

**HERRAMIENTA INFORMÁTICA EDUCATIVA PARA EL ANÁLISIS DE
UN MOTOR DE DOS TIEMPOS DE ENCENDIDO POR CHISPA PARA
EL ÁREA DE MÁQUINAS TÉRMICAS ALTERNATIVAS DE LA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA DE LA UIS.**



**ELGA XIMENA ACEVEDO CASTRILLÓN
RUBÉN DARÍO ACEVEDO CASTRILLÓN**



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS
ESCUELAS DE INGENIERÍA MECÁNICA Y SISTEMAS
BUCARAMANGA – SANTANDER
OCTUBRE DE 2007**

**HERRAMIENTA INFORMÁTICA EDUCATIVA PARA EL ANÁLISIS DE
UN MOTOR DE DOS TIEMPOS DE ENCENDIDO POR CHISPA PARA
EL ÁREA DE MÁQUINAS TÉRMICAS ALTERNATIVAS DE LA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA DE LA UIS.**

**ELGA XIMENA ACEVEDO CASTRILLÓN
RUBÉN DARÍO ACEVEDO CASTRILLÓN**

Director:

**JORGE LUIS CHACÓN VELAZCO
Ingeniería Mecánica**

Codirector:

**MANUEL GUILLERMO FLÓREZ
Ingeniería De Sistemas**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS
ESCUELAS DE INGENIERÍA MECÁNICA Y SISTEMAS
BUCARAMANGA – SANTANDER
OCTUBRE DE 2007**

A Dios por su infinito amor.

*A mis padres por ser incondicionales brindando
su apoyo en cada momento de mi vida.*

*A Rubén, mi querido hermano por su
carisma, dinamismo y dedicación.*

A mis hermanos por su motivación en este proceso.

*A mis amigas y amigos quienes siempre
me apoyaron para alcanzar la meta.*

A la vida por brindarme la oportunidad de estar aquí.

A Dios fuente suprema de sabiduría.

*A mis padres motivadores constantes
de mi vida y mis sueños.*

*A mi Reina por su incondicional
Amor, apoyo y acompañamiento.*

*A Ximena, mi querida hermana por su
Perseverancia, carisma y ejemplo.*

*A mis hermanos y amigos por su
gran colaboración.*

AGRADECIMIENTOS

- A nuestros padres y hermanos, por su amor, esfuerzo, dedicación y acompañamiento siendo siempre nuestro principal apoyo en todo momento.
- Al Dr. Jorge Luis Chacón Velazco director de proyecto por el gran apoyo y respaldo técnico y humano, en el desarrollo de esta herramienta.
- Al Mgs. Manuel Guillermo Flórez codirector de proyecto por su gran colaboración y aporte académico-práctico.
- Al Mgs. Rómulo Niño Delgado y Mgs. Omar Armando Gelvez A. por sus importantes aportes para el desarrollo de nuevas versiones.
- A las Escuelas de Ingeniería Mecánica e Ingeniería de Sistemas e Informática, por su formación humana y tecnológica y por el apoyo al desarrollo de proyectos interdisciplinarios.
- A nuestra Universidad Industrial de Santander.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	- 1 -
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	- 4 -
1.1 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.....	- 4 -
1.2 OBJETIVOS DEL PROYECTO	- 4 -
1.2.1 OBJETIVO GENERAL	- 4 -
1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	- 5 -
1.3 JUSTIFICACIÓN.....	- 6 -
2. MARCO TEORICO.....	- 8 -
2.1 ENERGÍA MECÁNICA.....	- 8 -
2.2 MOTORES DE DOS TIEMPOS	- 10 -
2.3 PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO	- 16 -
2.3.1 ANÁLISIS CINEMÁTICO	- 36 -
2.3.2 ANÁLISIS DINÁMICO.....	- 44 -
2.3.3 ANÁLISIS TERMODINÁMICO.....	- 57 -
3. DESARROLLO DE LA HERRAMIENTA EDUCATIVA INFORMATICA.....	- 63 -
3.1 METODOLOGÍA UTILIZADA.....	- 63 -
3.1.1 MODELADO ORIENTADO A OBJETOS.	- 65 -
3.1.2 LENGUAJE UNIFICADO DE MODELADO (UML)	- 66 -
3.2 ELABORACIÓN DE LA HERRAMIENTA EDUCATIVA INFORMÁTICA ...	- 69 -
3.2.1 ANÁLISIS	- 69 -
3.2.2 DISEÑO	- 74 -
3.2.3 CONSTRUCCIÓN	- 85 -
3.2.4 DESPLIEGUE	- 89 -
3.2.5 RESULTADOS.....	- 92 -
3.2.6 REQUERIMIENTOS	- 95 -
4. APLICACIÓN DE LA HERRAMIENTA EDUCATIVA INFORMATICA.....	- 96 -
4.1 ANALISIS DE LAS NECESIDADES EDUCATIVAS	- 96 -
4.2 COMPETENCIAS ACADÉMICAS DEL AREA DE MAQUINAS TERMICAS ALTERNATIVAS	- 98 -
4.3 LABORATORIOS	- 100 -
4.3.1 PRÁCTICA DE LABORATORIO I.....	- 100 -

4.3.2 PRÁCTICA DE LABORATORIO II.....	- 101 -
4.3.3 PRÁCTICA DE LABORATORIO III.....	- 103 -
4.3.4 PRÁCTICA DE LABORATORIO IV	- 104 -
5. CONCLUSIONES	- 106 -
6. RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS	- 108 -
7. BIBLIOGRAFIA	- 109 -
ANEXOS.....	- 114 -

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A ELEMENTOS EN UML	- 115 -
ANEXO B ELEMENTOS EN UML	- 117 -
ANEXO C CASO DE USO INICIAR SESIÓN	- 118 -
ANEXO D CASO DE USO MODELADO DEL MOTOR 2T	- 119 -
ANEXO E CASO DE USO CONTENIDO TEMÁTICO	- 121 -
ANEXO F CASO DE USO LABORATORIOS	- 122 -
ANEXO G CASO DE USO DEFINIR PARÁMETROS DE ENTRADA	- 123 -
ANEXO H CASO DE USO EJECUCIÓN DEL MODELO	- 126 -
ANEXO I CASO DE USO ADMISIÓN	- 128 -
ANEXO J CASO DE USO COMPRESIÓN	- 129 -
ANEXO K CASO DE USO COMBUSTIÓN	- 130 -
ANEXO L CASO DE USO EXPANSIÓN	- 131 -
ANEXO M CASO DE USO ESCAPE	- 132 -
ANEXO N CASO DE USO ANÁLISIS CINEMÁTICA	- 133 -
ANEXO O CASO DE USO ANÁLISIS DINÁMICO	- 134 -
ANEXO P CASO DE USO ANÁLISIS DE RESULTADOS	- 135 -
ANEXO Q CASO DE USO VER GRÁFICA	- 136 -
ANEXO R CASO DE USO CONSULTAR LABORATORIO	- 138 -
ANEXO S TABLA DE PROPIEDADES DEL GAS IDEAL	139
ANEXO T OBJETO VIRTUAL	140
ANEXO U MANUAL DE USUARIO	142

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 PRIMER MOTOR A EXPLOSIÓN	- 13 -
FIGURA 2 PRIMER AUTOMÓVIL CON MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA ...	- 14 -
FIGURA 3 MOTOR DE OTTO, DE COMBUSTIÓN INTERNA DE DOS CICLOS. ...	- 15 -
FIGURA 4 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO MOTORES 2T	- 16 -
FIGURA 5 CICLO OTTO EN FUNCIÓN DE LA PRESIÓN Y EL VOLUMEN	- 18 -
FIGURA 6 PROCESO DE ADMISIÓN	- 19 -
FIGURA 7 MOTOR EN COMPRESIÓN	- 22 -
FIGURA 8 PROCESO DE COMBUSTIÓN	- 25 -
FIGURA 9 EXPANSIÓN	- 32 -
FIGURA 10 ESCAPE	- 34 -
FIGURA 11 SISTEMA BIELA - MANIVELA.	- 36 -
FIGURA 12 DIAGRAMA DE DESPLAZAMIENTO DEL PISTÓN.....	- 39 -
FIGURA 13 DIAGRAMA DE LA VELOCIDAD DEL PISTÓN.....	- 41 -
FIGURA 14 DIAGRAMA DE LA ACELERACIÓN DEL PISTÓN EN FUNCIÓN DE LOS ÁNGULOS DE ROTACIÓN DE LA MANIVELA.	- 43 -
FIGURA 15 ANÁLISIS DINÁMICO	- 44 -
FIGURA 16 FUERZAS ALTERNAS DE 1º Y 2º ORDEN.....	- 47 -
FIGURA 17 INFLUENCIA DE LAS VARIACIONES DEL RÉGIMEN SOBRE EL DIAGRAMA RESULTANTE.....	- 48 -
FIGURA 18 EQUILIBRADO DE UN MOTOR MONOCILÍNDRICO.	- 50 -
FIGURA 19 MOTOR CON DOS CILINDROS.....	- 51 -
FIGURA 20 EQUILIBRADO DE UNA FUERZA DE 1º ORDEN CON DOS FUERZAS CENTRÍFUGAS.....	- 53 -
FIGURA 21 DESCOMPOSICIÓN DE LA FUERZA RESULTANTE PARA EL CÁLCULO DEL MOMENTO MOTOR.....	- 54 -
FIGURA 22 DIAGRAMA DE PAR MOTOR PARA UN MONOCILINDRO.	- 56 -

FIGURA 23 DEFINICIÓN UML	- 66 -
FIGURA 24 ESTRUCTURA UML	- 67 -
FIGURA 25 DIAGRAMA DE CASOS DE USO PRINCIPAL	- 69 -
FIGURA 26 CASO DE USO DE MODELADO DEL MOTOR 2T	- 70 -
FIGURA 27 CASO DE USO LABORATORIOS	- 71 -
FIGURA 28 CASOS DE USO CURSO	- 71 -
FIGURA 29 CASO DE USO ADMINISTRACIÓN.....	- 72 -
FIGURA 30 DIAGRAMA DE ACTIVIDADES.....	- 73 -
FIGURA 31 DIAGRAMA DE COMPONENTES	- 74 -
FIGURA 32 DIAGRAMA DE CLASES	- 77 -
FIGURA 33 DIAGRAMA DE SECUENCIA	- 78 -
FIGURA 34 PÁGINA PRINCIPAL.....	- 80 -
FIGURA 35 FORMULARIO GENERAL	- 81 -
FIGURA 36 FORMULARIO DE ADMISIÓN.....	- 82 -
FIGURA 37 FORMULARIO DE COMBUSTIÓN	- 83 -
FIGURA 38 FORMULARIO DE ESCAPE	- 84 -
FIGURA 39 RESULTADO PRESIÓN VS. VOLUMEN	- 85 -
FIGURA 40 ESTRUCTURA DE CLASES JAVA	- 87 -
FIGURA 41 ESTRUCTURA DE ARCHIVOS EN HTML	- 88 -
FIGURA 42 SOLICITUD DE REGISTRO	- 90 -
FIGURA 43 APROBACIÓN DEL REGISTRO	- 90 -
FIGURA 44 INICIO DE SESIÓN	- 91 -
FIGURA 45 REALIZAR UNA CONSULTA O APORTE	- 91 -
FIGURA 46 AGREGAR COMENTARIOS A UNA CONSULTA O APORTE.....	- 92 -
FIGURA 47 PRESIÓN VS. ANGULO CIGÜEÑAL	- 93 -
FIGURA 48 VOLUMEN VS. ANGULO.....	- 94 -
FIGURA 49 ENERGÍA INTERNA VS. ANGULO.....	- 94 -
FIGURA 50 FICHA GENERAL	143
FIGURA 51 FICHA DE ADMISIÓN	144

FIGURA 52 FICHA DE COMBUSTIÓN	145
FIGURA 53 FICHA DE ESCAPE.....	146
FIGURA 54 RESULTADOS	147
FIGURA 55 GRÁFICA DE PRESIÓN VS. VOLUMEN	150

LISTA DE TABLAS

TABLA 1 DE PARÁMETROS	- 34 -
TABLA 2 EJERCICIO 1	- 100 -
TABLA 3 EJERCICIO 2	- 102 -
TABLA 4 EJERCICIO 3	- 103 -
TABLA 5 EJERCICIO 4	- 104 -

LISTA DE ECUACIONES

ECUACIÓN 1 PRINCIPIO DE LA CONSERVACIÓN DE LA ENERGÍA	- 8 -
ECUACIÓN 2 SEGUNDA LEY DE LA TERMODINÁMICA.....	- 9 -
ECUACIÓN 3 EFICIENCIA TÉRMICA GENERAL.....	- 18 -
ECUACIÓN 4 EFICIENCIA TÉRMICA	- 18 -
ECUACIÓN 5 VOLUMEN TOTAL DE BARRIDO.....	- 20 -
ECUACIÓN 6 VOLUMEN DE BARRIDO CONFINADO.....	- 21 -
ECUACIÓN 7 LA RAZÓN DE COMPRESIÓN EN EL CÁRTER	- 21 -
ECUACIÓN 8 RELACIÓN DE COMPRESIÓN CONFINADA	- 24 -
ECUACIÓN 9 DEL GAS IDEAL	- 25 -
ECUACIÓN 10 2A LEY DE LA TERMODINÁMICA	- 26 -
ECUACIÓN 11 COMBUSTIÓN	- 27 -
ECUACIÓN 12 RELACIÓN IDEAL DE AIRE-COMBUSTIBLE	- 28 -
ECUACIÓN 13 RELACIONES AIRE-COMBUSTIBLE CONFINADAS	- 29 -
ECUACIÓN 14 ECUACIÓN DE ESTADO	- 29 -
ECUACIÓN 15 VOLUMEN CONFINADO	- 29 -
ECUACIÓN 16 EL VALOR DE LA CANTIDAD DE COMBUSTIBLE ATRAPADO	- 30 -
ECUACIÓN 17 CALOR	- 31 -
ECUACIÓN 18 RATA DE LIBERACIÓN DE CALOR	- 31 -
ECUACIÓN 19 EFICIENCIA DE LA COMBUSTIÓN.....	- 31 -
ECUACIÓN 20 COMBUSTIBLE PROVISTO.....	- 31 -
ECUACIÓN 21 COMBUSTIBLE PROVISTO POR CICLO	- 32 -
ECUACIÓN 22 CALOR ATRAPADO POR CICLO	- 32 -
ECUACIÓN 23 CALOR DISPONIBLE POR CICLO,	- 32 -
ECUACIÓN 25 POSICIÓN DEL PISTÓN EN FUNCIÓN DEL ÁNGULO GIRADO POR EL CIGÜEÑAL	- 37 -

ECUACIÓN 26 DESPLAZAMIENTO DEL PISTÓN EN FUNCIÓN DEL ÁNGULO GIRADO POR LA MANIVELA.....	- 38 -
ECUACIÓN 27 VELOCIDAD DEL PISTÓN.....	- 40 -
ECUACIÓN 28 ACELERACIÓN DEL PISTÓN.....	- 42 -
ECUACIÓN 29 ACELERACIÓN MÁXIMA	- 43 -
ECUACIÓN 30 ACELERACIÓN MÍNIMA	- 43 -
ECUACIÓN 31 SEGUNDA LEY DE NEWTON	- 44 -
ECUACIÓN 32 FUERZA CENTRÍFUGA	- 45 -
ECUACIÓN 33 FUERZA DE INERCIA DEBIDA A LAS MASAS ALTERNAS	- 46 -
ECUACIÓN 34 SUMATORIA DE MOMENTOS.....	- 50 -
ECUACIÓN 35 FUERZA QUE ACTÚA SEGÚN LA BIELA	- 54 -
ECUACIÓN 36 FUERZA QUE ACTÚA NORMAL A LA PARED DEL CILINDRO ...	- 54 -
ECUACIÓN 37 TORQUE	- 56 -
ECUACIÓN 38 DENSIDAD DEL AIRE.....	- 57 -
ECUACIÓN 39 MASA DE REFERENCIA VOLUMEN DE BARRIDO BAJO.....	- 57 -
ECUACIÓN 40 LA RELACIÓN DE ENTREGA.....	- 58 -
ECUACIÓN 41 MASA DE REFERENCIA VOLUMEN TOTAL	- 58 -
ECUACIÓN 42 LA RELACIÓN DE BARRIDO	- 58 -
ECUACIÓN 43 MASA TOTAL DE CARGA	- 59 -
ECUACIÓN 44 EFICIENCIA DE BARRIDO.....	- 59 -
ECUACIÓN 45 MASA TOTAL DE LA CARGA DEL CILINDRO.....	- 59 -
ECUACIÓN 46 LA PUREZA DE LA CARGA ATRAPADA.....	- 60 -
ECUACIÓN 47 EFICIENCIA DE CONFINAMIENTO.....	- 60 -
ECUACIÓN 48 EFICIENCIA DE CONFINAMIENTO SIMPLIFICADA.....	- 61 -
ECUACIÓN 49 EFICIENCIA DE CARGA	- 61 -
ECUACIÓN 50 EFICIENCIA DE CARGA CON RESPECTO A LA EFICIENCIA DE CONFINAMIENTO Y A LA RELACIÓN DE BARRIDO.....	- 61 -

RESUMEN

TITULO: HERRAMIENTA INFORMÁTICA EDUCATIVA PARA EL ANÁLISIS DE UN MOTOR DE DOS TIEMPOS DE ENCENDIDO POR CHISPA PARA EL ÁREA DE MÁQUINAS TÉRMICAS ALTERNATIVAS DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA DE LA UIS.*

AUTORES: ACEVEDO CASTRILLÓN, Rubén Darío. ACEVEDO CASTRILLÓN, Elga Ximena.**

PALABRAS CLAVES: Motores, Dos tiempos, Encendido por chispa, Intercambio de gases, Applet, Herramienta educativa, Orientada a objetos, UML.

DESCRIPCIÓN O CONTENIDO:

La presente herramienta educativa informática para motores de dos tiempos se ha desarrollado de manera interdisciplinaria debido a la ausencia de aplicaciones informáticas para el estudio de motores de dos tiempos en el área de Máquinas Térmicas Alternativas. Representa un fortalecimiento para el aprendizaje por ser dinámica e ilustrativa.

* Trabajo de grado para obtener el título de Ingeniero Mecánico e Ingeniero de Sistemas. Modalidad Investigación.

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica, Escuela de Ingeniería de Sistemas e Informática. Director Phd. Jorge Luis Chacón Velezco

Esta herramienta busca ejercitar al usuario en el análisis (Cinemático, Dinámico, Termodinámico) del funcionamiento de los motores de dos tiempos con encendido por chispa en los procesos de Admisión, Compresión, Combustión, Expansión y Escape, mediante ejercicios prácticos de laboratorio que permitan al estudiante afianzar los fenómenos presentes en el ciclo de dos tiempos con la identificación de variables, análisis paramétrico, análisis de resultados numéricos y gráficos de forma amigable e interactiva. El planteamiento utilizado para el desarrollo de la herramienta está basado en el ciclo ideal para un motor de dos tiempos con encendido por chispa, siendo esta el inicio para futuros desarrollos con otros combustibles y con mayores aproximaciones al ciclo real.

Es una herramienta disponible para los usuarios desde un servidor web elegido, de fácil acceso, desarrollada en lenguaje de programación JAVA, con Applet como estructura facilitadora de comunicación. Cumple función como plataforma de aprendizaje porque permite la interrelación básica profesor estudiante mediante la renovación de cuestionarios como talleres académicos teórico-prácticos por parte del profesor como usuario administrador y la consulta académica oportuna por parte del estudiante.

SUMMARY

TITLE: INFORMATIC EDUCATIVE TOOL FORM A TWO CYCLE SPARK IGNITION ENGINE ANALYSIS FOR THE AREA OF ALTERNATIVE THERMAL ENGINES OF UIS MECHANICAL ENGINEERING SCHOOL.*

AUTHORS: ACEVEDO CASTRILLÓN, Rubén Darío. ACEVEDO CASTRILLÓN, Elga Ximena.**

KEY WORDS: Engines, Two cycles, Spark Starting, gases enchange, Applet, Educative tool, object oriented, UML.

CONTENT OR DESCRIPTION:

The following informatic educative tool for two cycle engines has been developed in an interdisplinarian way due to the lack of existance of informatic use for studying two cycle engines in the area of termal alternative machines. This represent a strengthening for learning since it is dynamic and illustrative.

* Doctor research in order to obtain the tittle of Mechanical engineer and systems engineer. Modality research.

** Faculty of physicomachanical engineerings. Mechanical enginee-ring school, systems engineering school. Phd Director Jorge Luis Chacón Velezco

This tool leads to the enabling of the user in analysis (Cinematic, Dynamic, Thermodynamic) of the functioning of two cycle spark ignition engines in processes of acceptance, compression, burning, expansion and escape, by means of practical exercises led in laboratories that allow the student to reinforce the current phenomena in two cycle period identifying variables, parametric analysis, numeric and graphic, analysis of results in a friendly and interactive way. The approach used in the development of the tool is based on the ideal cycle for a two cycle spark ignition engine, being this the starting point for future development of different fuel and with more approximation to real cycles.

This is a web chosen server available tool of easy access, developed in JAVA, programming language with applet as a facilitating structure tool of communication. It can be also a learning platform since, It allows the basic interaction between student and teacher through a constant renewal of questionnaires as theoretico practical workshops on the professors side as an administrator user and the academic consultation on the students side.

INTRODUCCIÓN

El desarrollo de los motores de combustión interna, data de la década de los sesenta del siglo XIX, buscando mejorar el rendimiento del motor para suplir las necesidades de desarrollo del hombre a partir de la utilización de la energía mecánica, indispensable para poner en acción diversas máquinas que se emplean en los siguientes sectores, dando como resultado el avance en la tecnología desde la energía mecánica, así como disminuir el margen de error en el desarrollo de los procesos y la optimización de los mismos:

- Agrícola
- Automotriz orientado a los vehículos de carga y de competencia deportiva.
- Tecnológico aplicado a las máquinas que se emplean para la explotación de los recursos, permitiendo el desarrollo económico de un país.

La Ingeniería Mecánica lidera las aplicaciones de obtención de energía mecánica, a través del diseño y construcción de los diversos mecanismos, tales como: el motor rotativo y alternativo. Por lo anterior, es importante que el estudiante conozca y aprenda los principios de funcionamiento de los motores, planteados en el área de Máquinas Térmicas Alternativas, para simular la operación de los mismos.

Actualmente, la asignatura de Máquinas Térmicas Alternativas, de la UIS, se desarrolla con un componente teórico-práctico, bajo el método

constructivista, de forma empírica, en donde el estudiante toma por su cuenta la temática planteada a desarrollar, durante su periodo académico, para confrontarlo a través del método de la observación directa, con los motores, herramientas y elementos didácticos con que cuenta el laboratorio de Máquinas Térmicas Alternativas. Es así, que el presente proyecto busca facilitar la enseñanza-aprendizaje, que hasta el momento se ha venido desarrollando en ésta área, complementándola con una herramienta educativa informática que le permitirá al estudiante analizar, mediante la simulación, el funcionamiento de los motores de dos tiempos con encendido por chispa, que cambia a través de la variación de los parámetros de su funcionamiento.

El proyecto se estructura en siete capítulos que se describen a continuación:

La primera parte contempla el planteamiento del problema con los objetivos y justificación del mismo.

El segundo capítulo la fundamentación teórica partiendo del principio fundamental de la física como lo es la Energía Mecánica, hasta una definición de los motores de dos tiempos con encendido por chispa, pasando por un análisis cinemático, dinámico y termodinámico.

El tercer capítulo abordará el diseño y la construcción de la herramienta educativa informática que contiene la fundamentación metodológica utilizada para el desarrollo de la herramienta y los resultados obtenidos.

En el capítulo cuarto se presenta un estudio de las necesidades educativas, las competencias del Área de Máquinas Térmicas Alternativas y las aplicaciones de la Herramienta Educativa mediante las prácticas de laboratorio.

Por último se presentan las conclusiones, recomendaciones y la organización bibliográfica del material didáctico consultado en el proyecto al igual que los anexos del documento entre los cuales se encuentra el Manual de Usuario.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

La Escuela de Ingeniería Mecánica no cuenta con herramientas computacionales que permitan al estudiante comprender más a fondo los procesos termofluidodinámicos en sus asignaturas aplicadas. En el caso particular del Laboratorio de Máquinas Térmicas Alternativas, no cuenta con un modelador de ciclos de funcionamiento de motores de combustión interna alternativo (MCIA) de dos tiempos con encendido por chispa; esto representa una insuficiencia en el método de estudio de los temas relacionados en el momento actual; circunstancia histórica que plantea el desarrollo de nuevas competencias informáticas aplicadas a los procesos académicos tradicionales; de igual forma representa un fortalecimiento a la interacción profesor – estudiante debido a las limitantes ya conocidas de disponibilidad de tiempo para realizar encuentros académicos aclaratorios de dudas e inquietudes.

1.2 OBJETIVOS DEL PROYECTO

1.2.1 Objetivo General

Desarrollar una herramienta educativa informática para el estudio y análisis de motores de dos tiempos con encendido por chispa para el área de Máquinas Térmicas Alternativas, con el fin de fortalecer las aplicaciones de los procesos termofluidodinámicos y la interrelación profesor – estudiante.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Desarrollar una herramienta educativa interactiva, dinámica, ilustrativa, técnica para el estudio y análisis de un motor de dos tiempos con encendido por chispa con el fin de fortalecer las competencias académicas del Área de Máquinas Térmicas Alternativas.
- Diseñar una interfaz gráfica que presente el comportamiento de las variables correspondientes al funcionamiento de los motores de dos tiempos con encendido por chispa (Ej: Eficiencia de Barrido vs. RPM, Presión vs. Volumen, Presión vs. Temperatura, Presión vs. Ángulo de Giro, Flujo másico vs. RPM), teniendo en cuenta las condiciones iniciales y finales tanto de la mezcla aire-combustible como las condiciones iniciales y finales externas incidentes (condiciones atmosféricas), la geometría del motor, el desarrollo termodinámico de cada etapa del ciclo de un motor de acuerdo a las revoluciones de operación.
- Dar continuidad a la interrelación colaborativa y al encuentro interdisciplinario de las Escuelas para el desarrollo de nuevas herramientas pedagógicas informáticas e ingenieriles de acuerdo con la misión institucional de la universidad contemplada en su Proyecto Educativo.
- Desarrollar cuatro talleres y/o prácticas para motores de dos tiempos de encendido por chispa en el laboratorio de Máquinas Térmicas Alternativas utilizando la nueva herramienta educativa informática.

1.3 JUSTIFICACIÓN

Los métodos de enseñanza–aprendizaje en la Universidad deben ser lo suficientemente dinámicos, de tal forma que el conocimiento se aborde desde una perspectiva de transformación y no de simple aceptación y replicación. En esta tónica, es necesario superar el esquema actual de la clase monótona y de mera transmisión unilateral de conocimientos de profesor a estudiante, que obstaculiza la recreación del conocimiento y enriquecerla con ambientes de aprendizaje complementarios, en los que el estudiante se aproxime al conocimiento a partir de sus propias expectativas y de la observación de los fenómenos que lo generan.

Siendo conscientes de los aportes que podemos hacer a través de la informática educativa y teniendo en cuenta que es necesario incorporar al proceso educativo nuevos elementos que aporten a la consecución de los logros de aprendizaje que se proponen los planes de estudio, aspiramos con este trabajo ofrecer una herramienta útil que aporte en buena medida a la satisfacción de las necesidades del área de Máquinas Térmicas Alternativas.

El presente proyecto plantea la posibilidad de utilizar herramientas informáticas para suplir las deficiencias en el cubrimiento y tratamiento de los temas, así como la necesidad de disponer de una herramienta de apoyo didáctico para que el profesor agilice el desarrollo de la clase de Máquinas Térmicas Alternativas y permita que ésta se centre en el análisis de los gráficos y cálculos que se requieran realizar en los Motores de dos tiempos de encendido por chispa. De esta manera, se

busca fortalecer el estudio teórico - práctico de los procesos termofluidodinámicos planteados por el área de las Máquinas térmicas alternativas especialmente en los procesos vigentes en el ciclo de funcionamiento de los motores de dos tiempos con encendido por chispa, del cual no se posee ninguna herramienta pedagógica computacional que facilite su método de estudio.

Se desarrollará una herramienta educativa informática utilizando el lenguaje de Programación JAVA y sus ventajas como la aplicación independiente (Stand-alone Application), la ejecución como applet, la ejecución como servlet, etc. Un applet es una aplicación especial que se ejecuta dentro de un navegador o browser (por ejemplo Netscape Navigator o Internet Explorer) al cargar una página HTML desde un servidor Web. El applet se descarga desde el servidor y no requiere instalación en el ordenador donde se encuentra el browser que permite a la comunidad académica una alta disponibilidad de la herramienta y nuevos escenarios de debates, consultas e interacción en torno al análisis de los procesos simulados.

2. MARCO TEORICO

2.1 ENERGÍA MECÁNICA

El Ciclo de Otto fue el pionero para dar un planteamiento con un mecanismo que transformaba la Energía Química en Energía Mecánica de una manera controlada. El desarrollo de este mecanismo incentivó la investigación y el diseño continuo de esta propuesta generadora de energía mecánica. Para el estudio de los motores de combustión interna se tienen en cuenta:

- La Primera Ley de la Termodinámica: que no es demostrable matemáticamente, pero ningún proceso de la naturaleza la ha violado. Corresponde básicamente a los cambios en la energía total durante un proceso adiabático, deben ser iguales al trabajo neto realizado ó también conocida como un enunciado del Principio de la Conservación de la energía (Ecuación 1). Aplicando esta Ley a un sistema cerrado ó una masa fija como lo es un Motor de Combustión interna, podemos decir que la transferencia neta de energía al sistema ó del sistema como calor y trabajo, es igual al incremento ó decremento neto en la energía total del sistema¹.

$$Q - W = \Delta E$$

Ecuación 1 Principio de la Conservación de la energía

¹TERMODINAMICA. Yunus A.Cengel. Michael A.Boles.MC Graw Hill. Segunda Edición.Mexico. 1890.Pag 116

- La Segunda Ley de la Termodinámica: partiendo de la circunstancia que el trabajo puede convertirse fácilmente en otras formas de energía, pero convertir otras formas de energía en trabajo no es sencillo. Kelvin-Planck y Clausius respectivamente, plantearon sus enunciados así:
 - Es imposible para cualquier dispositivo que opera en un ciclo, recibir calor de un solo depósito y producir una cantidad neta de trabajo, ó decir que ninguna máquina térmica puede tener una eficiencia térmica del 100%.
 - Es imposible construir un dispositivo que opere en un ciclo y cuyo único efecto sea producir la transferencia de calor de un cuerpo de temperatura más baja a un cuerpo de temperatura más alta. La variación de calor respecto a la temperatura siempre es menor o igual a cero.

$$W_{neto} = Q_{end} - Q_{sal}$$

Ecuación 2 Segunda Ley de la Termodinámica

2.2 MOTORES DE DOS TIEMPOS

RESEÑA HISTÓRICA:

El primer vehículo propulsado a vapor fue creado por el escritor e inventor francés Nicholas-Joseph Cugnot. Se trataba de un verdadero triciclo con ruedas de madera, llantas de hierro y pesaba 4,5 toneladas, cuyo motor estaba montado sobre los cigüeñales de las ruedas de un carro para transportar cañones. Su prototipo se estrelló y una segunda máquina quedó destruida en 1771, pero la idea sería retomada y desarrollada en Inglaterra en los años siguientes.

Es extraño, pero los primeros motores, entre 1830 y 1840, nacieron a partir de emplear vapor como fuente de energía. Ya para 1836 circulaban en Inglaterra una decena de diligencias capaces de transportar hasta 20 pasajeros a una velocidad límite de 24 kilómetros por hora. Estos sencillos vehículos empleaban un motor propulsado por vapor y, aunque era bastante ruidoso y algo incómodo viajar en ellos, cumplían la doble función de ser el primer impulso a los medios de transporte en las ciudades y de servir como base a nuevos experimentos e investigaciones².

El combustible líquido para los motores ya no era problema, otro alemán, el profesor de química Eilhard Mitscherlich había descubierto la

² MOTORES DE AUTOMÓVIL, M.S. Jónvaj, Editorial, Mir.Moscú.1982.Pag 11

bencina en 1833, con lo cual ya estaba disponible el hidrocarburo líquido que pasó a llamarse nafta por derivación de un vocablo ruso: naphta.

En Europa a mediados del S XIX, con los primeros experimentos serios sobre el motor de combustión interna, encontramos que a la vanguardia en ese aspecto estaba Italia.

Efectivamente en 1841 el inventor italiano Luigi De Cristoforis había construido y hecho funcionar durante ocho horas consecutivas un motor atmosférico alimentado con petróleo. En el motor atmosférico, la combustión se produce dentro del motor, por lo que se lo califica de motor de combustión interna y consiste en uno o más cilindros con sus respectivos pistones o émbolos de movimiento lineal.

Ese motor atmosférico fue retomado años después por otros dos italianos: Eugenio Barsanti y Felice Matteucci. El primero, nacido en Pietrasanta, era un padre escolapio que enseñaba Física en un colegio de Florencia; el segundo, Felice Matteucci, era un físico de Lucca. Ambos presentaron el 5 de junio de 1853, ante el Instituto de Geogofili de Florencia, una memoria en la que se describían detalladamente los principios en los que se basaba el nuevo motor. En 1856 se construyó un prototipo, que se expuso en la fundición del Pignone.

Este motor, que se alimentaba con una mezcla de gas del alumbrado y aire, tenía un cilindro refrigerado por agua y una potencia de 5 CV. También funcionaba en tres tiempos: aspiración de la mezcla

combustible en el cilindro, explosión provocada por una chispa eléctrica y expulsión de los gases quemados.

El éxito obtenido con el pequeño y revolucionario motor fue rotundo, ambos técnicos, devenidos empresarios continuaron su desarrollo y en 1864 comenzaron a fabricarlo en forma seriada. Llegaban pedidos de toda Europa y el florecimiento económico. Sin embargo el imprevisto y prematuro fallecimiento de Barsanti y una grave enfermedad sufrida por Matteucci en la misma época, dieron lugar a una rápida e inevitable crisis económica de la sociedad, que se vio obligada a cerrar sus puertas. Las patentes de los dos técnicos italianos, sin nadie que se ocupara de ellas, fueron copiadas a discreción, mientras que los nombres de los dos constructores cayeron en el olvido.

Siempre con el interés de mejorar, los motores pronto evolucionaron a otras variantes, fue en 1860 cuando Etienne Lenoir patentó en Francia el primer motor a explosión capaz de ser usado con los mismos fines que en Inglaterra algunos años atrás cuando se dio el segundo gran paso, quizá el más importante; el camino estaba trazado para que en pocos años este primer motor tuviera feliz descendencia.

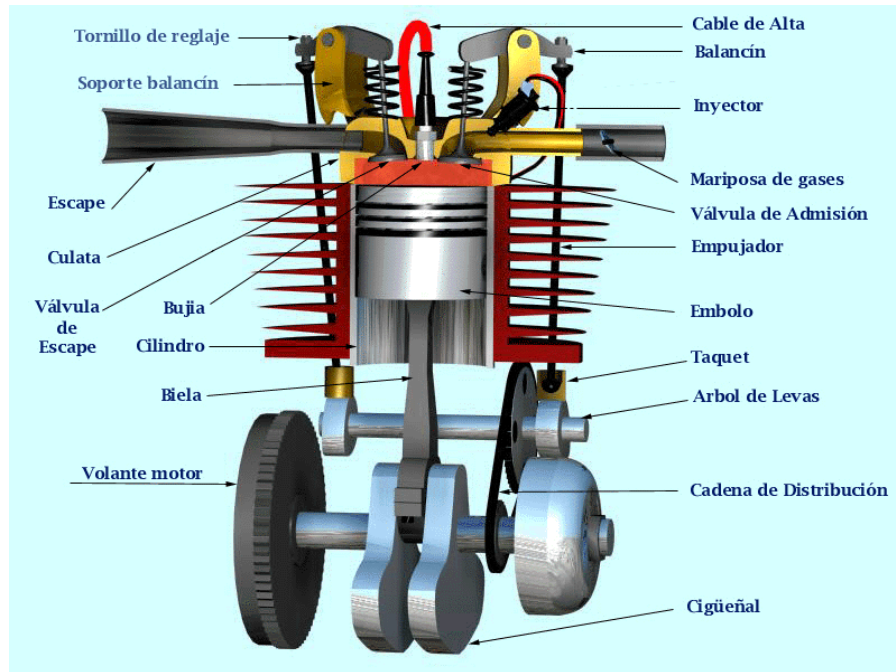


Figura 1 Primer Motor a Explosión

En Francia, por su parte, Étienne Lenoir, ideó una inteligente campaña publicitaria para vender por toda Europa un motor basado en una patente que había comprado a su inventor. La difusión que adquirió hizo que durante mucho tiempo este fuera considerado como el primer motor a explosión.

Pero Lenoir tuvo otro gran mérito: el de haber construido el primer automóvil con motor de gas y también la primera barca automóvil. Ello ocurrió en 1863.

Ambos modelos, ya perfeccionados y con funcionamiento a gasolina, fueron expuestos con notable interés en la Exposición de París en 1889. Recordemos que en dicha exposición se inauguró otro alarde de la ingeniería: la Torre Eiffel.



Figura 2 Primer Automóvil con Motor de Combustión Interna

Nicolás Augusto Otto, creador del motor de combustión interna. Escuchó de Etienne Lenoir, y trabajó con la idea de que el motor de Lenoir trabajaría mejor con combustible líquido en lugar de gaseoso.

Esta inspiración lo llevó a trabajar en la construcción de un carburador para alimentar su nueva pasión: un motor de dos ciclos, cuya producción se realizó con el apoyo del industrial Eugen Langen, y que ganó la medalla de oro en la Feria Mundial de París de 1867. La compañía fue nombrada "N.A. Otto & Cie", y fue la primera en el mundo en construir motores de combustión interna.

En mayo de 1876, Otto fabricó el primer motor de combustión interna de cuatro tiempos, del cual se fabricaron en los siguientes diez años más de 30.000 unidades, pero perdió la pelea por la patente cuando fue

adjudicada a Aphonse Beau de Rochas, un ingeniero francés que desde 1862 había presentado un diseño para un motor de cuatro ciclos, pero nunca fabricó ninguno.

Desde luego fue su nombre el que perduró. Los corazones de los autos son los sucesores del "motor Otto" como fue llamado con toda justicia³.

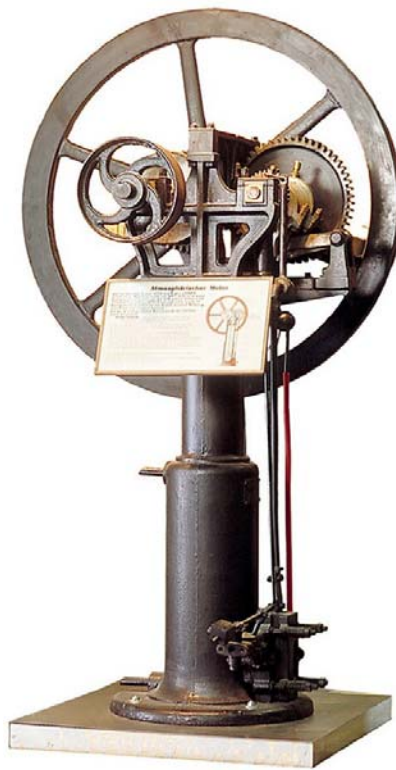


Figura 3 Motor de Otto, de combustión interna de dos ciclos.

³ www.breker.com/english/ottomotor.htm

2.3 Principios de Funcionamiento

El motor convencional de dos tiempos se caracteriza por su simplicidad de diseño debido a que todos los procesos son controlados por los bordes superior e inferior del pistón⁴.

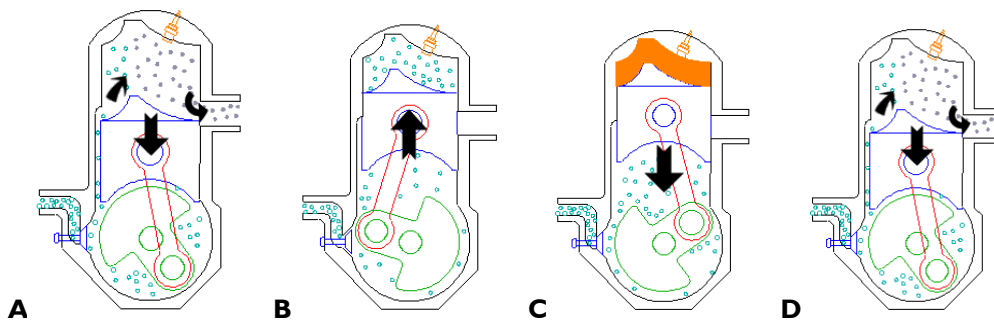


Figura 4 Principio de funcionamiento motores 2T

Los procesos del funcionamiento de un motor de dos tiempos de encendido por chispa en ciclo ideal son: Admisión (figura A), Compresión (B), Combustión, Expansión (C) y Escape (D); son los procesos que se desarrollan con la herramienta educativa informática, a través de cálculos matemáticos, gráficas y animaciones. Cada proceso comprende un análisis matemático teniendo en cuenta la manifestación de las siguientes suposiciones para la aproximación del fenómeno real⁵.

⁴ Colin R. Ferguson Internal Combustion Engines in Theory and Practice.

⁵ M.S, Jovac, Motores de Automovil, Editorial MIR, Moscú, 1982.

La transformación de energía calorífica y mecánica en el motor de combustión interna es un proceso complejo su realización en condiciones reales está ligada con el surgimiento de pérdidas adicionales no consideradas en la segunda ley de la termodinámica al examinar los ciclos termodinámicos se hacen las siguientes suposiciones:

- En el cilindro del motor se encuentra una cantidad constante e invariable de fluido operante que efectúa un ciclo cerrado. En la realidad para realizar el ciclo es indispensable eliminar del cilindro los gases quemados del ciclo anterior y asegurar el ingreso de una nueva carga fresca.
- El calor que se suministra desde el exterior durante un determinado periodo del ciclo es en realidad el que se obtiene como resultado en este ciclo de la reacción química del combustible con el oxígeno del aire. Es un proceso complejo y durante la reacción química no siempre el combustible se quema por completo.
- El calor específico del fluido operante que permanentemente se encuentra en el cilindro es constante y no depende de la temperatura. En la realidad el calor específico es magnitud variable en función de la temperatura.
- Los procesos de compresión y expansión transcurren sin intercambio de calor con el exterior (son procesos adiabáticos). En condiciones reales en estos procesos así como el intercambio de gases y la combustión se da lugar a que se pierda parte del calor.

El rendimiento del motor caracteriza el grado de utilización de calor en el mismo. En concordancia con la segunda ley de la termodinámica el rendimiento térmico para un ciclo teórico es:

$$\eta_t = \frac{W_{netosal}}{Q_{end}}$$

Ecuación 3 Eficiencia Térmica General

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{CR_t^{\gamma-1}}$$

$$\eta_t = \frac{\text{Trabajo producido por ciclo}}{\text{Calor suministrado por ciclo}}$$

Ecuación 4 Eficiencia Térmica

CICLO DE OTTO: (Ciclo Ideal) El **Ciclo Otto** es el ciclo ideal para las máquinas recíprocas con encendido por chispa. Su nombre en honor a Nikolaus A. Otto (1876 en Alemania construyó exitosa máquina recíproca), teniendo en cuenta las anteriores suposiciones. El ciclo consta de cuatro procesos:

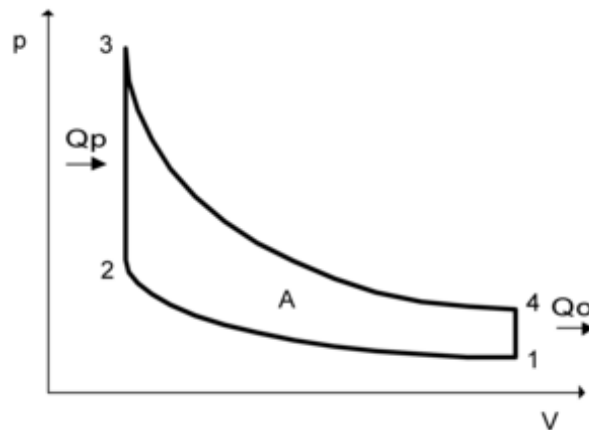


Figura 5 Ciclo Otto en función de la presión y el volumen

- 1-2: **Compresión** isentrópica
- 2-3: **Combustión**: Adición de Calor (Q) a V=CTE
- 3-4: **Expansión** isentrópica
- 4-1: **Admisión-Escape**: Intercambio de gases y Liberación de Calor (Q) a V=CTE

ADMISIÓN:

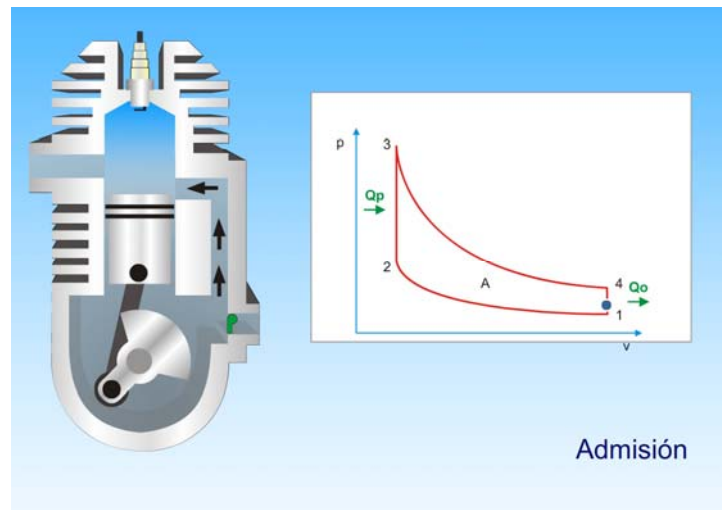


Figura 6 Proceso de Admisión

Para realizar el ciclo de trabajo en un motor de combustión interna recíprocante, es preciso expulsar del cilindro los productos de la combustión formados en el ciclo anterior e introducir en él la carga fresca (mezcla aire combustible). Por eso se debe analizar todo el complejo fenómeno del intercambio de gases.

La disminución de presión en el sistema de admisión y en el cilindro en realidad dependen de: el régimen de velocidad de motor, de las resistencias hidráulicas, del área por donde se desplaza la carga fresca, de su densidad.

La nomenclatura usada en el desarrollo de este análisis del Motor de dos Tiempos corresponde a la norma SAE J604d llamada "Engine Terminology and Nomenclatura". Así mismo el sistema usado es el Sistema Internacional (SI).

Partimos de las siguientes definiciones geométricas fundamentales para las respectivas operaciones.

Volumen de barrido:

Si el cilindro de un motor tiene un diámetro d_{bo} y una carrera L_{st} entonces el *volumen total de barrido*, V_{sv} de un motor con n cilindros está dado por⁶:

$$V_{sv} = n \frac{\pi}{4} d_{bo}^2 L_{st}$$

Ecuación 5 volumen total de barrido

Si el puerto de escape cierra en una distancia llamada la carrera de confinamiento, L_{ts} antes del punto muerto superior (tdc), entonces el *volumen de barrido confinado* de cualquier cilindro es:

⁶ Colin R. Ferguson Internal Combustion Engines in Theory and Practice.

$$V_{ts} = n \frac{\pi}{4} d_{bo}^2 L_{ts}$$

Ecuación 6 volumen de barrido confinado

El pistón se conecta al cigüeñal por medio de una biela de longitud

L_{cr} . El brazo del cigüeñal es por lo general la mitad de L_{cr} y se designa como L_{ct} . Lo mismo que en los motores de cuatro tiempos, las relaciones biela-cigüeñal están en el rango de 3.5 a 4.

Relación de compresión:

Todos los valores de las relaciones de compresión son la razón entre el máximo volumen en cualquier cámara de un motor y el mínimo volumen en dicha cámara. En el cárter esa razón es conocida como *la razón de*

compresión en el cárter, CR_{cc} y es definida por:

$$CR_{cc} = \frac{V_{cc} + V_{sv}}{V_{cc}}$$

Ecuación 7 la razón de compresión en el cárter

Donde V_{cc} es el volumen del cárter cuando el pistón está en el punto muerto inferior (bdc).

Mientras que es cierto que entre mayor sea este valor, mayor va a ser la acción de bombeo, el valor numérico actual está fijado por la geometría del motor o el diámetro, carrera, longitud de la biela-manivela y el valor interconectado del diámetro del volante. En términos

prácticos, es difícil ajustar el valor de CR_{cc} para un motor de 500 cm^3 con un valor menor a 1.55. Por lo tanto, para cualquier diseño de motor, las características del CR_{cc} están más influenciadas por el volumen de barrido que por el diseñador.

En estos motores de dos tiempos la presión de admisión en el cilindro es $P_a = 0,5(P_k + P_p)$, donde P_p es la presión en el sistema de escape y P_k es la presión en la entrada⁷.

COMPRESIÓN:

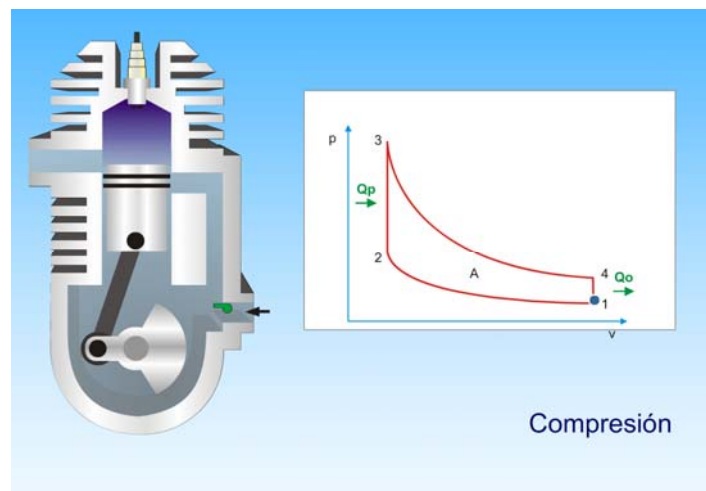


Figura 7 Motor en compresión

⁷ M. S. Jovac, Motores de Automóvil, Editorial MIR, Moscú, 1982, Pág. 81

El sistema de compresión es la estructura principal del motor e incluye las partes utilizadas para sellar la cámara de combustión, comprimir la mezcla aire/combustible y recibir la potencia que se genera al quemarse la mezcla. Los cilindros del motor están dispuestos en una pieza grande de hierro fundido, llamada bloque de cilindros, sobre ésta se encuentra la culata de cilindros que forma la parte superior de la cámara de combustión. Los pistones entonces, se ajustan a los cilindros formando la parte inferior de la cámara de combustión, ellos se encuentran conectados al cigüeñal por medio de la biela y su cojinete.

El cigüeñal, está montado sobre cojinetes en el fondo del bloque de cilindros, y se utiliza para recibir la potencia del motor durante la carrera correspondiente y mover los pistones hacia arriba y abajo durante las otras tres carreras. La compresión está sellada en el sistema en cinco puntos: en la cabeza de las dos válvulas, en las bujías, en la junta de la culata de cilindros y en los anillos de pistón.

Todos estos puntos de sellado son críticos, ya que cualquier pérdida de compresión significará una pérdida de potencia y la fuga de los gases de combustión durante la carrera de potencia. Con esta identificación de los componentes y las funciones de los sistemas veamos las partes una por una, como si estuviéramos armando el motor a partir de sus componentes.

El bloque de cilindros es el miembro estructural principal del motor. Generalmente está hecho de hierro fundido con los cilindros cuidadosamente mecanizados en forma cilíndrica y a escuadra con el cigüeñal. Otras partes del bloque de cilindros son los soportes del

motor, pasajes de agua y canales de lubricación. De hecho ha sido previsto para las partes de los siete sistemas del motor.

La información utilizada para analizar la compresión isentrópica se obtiene de la Tabla de Propiedades del gas ideal y del cálculo de la variación de presión entre los puntos de mayor volumen confinado hasta el punto de menor volumen confinado secuencialmente hasta inicio del proceso de combustión. (Ver Anexo S.)

En el cilindro, si el volumen de la cámara de combustión, V_{cv} sobre el pistón en tdc es conocido, entonces la relación de compresión

geométrica, CR_g está dada por:

$$CR_g = \frac{V_{sv} + V_{cv}}{V_{cv}}$$

Teóricamente, el proceso de compresión actual ocurre después de que el puerto de escape se ha cerrado, y la relación de compresión después de ese punto se vuelve más importante en términos de diseño. Esta es llamada la relación de compresión confinada, CR_t y se calcula:

$$CR_t = \frac{V_{ts} + V_{cv}}{V_{cv}}$$

Ecuación 8 relación de compresión confinada

$$\frac{1}{r} = \frac{v_f}{v_i} = \frac{v_{fr}}{v_{ir}} \quad \Rightarrow \quad \text{Hallamos } v_{rf}$$

⇒ Remitimos al Anexo S e interpolamos con este valor:

Con v_{rf} → hallamos T_f y U_f

$$\frac{P_f V_f}{T_f} = \frac{P_i V_i}{T_i} \rightarrow P_f = P_i \left(\frac{T_f}{T_i} \right) \left(\frac{V_i}{V_f} \right)$$

Ecuación 9 Del Gas Ideal

COMBUSTIÓN:

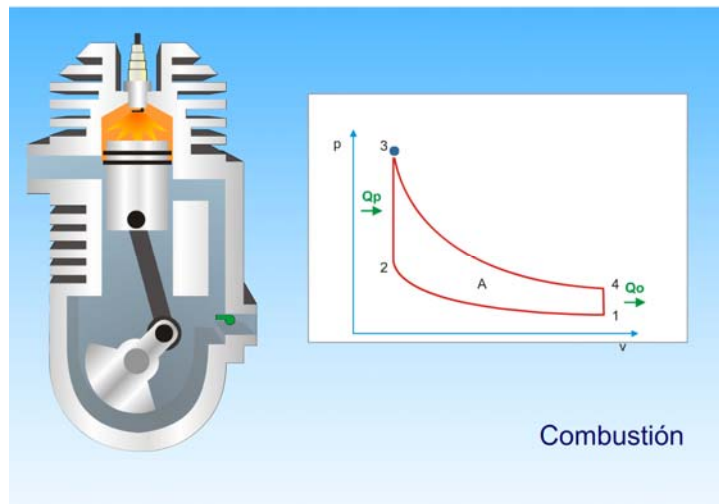


Figura 8 Proceso de Combustión

La explosión producida dependerá de la mezcla que entre de la compresión y del calado del encendido. Se puede jugar adelantando o atrasando el encendido para que la explosión comience a unos grados o a otros del tdc, lo normal es entre 15° o 20°, si se exceden estos

márgenes podemos hacer un agujero en la cabeza del pistón por exceso de temperatura.

La explosión no se produce instantáneamente si no que se inflama por capas y lo que empuja el pistón hacia abajo es la expansión de los gases que produce esta inflamación.

En un motor de cuatro tiempos se aprovecha toda esta expansión pero en un motor de dos tiempos no es así, ya que parte de la carrera que debería ser de expansión se utiliza para evacuar los gases, por lo tanto si tenemos una lumbrera de escape baja estaremos aprovechado más el combustible y la explosión en sí, pero la explosión no tiene la misma fuerza en su comienzo que al llegar al final de carrera por lo que una expansión aprovechada no indica mayor potencia, a bajo régimen si podemos tener beneficio de una distribución con pocos grados de escape (lumbrera baja) pero a alto régimen es preferible aprovechar la parte de la expansión más potente y utilizar el tiempo restante para la evacuación de los gases quemados.

Aplicando la 2ª Ley de la Termodinámica tenemos:

$$Q_{23} - W_{23} = U_3 - U_2$$

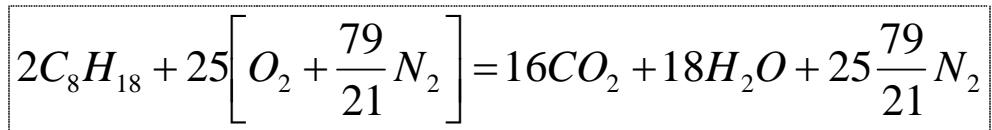
Ecuación 10 2a Ley de la Termodinámica

⇒ Hallamos U_3

⇒ Remitimos al Anexo s. Para tomar los datos de T_3 y V_{r3} .

Relación de aire-combustible:

Es importante darse cuenta aquí que hay estrechos límites de aceptabilidad para la combustión de aire y combustible, como gasolina ó diesel. En el caso de la gasolina, el combustible ideal es octano, C_8H_{18} el cual quema “perfectamente” con aire en una ecuación balanceada llamada la ecuación estequiométrica. Se sabe que ese aire está compuesto volumétrica y molecularmente por 21 partes de oxígeno y 79 partes de nitrógeno. Entonces, la ecuación completa de la combustión queda:



Ecuación 11 Combustión

Esto produce la información de que la *relación ideal de aire-combustible*, AFR, es que por cada dos moléculas de octano, se necesitan 25 moléculas de aire. Como normalmente es necesaria la información en términos de masa, entonces se toman los pesos moleculares del O_2 , H_2 N_2 como 32, 2 y 28, respectivamente, y el peso atómico del carbono C es 12, entonces:

$$AFR = \frac{25 \times 32 + 25 \times 28 \times \frac{79}{21}}{2(8 \times 12 \times 18 \times 1)} = 15.06$$

Ecuación 12 relación ideal de aire-combustible

Como la ecuación está balanceada, con la cantidad exacta de oxígeno siendo suministrada para transformar todo el carbono en dióxido de carbono y todo el hidrógeno en vapor, dicho proceso da los mínimos valores de monóxido de carbono, CO, y de hidrocarburos sin quemar, HC. Matemáticamente hablando son cero, y en la práctica ellos también están en un nivel muy bajo. Como esta ecuación también produce la máxima temperatura al final de la combustión, significa que da el valor más alto en las emisiones de NOx, varios óxidos de Nitrógeno. El nitrógeno y el oxígeno se combinan a altas temperaturas para producir gases como N_2O , NO , etc.

Tan profundo como los límites de la combustión lo permitan, es importante resaltar que la mezcla más rica de aire-combustible (para que encienda) tiene un AFR de 9, para obtener la máxima potencia de salida un $AFR \approx 13$, para obtener el pico de eficiencia térmica (ó mínimo consumo de combustible) un $AFR \approx 14$, y la mezcla más pobre posible (para que encienda) es para un $AFR \approx 18$. Las relaciones aire-combustible citadas son las correspondientes al momento de la combustión cuando la carga es homogénea, y se

pueden nombrar como *relaciones aire-combustible confinadas* AFR_t .

La relación aire-combustible derivada de la ecuación:

$$AFR = \frac{25 \times 32 + 25 \times 28 \times \frac{79}{21}}{2(8 \times 12 \times 18 \times 1)} = 15.06$$

Ecuación 13 relaciones aire-combustible confinadas

Es, más apropiadamente una relación de aire combustible confinada necesaria para obtener una combustión estequiométrica.

Condiciones de confinamiento:

Hay que darse cuenta que el efecto neto del proceso de barrido en el cilindro es llenarlo con una masa de aire m_{ta} , dentro de una masa total de carga, m_{tr} en el punto de confinamiento. Esta masa total es altamente dependiente de la presión de confinamiento, como la ecuación de estado muestra:

$$m_{tr} = \frac{P_{tr} V_{tr}}{R_{tr} T_{tr}}$$

Ecuación 14 Ecuación de estado

Donde:

$$V_{tr} = V_{ts} + V_{cv}$$

Ecuación 15 volumen confinado

En cualquier caso dado, el, V_{tr} es una constante. Esto también es cierto para la constante del gas, R_{tr} que es gas a las condiciones prevaletientes en el punto de confinamiento. La constante de gas para gas de escape, R_{ex} es casi idéntica al valor para aire R_a . Porque la composición del gas en el cilindro es en su mayoría aire, entonces el tratamiento de R_{tr} como R_a produce un error bastante pequeño. Para cualquier proceso de confinamiento, con cualquier tipo de barrido, el valor de la temperatura de confinamiento T_{tr} , raramente cambiará más de un 5%. Por lo tanto, es el valor de la presión de confinamiento, P_{tr} el que se convierte en la variable significativa. Como se estableció antes, el valor de la presión de confinamiento es directamente controlado por la dinámica de las ondas de presión del sistema de escape, sea cual sea el tipo de motor o el tipo de sistema de escape que posea.

El valor de la cantidad de combustible atrapado, m_{tf} puede ser determinado de:

$$m_{tf} = \frac{m_{ta}}{AFR_t}$$

Ecuación 16 El valor de la cantidad de combustible atrapado

Calor liberado durante el proceso de combustión:

El valor total de calor que podrá ser liberado de la combustión de una cantidad de combustible será Q_R :

$$Q_R = \eta_c m_{cf} C_{fl}$$

Ecuación 17 calor

Donde η_c es la *eficiencia de combustión* y C_{fl} es el *poder calorífico inferior* del combustible en cuestión.

Aplico la 2ª Ley de la Termodinámica y la del gas ideal para la obtención de la presión máxima. Ver Ecuaciones 8 y 9.

Para hallar $P_3 = \text{Presión máxima}$

$$Q_{R\theta} = \frac{dQ_R}{d\theta}$$

Ecuación 18 Rata de liberación de calor

$$\eta_c = \frac{\text{calor liberado por el combustible}}{\text{calor disponible en el combustible}}$$

Ecuación 19 Eficiencia de la combustión

$$\frac{\text{kg}}{\text{s}} = \text{bsfc} * W_b = \text{bsfc} * \text{bmep} * V_{SV} * \text{rps}$$

Ecuación 20 Combustible provisto

$$J = C_{fl} * \text{Combustible sumistrado} / \text{Ciclo}$$

Ecuación 21 Combustible provisto por ciclo

$$J = TE * \text{Energia de calor liberado} / \text{Ciclo}$$

Ecuación 22 Calor atrapado por ciclo

TE: Eficiencia de confinado

$$J = TE * C_{fl} * bsfc * bmep * V_{sv}$$

Ecuación 23 Calor disponible por ciclo,

EXPANSIÓN:

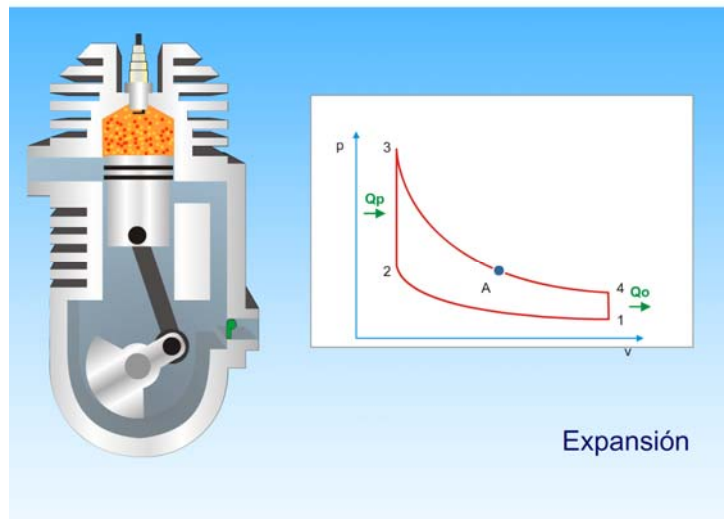


Figura 9 Expansión

Después de encendida la mezcla comprimida, libera energía química alcanzando altas presiones y temperaturas en el cilindro. El pistón se desplaza hacia abajo, realizando trabajo hasta que descubre la lumbrera de escape. Al estar a altas presiones, los gases quemados salen por este orificio.

El rendimiento de este motor es inferior con respecto al motor de 4 tiempos, ya que tiene un rendimiento volumétrico menor y el escape de gases es menos eficaz. También son más contaminantes. Por otro lado, suelen dar más potencia para la misma cilindrada, ya que este hace una explosión en cada revolución, mientras el motor de 4 tiempos hace una explosión por cada 2 revoluciones, y cuenta con más partes móviles.

Se analiza esta etapa como un proceso isentrópico de un gas ideal aplicando sus propiedades. Ver Ecuación 8 Ley Del Gas Ideal.

$$W = P \cdot dV \quad \text{Se requiere hallar } V_4$$

Con relación de compresión:

$$\frac{V_{r4}}{v_{r3}} = \frac{V_4}{v_3} = r$$

$$\Rightarrow V_{r4} = v_{r3} * r$$

Según interpolación en Anexo S teniendo en cuenta los valores de T, U y V se obtiene T_4 y U .

Los valores de los parámetros del proceso para motores de dos tiempos son:

Tabla 1 De Parámetros

n_2	P_b, MP_a	T_b, K
1,23-1,30	0,35-0,50	1200-1500
1,28-1,28	0,20-0,40	1000-1200

ESCAPE:

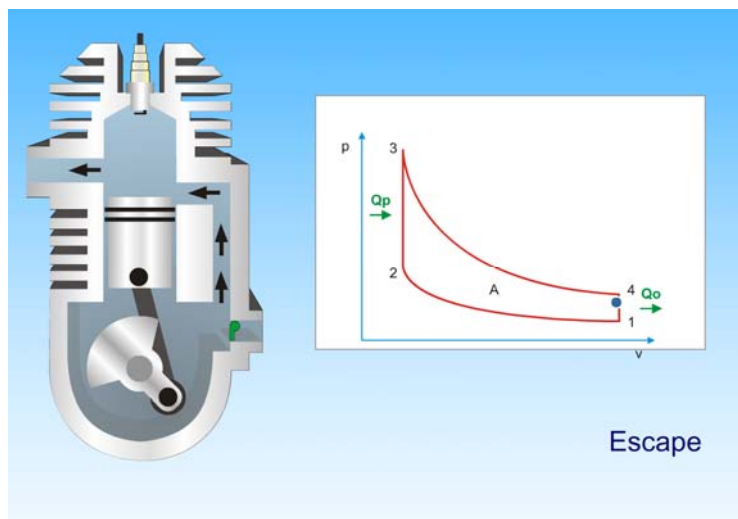


Figura 10 Escape

La distribución en el motor 2T se realiza por lumbreras realizadas en las paredes del cilindro, la altura de estas lumbreras indica el tiempo en que estarán abiertas o cerradas.

Una vuelta completa del cigüeñal son 360° , estos grados se reparten en los tiempos necesarios para realizar un ciclo; la razón por la que los grados de escape tienen tanta importancia es porque regulan la evacuación de los gases quemados. Una lumbrera de escape debe

tener un área y una duración determinada al régimen de giro en el que se usa el motor, por lo tanto si tenemos una lumbrera para bajos tendremos una lumbrera con una duración corta y con una área moderada para aprovechar toda la expansión de los gases y para retener los gases frescos que empujan a los quemados; si queremos un motor que entregue la potencia arriba necesitamos sacrificar la parte menos potente de la expansión para tener una mayor duración del tiempo de escape y así poder evacuar todos los gases quemados en el menor tiempo posible; si tenemos una buena evacuación de los gases quemados tenemos más sitio para la mezcla fresca y el motor dispondrá de un mayor par en estos regímenes perdiendo potencia a regímenes bajos.

Esto no depende solo de la lumbrera de escape si no también influye notablemente la lumbrera de admisión o transfer, estas lumbreras están dirigidas de modo que echan los gases quemados hacia fuera del cilindro. Hay dos tipos de barridos: Transversal que es dirigiendo un transfer desde el lado opuesto del de escape hacia la bóveda y otro que se llama Barrido en lazo que consta de 2 o más transfers laterales que dirigiendo su flujo hacia el lado opuesto del escape para forzar a los gases quemados a salir dejando sitio a los frescos, la distribución se suele nombrar por los grados y siempre van pares por ejemplo 185/125, suelen tener una diferencia entre sí de 60 grados que es un término medio entre un motor progresivo y un motor puntiagudo, es decir, la diferencia de grados influye en que si tenemos mas grados de admisión ésta empezará antes y se mantendrá mas tiempo abierta que si tuviéramos pocos, esto creará un efecto que a bajo régimen puede ser perjudicial ya que la precomprensión es insuficiente y no barrerá con

fuerza pero a alto régimen será beneficioso por tener un mayor llenado del cilindro. Si queremos un motor puntiagudo tendremos que dar menos diferencia de grados pero por lo general se utiliza un término medio fijado en 60.

Aplicando la 2ª Ley de la Termodinámica según la Ecuación 9

Este es un proceso de liberación de calor al ambiente a volumen constante o cuasi variable (si deseamos acercarnos al ciclo real).

2.3.1 Análisis Cinemático

El movimiento del pistón se transforma en movimiento circular del cigüeñal gracias a un sistema biela – manivela – corredera.

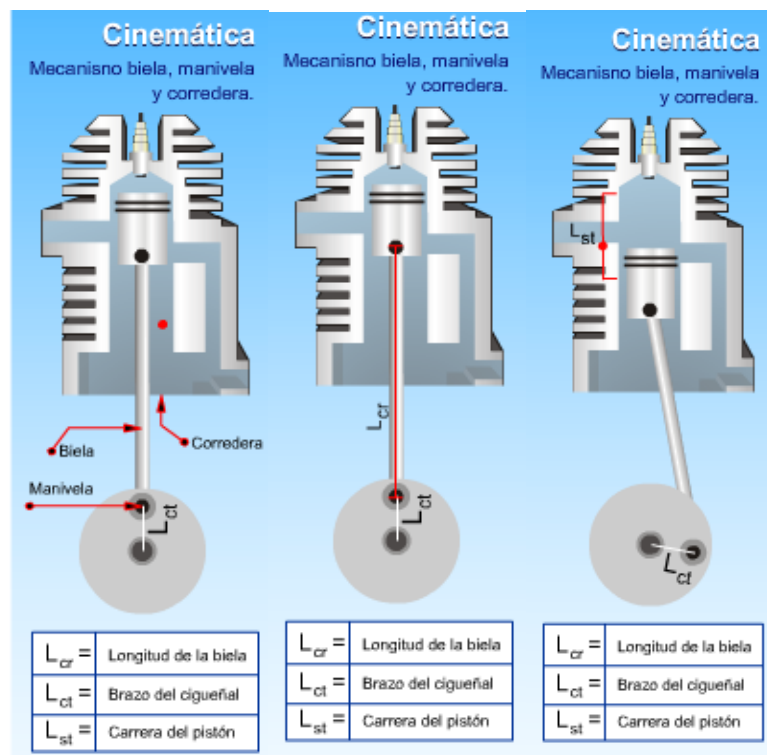


Figura 11 Sistema biela - manivela.

Para determinar la velocidad y la aceleración del pistón es necesario determinar en primer lugar la ecuación de posición del pistón en función del ángulo girado por el cigüeñal.

Para ello si:

L_{cr} : longitud de la biela.

L_{ct} : radio de la manivela.

L_{st} : carrera del pistón.

X : posición del pistón referida al punto muerto superior.

θ : Ángulo girado por el cigüeñal contado desde el punto muerto superior.

β : Ángulo que forma la biela con el eje del cilindro.

Se puede obtener observando la figura anterior que:

$$x = r \cdot (1 - \cos \theta) + l \cdot (1 - \cos \beta)$$

Ecuación 24 posición del pistón en función del ángulo girado por el cigüeñal

En la expresión anterior el desplazamiento del pistón x se expresa en función de β y de θ , por lo que para calcularlo sólo en función del ángulo girado por el cigüeñal, es necesario proceder como se presenta a continuación:

Por tener un lado común los triángulos cuyas hipotenusas son la biela y la muñequilla de cigüeñal, se puede establecer que:

$$r \cdot \text{sen} \theta = l \cdot \text{sen} \beta \Rightarrow \text{sen} \beta = \frac{r \cdot \text{sen} \theta}{l}$$

Llamando λ a la relación entre la longitud de la manivela y la de la biela, que en los motores actuales es del orden de 0.33, se tiene que:

$$\lambda = \frac{r}{l} \Rightarrow \text{sen} \beta = \lambda \cdot \text{sen} \alpha \Rightarrow \beta = \arcsen(\lambda \cdot \text{sen} \theta)$$

De la expresión anterior se obtiene β para cada posición de la manivela.

Como: $\cos \beta = \sqrt{1 - \text{sen}^2 \beta}$ sustituyendo $\text{sen} \beta$ por su valor en función de θ , se tiene que:

$$\cos \beta = \sqrt{1 - \lambda^2 \cdot \text{sen}^2 \theta}$$

Sustituyendo este valor se tiene la expresión del desplazamiento del pistón en función del ángulo girado por la manivela, cuya ecuación es la que se presenta a continuación:

$$x = r \cdot (1 - \cos \theta) + l \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \lambda^2 \cdot \text{sen}^2 \theta}\right)$$

Ecuación 25 desplazamiento del pistón en función del ángulo girado por la manivela.

La representación gráfica de la ecuación anterior en unos ejes cartesianos en los que en abscisas se tome el ángulo girado por el cigüeñal y en ordenadas el valor del desplazamiento angular del pistón, ofrece una gráfica como la que se presenta a continuación:

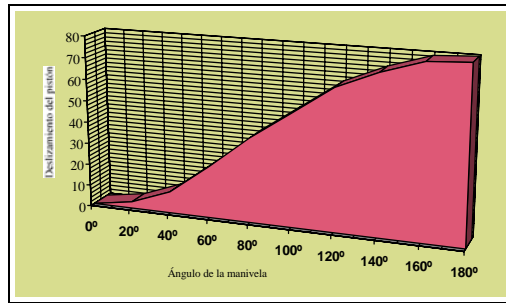


Figura 12 Diagrama de desplazamiento del pistón.

De la observación del diagrama anterior se desprende que para un movimiento angular de la manivela $\theta = 90^\circ$, el pistón recorre una longitud mayor que la mitad de la carrera. Esto significa que, si la velocidad de giro del cigüeñal es constante, para recorrer la primera mitad de la carrera el motor emplea un tiempo menor que para recorrer la segunda mitad.

Se puede demostrar analíticamente que, en el instante que el pistón recorre la mitad de la carrera, la biela y la manivela están formando noventa grados.

La velocidad se calcula mediante la expresión: $V = dx/dt$ es decir, hallando la derivada del espacio con respecto al tiempo. La expresión hallada anteriormente Ecuación 16.

También puede expresarse, teniendo en cuenta que:

$$l = \frac{r}{\lambda} \Rightarrow \text{Como sigue:}$$

$$x = r \cdot \left[(1 - \cos \theta) + \frac{1}{\lambda} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \lambda^2 \cdot \text{sen}^2 \theta} \right) \right]$$

Como x está expresada en función θ , y hay que calcular su derivada respecto al tiempo se debe expresar:

$$V = \frac{dx}{dt} = \frac{dx}{d\theta} \cdot \frac{d\theta}{dt}$$

Considerando la velocidad angular del cigüeñal constante, se tiene que:

$$\omega = \frac{d\theta}{dt}$$

Por lo que se puede expresar que:

$$V = r \cdot \left(\text{sen}\theta + \frac{1}{\lambda} \cdot \frac{\lambda^2 \cdot 2 \cdot \text{sen}\theta \cdot \text{cos}\theta}{2 \cdot \sqrt{1 - \lambda^2 \cdot \text{sen}^2\theta}} \right) \cdot \omega$$

Expresión en la que la velocidad angular del motor ω se expresa en rad/s.

Como r es mucho más pequeño que l y como $\text{sen}^2\theta$ tiene como valor máximo la unidad es posible, sin cometer gran error, despreciar el término $\lambda^2 \cdot \text{sen}^2\theta$, por lo que la expresión $\sqrt{1 - \lambda^2 \cdot \text{sen}^2\theta}$ puede considerarse que tiende a 1. Por tanto, la velocidad del pistón puede calcularse mucho más fácilmente, de forma aproximada, mediante la expresión:

$$V = \omega \cdot r \cdot (\text{sen}\theta + \lambda \cdot \text{sen}\theta \cdot \text{cos}\theta)$$

Ecuación 26 velocidad del pistón

Como: $\text{sen}\theta \cdot \text{cos}\theta = \frac{\text{sen}2\theta}{2}$

Se puede expresar la velocidad mediante la ecuación:

$$V = \omega \cdot r \cdot \left(\text{sen } \theta + \frac{\lambda}{2} \cdot \text{sen } 2\theta \right)$$

Si en unos ejes cartesianos en los que se toman en abscisas el ángulo girado por el cigüeñal y en ordenadas la velocidad del pistón, la representación gráfica de la expresión no simplificada de la velocidad ofrece una gráfica como la que se representa en la siguiente figura:

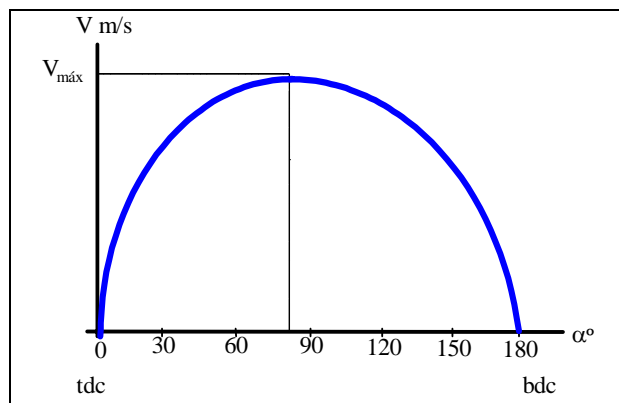


Figura 13 Diagrama de la velocidad del pistón.

La observación de la figura anterior indica que, tanto en el punto muerto superior (tdc) como en el inferior (bdc), la velocidad del pistón es nula, y que, a partir del punto muerto superior, aumenta hasta llegar a un valor máximo que coincide con el instante en el que biela y manivela son perpendiculares, disminuyendo a continuación hasta que en el punto muerto inferior se hace de nuevo nula.

Estas variaciones de la velocidad indican la existencia de aceleraciones **a** cuyo valor vendrá dado por la derivada de la velocidad respecto al tiempo:

$$a = \frac{dV}{dt}$$

Como la expresión de la velocidad es función del ángulo girado por el cigüeñal, para poder derivar en función del tiempo se recurre a considerar:

$$a = \frac{dV}{dt} = \frac{dV}{d\theta} \cdot \frac{d\theta}{dt}$$

Y como se expresó anteriormente:

$$\omega = \frac{d\theta}{dt}$$

Derivando se llega a que:

$$a = \omega^2 \cdot r \cdot (\cos \theta + \lambda \cdot \cos 2\theta)$$

Ecuación 27 aceleración del pistón

La representación gráfica, en unos ejes cartesianos en los que se toma en abscisas el valor del ángulo girado por el cigüeñal y en ordenadas el de la aceleración del pistón, ofrece una gráfica como la que se representa a continuación⁸:

⁸ Ecuaciones Diferenciales con Aplicaciones de Modelado. D.G.Zill. International Thomson Editors. 1997

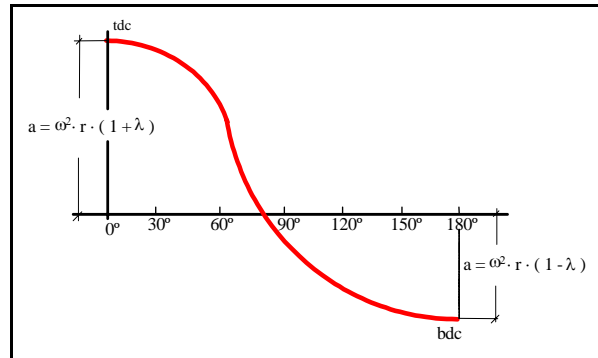


Figura 14 Diagrama de la aceleración del pistón en función de los ángulos de rotación de la manivela.

El análisis de la gráfica anterior indica que:

- El valor de la aceleración es nulo cuando es máxima la velocidad del pistón, instante que coincide cuando biela y manivela son perpendiculares.
- La aceleración tiene un máximo en el punto muerto superior (tdc), que corresponde con $\theta = 0$, cuyo valor es:

$$a = \omega^2 \cdot r \cdot (1 + \lambda)$$

Ecuación 28 Aceleración Máxima

- La aceleración tiene un mínimo en el punto muerto inferior, que corresponde $\theta = 180$, en el cual se tiene $\cos \alpha = 1$ y $\cos 2\alpha = -1$, cuyo valor es:

$$a = -\omega^2 \cdot r \cdot (1 - \lambda)$$

Ecuación 29 Aceleración Mínima

2.3.2 Análisis Dinámico.

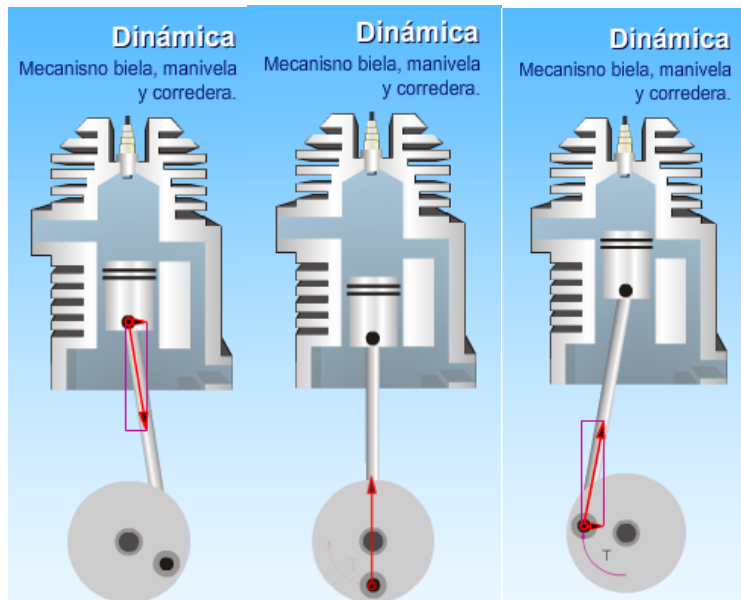


Figura 15 Análisis Dinámico

Las variaciones en la aceleración del pistón, generan en el motor fuerzas variables y, por tanto, vibraciones indeseables, las cuales es preciso considerar.

El cálculo de las fuerzas de inercia que se generan se puede hacer mediante la segunda ley de Newton:

$$\mathbf{F} = -\mathbf{m} \cdot \mathbf{a}$$

Ecuación 30 Segunda Ley de Newton

Expresión en la que **m** es la masa y **a** la aceleración.

En el sistema biela- manivela hay partes que están claramente sometidas al movimiento alterno estudiado, como son el pistón, los segmentos, el bulón y el pie de biela, y otras, como son la manivela, el pie de biela, los brazos de la muñequilla del cigüeñal y los cojinetes que giran con ella que están sometidas a una fuerza centrífuga expresada mediante la ecuación:

$$F_c = m_c \cdot \omega^2 \cdot r_c$$

Ecuación 31 fuerza centrífuga

Expresión en la que ω representa la velocidad angular, m_c es la masa dotada de movimiento centrífugo y r_c es la distancia desde su centro de gravedad al eje de giro.

Para calcular la fuerza de inercia y la fuerza centrífuga es necesario aclarar cuales son las masas dotadas de movimiento alterno y cuales las dotadas de movimiento circular, m_a y m_c respectivamente.

La única duda la ofrece la biela, ya que se puede considerar que parte de ella está sometida a movimiento alterno y que la parte restante se mueve con movimiento circular.

Como norma se considera que un tercio de su masa se mueve con la cabeza y los dos tercios restantes con el pie.

Se consideran, con aproximación más que suficiente, concentradas sobre el pistón:

Pistón completo con sus segmentos.

Bulón del pistón y partes externas.

Pie de la biela y dos tercios de la caña.

Se consideran concentradas sobre la muñequilla del cigüeñal:

Manivela con sus brazos.

Cabeza de biela completa y un tercio de la caña.

Las fuerzas alternas actúan según el eje del cilindro.

Las fuerzas centrífugas actúan pasando constantemente por el centro de giro del cigüeñal.

En la ecuación de Newton, sustituyendo a por la expresión hallada, se tiene la fuerza de inercia debida a las masas alternas, o fuerza alterna de inercia:

$$F_a = -m_a \cdot \omega^2 \cdot r \cdot (\cos \theta + \lambda \cdot \cos 2\theta)$$

Ecuación 32 fuerza de inercia debida a las masas alternas

La expresión anterior tiene dos sumandos: uno de valor $m_a \cdot \omega^2 \cdot r \cdot \cos \theta$, que se denomina *fuerza alterna de inercia de*

primer orden, y otro, de valor $m_a \cdot \omega^2 \cdot r \cdot \lambda \cdot \cos 2\theta$, que se denomina *fuerza alterna de inercia de segundo orden*.

La representación gráfica de ambos sumandos en unos ejes cartesianos en los que se tomen en el eje de abscisas los valores del ángulo girado por el cigüeñal y en ordenadas los valores de las fuerzas alternas de inercia de primero y segundo orden se tiene una gráfica como la que se representa en la figura siguiente:

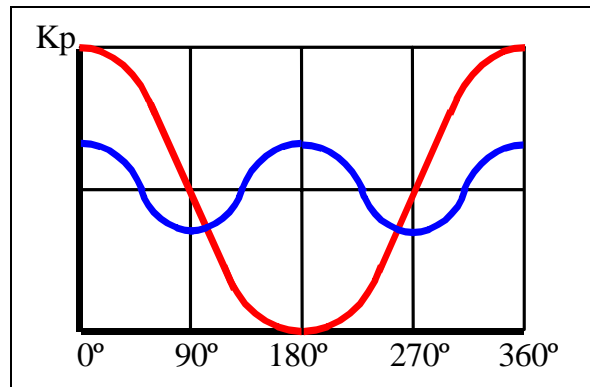


Figura 16 Fuerzas alternas de 1° y 2° orden.

Las fuerzas alternas de inercia son causa de vibraciones en los motores. Para comprender lo que se ha expuesto, se ha representado en unos ejes cartesianos, tomando en abscisas el ángulo girado por el cigüeñal y en ordenadas la resultante de las fuerzas alternas de inercia y de las debidas a la presión del gas de un motor monocilíndrico de 4 tiempos. Para hacerlo se han considerado positivas las fuerzas cuya resultante coincide con el movimiento del pistón, y *negativas*, en el caso contrario.

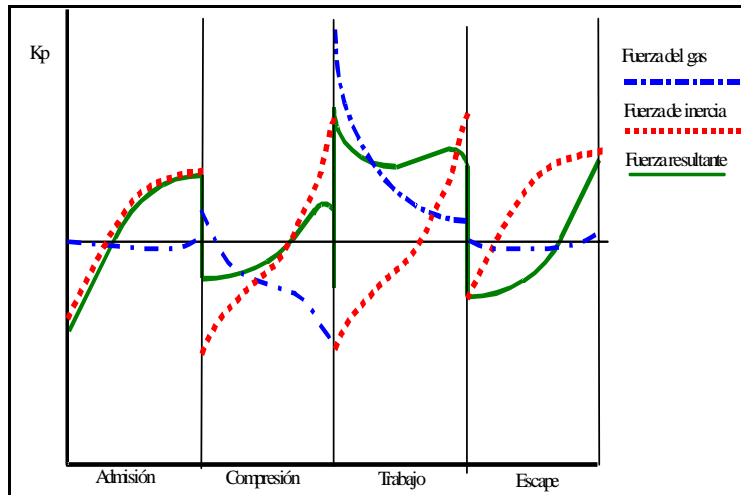


Figura 17 Influencia de las variaciones del régimen sobre el diagrama resultante.

Es lógico que en la gráfica anterior aparezca reflejado que en la carrera de admisión, la fuerza de inercia es mucho mayor que la originada por la depresión que se produce en el interior del cilindro, necesaria para que se llene de gases frescos. Que en la compresión la fuerza de más importancia sea la debida al gas. Que durante la carrera de trabajo la fuerza de inercia se opone a la de los gases, y que durante el escape, como la fuerza debida a los gases es tan sólo la necesaria para su circulación, ésta es mínima en comparación con la fuerza alterna de inercia.

También es lógico que, a bajo régimen, las fuerzas más importantes sean las debidas al gas. Que a régimen de crucero las fuerzas de inercia alcancen valores importantes respecto a las debidas a la presión del gas, y que a alto régimen las fuerzas de inercia sean las de más importancia.

Esto explica que las partes dotadas de movimiento alterno deban ser muy livianas, para que la velocidad de rotación pueda alcanzar valores altos sin que aparezcan tensiones capaces de producir roturas en los elementos del motor⁹.

EQUILIBRADO DEL MOTOR

Las fuerzas alterna y centrífuga de los órganos en movimiento y la debida a las presiones del gas, dan origen a fuerzas y a momentos que actúan sobre la estructura del motor.

Como dichas fuerzas y momentos son variables en el tiempo, si no se realiza su equilibrado, aparecerán vibraciones indeseables, que además de hacer más incómoda su utilización, generarán averías por la aparición de fatigas en sus elementos.

Con el equilibrado del motor se busca anular la resultante de las referidas fuerzas y momentos.

El equilibrio de las fuerzas centrífugas se realiza considerando el cigüeñal como un eje que lleva, a una distancia r de su eje de rotación, las masas centrífugas.

⁹ Difference Scheme for Numerical Computation of Discontinuous Solution of Equations of Fluid Dynamics. S.K Gudonov. 1959

Su equilibrado se consigue cuando lo esté tanto estática como dinámicamente.

El cigüeñal está *equilibrado estáticamente* cuando su baricentro se halla sobre el eje de rotación, lo que en la práctica se da cuando apoyado en dos puntos no tenga tendencia a moverse.

En el caso del cigüeñal de un motor monocilíndro al no estar equilibrado estáticamente precisa de contrapesos. Para ello se colocan dos masas m_{c1} cuyo centro de gravedad está situado a una distancia r_{c1} y r_{c2} del eje de giro que cumplen que:

$$m_{c1} \cdot r_{c1} + m_{c2} \cdot r_{c2} = m_c \cdot r$$

Ecuación 33 Sumatoria de Momentos

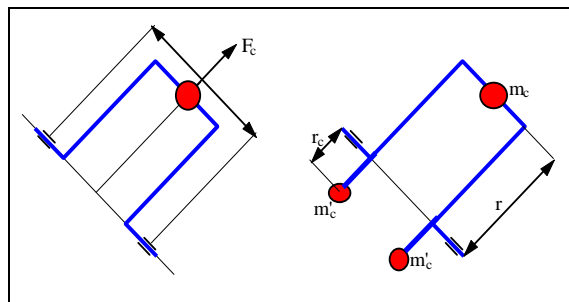


Figura 18 Equilibrado de un motor monocilíndrico.

En el caso de un motor de dos cilindros, cuyo cigüeñal tenga una forma como la representada en la figura siguiente, el equilibrio estático no precisa contrapesos.

El cigüeñal está *equilibrado dinámicamente* cuando es nula la resultante de los momentos generados por las fuerzas centrífugas tomados con respecto a un punto cualquiera del eje.

Si se considera el cigüeñal de un motor de dos cilindros, como se representa en la figura siguiente, es evidente que sus momentos estáticos respecto al eje de rotación están en equilibrio, pero haciendo girar el cigüeñal se produce en cada manivela, una fuerza centrífuga y como estas dos fuerzas centrífugas no están sobre la misma línea, sino que están separadas estará sometido a un momento no equilibrado. Por consiguiente, están satisfechas las condiciones de equilibrio estático, pero no lo están de equilibrio dinámico.

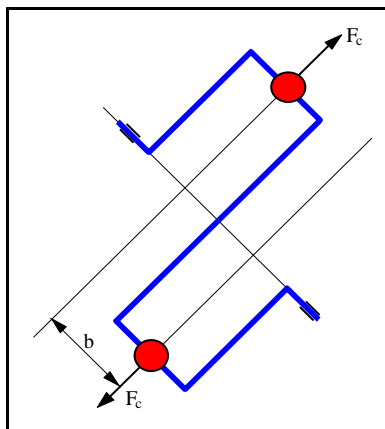


Figura 19 Motor con dos cilindros.

En la práctica cuando los cigüeñales tienen un número de manivelas par y superior a dos, estarán equilibrados dinámicamente cuando, conseguido el equilibrio estático, admiten un plano de simetría perpendicular al eje de rotación. Si esta condición no se da, puede lograrse mediante contrapesos.

Es evidente que los cigüeñales que tienen un número de manivelas impar, sólo pueden equilibrarse con la ayuda de contrapesos.

La fuerza alterna de inercia, como ha sido expuesto, está dirigida según el eje del cilindro y puede considerarse como la suma de la fuerza alterna de primer orden y la fuerza alterna de segundo orden.

La fuerza alterna de inercia de primer orden, $F'_a = m_a \cdot \omega^2 \cdot \cos \theta$ puede ser considerada como la proyección sobre el eje del cilindro de una fuerza centrífuga de valor $m_a \cdot \omega^2 \cdot r$, generada por una masa m_a , igual a la masa alterna y puede ser equilibrada con los métodos usados para la fuerza centrífuga.

Por tanto, esta fuerza se podría equilibrar haciendo girar dos masas de valor $m_a / 2$ cuyo centro de gravedad estuviera a una distancia r de su eje de giro, sincronizadamente con el cigüeñal, de manera que la resultante de sus fuerzas centrífugas fuese nula según su componente

en la perpendicular al eje del cilindro e igual y opuesta a la fuerza alterna de inercia de primer orden.

De igual modo, la fuerza alterna de segundo orden, cuyo valor se obtiene mediante la expresión $F_a'' = -m_a \cdot \omega^2 \cdot r \cdot \lambda \cdot \cos 2\theta$, puede ser imaginada como la proyección sobre el eje del cilindro de una fuerza centrífuga, $m_a \cdot \omega^2 \cdot r \cdot \lambda$ originada por una masa cuya velocidad de giro es el doble de la de la fuerza de primer orden, y podría ser equilibrada de forma semejante a como ha sido expuesto, mediante contrapesos girando con doble velocidad angular que el cigüeñal.

En la práctica las fuerzas alternas de inercia no se equilibran, pues los efectos de las vibraciones que generan en la estructura del motor no son suficientemente importantes como para montar los referidos contrapesos.

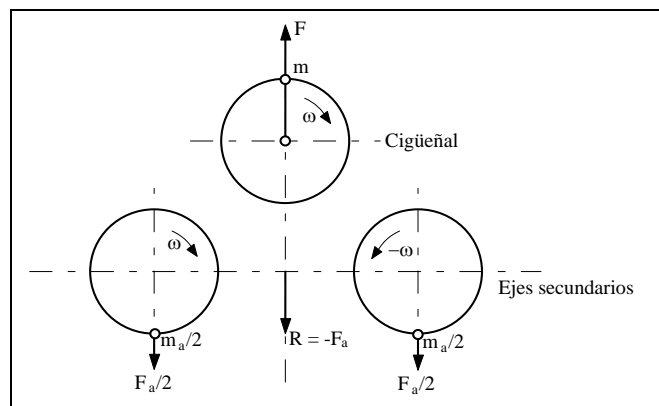


Figura 20 Equilibrado de una fuerza de 1º orden con dos fuerzas centrífugas.

Par Motor

La fuerza resultante según el eje del cilindro que actúa sobre el pistón, suma de la fuerza alterna de inercia y de la fuerza del gas, puede descomponerse en dos fuerzas, F_b una que actúa según la biela y F_n otra que actúa normal a la pared del cilindro.

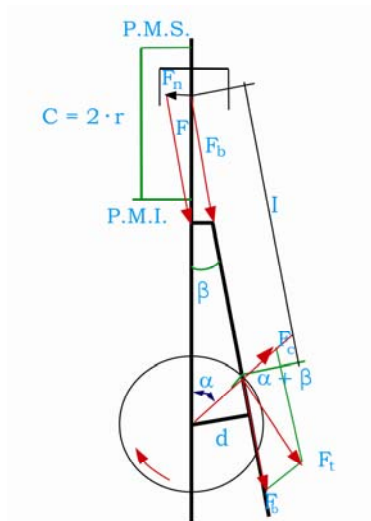


Figura 21 Descomposición de la fuerza resultante para el cálculo del momento motor.

Los valores de dichas fuerzas son:

$$F_b = \frac{F}{\cos \beta}$$

Ecuación 34 Fuerza que Actúa Según la Biela

$$F_n = F \cdot \operatorname{tg} \beta$$

Ecuación 35 Fuerza que Actúa Normal a la Pared del Cilindro

La fuerza F_b es la causa de la pérdida de potencia por rozamiento del pistón contra las paredes del cilindro y la que genera su desgaste.

Es la fuerza F_b la que, al ser transmitida por la biela, actúa sobre la manivela y sobre el eje del cigüeñal origina un par motor M dado por:

$$M = F_b \cdot d$$

Como:

$$d = r \cdot \text{sen}(\theta + \beta)$$

Se tiene:

$$M = \frac{F}{\cos \beta} \cdot r \cdot \text{sen}(\theta + \beta) \Rightarrow$$

$$M = F \cdot r \cdot \left[\text{sen} \theta + \cos \theta \frac{\text{sen} \beta}{\cos \beta} \right]$$

Como:

$$\text{sen} \beta = \lambda \cdot \text{sen} \theta \Rightarrow \cos \beta = \sqrt{1 - \lambda^2 \cdot \text{sen}^2 \theta}$$

Resulta la expresión:

$$M = F \cdot r \cdot \left[\text{sen} \theta + \frac{\lambda \cdot \text{sen} \theta \cdot \cos \theta}{\sqrt{1 - \lambda^2 \cdot \text{sen}^2 \theta}} \right]$$

Y despreciando el término $\lambda^2 \cdot \text{sen}^2 \theta$, se tiene:

$$M = F \cdot r \cdot \left[\text{sen} \theta + \frac{\lambda}{2} \cdot \text{sen} 2\theta \right]$$

Ecuación 36 Torque

Representando en un par de ejes cartesianos, colocando en abscisas el ángulo α girado por el cigüeñal y en ordenadas el par motor ofrecido, en un motor monocilíndrico de cuatro tiempos se tiene una gráfica semejante a la que se presenta a continuación.

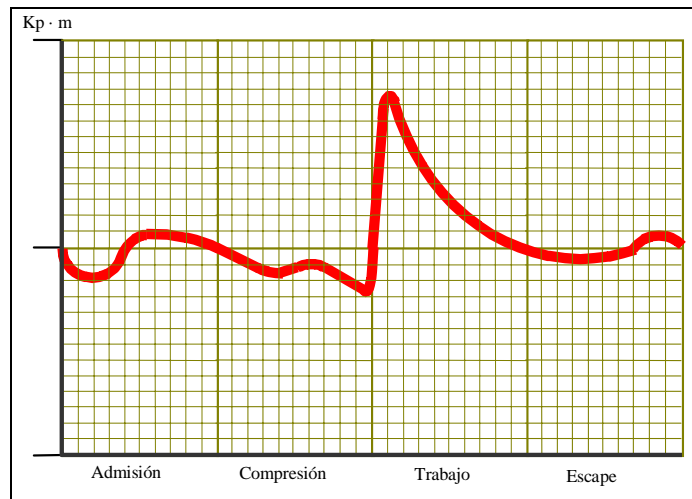


Figura 22 Diagrama de par motor para un monocilindro.

Su forma pulsante, si no se compensa mediante sistema capaz de acumular los excesos de energía y restituirla cuando es necesaria, puede ser causa de irregularidad de marcha y de vibraciones. Esto se evita con el denominado volante de inercia.

2.3.3 Análisis Termodinámico

Las siguientes definiciones de términos termodinámicos son usadas en conexión con el diseño y prueba de motores.

Relación de barrido y relación de entrega:

En la etapa de Transferencia de carga fresca en la operación del motor de dos tiempos, el cilindro ha experimentado un proceso de barrido en

el que una masa de carga fresca, m_{as} ha sido suministrada a través del cárter desde la atmósfera. Midiendo la presión y temperatura ambiente p_{at} y T_{at} , la densidad del aire, ρ_{at} será encontrada de la

ecuación de estado, donde R_a es la constante de gas para el aire:

$$\rho_{at} = \frac{p_{at}}{R_a T_{at}}$$

Ecuación 37 densidad del aire

La *relación de entrega*, DR, del motor define la masa de aire suministrado durante el periodo de barrido como una función de una

masa de referencia, m_{dref} la cual es la masa requerida para llenar el volumen de barrido bajo las condiciones atmosféricas prevaecientes:

$$m_{dref} = \rho_{at} V_{sv}$$

Ecuación 38 Masa de Referencia volumen de barrido bajo

$$DR = \frac{m_{as}}{m_{dref}}$$

Ecuación 39 La relación de entrega

La *relación de barrido*, SR, de un motor con aspiración natural define la masa de aire suministrado durante el periodo de barrido como una función de la masa de referencia, m_{sref} la cual es la masa que puede llenar el volumen total del cilindro bajo las condiciones atmosféricas prevaletientes:

$$m_{sref} = \rho_{at} (V_{sv} + V_{cv})$$

Ecuación 40 Masa de Referencia volumen total

$$SR = \frac{m_{as}}{m_{sref}}$$

Ecuación 41 La relación de barrido

Eficiencia de barrido y pureza:

Para un proceso de barrido perfecto lo mejor que se puede obtener es que la *eficiencia de barrido*, SE, sea igual a la relación de barrido, SR.

La eficiencia de barrido es definida como la masa de aire entregado que está atrapado, m_{tas} en comparación con la masa total de carga, m_{tr} retenida al cerrar el puerto de escape. La carga atrapada está compuesta solo por carga fresca atrapada, m_{tas} gas de escape, m_{ex} y aire sin quemar que quedó del ciclo anterior, m_{ar} donde:

$$m_{tr} = m_{tas} + m_{ex} + m_{ar}$$

Ecuación 42 masa total de carga

Por lo tanto, la eficiencia de barrido, SE, define la efectividad del proceso de barrido, como puede ser visto a continuación:

$$SE = \frac{m_{tas}}{m_{tr}} = \frac{m_{tas}}{m_{tas} + m_{ex} + m_{ar}}$$

Ecuación 43 eficiencia de barrido

Sin embargo, el proceso de combustión subsecuente se producirá entre todo el aire en el cilindro y todo el combustible suministrado a ese cilindro, y es importante definir la pureza de la carga atrapada en su totalidad. La pureza de la carga atrapada, Π es definida como la razón entre el aire atrapado en el cilindro antes de la combustión, m_{ta} y la masa total de la carga del cilindro, donde:

$$m_{ta} = m_{tas} + m_{ar}$$

Ecuación 44 masa total de la carga del cilindro

$$\Pi = \frac{m_{ta}}{m_{tr}}$$

Ecuación 45 La pureza de la carga atrapada

Normalmente se asume que m_{ar} es cero para motores encendidos por chispa si el proceso de combustión no es estratificado. Para motores Diesel ó encendidos por chispa con combustión estratificada $m_{ar} \neq 0$.

Eficiencia de confinamiento:

La eficiencia de confinamiento, TE, es la razón entre el aire entregado que ha sido atrapado, m_{tas} y el aire suministrado, m_{as} entonces:

$$TE = \frac{m_{tas}}{m_{as}}$$

Ecuación 46 Eficiencia de Confinamiento

La expansión de la ecuación anterior da como resultado:

$$TE = \frac{m_{tr} SE}{m_{sref} SR}$$

Bajo condiciones ideales, m_{tr} puede considerarse igual a m_{sref} y entonces la ecuación anterior puede ser simplificada de una manera interesante:

$$TE = \frac{SE}{SR}$$

Ecuación 47 Eficiencia de Confinamiento Simplificada

Eficiencia de carga:

La eficiencia de carga, CE, expresa la razón del llenado del cilindro con aire, comparándolo con el llenado perfecto del mismo cilindro con aire al inicio de la carrera de compresión. Después de todo, el objetivo del ejercicio de diseño es llenar el cilindro con la máxima cantidad de aire para quemar una máxima cantidad de combustible con ese mismo aire. Entonces, CE está dado por:

$$CE = \frac{m_{tas}}{m_{sref}}$$

Ecuación 48 Eficiencia de Carga

También es el producto entre la eficiencia de confinamiento y la relación de barrido, como se muestra:

$$CE = \frac{m_{tas}}{m_{as}} \times \frac{m_{as}}{m_{sref}} = TE \times SR$$

Ecuación 49 Eficiencia de Carga con Respecto a la Eficiencia de Confinamiento y a la Relación de Barrido

Compresión y Expansión Isentrópica

$$T_1 = T_o * (CR)^{k-1}$$

Ecuación 50 Eficiencia de Carga con Respecto a la Eficiencia de Confinamiento y a la Relación de Barrido

$$P_1 = P_o * (CR)^{k-1}$$

Ecuación 51 Eficiencia de Carga con Respecto a la Eficiencia de Confinamiento y a la Relación de Barrido

$$W_{1-2} = m * R * (T_2 - T_1) / (1 - k)$$

Ecuación 52 Eficiencia de Carga con Respecto a la Eficiencia de Confinamiento y a la Relación de Barrido

Combustión a Volumen Constante

$$Q_{en} = m_f * C_{fl} * n_c$$

Ecuación 53 Eficiencia de Carga con Respecto a la Eficiencia de Confinamiento y a la Relación de Barrido

$$Q_{en} = m_{ft} * C_v * (T_{final} - T_{inicial})$$

Ecuación 54 Eficiencia de Carga con Respecto a la Eficiencia de Confinamiento y a la Relación de Barrido

Eficiencia Motor

$$Q_{en} = W_{neto} / Q_{en}$$

Ecuación 55 Eficiencia de Carga con Respecto a la Eficiencia de Confinamiento y a la Relación de Barrido

3. DESARROLLO DE LA HERRAMIENTA EDUCATIVA INFORMATICA.

3.1 METODOLOGÍA UTILIZADA

Para el desarrollo de la herramienta educativa informática es necesario tener en cuenta aspectos fundamentales como son las entrevistas periódicas con el director del proyecto y el auxiliar de laboratorio de Maquinas Térmicas Alternativas, para determinar los requerimientos, avances del proyecto y entrega de la herramienta¹⁰.

Para llevar a acabo el proceso, se hace necesario llevar a cabo las siguientes fases.

Fase 1: Investigación

Durante esta fase se obtiene un primer acercamiento a la herramienta educativa a desarrollar, en la cual se realizan varias tareas como son.

- Recopilación de los requerimientos mediante reuniones periódicas con el director de proyecto y docente del área de Máquinas Térmicas Alternativas con el fin de conocer las necesidades de los estudiantes de Ingeniería Mecánica que cursan dicha materia.
- Selección de bibliografía y conceptualización del marco teórico de los motores de dos tiempos de encendido por chispa.

¹⁰ El Proceso Unificado de Desarrollo de Software. Jacobson, Ivar, Booch Grady y Rumbaugh James. 2000

Fase 2: Diseño

Durante esta fase se realiza un diseño general de la herramienta educativa informática, basado en los requerimientos e información recopilada de la fase anterior. Mediante la construcción de diagramas UML se crea un modelo del sistema en lenguaje natural para describir como trabaja la herramienta y nos permite delimitar el sistema.

Fase 3: Desarrollo

En la elaboración de la herramienta educativa informática utilizamos el lenguaje de programación JAVA, el cual por ser orientado a objetos permite una estructura clara donde la herramienta se puede expandir para futuros desarrollos.

En esta fase se realizan pruebas las cuales arrojan resultados de tipo matemático y gráfico, con el fin de analizar, ajustar y complementar el principio de funcionamiento de los motores de dos tiempos de encendido por chispa en el ciclo ideal.

Fase 4: Final

En esta fase se ha cumplido con los requerimientos y objetivos específicos planteados inicialmente en el proyecto, los cuales se cumplen con la herramienta educativa informática. Dicha herramienta se entregará a la escuela de Ingeniería Mecánica para ser utilizada por el docente y los estudiantes del área de Máquinas Térmicas Alternativas.

3.1.1 Modelado Orientado a Objetos.

La Programación Orientada a Objetos (P.O.O.) se piensa en términos de objetos y nace de la necesidad de ahorrar tiempo, trabajo, líneas de código y corrección de errores que se presentan en la Programación Estructurada. Cada objeto está constituido por sus propios datos y métodos, lo que significa que si necesita hacer un cambio en una estructura de datos, se hace el cambio en el objeto respectivo, sin modificar el resto del código de la aplicación¹¹.

Las principales características de la programación orientada a objetos son:

Abstracción: Disminución en las líneas de código utilizadas para programar una aplicación. Se definen dos niveles de abstracción: el nivel más alto, es en términos de Objetos (describe *el qué* de la aplicación); el nivel más bajo es en términos de datos y procedimientos (describe *el cómo* de la aplicación).

Modularidad: Es una característica que permite clasificar los objetos por módulos.

Extensibilidad: Permite cambios internos a los objetos que afectan principalmente al propio objeto, mientras que los cambios externos a los objetos afectarán de mayor forma al resto del sistema.

Reutilización: El objeto puede ser utilizado dentro de la misma aplicación o en otras.

¹¹ *El Lenguaje Unificado de Modelado. Rumbaugh, James; Jacobson, Ivar; Booch, Grady. 2000*

Uno de los métodos de Programación Orientado a Objetos es el Lenguaje Unificado de Modelado el cual se describe a continuación.

3.1.2 Lenguaje Unificado de Modelado (UML)¹²

“Notación gráfica para dibujar diagramas de conceptos de software”¹³
UML es un lenguaje para visualizar, especificar, construir y documentar los artefactos de un sistema que involucra una gran cantidad de software, desde una perspectiva orientada a objetos. Es una notación gráfica para dibujar diagramas de conceptos de software, diagramas de dominio de problema, un diseño de software propuesto o una implementación de software ya completado.

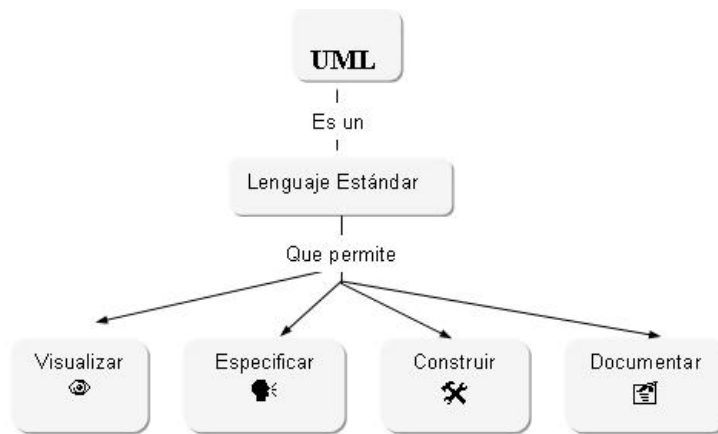


Figura 23 Definición UML

¹² UML: Unified Modeling Lenguaje es un lenguaje grafico para visualizar, especificar, construir y documentar los artefactos de un sistema con gran cantidad de software. BOOCH, Grady JASOSON Ivar; RUMBAUGH, James. El Lenguaje Unificado de Modelado. Madrid. Addison Wesley, 2000. Pag 432

¹³ UML PARA PROGRAMADORES JAVA. Roger C. Martin

La estructura del Lenguaje Unificado consta de tres categorías

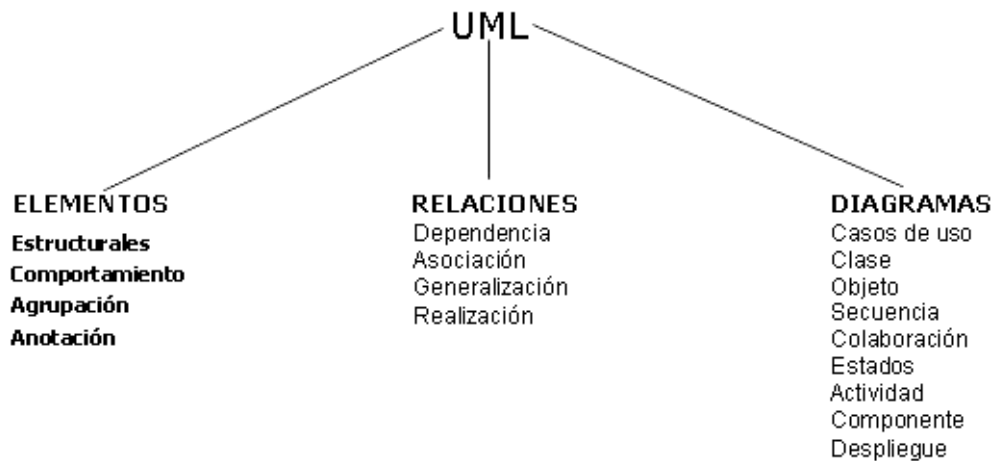


Figura 24 Estructura UML

Elementos: Son los bloques básicos de construcción orientados a objetos de UML. Se utilizan para escribir modelos bien formados¹⁴. Ver Anexos A y B.

Relaciones: Son los bloques básicos de construcción para relaciones de UML.

Diagramas: Los diagramas se dibujan para visualizar un sistema desde diferentes perspectivas, puede contener en teoría cualquier combinación de elementos y relaciones.

¹⁴ Curso Análisis y Diseño Utilizando UML – Alexandra Soraya Beltrán.

Teniendo en cuenta la Metodología de Lenguaje Unificado se definen los actores y la secuencia de acciones que intervienen en el desarrollo de la Herramienta Educativa Informática por medio de la definición de los casos de uso.

Actores del Sistema: Durante la descripción de los requerimientos se identificaron los actores que se describen a continuación, especificando su función en el sistema:

- Usuario: Es quien accede a las diferentes funcionalidades de la herramienta. Existen dos tipos de usuario Profesor y Estudiante.
- Administrador: Es el encargado de crear, actualizar y eliminar las cuentas de usuario.

3.2 Elaboración de la Herramienta Educativa Informática

3.2.1 Análisis

- **Diagramas de Casos de Uso.**

El comportamiento de un caso de uso se puede especificar describiendo un flujo de eventos de forma textual, lo suficientemente claro para que alguien ajeno al sistema lo entienda fácilmente. El correspondiente refinamiento y la descripción de cada caso de uso se encuentra como anexo en el documento.

- Caso de Uso Principal: Describe las funcionalidades generales ofrecidas por la herramienta educativa para que el usuario pueda interactuar con el Modelo del motor 2T, consultar el Contenido Temático y acceder a los Laboratorios.

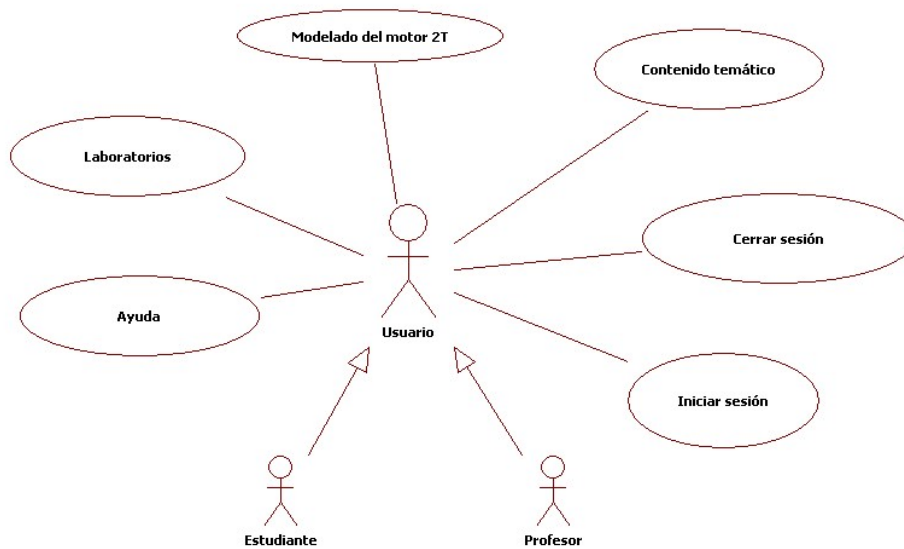


Figura 25 Diagrama de Casos de Uso Principal

- Caso de Uso Modelado Motor 2T: Describe las funcionalidades ofrecidas para la entrada de datos, ejecución del modelo y consultas de las gráficas de resultados; utilizando los análisis Cinemático, Dinámico y Termodinámico; aplicando la primera y segunda ley de la Termodinámica y las propiedades del gas ideal.

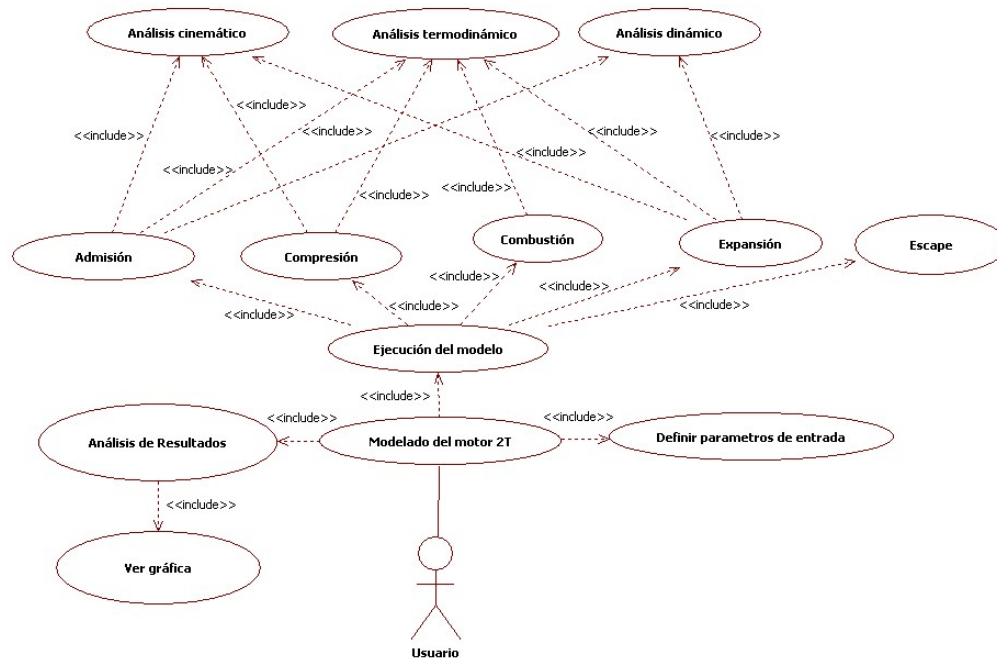


Figura 26 Caso de Uso de Modelado del Motor 2T

- Caso de Uso Laboratorios: Describe las funcionalidades ofrecidas por la herramienta para la consulta de los laboratorios, apoyándose en la aplicación que permite interactuar con el modelo del motor.

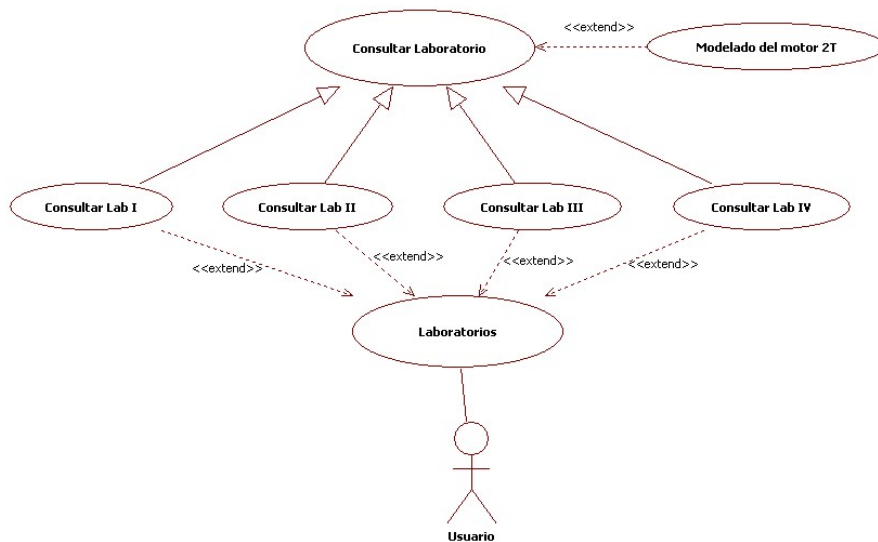


Figura 27 Caso de Uso Laboratorios

- Casos de Uso Curso: Describe las funcionalidades para la comunicación entre el profesor y el estudiante. Permite realizar consultas al profesor y responder consultas del estudiante.

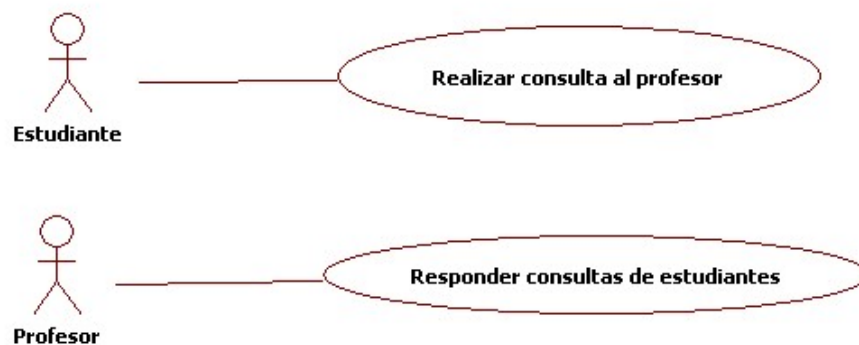


Figura 28 Casos de Uso Curso

- Caso de Uso Administración: Describe las funcionalidades requeridas para administrar las cuentas de usuario de la aplicación.

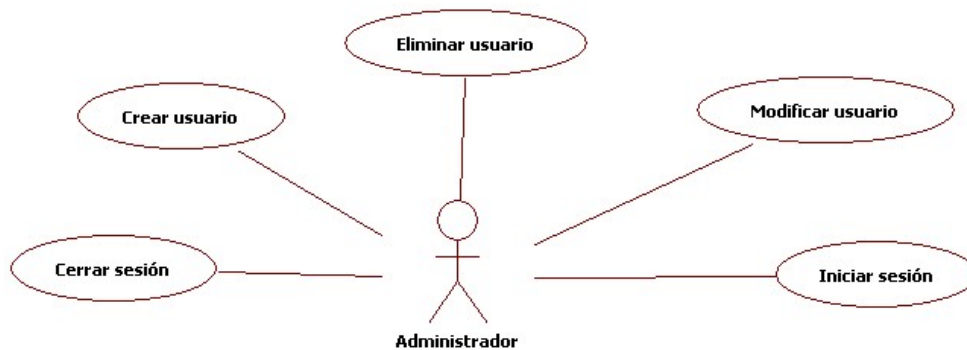


Figura 29 Caso de Uso Administración

- **Diagrama de Actividades.**

Describe más detalladamente la secuencia de pasos de ejecución del ciclo de funcionamiento del motor de dos tiempos de encendido por chispa, el cual depende del ángulo de giro; iniciando por la Admisión y pasando por los procesos de Compresión, Combustión, Expansión y finalizando con el Escape.

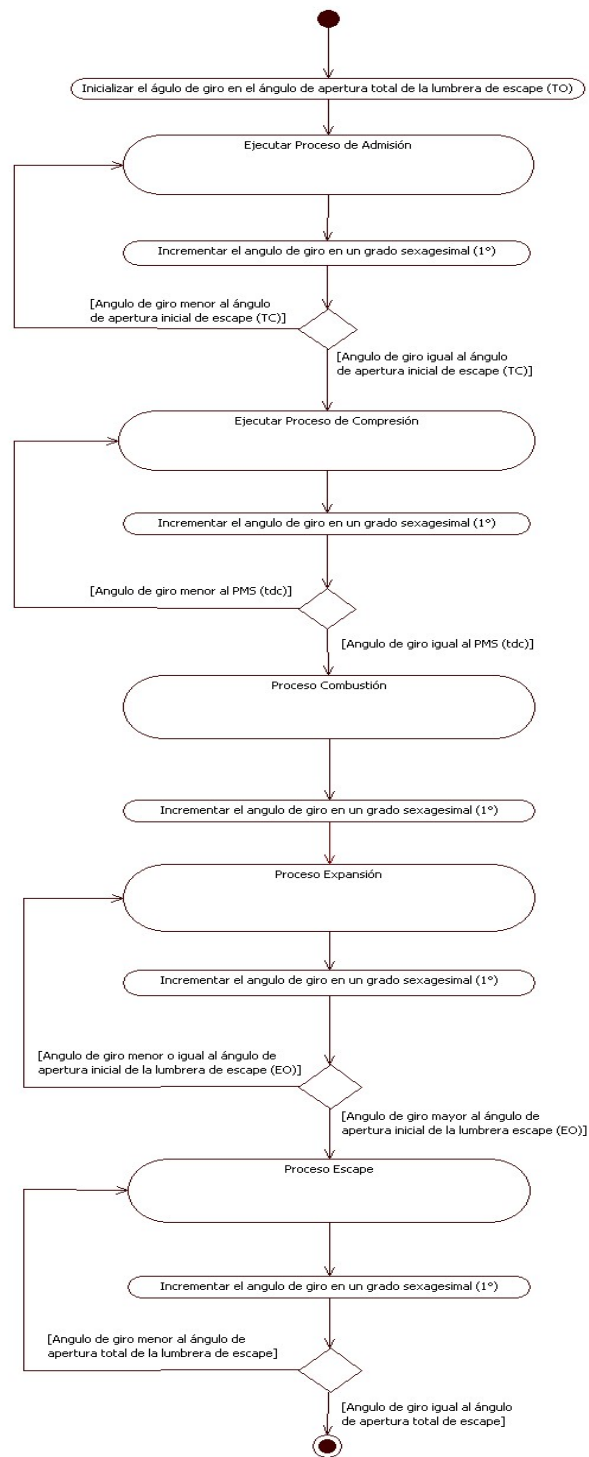


Figura 30 Diagrama de Actividades

3.2.2 Diseño

- **Diagrama de Componentes**

En este diagrama se describen los componentes principales de la aplicación del modelo del motor de dos tiempos de encendido por chispa. Los componentes principales son:

- Applet Modelo Motor2t: Corresponde al componente que contiene la lógica de ejecución del modelo del motor.
- Utility Gráfica: Corresponde al componente que presenta la interfaz gráfica para que el usuario ingrese los datos y ejecute el modelo.
- Process Motor2t: Corresponde al componente que contiene el documento de definición del modelo, archivo de texto que permite cargar y guardar los datos para la ejecución del modelo.

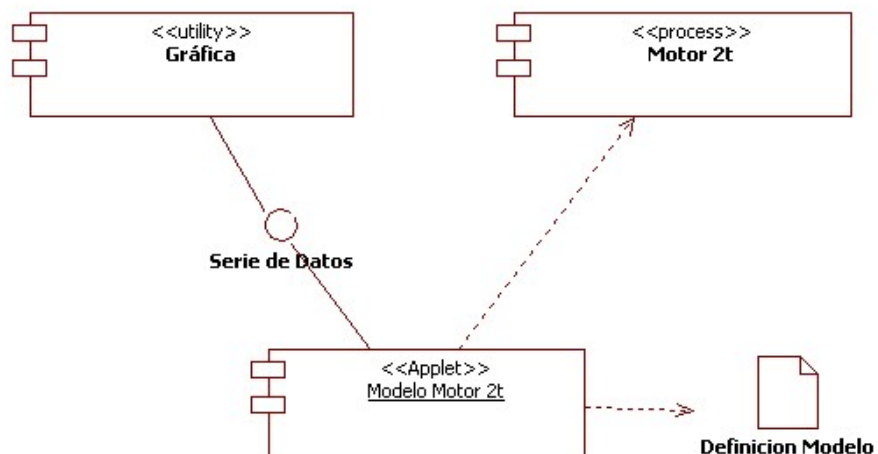


Figura 31 Diagrama de Componentes

- **Diagrama de Clases**

Permite describir las principales clases del modelo:

– Motor2t

La clase Motor2t tiene los siguientes atributos:

TO: Angulo de apertura (grados sexagesimales)

EO: Angulo de apertura total (grados sexagesimales)

L_{st}: Carrera del pistón (mm)

L_{cr}: Longitud de la biela (mm)

d_{bo}: Diámetro del cilindro (mm)

V_{cv}: Volumen de la cámara de combustión (mm³)

velRotación: Velocidad de Rotación

AFR: Relación aire-combustible

eficienciaCombustión: Eficiencia de la combustión

Dlumbreira: Diámetro de la lumbrera

numLumbreras: Número de Lumbreras

La clase Motor2t tiene las siguientes operaciones:

Ejecutar: Inicia la ejecución del modelo

ObtenerDatos: Permite recuperar los datos obtenidos después de la última ejecución del modelo.

ObtenerMasaCombustibleTotal: Permite obtener la masa total de combustible quemada durante la combustión.

ObtenerQr: Obtener el calor liberado en la combustión.

ProcAdmision: Inicia el funcionamiento del motor de dos tiempos con el proceso de Admisión.

ProcCompresion: Una vez terminada la Admisión se inicia el proceso de compresión.

ProcCombustion: Una vez terminada la Compresión inicia la Combustión

ProcExpansion: Una vez terminada la Combustión inicia el proceso de Expansión.

ProcEscape: Finaliza el funcionamiento del motor de dos tiempos con el proceso de Escape.

ObtenerPosicion: Permite obtener la Posición.

ObtenerVolumen: Permite obtener el Volumen.

- Gas
- GasGenérico
- Aire
- CondicionesAtmosfericas
- Combustible
- Gasolina
- Motor2tEscucha
- DatosEstado
- Grafica

- **Diagrama de Secuencia**

Describe gráficamente las interacciones a través del tiempo entre los diferentes componentes de la herramienta (los objetos que forman parte del modelo).

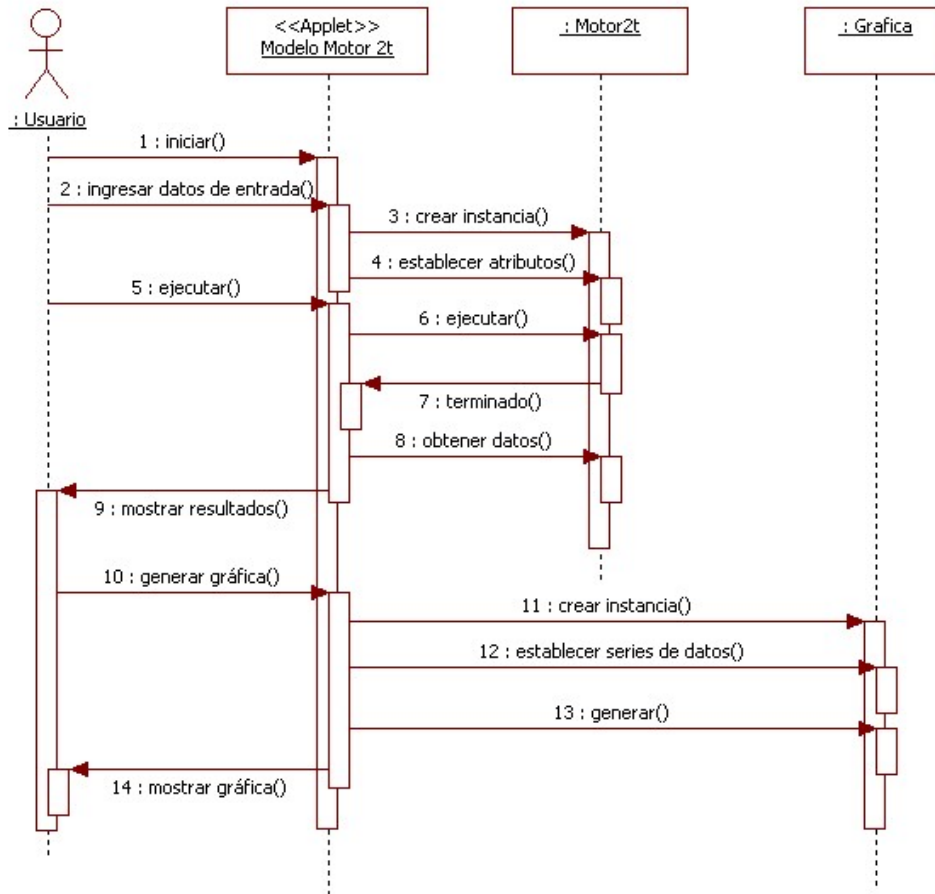


Figura 33 Diagrama de Secuencia

- **Diseño de Interfaz**

- Página Principal

El menú principal consta de las siguientes opciones encontradas en la parte superior de la ventana:

Inicio: Permite volver a la ventana de inicio

Contenidos: Permite ir a la página del listado del Contenido Temático del motor de dos tiempos.

Laboratorios: Permite ir a la página del listado de los laboratorios

Modelo Motor 2T: Permite iniciar el programa del modelo del motor de dos tiempos de encendido por chispa.

Curso: Permite acceder a la aplicación del foro que maneja la interrelación profesor-estudiante.

Ayuda: Permite acceder al contenido de la ayuda acerca del uso de la herramienta.

La animación contenida en la página ilustra el funcionamiento del motor de dos tiempos de encendido por chispa, realizando la analogía entre el modelo mecánico y el gráfico en el plano del Ciclo de Otto. De igual manera el ciclo muestra los nombres de cada uno de los procesos de forma simultánea con las gráficas. El usuario puede ver el proceso en tres velocidades: 800,2600 y 6000 rpm.

MÁQUINAS TÉRMICAS ALTERNATIVAS

[Inicio](#) [Contenidos](#) [Laboratorios](#) [Modelo Motor 2T](#) [Curso](#) [Ayuda](#)

Procesos de los motores de dos tiempos

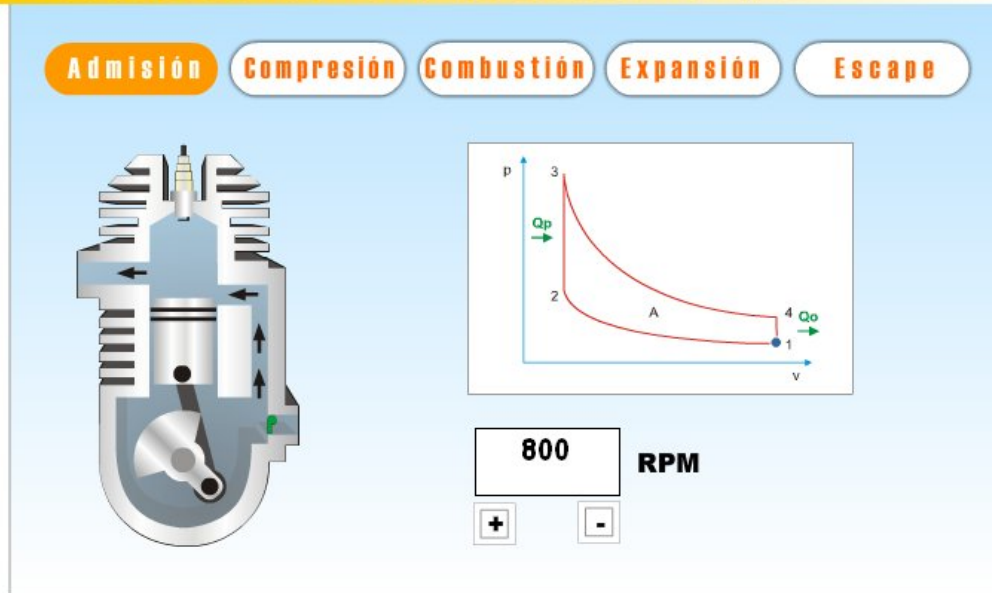


Figura 34 Página Principal

Formulario General: En este módulo el usuario ingresa los parámetros de entrada como son: Diámetro del Cilindro, Carrera, Longitud de la biela, Velocidad de rotación, exceso de aire y las Condiciones atmosféricas, Temperatura y Presión necesarias para iniciar la ejecución de la herramienta. El usuario tiene la posibilidad de: *Ejecutar* el modelo (muestra los resultados), *Graficar* los resultados de la última ejecución, y así mismo *Guardar* los datos de entrada para poderlos *Abrir* en una próxima práctica.

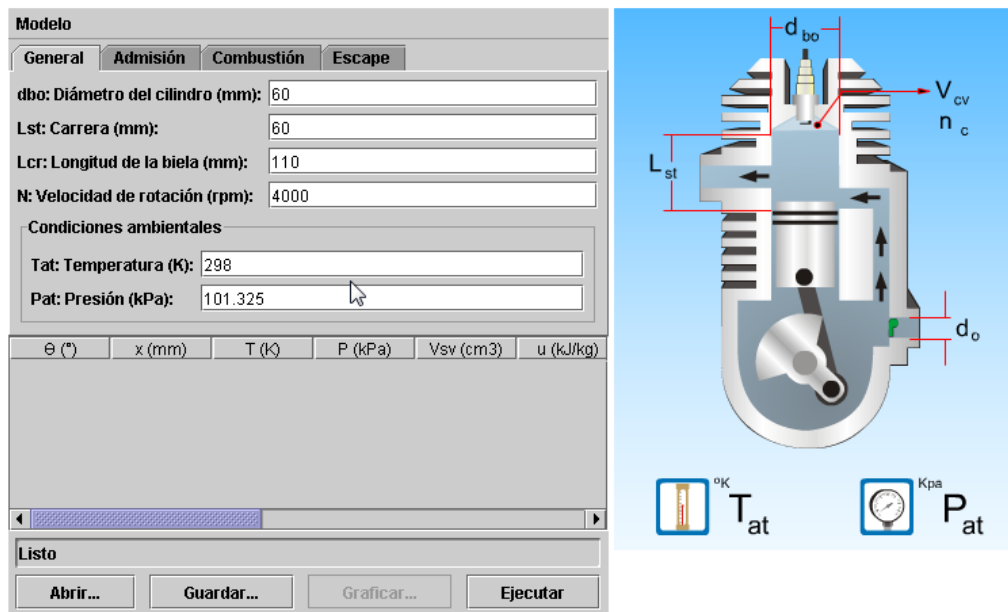


Figura 35 Formulario General

Formulario de Admisión: En el módulo de Admisión el usuario ingresa los parámetros necesarios para ejecutar este proceso como son: Angulo de Apertura, Número de Lumbreras y Diámetro de lumbreira. El

usuario tiene la posibilidad de: *Ejecutar* el modelo (muestra los resultados), *Graficar* los resultados de la última ejecución, y así mismo *Guardar* los datos de entrada para poderlos *Abrir* en una próxima práctica.

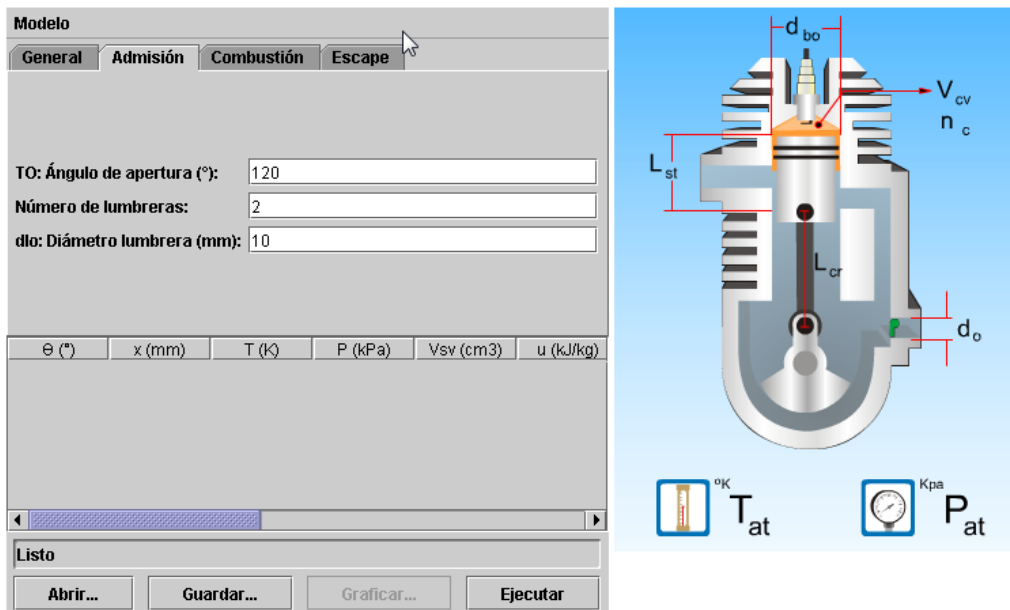


Figura 36 Formulario de Admisión

Formulario Combustión: En este módulo el usuario ingresa los parámetros necesarios para ejecutar el modelo: Eficiencia de la Combustión, Combustible, Volumen cámara de combustión. El usuario tiene la posibilidad de: *Ejecutar* el modelo (muestra los resultados), *Graficar* los resultados de la última ejecución, y así mismo *Guardar* los datos de entrada para poderlos *Abrir* en una próxima práctica.

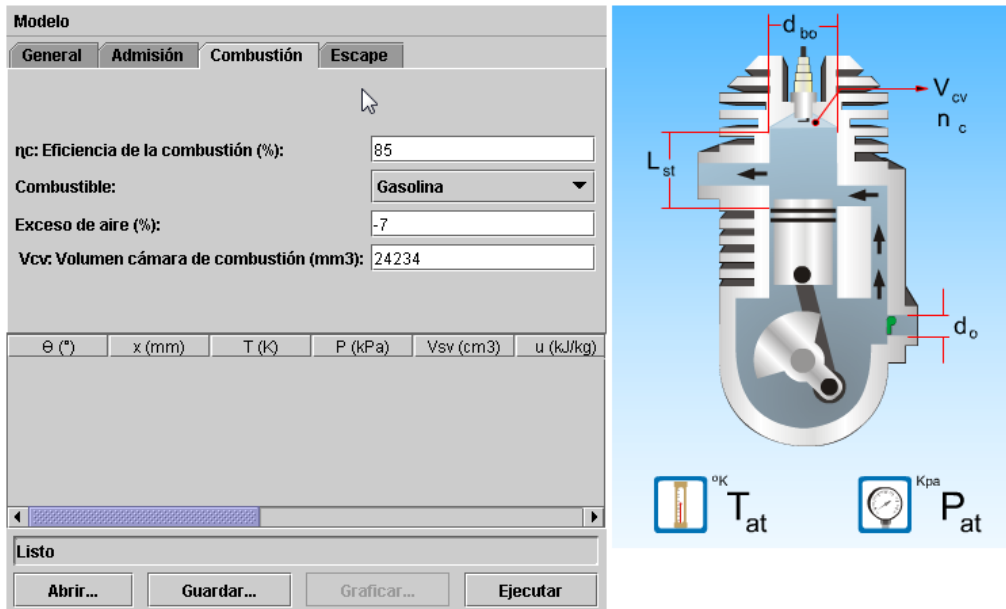


Figura 37 Formulario De Combustión

Formulario de Escape: En este módulo el usuario ingresa el Angulo de Apertura, con la posibilidad de: *Ejecutar* el modelo (muestra los resultados), *Graficar* los resultados de la última ejecución, y así mismo *Guardar* los datos de entrada para poderlos *Abrir* en una próxima práctica.

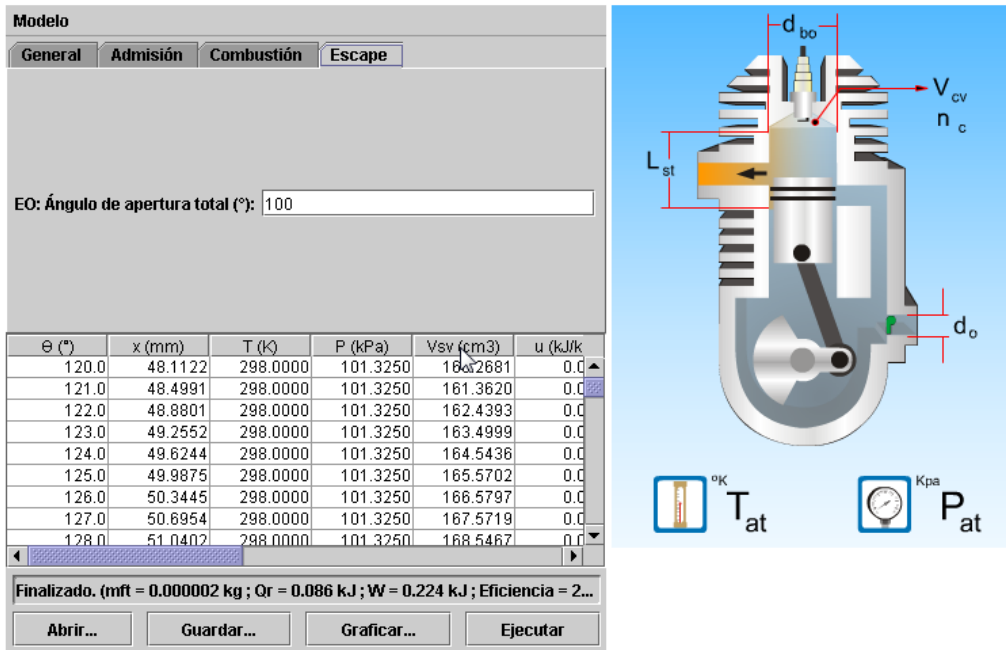




Figura 38 Formulario de Escape

En el ciclo ideal de funcionamiento del motor de dos tiempos, la Compresión y Expansión isentrópicas se calculan utilizando los datos de la Tabla del gas ideal, información disponible por la herramienta, por lo tanto no requieren ningún otro dato de entrada.

Interfaz Gráfica: En el área principal se presenta la gráfica indicada. El usuario puede ampliar la gráfica utilizando el botón , reducir la gráfica con el botón  visualizar en los cuadros de texto, las coordenadas actuales del punto donde se encuentra el cursor cuando se desplaza sobre la gráfica, restablecer la gráfica y modificar el entorno (colores de: gráfica, regla, fondo etc.). Se puede comparar cada

gráfica con 2 valores distintos de rpm, para realizar su análisis respectivo.

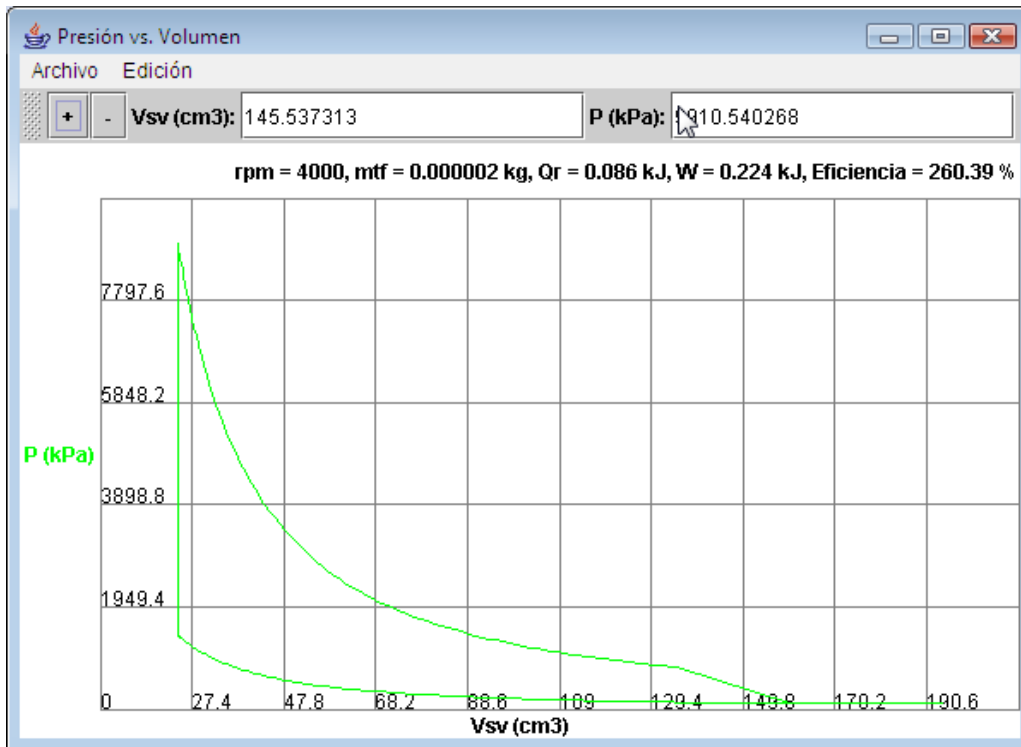


Figura 39 Resultado Presión vs. Volumen

3.2.3 Construcción

Para la elaboración de la herramienta se hizo un estudio de los posibles lenguajes a utilizar para su desarrollo y poder escoger el más acorde con la naturaleza del Proyecto.

Una vez realizado el análisis, se escogió JAVA como lenguaje para el desarrollo de la Herramienta Educativa, debido a que es un lenguaje de

programación orientado a objetos, y tiene todos los beneficios que ofrece esta metodología; además puede realizar cálculos matemáticos, manejar procesadores de palabras, bases de datos, aplicaciones gráficas, animaciones, sonido, etc.

- **Estructura lógica del sistema en JAVA**

El sistema consta de tres paquetes con sus respectivas clases:

- Paquete motor2t.igu
 - Clase AppMotor2t.java
 - Clase BarraZoom.java
 - Clase GraficaPuntos.java
 - Clase ModeloTablaDatos.java
- Paquete motor2t.modelo
 - Clase Aire.java
 - Clase Combustible.java
 - Clase CondAtmosfericas.java
 - Clase DatosEstado.java
 - Clase GasGenerico.java
 - Clase Gasolina.java
 - Clase Motor2t.java
 - Clase Motor2tEscucha.java
- Paquete motor2t.utils
 - Clase Utils.java

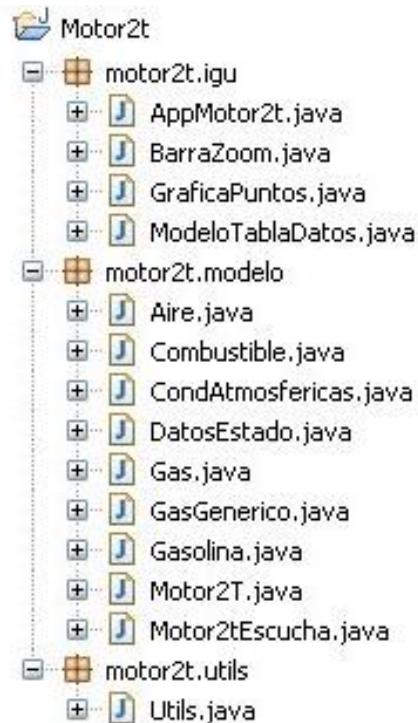


Figura 40 Estructura de Clases JAVA

- **Estructura de Archivos en HTML**

Cada capítulo y sección del Contenido está estructurado en tres subcarpetas así:

1. html: contiene los archivos en formato HTML.
2. img: contiene los archivos de las imágenes referenciadas desde los archivos HTML.
3. media: contiene los archivos de Adobe Flash CS3, de las animaciones incluidas en los archivos HTML

Similar a lo anterior se estructuran los archivos de los laboratorios incluidos.

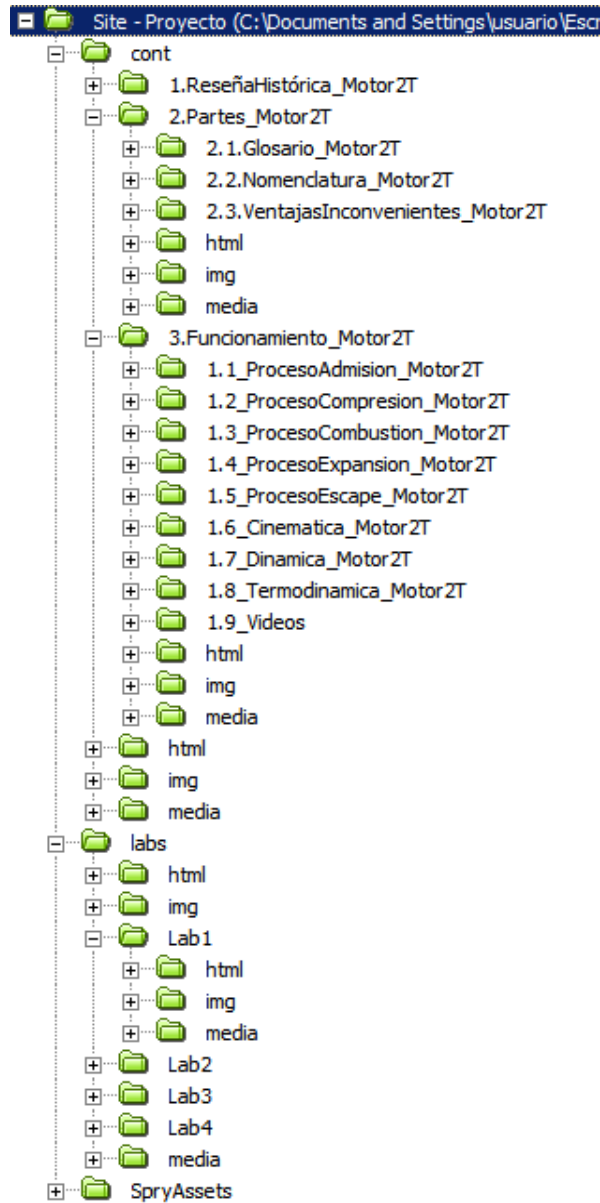


Figura 41 Estructura de Archivos en HTML

- **Listado de animaciones**

Las animaciones contenidas en la Herramienta Educativa son:

Procesos de los Motores de dos Tiempos, Admisión, Compresión, Combustión, Expansión, Escape, Cinemática, Dinámica.

3.2.4 Despliegue

Integración de la aplicación Foro

La aplicación Vanilla 1 es una aplicación Web de software libre, que permite gestionar foros de discusión. Al integrar Vanilla 1 a la solución final, se satisfacen los requerimientos de interrelación profesor-estudiante planteados en el Objetivo General del proyecto.

La aplicación se puede descargar desde la dirección <http://getvanilla.com/>. En la Herramienta se encuentra la carpeta vanilla-`ini` que contiene los archivos requeridos para la configuración inicial de Vanilla 1, para su uso en el curso de Máquinas térmicas alternativas junto con un archivo `readme.txt` con las instrucciones para llevar a cabo el proceso.

A continuación se describen los pasos básicos para el uso de Vanilla 1 por parte de los estudiantes del curso:

- Solicitud de registro

Máquinas térmicas alternativas

Acerca de ser miembro
Esta solicitud de ser miembro no le da acceso instantáneo al foro. Todas las solicitudes son revisadas por un administrador antes de ser aprobadas.
Por favor no introduzca información inválida o incorrecta en este formulario o seguramente no obtendrá acceso al foro.
Toda la información introducida en este formulario será tratada de forma estrictamente confidencial.
Volver al formulario de entrada

Formulario de solicitud de ingreso
**Todos los campos son obligatorios

Dirección de Email:

Usuario:

Contraseña:

Repetir Contraseña:

He leído y acepto los [Términos del Servicio](#)

Lusumo Vanilla, Swell, and People Copyright © 2001-2006

Figura 42 Solicitud de registro

- Aprobación del registro

Máquinas térmicas alternativas Registrado como admin (Salir)

Discusiones | Temas | Buscar | **Ajustes** | Cuenta

Realizar una consulta o aporte

Opciones
Ajustes de la Aplicación
Actualizaciones & Recordatorios
Permisos & Roles
Ajustes de Registro
Categorías
Extensiones
Temas & Estilos
Idiomas
Solicitudes de Ingreso **1 nuevos**

Vanilla 1.1.4 es un producto de Lusumo. Para más información: [Documentación](#), [Soporte](#).

Solicitudes de ingreso

ApplicantsNotes

Marcar: Tod@s, Ninguno

rudac hace 39 segundos rudac@yahoo.com

Figura 43 Aprobación del registro

- Inicio de sesión

The screenshot shows a login form titled "Máquinas térmicas alternativas". It includes a "Usuario" field with the text "rudac", a "Contraseña" field with masked characters "*****", a checkbox for "Recordarme", and a "Continuar" button. Below the form are two links: "Olvidaste tu contraseña" and "Solicita el ingreso". At the bottom, there is a copyright notice: "Lussumo Vanilla, Swell, and People Copyright © 2001-2006".

Figura 44 Inicio de sesión

- Realizar una consulta o aporte

The screenshot shows the "Realizar una consulta o aporte" page. The page title is "Máquinas térmicas alternativas" and the user is logged in as "rudac". The page has a navigation menu with "Discusiones", "Temas", "Buscar", and "Cuenta". The main content area is titled "Realizar una consulta o aporte" and contains a form with the following fields: "Selección el tema para esta consulta o aporte" (a dropdown menu showing "1. Funcionamiento Motor de 2 tiempos"), "Introduce el asunto de la consulta o aporte" (a text input field with the text "Qué modelos matemáticos se aplican al proceso de admisión-escape"), and "Introduce tus comentarios" (a large text area with the text "Qué modelos matemáticos se pueden emplear para obtener calculos más reales durante el traslape de los proceso de admisión y escape?"). There are also "Enviar" and "Cancelar y volver atrás" buttons.

Figura 45 Realizar una consulta o aporte

- Agregar comentarios a una consulta o aporte



Figura 46 Agregar comentarios a una consulta o aporte

3.2.5 Resultados

La interfaz gráfica ilustra el comportamiento de las variables correspondientes al funcionamiento de los motores de dos tiempos con encendido por chispa, teniendo en cuenta las condiciones iniciales tanto de la mezcla aire-combustible como las condiciones atmosféricas, la geometría del motor, el desarrollo termodinámico de cada etapa del ciclo de un motor, de acuerdo a las revoluciones de operación.

Gráfica Presión vs. Volumen.

La gráfica se muestra en la Figura 39, la cual presenta las etapas del ciclo de funcionamiento, de acuerdo a la variación de la Presión con respecto al Volumen confinado.

Gráfica Presión vs. Angulo Cigüeñal.

La gráfica presenta las etapas del ciclo de funcionamiento, de acuerdo a la variación de la Presión con respecto al Angulo de giro del Cigüeñal que representa la posición del pistón en su carrera.

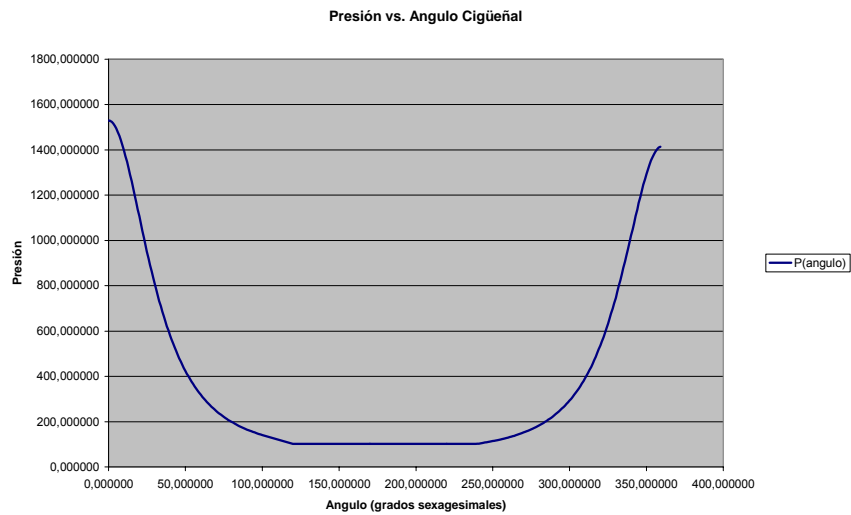


Figura 47 Presión vs. Angulo Cigüeñal

Gráfica Volumen vs. Angulo de Giro.

La gráfica ilustra las etapas del ciclo de funcionamiento, de acuerdo a la variación del Volumen con respecto al Angulo de giro del Cigüeñal.

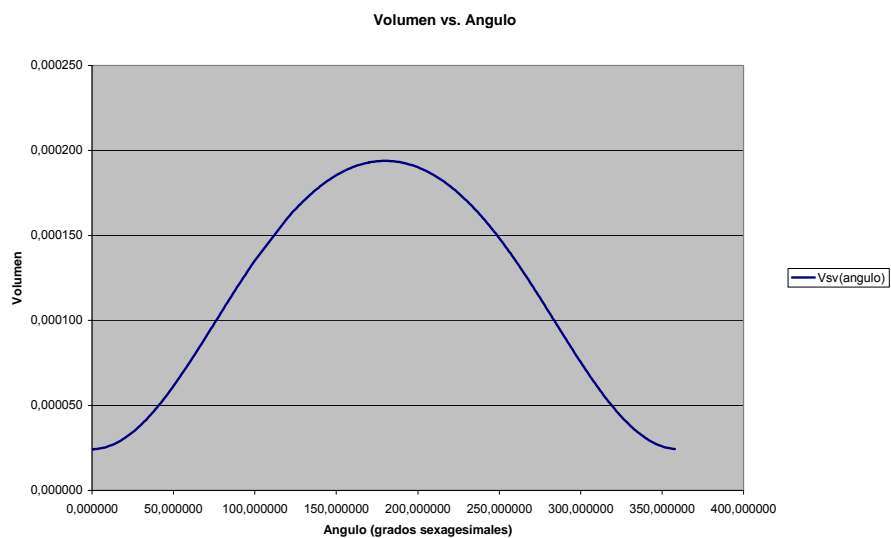


Figura 48 Volumen vs. Angulo

Gráfica Energía Interna vs. Angulo de Giro.

La gráfica muestra las etapas del ciclo de funcionamiento, de acuerdo a la variación de la Energía interna con respecto al Angulo de giro del Cigüeñal.

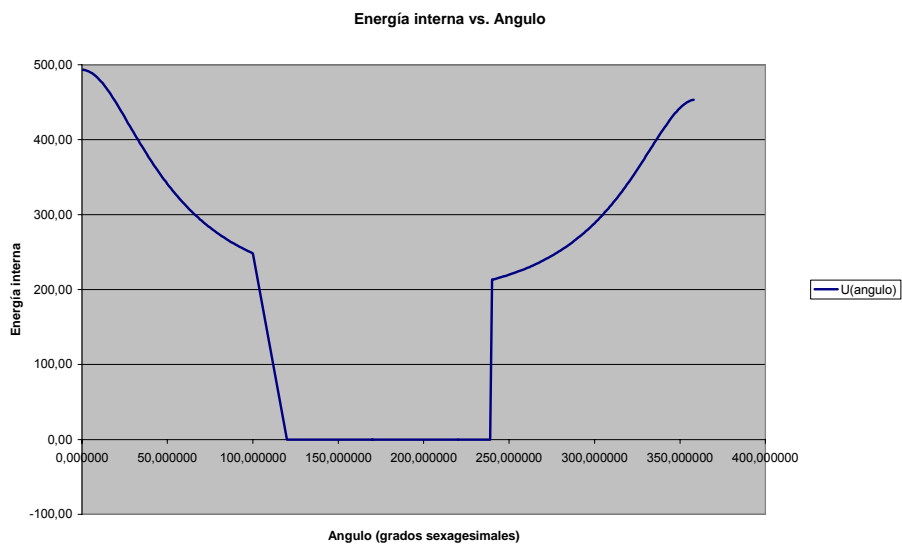


Figura 49 Energía Interna vs. Angulo

3.2.6 Requerimientos

Para la elaboración de la Herramienta Educativa Informática fue necesaria la utilización de los siguientes lenguajes de programación y herramientas:

- Herramienta libre Star UML: Utilizada para la elaboración de los diagramas de UML.
- Lenguaje HTML: Utilizado para la elaboración del Contenido Temático de la herramienta.
- JAVA: Lenguaje de programación la construcción de la herramienta.
- ADOBE Flash CS3: Utilizada para realizar las animaciones de cada uno de los procesos del motor de dos tiempos de encendido por chispa. Flash es la tecnología más comúnmente utilizada en el Web que permite la creación de animaciones vectoriales. El interés en el uso de gráficos vectoriales es que éstos permiten llevar a cabo animaciones de poco peso, es decir, que tardan poco tiempo en ser cargadas por el navegador.
- Los requerimientos mínimos del servidor en el que se instala la aplicación para gestionar foros son: PHP 4.1 o superior, MySQL 3.23 o superior.
- Sistema Operativo Windows XP, VISTA o LINUX.

4. APLICACIÓN DE LA HERRAMIENTA EDUCATIVA INFORMATICA.

4.1 ANALISIS DE LAS NECESIDADES EDUCATIVAS

Nuestro mundo está siendo transformado por las tecnologías de la información y de las comunicaciones (TIC) y el acelerado ritmo de innovación y cambio. Esta revolución de la información estimula extraordinarios cambios en nuestras instituciones democráticas, económicas y sociales. Las nuevas tecnologías están derribando barreras, ampliando diálogos y alterando el contenido de las relaciones entre el sector público, el sector privado y la sociedad civil. Las posibilidades digitales han creado el escenario para nuevas formas de participación que requerirán que el Estado se reorganice para atender las necesidades de usuarios o ciudadanos, así como comunidades, dotados de medios más sofisticados¹⁵.

Las Tecnologías de la Información y Comunicaciones ofrecen una oportunidad única para que los países en vía de desarrollo den un salto en su evolución económica, política, social y cultural, disminuyendo la brecha que los separa de los países desarrollados. Estas tecnologías, y en especial Internet, han trascendido los campos tecnológico y científico, constituyéndose hoy en día en herramientas que se encuentran al alcance y servicio de toda la comunidad en los ámbitos económico, educativo y de salud, entre otros.

¹⁵ Mauricio Carlos, "Las TIC's y su relación espacial", archivo .pdf, pag 14

La universalización del acceso a la información, la adquisición y utilización eficaz del conocimiento, son elementos fundamentales para el desarrollo de la sociedad moderna. Al igual que otras naciones en vías de desarrollo, Colombia tiene la oportunidad única de dar un salto en su desarrollo, apalancándose en estas tecnologías y en particular en Internet.

Tanto para los individuos como para los países, la *educación* es la clave para crear, adaptar y divulgar los conocimientos.

Entre los objetivos de las Tecnologías de Información en los procesos educativos y de capacitación, está fomentar el uso de las tecnologías de la información como herramienta educativa y capacitar a los colombianos en el uso de las tecnologías de la información. La absorción de conocimientos involucra el establecimiento de la educación básica universal, la creación de oportunidades de educación permanente y el fomento a la educación universitaria.

Pensando en la importancia de las TIC'S, se quiso crear una herramienta informática educativa que utilizará las ventajas de la tecnología y así mismo, en el ámbito académico realizar un aporte en el aprendizaje del estudiante de ingeniería mecánica, haciéndolo más competente para un análisis futuro en el campo de las Maquinas Térmicas alternativas, específicamente de motores de dos tiempos de encendido por chispa.

En el presente proyecto se hace un refuerzo de conocimientos del área mediante los ejercicios paso a paso utilizados en el desarrollo del Modelo Matemático, teniendo en cuenta las ecuaciones fundamentales

que describen el proceso para lograr la obtención de resultados y sus gráficas respectivas, para realizar el análisis del proceso.

En el desarrollo del modelo matemático se tiene en cuenta la fundamentación del Ciclo ideal de motores de dos tiempos de encendido por chispa, siendo la primera herramienta educativa de la Escuela de Ingeniería Mecánica aplicada a motores de dos tiempos, desarrollada en un Lenguaje orientado a objetos (JAVA) lo cual constituye la base ó primera etapa para futuros desarrollos, que permitan más adelante ampliar el proceso haciendo más real el modelo y se pueda materializar en el Laboratorio e implementarlo como lo tienen las universidades internacionales, con el fin de aportar al desarrollo tecnológico y a proyectos de investigación.

4.2 COMPETENCIAS ACADÉMICAS DEL AREA DE MAQUINAS TERMICAS ALTERNATIVAS

La importancia de esta Área en el pènsum de Ingeniería Mecánica de la UIS, se basa en que las Máquinas Térmicas están en constante evolución y actualmente, tienen una amplia aplicación en la ingeniería. Conocer sus características, limitaciones y posibilidades es importante para el Ingeniero Mecánico. Los conocimientos adquiridos son de utilidad para afrontar situaciones que demanden soluciones concensuadas a las diversas variables que se puedan presentar en temas tales como plantas de potencia, automoción, calor y frío, ingeniería medioambiental, fuentes alternativas de energía, etc.

Las Competencias del Área de Máquinas Térmicas Alternativas se resumen en:

- Conocimiento de los fundamentos del proceso de diseño de Sistemas Térmicos.
- Evaluación de los diferentes subsistemas de los sistemas térmicos en cuanto a su:
 - Función.
 - Principio de operación.
 - Diseño, optimización y selección.
 - Componentes.
 - Operación y mantenimiento.
 - Manejo de herramientas computacionales aplicadas al diseño de los subsistemas térmicos.
 - Identificación y evaluación experimental mediante prácticas sobre subsistemas térmicos y sus componentes.

La herramienta educativa informática desarrollada en el presente proyecto busca fortalecer las competencias académicas del Área de Máquinas Térmicas Alternativas, contribuyendo así al cumplimiento del nuevo enfoque educativo.

4.3 LABORATORIOS

Para enfocar la utilización de la herramienta educativa hacia un sentido práctico, se incorpora una situación de un motor de 2T a condiciones específicas para realizar el respectivo análisis de su proceso e interpretar los resultados.

4.3.1 Práctica de Laboratorio I

Práctica I Diagrama Indicado De Un Motor De Dos Tiempos

Objetivo

Interpretar el diagrama indicado de un motor de dos tiempos con encendido por chispa teniendo en cuenta los valores consignados en el ejercicio 1.

Tabla 2 Ejercicio 1

DESCRIPCION	VALOR	DESCRIPCION	VALOR	DESCRIPCION	VALOR
EO	100°	d_{bo}	6 cm	n_L	2
TO	115°	L_{cr}	11 cm	η_c	85%
TC	240°	V_{cv}	24 cm ³	%Exc	5%
L_{st}	6 cm	N	4000 rpm	C_{fi}	44790 MJ/kg
P_{atm}	101325 Pa	C_{fi}	44790 MJ/kg		
T_{atm}	298	D_{LO}	10cm		

Marco Conceptual

- Principio de funcionamiento de motores de dos tiempos de encendido por chispa.
- Mecánica de Funcionamiento en ambiente virtual.

Desarrollo

- Utilizando la herramienta educativa informática para el análisis de un motor de dos tiempos con encendido por chispa reconoce el funcionamiento de los motores de dos tiempos.
- Identificar las variables de estado presentes en el funcionamiento de un motor de dos tiempos.

Conclusiones

- Justificar los resultados y remitirlos al tutor junto con las inquietudes de la práctica a la dirección indicada.

4.3.2 Práctica de Laboratorio II

Práctica II Análisis Paramétrico

Objetivo

Desarrollar un análisis paramétrico de un motor de dos tiempos con encendido por chispa teniendo en cuenta la variación de: P_{atm} , EO , $\%Exc.$ y los valores de Ejercicio 2.

Tabla 3 Ejercicio 2

DESCRIPCION	VALOR	DESCRIPCION	VALOR	DESCRIPCION	VALOR
EO	100°	d_{bo}	6 cm	n_L	2
TO	115°	L_{cr}	11 cm	η_c	85%
TC	240°	V_{cv}	24 cm ³	%Exc	5%
L_{st}	6 cm	N	4000 rpm	C_{fi}	44790 MJ/kg
P_{atm}	101325 Pa	C_{fi}	44790 MJ/kg		
T_{atm}	298	D_{LO}	10cm		

Marco Conceptual

- Principio de funcionamiento de motores de dos tiempos de encendido por chispa.
- Mecánica de Funcionamiento en ambiente virtual.

Desarrollo

- Utilizando la herramienta educativa informática para el análisis de un motor de dos tiempos con encendido por chispa obtienen los resultados de acuerdo con las variaciones sugeridas.
- Realiza documentación sobre la importancia de las variables que intervienen en el funcionamiento de un motor de dos tiempos.

Conclusiones

- Presentación de informe de resultados gráficos con su respectiva justificación.

4.3.3 Práctica de Laboratorio III

Práctica III Regimenes Del Motor 2t

Objetivo

Desarrollar un análisis paramétrico de un motor de dos tiempos con encendido por chispa teniendo en cuenta la variación de N y los valores de Ejercicio 3.

Tabla 4 Ejercicio 3

DESCRIPCION	VALOR	DESCRIPCION	VALOR	DESCRIPCION	VALOR
EO	100°	d _{bo}	6 cm	n _L	2
TO	115°	L _{cr}	11 cm	η_c	85%
TC	240°	V _{cv}	24 cm ³	%Exc	5%
L _{st}	6 cm	N	4000 rpm	C _{fi}	44790 MJ/kg
P _{atm}	101325 Pa	C _{fi}	44790 MJ/kg		
T _{atm}	298	D _{LO}	10cm		

Marco Conceptual

- Principio de funcionamiento de motores de dos tiempos de encendido por chispa.
- Mecánica de Funcionamiento en ambiente virtual.

Desarrollo

- Utilizando la herramienta educativa informática para el análisis de un motor de dos tiempos con encendido por chispa obtienen los

resultados de acuerdo con la velocidad de operación de un motor.

- Realiza comparación progresiva de la variación de resultados.

Conclusiones

- Presentación de informe de análisis de resultados con su respectiva justificación.

4.3.4 Práctica de Laboratorio IV

Práctica IV curvas De Funcionamiento

Objetivo

Construir las curvas de funcionamiento Potencia vs. N; Torque vs N de un motor de dos tiempos con encendido por chispa teniendo en cuenta los valores consignados en Ejercicio 4.

Tabla 5 Ejercicio 4

DESCRIPCION	VALOR	DESCRIPCION	VALOR	DESCRIPCION	VALOR
EO	100°	d _{bo}	6 cm	n _L	2
TO	115°	L _{cr}	11 cm	η_c	85%
TC	240°	V _{cv}	24 cm ³	%Exc	5%
L _{st}	6 cm	N	4000 rpm	C _{fi}	44790 MJ/kg
P _{atm}	101325 Pa	C _{fi}	44790 MJ/kg		
T _{atm}	298	D _{LO}	10cm		

Marco Conceptual

- Principio de funcionamiento de motores de dos tiempos de encendido por chispa.
- Mecánica de Funcionamiento en ambiente virtual.

Desarrollo

- Utilizando la herramienta educativa informática para el análisis de un motor de dos tiempos con encendido por chispa obtienen los resultados de acuerdo con la velocidad de operación de un motor.
- Realiza comparación progresiva de la variación de resultados.

Conclusiones

- Presentación de informe de análisis de resultados con su respectiva justificación.

5. CONCLUSIONES

La elaboración del presente proyecto interdisciplinario por parte de estudiantes de Ingeniería de Sistemas e Ingeniería Mecánica, cumple con la Misión de la Universidad Industrial de Santander orientada hacia el ejercicio libre de la cátedra, el trabajo en equipo y la relación con el mundo externo, articulando armónicamente los procesos académicos entre las facultades y escuelas de la Universidad.

La Herramienta Educativa Informática agiliza el proceso de aprendizaje del funcionamiento del motor de dos tiempos de encendido por chispa, fortaleciendo las competencias específicas del área de Maquinas Térmicas Alternativas, con el aporte, por parte de los estudiantes, de cuatro prácticas que orientan la teoría de la asignatura hacia el desarrollo de las habilidades y destrezas planteadas en el laboratorio de la misma.

La herramienta ilustra y presenta una fundamentación teórica del fenómeno, al igual que una comprobación del mismo mediante el análisis de resultados; debido a que el estudiante puede crear diversos escenarios virtuales para observar los fenómenos causados a través de los parámetros reales del funcionamiento del motor de dos tiempos.

La Herramienta Educativa Informática es pionera en la construcción de un modelo orientado a objetos para ilustrar el proceso de funcionamiento del motor de dos tiempos de encendido por chispa en

ciclo ideal, siendo la base para continuar futuros desarrollos que se acerquen a los fenómenos reales presentados en los motores de dos tiempos en el área de Máquinas Térmicas Alternativas.

Este proyecto representa un aporte significativo para nuestra formación profesional aplicando todos los conocimientos adquiridos en nuestra carrera universitaria en las Escuelas de Ingeniería Mecánica y de Sistemas y constituye una experiencia enriquecedora para enfrentar nuevos retos.

6. RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS

Complementar la herramienta haciendo planteamiento teórico-ilustrativo sobre ciclo real a sabiendas que se mantenga el interés de nuevas herramientas educativas que contribuyan al fortalecimiento del aprendizaje de los diversos fenómenos abordados en el campo de la Ingeniería Mecánica.

Ampliar el análisis del funcionamiento de los motores de dos tiempos con encendido por chispa enfocándose a los procesos del contorno del motor, tales como: múltiples de admisión y escape y sistemas de alimentación por aspiración natural y sobrealimentado.

A futuro se pueda contar con un laboratorio donde se comparen los resultados de la herramienta obtenidos en los laboratorios o en actividades de campo

Continuar con el desarrollo de la herramienta educativa informática, implementando nuevos modelos matemáticos correspondientes a:

- Motores de dos tiempos con aspiración natural y sobrealimentados.
- Para análisis y obtención de la eficiencia en el proceso de combustión.

7. BIBLIOGRAFIA

Libros

- COLIN R. Ferguson. "Internal Combustion Engines in Theory and Practice".
- S.K Gudonov, "Difference Scheme for Numerical Computation of Discontinuous Solution of Equations of Fluid Dynamics".1959.
- M. S. Jovac, Motores de Automóvil, Editorial MIR, Moscú, 1982.
- C. Chen, A. Veshagh, F.J. Wallace, " a Comparison Between Alternative Methods for Gas Flow and Performance Prediction of Internal Combustion Engines", SAE Paper N° 921734, Society of Automotive Engineers, 1992.
- J.B. Heywood, Internal Combustion Engines, applied Thermosciences, Jhon Wiley & Sons, Singapore, 1986
- E.F. Obert, Motores de Combustión Interna, Compañía Edit. Continental, México 1978.
- C.F. Taylor, The Internal Combustion Engines In Theory And Practice, The MIT Press, 1985.
- NESTOR Raúl D'croz, Curso de Termodinámica II Parte 3. Ciclos de potencia de Gas, Publicaciones UIS, Bucaramanga 1986.

- YUNUS A. Cengel, Michael A Boles, Termodinámica, McGraw Hill.1996
- J.B. Jones, R.E. Dugan, Ingeniería Termodinámica, Prentice Hall Iberoamericana, 1997.
- ANTHONY F. Mills, Transferencia de Calor, Addison-Wesley Iberoamericana, 1994.
- ISO 3046 “Reciprocating Internal Combustion Engines: Performance-Parts 1, 2 y 3”, International Organization for Standardization.
- JACOBSON, Ivar, Booch Grady y Rumbaugh James; El Proceso Unificado de Desarrollo de Software. (2000).
- RUMBAUGH, James; Jacobson, Ivar; Booch, Grady, El Lenguaje Unificado de Modelado 2000.
- PRESSMAN, Roger.; Ingeniería del Software - Un enfoque práctico.
- PABLO Grech; Introducción a la Ingeniería, Un enfoque a través del diseño.

- BOOCH, Grady JASOSON Ivar; RUMBAUGH, James. El Lenguaje Unificado de Modelado. Madrid. Addison Wesley, 2000. Pág. 432.
- Paul Evitts, A UML Pattern Language, Macmillan Technical Publishing, Indianapolis, 2000
- James J. Odell, Advanced Object-Oriented Analysis & Design Using UML, Cambridge University Press, SIGS Books, New York, 1998.
- GOMEZ. Luís Carlos, Planeación de proyectos – Un Enfoque para la Ingeniería de Sistemas e Informática.
- KENDALL, Kenneth E, Análisis y Diseño de Sistemas, Tercer edición, Person Educación, 2002.
- MORRISON, Michael. XML al descubierto, Editorial Prentice Hall, 1ª edición, Madrid - España, 2000.
- WILLIAMSON, Heather, XML, Manual de Referencia, Editorial Mc Graw Hill, 1ª Edición, Madrid – España, 2001.
- POWELL. Thomas, SCHNEIDER, Fritz, Manual de Referencia de Java Scrip, Editorial Mc Graw Hill, Osborne Media, 1ª edición, Madrid – España, 2002.

Manuales

- Tu primera taza de Java, Sun Microsystem.
- Java desde Cero.
- Adobe Flash, guía curricular.
- Curso Análisis y Diseño Utilizando UML – Alexandra Soraya Beltrán.

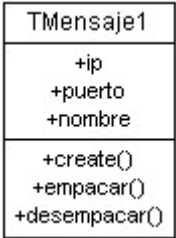

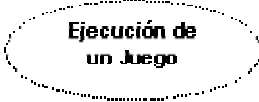

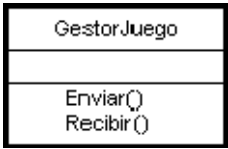
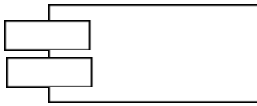
Sitios Web



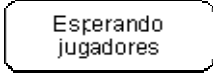

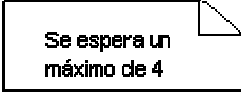
- <http://es.tldp.org/Tutoriales/doc-modelado-sistemas-UML>
- <http://www.uml.org/>
- <http://www.vico.org/>
- <http://www.ingenierosoftware.com/analisisydiseno>
- <http://www.javahispano.org/>
- <http://www.dcc.uchile.cl/~lmateu/Java/Apuntes/applets.htm>
- <http://www.manual-java.com/>
- <http://sunsite.dcaa.unam.mx/java.html>
- <http://www.abcdatos.com/tutoriales/programacion/java/index.html>
- <http://www.viafutura.com>
- <http://www.webestilo.com/flash/>
- <http://www.programatium.com/flash/>
- http://www.webtaller.com/manual-flash/indice_manual_flash.php
- <http://www.youtube.com>

- <http://getvanilla.com>
- www.breker.com/english/ottomotor.htm


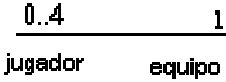
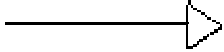

ANEXOS

Anexo A Elementos en UML

ELEMENTOS ESTRUCTURALES		
Elemento	Descripción	Representación
Clases	Es una descripción de un conjunto de objetos que comparten los mismos atributos, operaciones, relaciones y semántica. Una clase implementa una o más interfaces.	 <pre> classDiagram class TMensaje1 { +ip +puerto +nombre +create() +empacar() +desempacar() } </pre>
Interfaz	Colección de operaciones que especifican un servicio de una clase o componente	 <p>IUJugador</p>
Colaboración	Define una interacción y es una sociedad de roles y otros elementos que colaboran para proporcionar un comportamiento cooperativo mayor que la suma de los comportamientos de los elementos.	 <p>Ejecución de un Juego</p>
Caso de Uso	Descripción de un conjunto de secuencias de acciones que un sistema ejecuta y que produce un resultado observable de interés para un actor particular. Se utiliza para estructurar los aspectos de comportamiento de un modelo.	 <p>Unirse al juego</p>
Clase Activa	Es una clase cuyos objetos tienen uno o más procesos o hilos de ejecución y por lo tanto pueden dar origen a actividades de control. Una clase activa es igual que una clase, excepto en que sus objetos representan elementos cuyo comportamiento es concurrente con otros elementos.	 <pre> classDiagram class GestorJuego { +Enviar() +Recibir() } </pre>
Componente	Es una parte física y reemplazable de un sistema que representa el empaquetamiento físico de diferentes elementos lógicos, como clases, interfaces y colaboraciones	

Nodo	Es un elemento físico que existe en tiempo de ejecución y representa un recurso computacional, que por lo general dispone de algo de memoria y, con frecuencia, capacidad de procesamiento	
ELEMENTOS DE COMPORTAMIENTO		
Elemento	Descripción	Representación
Interacción	Comportamiento que comprende un conjunto de mensajes intercambiables entre un conjunto de objetos, dentro un ambiente en particular	
Máquina de Estados	Comportamiento que especifica la secuencia de estados por las que pasa un objeto o interacción durante su vida	
ELEMENTOS DE AGRUPACIÓN Y ANOTACIÓN		
Elemento	Descripción	Representación
Paquete (Agrupación)	Los paquetes se utilizan para organizar los elementos de modelado en partes mayores que se pueden manipular como un grupo. Pueden emplearse para representar diferentes vistas de la arquitectura del sistema.	
Nota (Anotación)	Las notas se utilizan para especificar cosas como requisitos, observaciones, revisiones y explicaciones, además de representar restricciones.	

Anexo B Elementos en UML

Relación	Descripción	Representación
Dependencia	Relación semántica entre dos elementos, en la cual un cambio a un elemento (el elemento independiente) puede afectar a la semántica del otro (el elemento dependiente)	
Asociación	Relación estructural que describe un conjunto de enlaces, los cuales son conexiones entre objetos. A menudo incluye la multiplicidad y los nombres de rol.	
Generalización	Relación de especialización / generalización en la cual los elementos del elemento especializado (el hijo) pueden sustituir a los objetos del elemento general (el padre).	
Realización	Relación semántica entre clasificadores, en donde un clasificador (clases, interfaces, señales, nodos, casos de uso y subsistemas) especifica un contrato que otro garantiza que cumplirá.	

Anexo C Caso de Uso Iniciar Sesión

Código: 001	Nombre: Iniciar sesión
<p>Descripción:</p> <p>El Usuario selecciona qué tipo de Usuario es, si es Estudiante o bien Profesor ó Administrador, ingresa su código y clave correspondientes para poder acceder al menú de la herramienta educativa. Una vez iniciada sesión, el Usuario visualiza una ventana donde puede seleccionar las siguientes opciones de trabajo: Contenido Temático, Modelado del Motor 2T, Ayuda, Laboratorios, Análisis de Resultados, Curso, Condiciones Iniciales.</p>	
Actores:	Prioridad: Alta
Usuario	Importancia: Media
<p>Precondiciones:</p> <p>El usuario debe estar registrado en el Sistema.</p>	
<p>Post-condiciones:</p> <p>Sesión de trabajo iniciada.</p>	
<p>Requerimientos especiales:</p> <p>Sólo pueden iniciar sesiones de trabajo los usuarios registrados, es decir, no se permiten accesos anónimos.</p>	
Flujo básico	
Actor	Sistema
1. Ingresa tipo de usuario, código y clave	
	2. Valida los datos ingresados.
	3. Presenta pantalla principal al usuario
Flujo alternativo	
Actor	Sistema

Anexo D Caso de Uso Modelado del motor 2T

Código: 002	Nombre: Modelado del motor 2T
<p>Descripción:</p> <p>Una vez el usuario ha elegido la opción Modelado del Motor 2T, ingresa las condiciones iniciales y ejecuta el modelo. El modelado del motor de 2 tiempos se puede realizar completo o hasta el proceso elegido.</p> <p>El modelado se divide en los siguientes procesos: ADMISIÓN-ESCAPE, COMPRESIÓN, COMBUSTIÓN, EXPANSIÓN.</p>	
Actores:	Prioridad: Alta
Usuario	Importancia: Alta
Precondiciones:	
Post-condiciones:	
<p>Requerimientos especiales:</p> <p>El modelo cubrirá el caso de un ciclo teórico de un motor de combustión interna de dos tiempos con encendido por chispa.</p>	
Flujo básico	
Actor	Sistema
1. Ingresar los datos que describen las condiciones iniciales del motor	
	2. Validar condiciones iniciales
3. Inicia la ejecución del modelo	
	4. Ejecuta los procesos del modelo en el siguiente orden: Admisión-Escape Compresión Combustión Expansión
	5. Almacena los resultados del modelo para que estén disponibles para el

	análisis.
6. Selecciona las gráficas de resultados del modelo que desea consultar.	
	7. Presenta las gráficas de resultados indicadas.
Flujo alternativo	
Actor	Sistema

Anexo E Caso de Uso Contenido temático

Código: 004	Nombre: Contenido temático
Descripción: El usuario visualiza una pantalla con el índice de la documentación disponible, compuesto por enlaces a los siguientes temas: FUNCIONAMIENTO MOTOR DE DOS TIEMPOS DE ENCENDIDO POR CHISPA CINEMÁTICA DEL MOTOR DINÁMICA DEL MOTOR Proceso De Admisión Proceso de Compresión Proceso Combustión Proceso de Expansión Proceso de Escape	
Actores:	Prioridad: Baja
Usuario	Importancia: Media
Precondiciones:	
Post-condiciones:	
Requerimientos especiales:	
Flujo básico	
Actor	Sistema
Flujo alternativo	
Actor	Sistema

Anexo F Caso de Uso Laboratorios

Código: 003	Nombre: Laboratorios
<p>Descripción:</p> <p>El sistema presenta al usuario la pantalla donde se listan los laboratorios y el usuario elige el que desea consultar.</p>	
Actores:	Prioridad: Media
Usuario	Importancia: Media
Precondiciones:	
Post-condiciones:	
<p>Requerimientos especiales:</p> <p>Deben estar disponibles como mínimo cuatro laboratorios.</p>	
Flujo básico	
Actor	Sistema
	1. El Sistema presenta la lista de laboratorios disponibles.
2. Selecciona un laboratorio para desarrollarlo.	
	3. El Sistema presenta el laboratorio seleccionado.
Flujo alternativo	
Actor	Sistema

Anexo G Caso de Uso Definir Parámetros de Entrada

Código: 002.01	Nombre: Definir parámetros de entrada
<p>Descripción:</p> <p>El usuario ingresa los siguientes datos que describen las condiciones iniciales para el proceso de modelado del motor:</p> <p>d_{bo}: Diámetro del cilindro (mm)</p> <p>L_{st}: Carrera del pistón (mm)</p> <p>L_{ts}: Carrera de confinamiento (mm)</p> <p>L_{ct}: Brazo del Cigüeñal (mm)</p> <p>L_{cr}: Longitud de la biela (mm)</p> <p>N: Velocidad de rotación (rev/min o rad/s)</p> <p>CR_g: Relación de compresión geométrica.</p> <p>CR_{cc}: Relación de compresión del cárter.</p> <p>CR_i: Relación de compresión confinada.</p> <p>V_{sv}: Volumen de barrido (mm^3)</p> <p>V_{ts}: Volumen de barrido confinado (mm^3)</p> <p>V_{cv}: Volumen de la cámara de combustión (mm^3)</p> <p>V_{cc}: Volumen del cárter cuando el pistón esta en vdc.</p> <p>γ: Relación de calores específicos para el aire.</p> <p>ρ_o: Densidad de Referencia (kg/m^3)</p> <p>ρ_{at}: Densidad Atmosférica. (kg/m^3)</p> <p>T_o: Temperatura de referencia (K)</p> <p>T_{at}: Temperatura Atmosférica (K)</p> <p>C_v: Calor específico a volumen constante (KJ/Kg K)</p> <p>P_{at}: Presión atmosférica (Pa)</p> <p>Lumbrera de escape:</p> <p>Diámetro (mm)</p> <p>θ_{atdc}: Angulo de apertura (grados sexagesimales)</p> <p>EO: Angulo de apertura total (grados sexagesimales)</p> <p>Número de lumbreras</p>	

$^{\circ}\text{bbdc}$: Retraso del escape (grados sexagesimales)

Lumbrera de transferencia:

Diámetro (mm)

$^{\circ}\text{TO}$: Angulo de apertura (grados sexagesimales)

$^{\circ}\text{TC}$: Angulo de apertura total (grados sexagesimales)

Número de lumbreras

Lumbrera de admisión:

Diámetro (mm)

IO : Angulo de apertura (grados sexagesimales)

IC : Angulo de apertura total (grados sexagesimales)

Número de lumbreras

Parámetros para la combustión:

η_c : Eficiencia de la combustión (%)

η_v : Eficiencia volumétrica (%)

η_t : Eficiencia térmica (%)

η_m : Eficiencia mecánica (%)

CE : Eficiencia de carga (%)

TE : Eficiencia de confinamiento (%)

SE : Eficiencia de barrido (%)

C_{burn} : Factor que expresa influencia de otros factores en la combustión.

AFR : Relación aire-combustible

AFR_s : Relación aire-combustible estequiométrico

AFR_t : Relación aire-combustible en la cámara de combustión

λ : Relación de equivalencia

λ_m : Relación de equivalencia molecular

β_{θ_b} : Fracción de masa quemada

θ_b : Ángulo girado por el cigüeñal (posición del cigüeñal)

b° : Ángulo de duración de la combustión.

SR : Relación de barrido

DR : Relación de entrega

C_{fi} : poder calorífico del combustible (bajo) (MJ/Kg)

C_{fh} : poder calorífico del combustible (alto) (MJ/Kg)

h_{vap} : Calor latente de vaporización del combustible (KJ/Kg) Π : Pureza de la carga atrapada (%) ψ : Fracción de volumen perdido en intercambio de gases El sistema verifica que los datos ingresados sean correctos.	
Actores:	Prioridad: Alta
Usuario	Importancia: Alta
Precondiciones:	
Post-condiciones: Datos de entrada al modelo del motor de 2T validados.	
Requerimientos especiales:	
Flujo básico	
Actor	Sistema
1. Ingresar datos de condiciones iniciales	
	2. Aplica reglas predefinidas para validar la corrección de los datos.
	3. Almacena datos de inicio para la ejecución del modelo.
Flujo alternativo	
Actor	Sistema

Anexo H Caso de Uso Ejecución del Modelo

Código: 002.02	Nombre: Ejecución del modelo
<p>Descripción:</p> <p>El sistema varía el ángulo de giro a lo largo de un ciclo completo y calcula las siguientes variables:</p> <p>V_{sv}: Volumen de barrido</p> <p>P: Presión en el cilindro</p> <p>T: Temperatura</p> <p>m_f: Carga (masa de la mezcla aire-combustible)</p> <p>m_a: Masa de aire</p> <p>m_r: Gases residuales</p> <p>Este conjunto de variables representan las Variables de estado del motor. Para el cálculo de ellas se utilizan los modelos matemáticos propuestos por Blair¹⁶, que definen un conjunto de ecuaciones aplicables según el proceso que se encuentre presente de acuerdo al valor del ángulo de giro.</p>	
Actores:	Prioridad: Alta
Usuario	Importancia: Alta
<p>Precondiciones:</p> <p>Condiciones iniciales establecidas y validadas.</p>	
<p>Post-condiciones:</p> <p>Variables de estado calculadas y disponibles para análisis de resultados.</p>	
<p>Requerimientos especiales:</p> <p>El modelo cubrirá el caso de un ciclo teórico de un motor de combustión interna de dos tiempos con encendido por chispa.</p>	
Flujo básico	
Actor	Sistema
	1. Inicia el ángulo de giro en el ángulo de apertura total de la lumbrera de escape.

¹⁶ Design and Simulation of Two-Stroke Engines. Glordon P. Blair. 1996

	2. Ejecuta el proceso de Admisión hasta que el ángulo de giro sea igual al ángulo de apertura inicial de la lumbrera de escape.
	3. Ejecuta el proceso de Compresión hasta 2° antes del punto muerto superior del pistón (PMS).
	4. Ejecuta el proceso de Combustión entre 2° antes y 3° después del PMS.
	5. Ejecuta el proceso de Expansión desde 3° después del PMS hasta que el ángulo de giro sea igual al ángulo de apertura inicial de la lumbrera de escape.
	6. Ejecuta el proceso de Escape hasta que el ángulo de giro sea igual al ángulo de apertura total de la lumbrera de escape.
	6. Termina el ciclo.
Flujo alternativo	
Actor	Sistema

Anexo I Caso de Uso Admisión

Código: 002.02.01	Nombre: Admisión
Descripción: El Sistema calcula la cantidad de mezcla atrapada en el cilindro comprendida entre el ángulo de apertura total de la lumbrera de escape y el ángulo de apertura inicial de la lumbrera de escape.	
Actores: 1. Usuario	Prioridad: Alta Importancia: Alta
Precondiciones: Ángulo de giro igual al ángulo de apertura total de la lumbrera	
Post-condiciones: Variables de estado del motor actualizadas.	
Requerimientos especiales:	
Flujo básico	
Actor	Sistema
	1. Realiza el análisis cinemático con los datos de entrada.
	2. Calcula la cantidad de mezcla por análisis termofluidodinámico.
	3. Realiza análisis dinámico.
Flujo alternativo	
Actor	Sistema

Anexo J Caso de Uso Compresión

Código: 002.02.02	Nombre: Compresión
Descripción: El Sistema calcula las propiedades (energía interna, entalpía, presión y temperatura) de la mezcla aire-combustible aplicando el modelo de compresión isoentrópica.	
Actores: 1. Usuario	Prioridad: Alta
Precondiciones: Angulo de giro igual al ángulo de apertura total de la lumbreira de admisión.	
Post-condiciones: Variables de estado del motor actualizadas.	
Requerimientos especiales:	
Flujo básico	
Actor	Sistema
	1. Realiza análisis dinámico.
	2. Realiza análisis termodinámico para hallar las propiedades finales de la mezcla.
	3. Realiza análisis cinemático.
Flujo alternativo	
Actor	Sistema

Anexo K Caso de Uso Combustión

Código: 002.02.03	Nombre: Combustión
Descripción: El Sistema calcula la variación de la presión en el volumen de la cámara de combustión bajo un proceso de combustión con adición de calor a volumen constante.	
Actores: 1. Usuario	Prioridad: Alta
Precondiciones: Angulo de giro igual a 2° antes del punto muerto superior (PMS) del pistón.	
Post-condiciones: Variables de estado del motor actualizadas.	
Requerimientos especiales: Aplicar la ecuación estequiométrica de la combustión.	
Flujo básico	
Actor	Sistema
	1. Calcula el calor liberado en la combustión utilizando la ecuación estequiométrica y el análisis termodinámico.
Flujo alternativo	
Actor	Sistema

Anexo L Caso de Uso Expansión

Código: 002.02.04	Nombre: Expansión
Descripción: El Sistema calcula el trabajo realizado por el pistón aplicando el modelo de rechazo de calor a volumen constante.	
Actores: 1. Usuario	Prioridad: Alta
Precondiciones: Angulo de giro 3° después del punto muerto superior (PMS) del pistón.	
Post-condiciones: Variables de estado del motor actualizadas.	
Requerimientos especiales:	
Flujo básico	
Actor	Sistema
	1. Realiza análisis dinámico.
	2. Realiza análisis termodinámico de los gases.
	3. Realiza análisis cinemático.
Flujo alternativo	
Actor	Sistema

Anexo M Caso de Uso Escape

Código: 002.02.05	Nombre: Escape
Descripción: El Sistema analiza el intercambio de gases residuales con la mezcla nueva aplicando el modelo de análisis de interpolación de ondas de presión.	
Actores: Usuario	Prioridad: Alta
Precondiciones: Angulo de giro igual al ángulo de apertura inicial de la lumbrera de escape.	
Post-condiciones: Variables de estado del motor actualizadas.	
Requerimientos especiales:	
Flujo básico	
Actor	Sistema
	1. Realiza análisis dinámico.
	2. Realiza análisis cinemático.
	3. Realiza análisis termofluidodinámico de los gases.
Flujo alternativo	
Actor	Sistema

Anexo N Caso de Uso Análisis Cinemática

Código: 002.02.06	Nombre: Análisis cinemático
Descripción: El Sistema calcula la posición, velocidad y aceleración del pistón medida desde el punto muerto superior (PMS) aplicando las ecuaciones del movimiento uniformemente acelerado y relaciones geométricas de los elementos involucrados.	
Actores: 1. Usuario	Prioridad: Alta
Precondiciones: Velocidad de rotación del cigüeñal conocida. Posición, velocidad y aceleración actuales conocidas.	
Post-condiciones: Variables de posición, velocidad y aceleración actualizadas.	
Requerimientos especiales: Únicamente se analiza el mecanismo manivela-biela-corredera.	
Flujo básico	
Actor	Sistema
	1. Aplicar ecuaciones del movimiento uniformemente acelerado.
Flujo alternativo	
Actor	Sistema

Anexo O Caso de Uso Análisis Dinámico

Código: 002.02.07	Nombre: Análisis dinámico
Descripción: El Sistema calcula la presión en el interior del cilindro dadas las condiciones actuales del motor.	
Actores: 1. Usuario	Prioridad: Alta
Precondiciones: Velocidad de rotación del cigüeñal conocida. Angulo de giro del cigüeñal conocido. Aceleración actual del pistón conocida.	
Post-condiciones: Presión de los gases actualizada.	
Requerimientos especiales:	
Flujo básico	
Actor	Sistema
	1. Aplicar segunda Ley de Newton
Flujo alternativo	
Actor	Sistema

Anexo P Caso de Uso Análisis de Resultados

Código: 002.03	Nombre: Análisis de resultados
<p>Descripción:</p> <p>El usuario selecciona las gráficas de resultados que desea consultar. La gráfica incluye un enlace para ver la tabla de datos correspondiente.</p> <p>Las gráficas disponibles son:</p> <ol style="list-style-type: none"> a. Angulo de giro vs. Presión b. Angulo de giro vs. Temperatura c. Angulo de giro vs. Carga de combustible (m_f) d. Angulo de giro vs. Masa de aire e. Angulo de giro vs. Porcentaje apertura lumbrera de admisión y escape f. Volumen vs. Presión 	
Actores:	Prioridad:
1. Usuario	Media
Precondiciones:	
Disponibilidad de los datos de resultados de la ejecución del modelo.	
Post-condiciones:	
Requerimientos especiales:	
Flujo básico	
Actor	Sistema
	1. Presenta la lista de gráficas disponibles.
2. Selecciona las gráficas que desea consultar	
	3. Presenta una pantalla con las gráficas seleccionadas.
Flujo alternativo	
Actor	Sistema

Anexo Q Caso de Uso Ver Gráfica

Código: 002.03.01	Nombre: Ver gráfica
Descripción: El Sistema presenta la gráfica con las facilidades para que el usuario realice modificación de la escala, acercamiento a una región seleccionada de la gráfica.	
Actores: 1. Usuario	Prioridad: Media
Precondiciones:	
Post-condiciones:	
Requerimientos especiales: 1. La gráfica debe incluir una sección con las convenciones de colores de las variables incluidas en ella. 2. Si se presenta más de una variable en la gráfica, cada una se identifique con un color distinto.	
Flujo básico	
Actor	Sistema
	1. Presenta la gráfica seleccionada por el usuario.
Flujo alternativo: Modificar escala	
Actor	Sistema
2. Selecciona la opción de Cambio de escala.	
	3. Presenta la pantalla solicitando los datos de la escala deseada para la gráfica.
4. Ingresar los datos de la escala deseada.	
	5. Redibuja la gráfica con la nueva escala indicada por el usuario.
Flujo alternativo: Acercamiento de un área	
Actor	Sistema
2. Marca sobre la gráfica el área rectangular que desea acercar.	

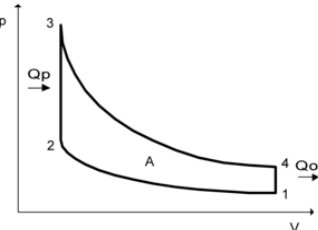
	3. Redibuja la gráfica con los nuevos parámetros del área de la gráfica seleccionada.
	4. Muestra un botón Atrás que permite al usuario volver a la gráfica con la escala inmediatamente anterior.
	5. Muestra un botón Restablecer que permite al usuario restablecer la gráfica original.
6. Puede repetir la acción del paso 2 sobre la nueva gráfica o pulsar uno de los botones Atrás o Restablecer.	

Anexo R Caso de Uso Consultar Laboratorio

Código: 003.05	Nombre: Consultar laboratorio
Descripción: El Sistema le presenta al usuario la pantalla con el contenido del laboratorio. El laboratorio puede tener asociado un archivo de datos iniciales que puede usarse para ejecutar el modelo del motor, de ser sí, la pantalla incluye un enlace a través del cual se accede a la opción de ejecución del modelo utilizando estos datos iniciales.	
Actores: 1. Usuario	Prioridad: Media
Precondiciones:	
Post-condiciones:	
Requerimientos especiales: 1. El contenido del laboratorio debe estar en formato HTML.	
Flujo básico	
Actor	Sistema
	1. Presenta la pantalla con el documento HTML de contenido del laboratorio.
	2. Si el laboratorio tiene asociado un archivo de datos del modelo, muestra un enlace "Ir al modelo" que permite acceder a la pantalla del modelo.
3. Interactúa con el documento HTML.	
Flujo alternativo: Acceder al modelo del motor	
Actor	Sistema
4. Pulsa el enlace "Ir al modelo"	
	5. Presenta la pantalla del modelo y ejecuta el caso de uso "Modelado del motor 2T".

Anexo T Objeto Virtual

OBJETIVOS	TEMÁTICAS	QUÉ SE QUIERE LOGRAR	CÓMO SE VA A LOGRAR	CON QUÉ RECURSOS
<p>Objetivo General</p> <p>Desarrollar una herramienta educativa informática para el estudio y análisis de motores de dos tiempos con encendido por chispa para el área de Máquinas Térmicas Alternativas, con el fin de fortalecer las aplicaciones de los procesos termodinámicos y la interrelación profesor – estudiante.</p> <p>Objetivos Específicos</p> <p>Desarrollar una herramienta educativa interactiva, dinámica, ilustrativa, técnica para el estudio y análisis de un motor de dos tiempos con encendido por chispa con el fin de fortalecer las competencias académicas del Área de Máquinas Térmicas Alternativas.</p> <p>Diseñar una interfaz gráfica que presente el comportamiento de las variables correspondientes al funcionamiento de los motores de dos tiempos con encendido por chispa (Ej: Eficiencia de Barrido vs. RPM, Presión vs. Volumen, Presión vs. Temperatura, Presión vs. Ángulo de Giro,</p>	<p>Energía Mecánica</p> <p>La Primera Ley de la Termodinámica: que no es demostrable matemáticamente, pero ningún proceso de la naturaleza la ha violado. Corresponde básicamente a los cambios en la energía total durante un proceso adiabático, deben ser iguales al trabajo neto realizado ó también conocida como un enunciado del Principio de la Conservación de la energía:</p> $Q - W = \Delta E$ <p>La Segunda Ley de la Termodinámica: partiendo de la circunstancia que el trabajo puede convertirse fácilmente en otras formas de energía, pero convertir otras formas de energía en trabajo no es sencillo.</p>	<p>El presente proyecto plantea la posibilidad de utilizar herramientas informáticas para suplir las deficiencias en el cubrimiento y tratamiento de los temas, así como la necesidad de disponer de una herramienta de apoyo didáctico para que el profesor agilice el desarrollo de la clase de Máquinas Térmicas Alternativas y permita que ésta se centre en el análisis de los gráficos y cálculos que se requieran realizar en los Motores de dos tiempos de</p>	<p>Los análisis cinemático, dinámico y termodinámico permiten describir los requerimientos de la herramienta educativa informática.</p> <p>Para la elaboración de la herramienta educativa informática se tienen en cuenta las fases de:</p> <p>Análisis</p> <p>Mediante los diagramas de casos de uso, aplicando la metodología UML, se realizó la descripción de las funcionalidades de la herramienta educativa informática.</p> <p>Diseño</p> <p>Diagrama de componentes.</p> <p>Diagrama de clases.</p>	<p>Para la elaboración fue necesaria la utilización de:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Herramienta libre Star UML: Utilizada para la elaboración de los diagramas de UML. - Lenguaje HTML: Utilizado para la elaboración del Contenido Temático de la herramienta. - JAVA: Lenguaje de programación la construcción de la herramienta. - ADOBE Flash CS3: Utilizada para realizar las animaciones de cada uno de los procesos del motor de dos tiempos de encendido por chispa. - Los requerimientos mínimos del servidor en el que se instala

<p>Flujo másico vs. RPM), teniendo en cuenta las condiciones iniciales y finales tanto de la mezcla aire-combustible como las condiciones iniciales y finales externas incidentes (condiciones atmosféricas), la geometría del motor, el desarrollo termodinámico de cada etapa del ciclo de un motor de acuerdo a las revoluciones de operación.</p> <p>Dar continuidad a la interrelación colaborativa y al encuentro interdisciplinario de las Escuelas para el desarrollo de nuevas herramientas pedagógicas informáticas e ingenieriles de acuerdo con la misión institucional de la universidad contemplada en su Proyecto Educativo.</p> <p>Desarrollar cuatro talleres y/o prácticas para motores de dos tiempos de encendido por chispa en el laboratorio de Máquinas Térmicas Alternativas utilizando la nueva herramienta educativa informática.</p>	<div style="text-align: center;"> $\oint \frac{\delta Q}{T} \leq 0$ </div> <p>CICLO DE OTTO: (Ciclo Ideal) es el ciclo ideal para las máquinas reciprocantes con encendido por chispa.</p>  <p>1-2: Compresión isentrópica</p> <p>2-3: Combustión: Adición de Calor (Q) a V=CTE</p> <p>3-4: Expansión isentrópica</p> <p>4-1: Admisión-Escape: Intercambio de gases y Liberación de Calor (Q) a V=cte.</p>	<p>encendido por chispa. De esta manera, se busca fortalecer el estudio teórico - práctico de los procesos termodinámicos planteados por el área de las Máquinas térmicas alternativas especialmente en los procesos vigentes en el ciclo de funcionamiento de los motores de dos tiempos con encendido por chispa, del cual no se posee ninguna herramienta pedagógica computacional que facilite su método de estudio.</p>	<p>Diagrama de Secuencia.</p> <p>Construcción</p> <p>Estudio de los posibles lenguajes a utilizar para su desarrollo: se escogió JAVA como lenguaje de programación orientado a objetos.</p> <p>Despliegue</p> <p>Integración de la aplicación Foro.</p> <p>La aplicación Vanilla 1 es una aplicación Web de software libre, que permite gestionar foros de discusión.</p> <p>Resultados</p> <p>La interfaz gráfica ilustra el comportamiento de las variables correspondientes al funcionamiento de los motores de dos tiempos con encendido por chispa.</p>	<p>la aplicación para gestionar foros son: PHP 4.1 o superior, MySQL 3.23 o superior.</p> <p>- Sistema Operativo Windows XP, VISTA o LINUX.</p>
---	--	--	---	---

Anexo U Manual De Usuario

HERRAMIENTA INFORMÁTICA EDUCATIVA PARA EL ANÁLISIS DE UN MOTOR DE DOS TIEMPOS DE ENCENDIDO POR CHISPA PARA EL ÁREA DE MÁQUINAS TÉRMICAS ALTERNATIVAS DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA DE LA UIS.

INTRODUCCION

Este documento es un manual dirigido a los usuarios de la herramienta informática Motor2t.

El documento está organizado en tres capítulos:

- El Primer capítulo presenta los pasos para ingresar los parámetros del motor y ejecutar el modelo.
- El Segundo capítulo describe como generar los gráficos de resultados
- El Tercer capítulo describe cómo guardar y cargar los parámetros del motor desde un archivo.

PRIMER CAPITULO

ENTRADA DE DATOS Y EJECUCIÓN DEL MODELO

Desde la pantalla de Inicio pulse clic en el enlace Modelo Motor 2T, aparecerá la pantalla principal del programa Motor2T. (Fig. 50).

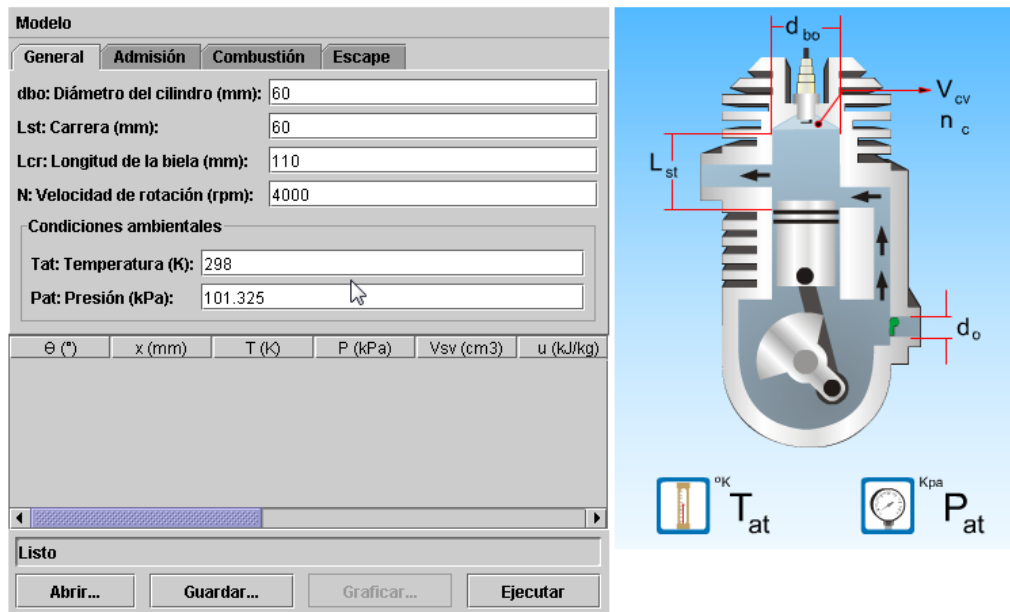


Figura 50 Ficha General

En la ficha **General** digite los siguientes datos:

- *Diámetro del cilindro (d_{bo})* en milímetros
- *Carrera del pistón (L_{st})* en milímetros
- *Longitud de la biela (L_{cr})* en milímetros
- *Velocidad de rotación* del cigüeñal (N) en revoluciones por minuto
- *Temperatura (T_{at})* ambiente en kelvin
- *Presión (P_{at})* ambiente en kilopascales

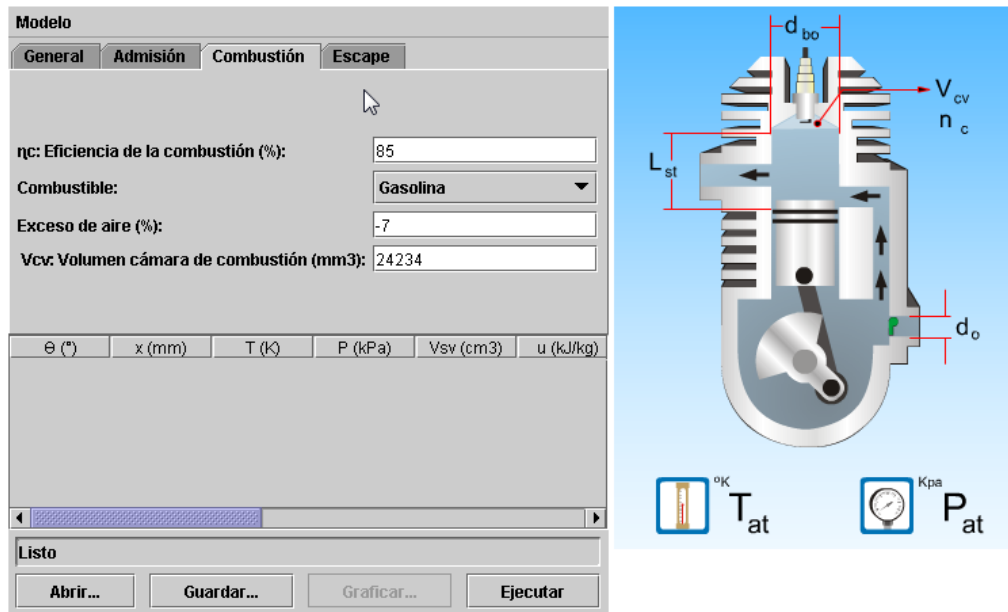


Figura 52 Ficha de Combustión

Ingrese los siguientes datos:

- *Eficiencia de la combustión (η_c)* en porcentaje
- *Combustible* (sólo está disponible la Gasolina)
- *Exceso de aire de la mezcla* en porcentaje. Para indicar carencia de aire digite un valor negativo
- *Volumen de la cámara de combustión (V_{cv})* en milímetros cúbicos

Por el momento el único combustible disponible para ejercitar el modelo es la Gasolina.

Vaya a la ficha **Escape** pulsando clic en la pestaña correspondiente:

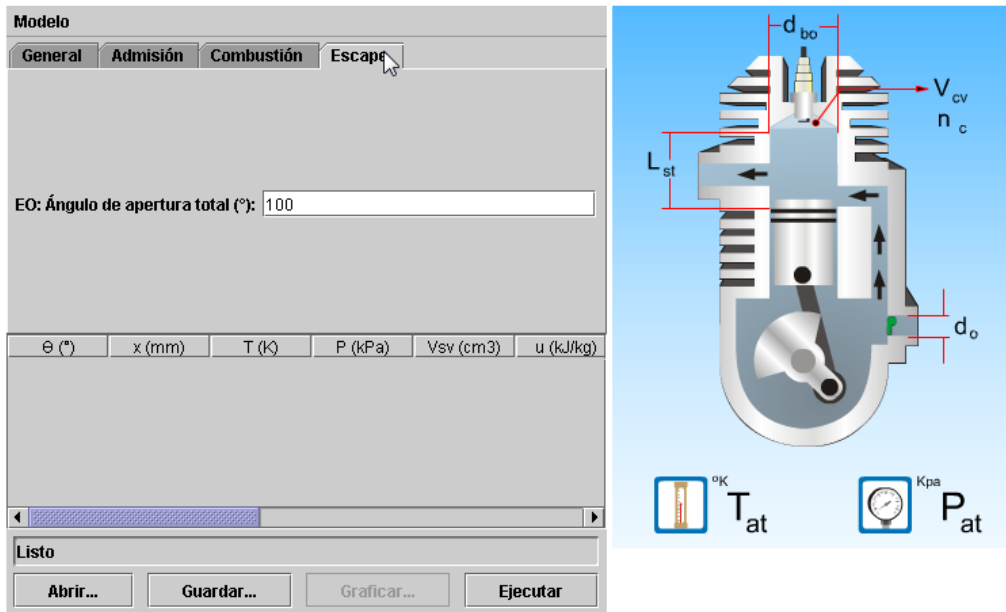


Figura 53 Ficha de Escape

En esta ficha debe digitar el *Ángulo de apertura total de la lumbrera de escape (EO)* en grados sexagesimales.

Finalmente presione el botón **Ejecutar** para iniciar el modelo. En la barra de estado ubicada en la parte inferior justo encima de los botones se mostrará el progreso de la operación. Al finalizar la ejecución, la pantalla cambiará como se muestra a continuación:

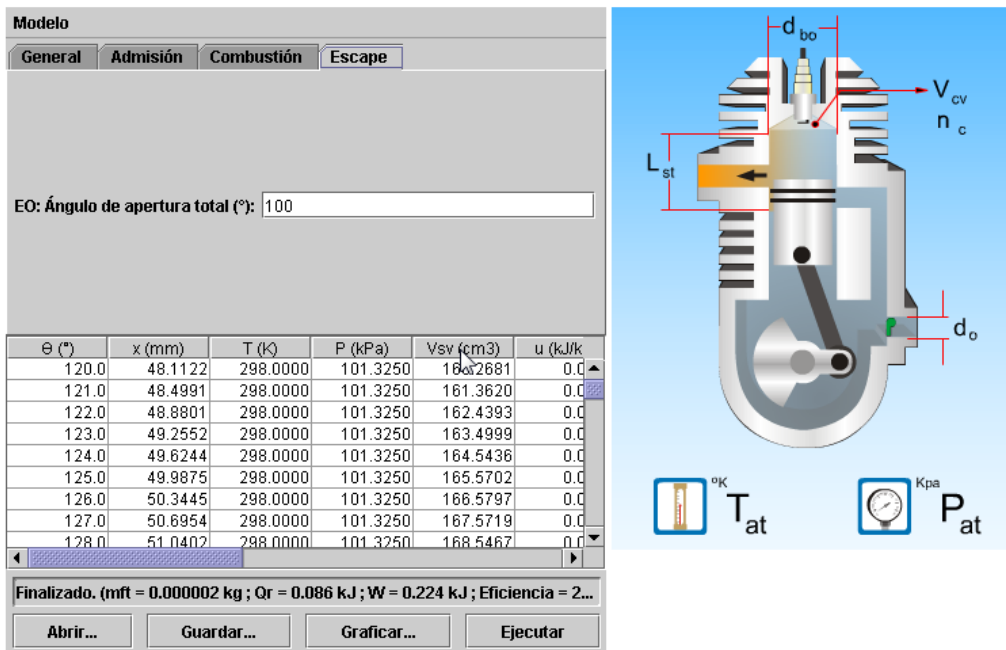


Figura 54 Resultados

Se muestran los siguientes resultados:

- En la tabla de resultados paso a paso se incluyen los siguientes datos:
 - Ángulo de giro del cigüeñal en grados sexagesimales
 - Posición del pistón (x) en milímetros
 - Temperatura dentro del cilindro en kelvin
 - Presión dentro del cilindro en kilopascales
 - Volumen encerrado (V_{sv}) en milímetros cúbicos
 - Energía interna instantánea en kilojulios
 - Trabajo instantáneo realizado en kilojulios
 - Masa de aire instantánea en kilogramos
 - Masa de combustible instantánea en kilogramos
 - Porcentaje de apertura de la lumbrera de admisión

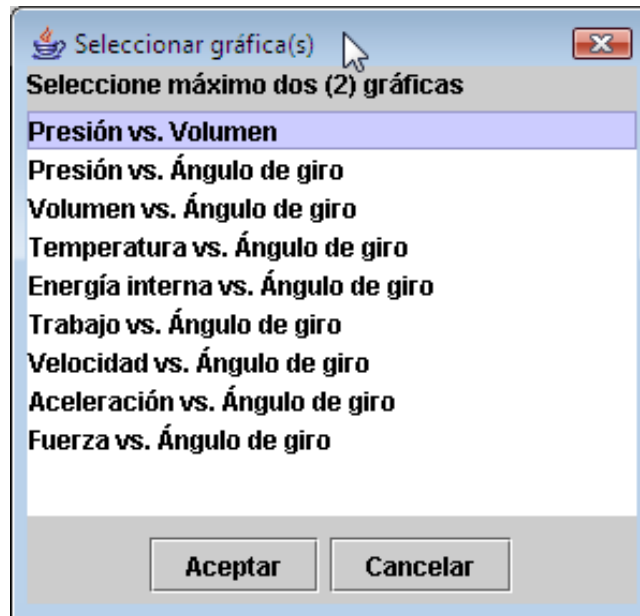
- Energía liberada (Q) en kilojulios
 - Velocidad del pistón en metros por segundo
 - Aceleración del pistón en metros por segundo cuadrado
 - Fuerza sobre el pistón en newtons

- En la barra de estado se muestra la *Masa total de combustible* (m_{ft}) quemado en kilogramos, la *cantidad de energía liberada* (Q_r) en la combustión en kilojulios, el trabajo *neto realizado* (W) en kilojulios y la *eficiencia térmica* en porcentaje.

SEGUNDO CAPITULO

GENERACIÓN DE GRÁFICOS DE RESULTADOS

Para generar los gráficos de resultados después de ejecutar el modelo presione el botón **Graficar** y seleccione la gráfica deseada en la ventana **Seleccionar gráfica(s)** mostrada a continuación:



Al seleccionar una gráfica (o dos) éstas aparecerán en una nueva ventana emergente como se muestra a continuación:

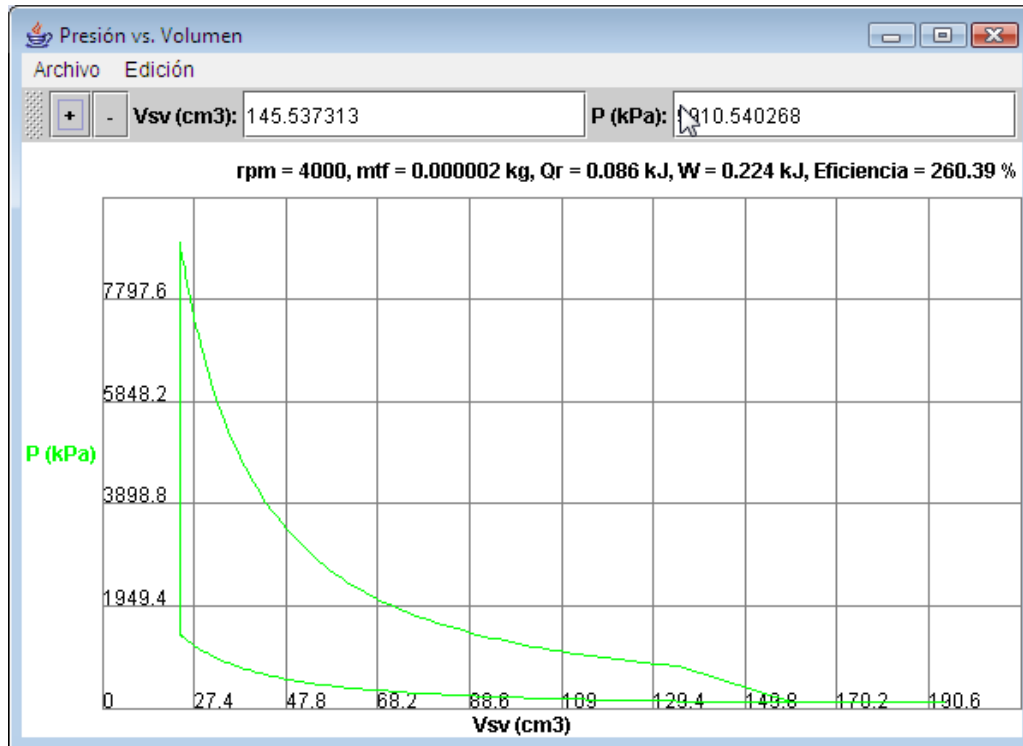


Figura 55 Gráfica de Presión vs. Volumen

En la ventana de la gráfica se ofrecen las siguientes opciones de interacción:

- Botones + y – en la barra de herramientas superior que permiten alejar y acercar la gráfica respectivamente.
- Cuadros de texto con la información de las coordenadas del cursor del ratón cuando éste se desplaza sobre el área de la gráfica.
- Opción de menú *Archivo>Guardar gráfica* que permite guardar la gráfica en un archivo en formato PNG o JPEG (según la extensión dada al archivo sea .png o .jpg respectivamente).
- Opción de menú *Edición>Restablecer gráfica* que permite establecer la gráfica a sus colores iniciales.

- Opción de menú *Edición>Colores>Fondo>Gráfica* que permite establecer el color de fondo de la pantalla.
- Opción de menú *Edición>Colores>Fondo>Área de dibujo* que permite establecer el color de fondo de la región donde se dibujan los datos.
- Opciones del menú *Edición>Colores>Series de datos* que permiten establecer el color de cada una de las gráficas mostradas.
- Opción del menú *Edición>Colores>Regla* que permite establecer el color de la rejilla de la escala.
- Opción del menú *Edición>Colores>Escala* que permite establecer el color de los valores de la escala.
- Opción del menú *Edición>Comparar>Copiar* que permite colocar la gráfica actual en el espacio temporal de memoria para poderla agregar a otra pantalla gráfica como gráfica comparativa.
- Opción del menú *Edición>Comparar>Pegar* que permite agregar la gráfica ubicada en el espacio temporal de memoria a la pantalla gráfica actual como gráfica comparativa (Sólo se pueden comparar gráficas del mismo tipo).
- Opción del menú *Edición>Comparar>Quitar* que permite quitar la gráfica comparativa de la pantalla gráfica actual.

TERCER CAPITULO

ALMACENAMIENTO Y CARGUE LOS PARÁMETROS EN Y DESDE UN ARCHIVO

Para almacenar los parámetros actuales del modelo presione el botón **Guardar**, seleccione la carpeta destino del archivo y digite el nombre que le asignará. El archivo generado se encuentra en formato de texto estándar. A continuación se muestra el contenido típico de un archivo de parámetros del modelo:

```
Db0=60
Lst=60
Lcr=110
rpm=4000
excesoAire=-7
Tatm=298
Patm=101.325
TO=120
numLumbreras=2
dlo=10
eficienciaCombustion=85
combustible=0
Vcv=24234
EO=100
```

Los parámetros de entrada del modelo se pueden cargar desde un archivo previamente guardado con la herramienta. Para cargar los datos desde un archivo presione el botón **Abrir** y seleccione el archivo de parámetros de entrada para el modelo.

CUARTO CAPITULO

ALMACENAMIENTO DE LA TABLA DE RESULTADOS DEL MODELO

Para almacenar la tabla de resultados del modelo pulse clic derecho sobre la tabla y seleccione la opción **Guardar** del menú emergente que aparece; luego seleccione la carpeta destino del archivo y digite el nombre que le asignará. El archivo generado se encuentra en formato de valores separados por coma (*.csv). A continuación se muestra un fragmento del contenido típico de un archivo de resultados del modelo:

Ángulo (°),x (mm),T (K),P (kPa),Vsv (cm3),u (kJ/kg),W (J),Ma (g),Mf (g),% apertura,Q (kJ),v (m/s),a (m/s2),F (N)
120.0,48.1122,298.0000,101.3250,160.2681,0.0000,0.0000,0.0000,0.0000,0.00,0.0000,9.3556,-3,348.7623,0.2865
121.0,48.4991,298.0000,101.3250,161.3620,0.0000,0.0000,0.0000,0.0000,1.28,0.0000,9.2153,-3,381.5806,0.2865
122.0,48.8801,298.0000,101.3250,162.4393,0.0000,0.0000,0.0000,0.0000,3.53,0.0000,9.0738,-3,412.8200,0.2865
123.0,49.2552,298.0000,101.3250,163.4999,0.0000,0.0000,0.0000,0.0000,6.33,0.0000,8.9310,-3,442.5196,0.2865
124.0,49.6244,298.0000,101.3250,164.5436,0.0000,0.0000,0.0000,0.0000,9.52,0.0000,8.7869,-3,470.7194,0.2865
...
95.0,36.7523,2,013.7284,861.5760,128.1488,0.0000,1.2632,0.0000,0.0000,0.00,0.0000,12.2094,-1,926.8930,2.4360
96.0,37.2594,2,004.7874,848.2611,129.5823,0.0000,1.2351,0.0000,0.0000,0.00,0.0000,12.1274,-2,007.8184,2.3984
97.0,37.7629,1,996.0439,835.3832,131.0061,0.0000,1.2077,0.0000,0.0000,0.00,0.0000,12.0421,-2,086.7009,2.3620
98.0,38.2628,1,987.4939,822.9259,132.4196,0.0000,1.1808,0.0000,0.0000,0.00,0.0000,11.9535,-2,163.5316,2.3268
99.0,38.7590,1,979.1335,810.8738,133.8224,0.0000,1.1545,0.0000,0.0000,0.00,0.0000,11.8618,-2,238.3039,2.2927
100.0,39.2513,1,970.9590,799.2120,135.2143,0.0000,1.1286,0.0000,0.0000,0.00,-0.0072,11.7670,-2,311.0145,2.2597