','blue')
xlabel('Revoluciones por minuto, n (rpm)'), ylabel('Torque, Me (N.m)')
axis ([0 v(2)+500 0 v(8)*1.5])
grid on

%plot(xx,yy,'LineStyle','-','LineWidth',2,'DisplayName','Wc');
%a=plot(x,y,'.','markersize',25,'Color','red');
grid minor;
title('\fontsize{14}Torque vs Revoluciones por minuto ');
datacursormode on;

% --- Executes on button press in btn3.
function btn3_Callback(hObject, eventdata, handles)

```

```

% hObject    handle to btn3 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
v=handles.v;
rpm=handles.rpm;
Ge=handles.Ge;
cla(handles.axes1)
cla(handles.axes1,'reset');
asd=findobj(handles.pan1.Children,'type','axes');
if length(asd)>=2
    delete(asd(2:end-1))
end
set(handles.axes1,'Position',[0.31289808917197454,0.05815831987075929,0.6
369426751592357,0.8303715670436188])

hold off
plot(rpm,Ge,'Color','magenta')
ylabel('Consumo especifico, Ge, (g/kW-h)')
axis ([0 v(2)+500 100 500])
grid on

%plot(xx,yy,'LineStyle','-','LineWidth',2,'DisplayName','Wc');
%a=plot(x,y,'.','markersize',25,'Color','red');
grid minor;
title('\fontsize{14}Consumo especifico vs Revoluciones por minuto ');
datacursormode on;

% --- Executes on button press in btn4.
function btn4_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to btn4 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
v=handles.v;
rpm=handles.rpm;
nef=handles.nef;
cla(handles.axes1)
cla(handles.axes1,'reset');
asd=findobj(handles.pan1.Children,'type','axes');
if length(asd)>=2
    delete(asd(2:end-1))
end
set(handles.axes1,'Position',[0.31289808917197454,0.05815831987075929,0.6
369426751592357,0.8303715670436188])

hold off
plot(rpm,nef,'Color','green')
ylabel('Rendimiento efectivo, nef (%)')
axis ([0 v(2)+500 0 60])
grid on

%plot(xx,yy,'LineStyle','-','LineWidth',2,'DisplayName','Wc');
%a=plot(x,y,'.','markersize',25,'Color','red');
grid minor;
title('\fontsize{14}Rendimiento efectivo vs Revoluciones por minuto ');
datacursormode on;

```

```

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function figure1_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to figure1 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called

function text10_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to text10 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of text10 as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of text10 as
a double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function text10_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to text10 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function text09_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to text09 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function text08_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to text08 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.

```

```

%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function text07_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to text07 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function text06_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to text06 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function text05_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to text05 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function text04_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to text04 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called

```

```

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%     See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function text03_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to text03 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%     See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function text02_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to text02 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%     See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function text01_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to text01 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%     See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function text105_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to text105 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB

```

```

% handles      empty - handles not created until after all CreateFcns
called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%      See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function text104_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to text104 (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles      empty - handles not created until after all CreateFcns
called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%      See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function text103_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to text103 (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles      empty - handles not created until after all CreateFcns
called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%      See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function text102_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to text102 (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles      empty - handles not created until after all CreateFcns
called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%      See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function text101_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

```

```

% hObject    handle to text101 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function text12_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to text12 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of text12 as text
%         str2double(get(hObject,'String')) returns contents of text12 as
a double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function text12_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to text12 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function text11_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to text11 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of text11 as text
%         str2double(get(hObject,'String')) returns contents of text11 as
a double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function text11_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to text11 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called

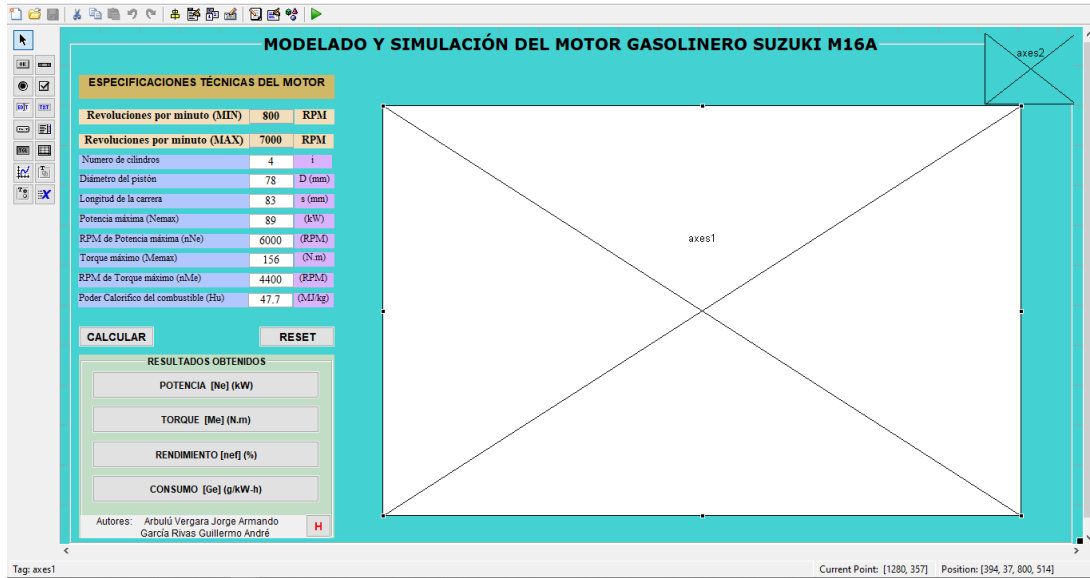
```

```

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

```

## Interfaz editable GUI





## Leyenda de códigos de la GUI

Object Browser

- Figure (interface1)
  - Panel (pan1 "MODELADO Y SIMULACIÓN DEL MOTOR GASOLINERO SUZUKI M16A")
    - Axes (axes2)
    - Axes (axes1)
    - Panel (uipanel7)
      - UIControl (text84 "Revoluciones por minuto (MIN)")
      - UIControl (text111 "RPM")
      - UIControl (btnC "CALCULAR")
      - UIControl (btnL "RESET")
    - Panel (uipanel8 "RESULTADOS OBTENIDOS")
      - UIControl (btn1 "POTENCIA [Ne] (kW)")
      - UIControl (btn2 "TORQUE [Me] (N.m)")
      - UIControl (btn3 "CONSUMO [Ge] (g/kW-h)")
      - UIControl (btn4 "RENDIMIENTO [nef] (%)")
      - UIControl (text157 "Autores: Arbulú Vergara Jorge Armando ")
      - UIControl (btn\_H "H")
    - UIControl (text01 "800")
    - UIControl (text133 "Revoluciones por minuto (MAX)")
    - UIControl (text134 "RPM")
    - UIControl (text02 "7000")
    - UIControl (text135 "Numero de cilindros")
    - UIControl (text136 "i")
    - UIControl (text03 "4")
    - UIControl (text137 "Diámetro del pistón")
    - UIControl (text138 "D (mm)")
    - UIControl (text04 "78")
    - UIControl (text139 "Longitud de la carrera")
    - UIControl (text140 "s (mm)")
    - UIControl (text05 "83")
    - UIControl (text141 "Potencia máxima (Nemax)")
    - UIControl (text142 "(kW)")
    - UIControl (text06 "89")
    - UIControl (text143 "RPM de Potencia máxima (nNe)")
    - UIControl (text144 "(RPM)")
    - UIControl (text07 "6000")
    - UIControl (text145 "Torque máximo (Memax)")
    - UIControl (text146 "(N.m)")
    - UIControl (text08 "156")
    - UIControl (text147 "Poder Calorifico del combustible (Hu)")
    - UIControl (text148 "(MJ/kg)")
    - UIControl (text09 "47.7")
    - UIControl (text167 "RPM de Torque máximo (nMe)")
    - UIControl (text168 "(RPM)")
    - UIControl (text10 "4400")
    - UIControl (text2 "ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL MOTOR")
    - UIControl (text214 "Coeficiente de exceso de aire ( $\alpha$ )")
    - UIControl (text215 "(-)")
    - UIControl (text12 "0.9")
    - UIControl (text216 "Coeficiente de llenado teórico (Nv)")
    - UIControl (text217 "(-)")
    - UIControl (text11 "0.8")

## Galería de Fotos

**Foto 1: Scanner Bosch KTS 570, laptop e interfaz**



**Foto 2: Conexión del Scanner Bosch KTS 570 al módulo del vehículo**



**Foto 3: Medición de parámetros de funcionamiento**



**Foto 4: Motor Suzuki M16A DOCH 16v**



**Foto 5: Toma de datos mediante el Scanner Bosch KTS 570**



**Foto 6: Elevación del vehículo para toma de datos**



Foto 7: Módulo de medición de consumo de inyectores



Foto 8: Test de prueba para medición de consumo de inyectores.



**Foto 9: Toma de dato de consumo de combustible**

