

ANALISIS DE UN MOTOR TCE A GASOLINA DE 3 CILINDROS 900 CC. DE UN
AUTOMOVIL RENAULT CLIO

“Análisis De Un Motor TCE A Gasolina De 3 Cilindros 900 cc. De Un Automóvil Renault
Clío”

Mauricio Rene Meza Carrillo

Universidad Internacional SEK

Nota de Autor

Mauricio Rene Meza Carrillo, Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad
Internacional SEK; Director Ing. Santiago Celi. MBA

Cualquier correspondencia concerniente a este trabajo puede dirigirse a:

mezamauricio171@gmail.com.

ANALISIS DE UN MOTOR TCE A GASOLINA DE 3 CILINDROS 900 CC. DE UN AUTOMOVIL RENAULT CLIO

Declaración Juramentada

Yo, MAURICIO RENE MEZA CARRILLO con cédula de identidad # 1716135726, declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado a calificación profesional y que ha consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en éste documento.

A través de la presente declaración, cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a éste trabajo, a la UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.

Mauricio Rene Meza Carrillo

C.C: 1716135726

ANALISIS DE UN MOTOR TCE A GASOLINA DE 3 CILINDROS 900 CC. DE UN
AUTOMOVIL RENAULT CLIO

Declaratoria

El presente trabajo de investigación titulado:

“Análisis de un Motor TCE a gasolina de 3 cilindros 900 cc. De un Automóvil Renault Clío”

Realizado por:

MAURICIO RENE MEZA CARRILLO

Como requisito para la obtención del Título de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

Ha sido dirigido por el profesor

ING. SANTIAGO CELI, MBA

Quien considera que constituye un trabajo original de su autor

Ing. Santiago Celi, MBA

DIRECTOR

ANALISIS DE UN MOTOR TCE A GASOLINA DE 3 CILINDROS 900 CC. DE UN
AUTOMOVIL RENAULT CLIO

Los profesores informantes

Los Profesores Informantes:

ING. YAMANDÚ YÁNEZ, Mg

ING. JUAN CARLOS ROCHA, M.Sc.

Después de revisar el trabajo presentado,
lo han calificado como apto para su defensa oral ante

El tribunal examinador

Ing. Yamandú Yáñez, Mg

Ing. Juan Carlos Rocha, M.Sc.

Quito, 27 de enero de 2016

ANALISIS DE UN MOTOR TCE A GASOLINA DE 3 CILINDROS 900 CC. DE UN AUTOMOVIL RENAULT CLIO

DEDICATORIA

A mis empresas, por el apoyo brindado a lo largo de mi vida estudiantil, nuevas ideas y arduos sacrificios a fin de formar un excelente habilitador.

A todos los millonarios, por ser inspiración, a quien debo parte de éste logro.

A mi Equipo AtraXion por inspirarme y brindarme su incondicional apoyo en los buenos y malos momentos.

A alguien por ser el ejemplo y la meta que muchos estudiantes quieren alcanzar al mantenerse 5 años en la Universidad para ser Alguien en la Vida

Mauricio

ANALISIS DE UN MOTOR TCE A GASOLINA DE 3 CILINDROS 900 CC. DE UN AUTOMOVIL RENAULT CLIO

AGRADECIMIENTO

A Retrolimusinas, ClassLike, Custom Light, Cook Me, CHAT, Empresas que me dieron la oportunidad de obtener los conocimientos que me han formado como un empresario valioso.

A las limusinas Roja y Negra, la Monster y los 2 sedan 210 por permitirme desarrollar mis conocimientos en el transcurso de éste proyecto.

A mi Familia quienes han compartido sus sabios conocimientos y experiencias a lo largo de mi carrera estudiantil.

Como dejar de lado a mis Seguidores en YouTube (youtube.com/ChatAprende) por qué juntos compartimos experiencias que dejan grandes enseñanzas e inolvidables momentos vividos.

Mauricio.

ANALISIS DE UN MOTOR TCE A GASOLINA DE 3 CILINDROS 900 CC. DE UN AUTOMOVIL RENAULT CLIO

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

Resumen.....	1
Abstract	2
Introducción	3
Motor de Combustión Interna.....	3
a) Primer tiempo o admisión:.....	4
b) Segundo tiempo o compresión:	4
c) Tercer tiempo o expansión:.....	5
d) Cuarto tiempo o escape:	5
Torque.....	5
Potencia.....	6
Clasificación de los motores de combustión interna.....	7
Por la disposición de cilindros	7
Motores en línea.....	7
Motores en V.....	8
Motores de cilindros opuestos	8
Motores de cilindros radiales	9
Cilindrada.....	9
Mecanismo Biela Manivela	10
Momento de Inercia	12
Sistemas del motor.....	13
Sistemas de alimentación.....	13
Sistema de lubricación	14
Sistema de distribución	14
Sistema eléctrico	14

ANALISIS DE UN MOTOR TCE A GASOLINA DE 3 CILINDROS 900 CC. DE UN AUTOMOVIL RENAULT CLIO

Sistema de refrigeración	14
Curvas características del motor	15
Historia Del Renault	15
Método	16
Cálculo Termodinámico del Motor de Combustión Interna	16
Datos iniciales	17
Velocidad Angular (ω).....	17
Área del círculo del Cilindro (A)	18
Cilindrada unitaria (Vh)	18
Cilindrada total (VH).....	18
Volumen muerto (Vc)	19
Volumen total del cilindro (Va)	19
Relación de longitudes (λ)	19
Admisión.....	20
Densidad de la carga de admisión (ρ_0).....	20
Presión de admisión (Pa).....	21
Cantidad de gases residuales (γ_r)	22
Temperatura al finalizar la admisión (Ta)	22
Combustible	23
Cantidad teórica de aire necesaria para la combustión de un kg de gases (Lo)	23
Cantidad total de mezcla (M1).....	24
Total productos de la combustión (M2).....	24
Coeficiente teórico de variación molecular (μ_0)	25
Coeficiente real de variación molecular (μ_r).....	26
Compresión	26

ANALISIS DE UN MOTOR TCE A GASOLINA DE 3 CILINDROS 900 CC. DE UN AUTOMOVIL RENAULT CLIO

Presión final de la compresión: (P_c)	27
Temperatura al final de la compresión (T_c).....	27
Temperatura de combustión (T_z).....	27
Presión calculada para el final de la compresión (P_z)	31
Expansión.....	32
Presión al final de la expansión (P_b)	32
Temperatura al final de la expansión (T_b).....	32
Cálculo de Fuerzas.....	33
Fuerza inicial (F_o).....	33
Fuerza de Admisión (F_a)	33
Fuerza de combustión máxima (F_z).....	34
Fuerza de Compresión (F_c).....	34
Fuerza al final del Trabajo (F_b)	34
Resultados.	44
Curvas Características del Motor.....	46
Diagrama $P-\theta$	47
Diagrama $F_e-\theta$	48
Diagrama $N_e-\theta$	49
Diagrama $K_e-\theta$	50
Diagrama $Z_e-\theta$	51
Diagrama $T_e-\theta$	52
Diagrama $V_e-\theta$	53
Diagrama $W_e-\theta$	54
Diagrama $S_e-\theta$	55

ANALISIS DE UN MOTOR TCE A GASOLINA DE 3 CILINDROS 900 CC. DE UN AUTOMOVIL RENAULT CLIO

Discusión.....	56
Conclusiones	56
Recomendaciones	57
Bibliografía	58

ANALISIS DE UN MOTOR TCE A GASOLINA DE 3 CILINDROS 900 CC. DE UN AUTOMOVIL RENAULT CLIO

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ciclos del motor 4 tiempos,.....	4
Figura 2. Fuerzas aplicadas para determinar el torque,	6
Figura 3, Motor disposición en línea,	7
Figura 4. Motor disposición en V,	8
Figura 5. Motor disposición cilindros opuestos,.....	8
Figura 6, Motor disposición en estrella,.....	9
Figura 7, Volumen de cilindrada,	10
Figura 8. Mecanismo Biela Manivela,.....	11
Figura 9, Representación de Angulo β_0	38
Figura 10, Diagrama P – V del motor TCE a gasolina de 3 cilindros 900cc. de un automóvil Renault Clío.....	46
Figura 11, Diagrama P – θ del motor TCE a gasolina de 3 cilindros 900cc. de un automóvil Renault Clío.....	47
Figura 12, Diagrama F_e – θ del motor TCE a gasolina de 3 cilindros 900cc. de un automóvil Renault Clío.....	48
Figura 13, Diagrama N_e – θ	49
Figura 14, Diagrama K_e – θ del motor TCE a gasolina de 3 cilindros 900cc. de un automóvil Renault Clío.....	50
Figura 15, Diagrama Z_e – θ del motor TCE a gasolina de 3 cilindros 900cc. de un automóvil Renault Clío.....	51
Figura 16, Diagrama T_e – θ del motor TCE a gasolina de 3 cilindros 900cc. de un automóvil Renault Clío.....	52
Figura 17, Diagrama V_e – θ del motor TCE a gasolina de 3 cilindros 900cc. de un automóvil Renault Clío.....	53

ANALISIS DE UN MOTOR TCE A GASOLINA DE 3 CILINDROS 900 CC. DE UN AUTOMOVIL RENAULT CLIO

Figura 18, Diagrama $W_e - \theta$ del motor TCE a gasolina de 3 cilindros 900cc. de un automóvil

Renault Clío.....54

Figura 19, Diagrama $S_e - \theta$ del motor TCE a gasolina de 3 cilindros 900cc. de un automóvil

Renault Clío.....55

ANALISIS DE UN MOTOR TCE A GASOLINA DE 3 CILINDROS 900 CC. DE UN AUTOMOVIL RENAULT CLIO

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	16
Tabla 2	17
Tabla 3	20
Tabla 4	23
Tabla 5	26
Tabla 6	28
Tabla 7	31
Tabla 8.	33
Tabla 9	36
Tabla 10	37
Tabla 11	38
Tabla 12	39
Tabla 13.	40
Tabla 14	41
Tabla 15	41
Tabla 16	42
Tabla 17	43

Resumen

Este proyecto determina las curvas características de un motor a gasolina de 3 cilindros de 900 cc., de un Renault Clío, en el cual se muestra las curvas de trabajo, conociendo así los beneficios y debilidades que genera los diferentes puntos, se compara la presión, el volumen y las distintas fuerzas con respecto al ángulo de giro del cigüeñal para obtener las curvas características del motor a combustión interna.

Para llegar al resultado final de este proyecto se realizó una investigación previa de los distintos tipos de motores existentes en el mercado, se estableció los datos iniciales utilizando los estándares de fábrica para con éstos, analizar las distintas fórmulas en las diferentes fases del ciclo: admisión, compresión, expansión y escape, las mismas que se explicará en el contexto de este documento.

Se realiza el análisis para proponer con estos datos una base para la ingeniería inversa de los componentes del motor, presentando el análisis de un motor a gasolina de 3 cilindros de 900 cc., de un Renault Clío para el usuario, se presenta los cálculos del mismo, representados por diagramas, los diagramas que se utiliza para transmitir esta información se denominan curvas características curvas características del motor, se mostrara el intervalo de variables de operación en el régimen de giro del cigüeñal de 0° a 720° .

Abstract

This project determines the characteristic curves of a gasoline engine 3-cylinder 900 cc., A Renault Clio, which curves shown work and knowing the benefits and weaknesses of which the different points, the pressure was compared the volume and the different forces with respect to the crank angle to obtain the characteristic curves of the internal combustion engine.

To get to the end result of this project a preliminary investigation of the different types of existing engines on the market was performed, the initial data was established using factory standards toward them, analyze the different ways at different stages of the cycle: admission , compression, expansion and exhaust, the same will be explained in the context of this document.

analysis be conducted to propose the reverse engineering of this project, presenting the analysis of a gasoline engine 3-cylinder 900 cc., a Renault Clio for the user, the calculations thereof, represented by diagrams are presented, diagrams which is used to transmit this information are called curves engine characteristics, the range of operating variables is displayed on the speed of the crankshaft from 0 ° to 720 °.

Introducción

El problema a resolver en un programa de evaluación de un motor TCE 900cc de un Renault Clío es de gran importancia entender las curvas de los diferentes parámetros como son velocidad, desplazamiento, aceleración y diferentes fuerzas que actúan en el pistón las cuales no se encuentran presentes en la información estándar que viene con el auto, y así poder analizar el proceso termodinámico, cinemático y mecánico del mismo.

El objetivos es analizar el proceso termodinámico, cinemático, y mecánico de un motor TCE 3 cilindros 900cc de un Renault Clío para poder generar diagramas basándonos en datos numéricos, y así tener un criterio técnico de las condiciones de funcionamiento que deben soportar los diferentes elementos del motor, como son presiones, esfuerzos.

Motor de Combustión Interna

Al producirse la combustión en el motor se transforma su energía química en energía térmica, a partir de la cual se obtiene energía mecánica. Para esto se usa un fluido antes de iniciar la combustión que es una mezcla de aire y un combustible derivado del petróleo, como Gasolina o Diesel. Esta energía se encarga de hacer funcionar el sistema biela – manivela en el motor de los automóviles que produce el movimiento. (Payri F, 2011, p.17)

Se denomina motor de cuatro tiempos al motor de combustión interna alternativo tanto de ciclo Otto como ciclo del diésel, que precisa cuatro carreras del pistón o émbolo (dos vueltas completas del cigüeñal) para completar el ciclo termodinámico de combustión como se muestra en la Figura 1. (Esguar H., p.6)

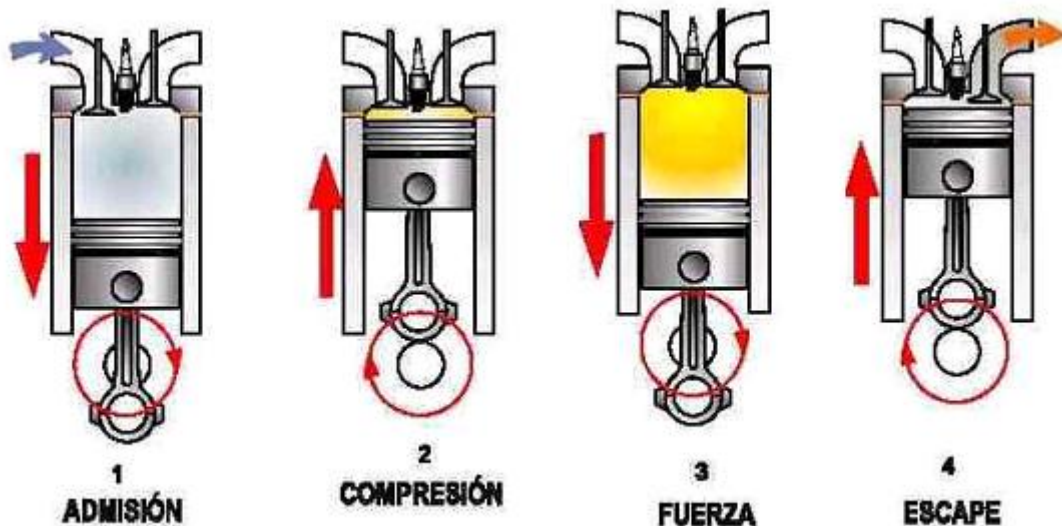


Figura 1. Ciclos del motor 4 tiempos,

Fuente: (Mecánica y motores, 2012)

Los cuatro tiempos se describe a continuación:

a) Primer tiempo o admisión:

En esta fase el descenso del pistón aspira la mezcla aire combustible. La válvula de escape permanece cerrada, mientras que la de admisión está abierta. En el primer tiempo el cigüeñal gira 180° y el árbol de levas da 90° y la válvula de admisión se encuentra abierta y su carrera es descendente. (Jóvaj M., 1982,)

b) Segundo tiempo o compresión:

Al llegar al final de la carrera inferior, la válvula de admisión se cierra, comprimiendo el gas contenido en la cámara por el ascenso del pistón. En el segundo tiempo el cigüeñal gira a 180° y el árbol de levas gira a 90° y además ambas válvulas se encuentran cerradas y su carrera es ascendente. (Judge A., 1955,)

c) Tercer tiempo o expansión:

Al llegar al final de la carrera superior el gas ha alcanzado la presión máxima. En los motores de encendido provocado o de ciclo Otto salta la chispa en la bujía, provocando la inflamación de la mezcla, una vez iniciada la combustión, esta progresa rápidamente incrementando la temperatura y la presión en el interior del cilindro, expandiendo los gases que empujan el pistón. Esta es la única fase en la que se obtiene trabajo. En este tiempo el cigüeñal gira 180° mientras que el árbol de levas gira 90° respectivamente, ambas válvulas se encuentran cerradas y su carrera es descendente. (Esguar H., p.09)

d) Cuarto tiempo o escape:

En esta fase el pistón empuja, en su movimiento ascendente, los gases de la combustión que salen a través de la válvula de escape que permanece abierta. Al llegar al punto máximo de carrera superior, se cierra la válvula de escape y se abre la de admisión, reiniciándose el ciclo. En este tiempo el cigüeñal gira 180° y el árbol de levas gira 90°. (Jóvaj M., 1982,)

Torque.

Se llama torque o momento de una fuerza a la capacidad de dicha fuerza que por la produce un giro o rotación alrededor de un punto. El torque es la fuerza que aplica el motor, a mayor torque que genere un motor mayor será la fuerza que este transmite a las ruedas. Esa fuerza es la que hace que el vehículo salga del reposo y acelere. Entre mayor sea la fuerza mayor será la aceleración, es decir, entre mayor sea el torque mayor será la aceleración del vehículo como se muestra en la ecuación 1. (Zhelesco B., 1980, p. 22).

$$M = F * r \quad (1)$$

Dónde:

$M = \text{par o momento o torque [Nm]}$

$F = \text{fuerza [N]}$

$r = \text{longitud del brazo de palanca [m]}$

(Morales M., 2012, p.07)

La unidad del par o momento en el sistema internacional es el newton metro [Nm] o $[kg \cdot m^2/s^2]$ y la unidad equivalente en el sistema inglés es la libra fuerza por pie [lbfft].

(Morales M., 2012, p.07)



Figura 2. Fuerzas aplicadas para determinar el torque,

Fuente: (Física Básica, 2015).

Potencia.

Se conoce como potencia mecánica al trabajo que realiza un individuo o una máquina en un cierto periodo de tiempo. Es decir que se trata de la potencia que se transmite a través del accionar de una fuerza física de contacto o de algunos elementos mecánicos relacionados, como un engranaje o un juego de palancas y se puede calcular dividiendo el trabajo entre el tiempo como se muestra en la ecuación 2. (Judge A., 1955, p. 54)

La unidad de potencia es el watt [W] y se define como:

$$P = \frac{W}{T} \quad 1 \text{ watt} = \frac{1 \text{ joule}}{1 \text{ segundo}} \quad (2)$$

Donde:

$P = potencia [Watt]$

$W = Trabajo [Joule]$

$T = tiempo [seg]$

(Morales M., 2012, p.09)

Se trabaja en el sistema internacional, para potencia se usa el caballo de fuerza (Horsepower) [HP] y tiene las siguientes equivalencias:

1 HP = 745,7 W = 76 kgf m/s

(Morales M., 2012, p.09)

Clasificación de los motores de combustión interna

Por la disposición de cilindros

Motores en línea

Con los cilindros colocados uno detrás del otro como se muestra en la figura 3. (Esguar H., p.07)



Figura 3, Motor disposición en línea,

Fuente: (Electrónica y Mecánica, 2011)

Motores en V

Con cilindro dispuestos en el bloque formando un determinado Angulo, que varía según el tipo de motor como se muestra en la figura 4. (Esguar H., p.07)

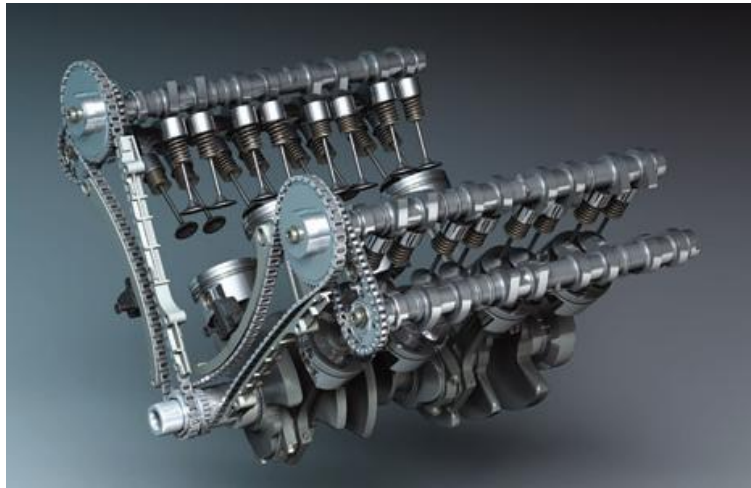


Figura 4. Motor disposición en V,

Fuente: (Quinteros T, 2014).

Motores de cilindros opuestos

Con cilindros dispuesto horizontalmente en bloque, formado un Angulo de 180° como se muestra en la figura 5. (Judge A., 1955,)

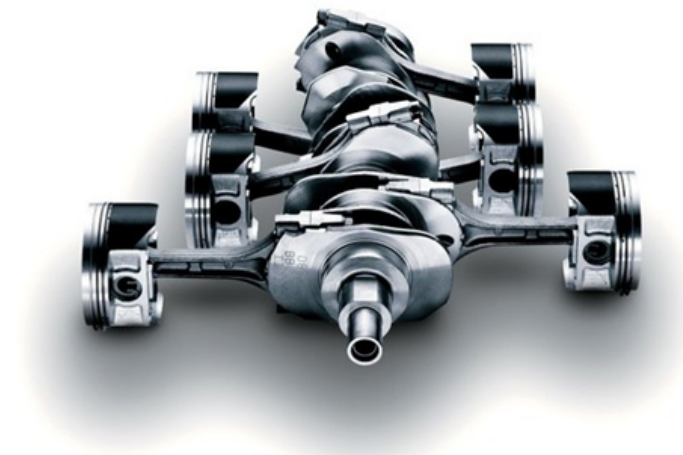


Figura 5. Motor disposición cilindros opuestos,

Fuente: (Principios mecánicos, 2011).

Motores de cilindros radiales

Con cilindros dispuestos en estrella como se muestra en la figura 6. (Esguar H., p.07)

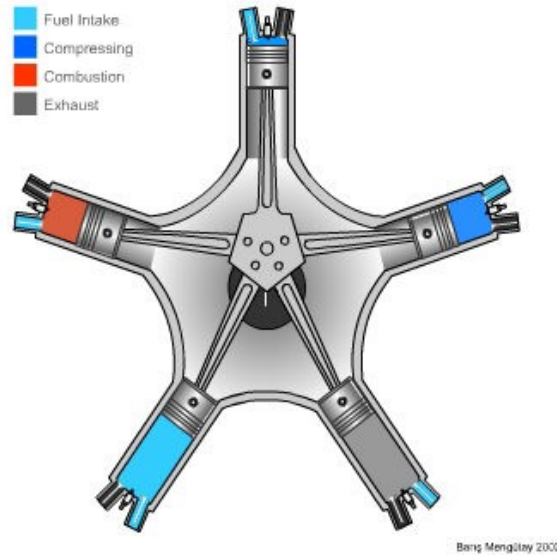


Figura 6, Motor disposición en estrella,

Fuente: (Geometría de Motores, 2009).

Cilindrada

Los pistones se desplazan en movimiento vertical. Cada pistón se desplaza desde el punto llamado punto muerto superior, hasta el punto muerto inferior, el volumen total de ese cilindro corresponde a la cilindrada unitaria la cual se expresa en la ecuación (3). (Jóvaj M., 1982)

$$Vh = \frac{D^2 * \pi * s}{4} \quad (3)$$

Dónde:

Vh = Cilindrada Unitaria [cm^3]

D = Diametro del cilindro [cm]

s = carrera del piston [cm]

(Esguar H., p.08)

La cilindrada que se genera de la unión de la cilindrada unitaria de todos los cilindros se representa en la ecuación (4)

$$VH = \frac{D^2 * \pi * s * i}{4} \quad (4)$$

Dónde:

$VH = \text{Cilindrada total [cm}^3\text{]}$

$D = \text{Diametro del cilindro [cm]}$

$s = \text{carrera del piston [cm]}$

$i = \text{número de cilindros}$

(Esguar H., p.08)

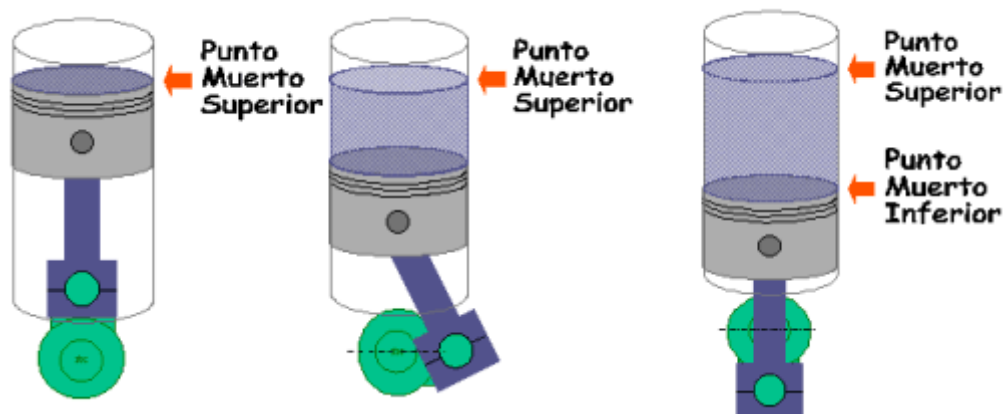


Figura 7, Volumen de cilindrada,

Fuente. (GM performance, 2012).

Volumen de la Cámara

En los motores alternativos, la cámara de combustión es el espacio comprendido entre la culata y la cabeza del pistón, cuando éste se halla en el punto muerto superior, para calcularlo usamos la ecuación (5). (Esguar H., p.09)

$$Vc = \frac{Vh}{E-1} \quad (5)$$

Dónde:

$V_c = \text{Volumen de la cámara } [cm^3]$

$V_h = \text{Cilindrada Unitaria } [cm^3]$

$E = \text{Relación de compresión}$

(Jóvaj M., 1982)

Mecanismo Biela Manivela

Este mecanismo es el punto de partida de los sistemas que aprovechan el movimiento giratorio de un eje o de un árbol para obtener movimientos lineales alternativos o angulares; pero también es imprescindible para lo contrario: producir giros a partir de movimientos lineales alternativos u oscilantes. (Jóvaj M., 1982, p.282)

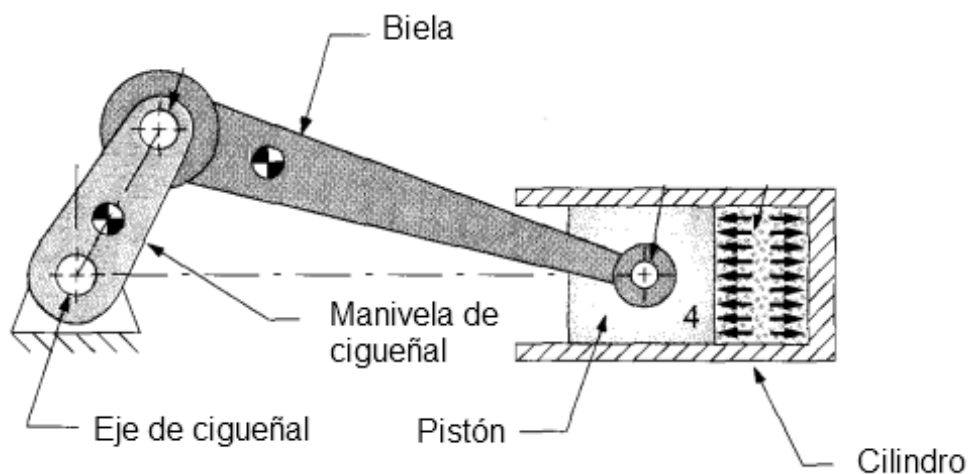


Figura 8. Mecanismo Biela Manivela,
Fuente: (Norton L., 2014)

Curvas generadas con respecto al giro del cigüeñal

Las curvas mostradas en las figuras (9) y (10) son la representación del desplazamiento, velocidad, aceleración, y diferentes fuerzas que actúan sobre el pistón con respecto al giro del cigüeñal.

Momento de Inercia

Representa el equivalente de la masa en el movimiento giratorio: es la relación (I) entre el par aplicado a un sistema giratorio y la aceleración angular. Existe una relación bien determinada entre la masa (m) del cuerpo giratorio, su distancia al eje de rotación (radio, r) y el momento de inercia; éste es el producto de la masa por el cuadrado del radio: $I = mr^2$. Por tanto, la misma masa crea momentos de inercia completamente diferentes al variar la distancia al eje de rotación. (Esguar H., p.25)

Todos los órganos giratorios presentes en un automóvil se caracterizan por un momento de inercia, como: el volante, los órganos de la transmisión y las ruedas. Según los casos, interesará que los momentos de inercia sean grandes o pequeños. (Jóvaj M., 1982,)

El volante tiene como misión que la rotación del eje sea uniforme: en términos técnicos, determina que las aceleraciones angulares de éste sean mínimas, mientras que el par motor, al variar en cada instante, tiende a hacer aumentar y disminuir periódicamente la velocidad de rotación. Para que el funcionamiento del motor sea suave y regular, incluso a regímenes bajos, el volante deberá tener un momento de inercia bastante grande, pero, para ahorrar peso, convendrá hacerlo de diámetro mayor, de manera que se obtenga el efecto deseado con una masa más pequeña. (Judge A., 1955,)

Este problema es muy diferente para los órganos de la transmisión y para las ruedas. Cuando se quiera aumentar la velocidad del automóvil, se utilizará el par motor tanto para acelerar el movimiento de traslación de todo el vehículo como el de rotación de la transmisión y de las ruedas. Por consiguiente, se debe vencer la fuerza de Inercia del vehículo y el momento de inercia de sus masas giratorias.

Existe una relación precisa entre la velocidad de rotación de cada órgano y la velocidad del vehículo, relación determinada por el radio de rodadura de los neumáticos, por la relación en el puente y por las del cambio. Para comparar el efecto de las masas giratorias

con el peso del vehículo puede substituirse idealmente el momento de inercia de cada parte giratoria con una masa ideal que se traslada (es decir, que no exista en realidad, pero que tiene un efecto idéntico al del momento de inercia), denominada masa equivalente. Esta masa deberá ser tal que su energía cinética sea igual a la energía cinética del órgano giratorio.

(Esguar H., p.27)

La aceleración del vehículo será entonces la relación entre la fuerza de tracción, reducida lógicamente por la resistencia al avance, y la suma de la masa propia del vehículo más la masa equivalente de todos los órganos giratorios (ruedas, transmisión, motor). Una disminución de la masa de estos últimos producirá entonces una doble ventaja, realizando una reducción de ambas masas. (Jóvaj M., 1982,)

Se comprueba, además, que la disminución de la masa equivalente será tanto mayor cuanto más elevada sea la relación de reducción: sobre todo, acelerando en las marchas bajas, sería conveniente tener volantes con un momento de inercia pequeño. Éste es el motivo por que se utilizan volantes muy aligerados, a pesar de los inconvenientes que esto implica sobre el régimen de ralentí. Sin embargo, aligerar el árbol de transmisión no serviría de nada, dado su pequeño diámetro, pero puede obtenerse mayor ventaja con las llantas de aleación ligera. (Esguar H., p.25)

Sistemas del motor

Sistemas de alimentación

Es el encargado de proveer de combustible al motor, desde el tanque al carburador o los inyectores, quien lo entrega dosificado y mezclado con aire de acuerdo a las necesidades del consumo del motor.

Sistema de lubricación

Reduce la fricción entre las piezas en movimientos del motor, mediante una película de aceite lubricante entre estas, ayudando al sistema de refrigeración a mantener la temperatura normal de funcionamiento del motor.

La función del sistema de lubricación es evitar el desgaste de las piezas del motor, creando una capa de lubricante entre las piezas, que están siempre rozando. El lubricante suele ser recogido (y almacenado) en el Carter inferior (pieza que cierra el motor por abajo)

Sistema de distribución

Para realizar el ciclo de trabajo del motor es necesario abrir y cerrar las válvulas; esto se logra mediante el mecanismo de distribución, que acciona a las válvulas de acuerdo a una sincronización de movimientos con el conjunto móvil.

Sistema eléctrico

Está constituido por el sistema de arranque, que permite poner en funcionamiento del motor; el sistema de encendido, que proporciona una chispa eléctrica para encender la mezcla aire-combustible; el sistema de carga, que debe tener constantemente la batería con carga para alimentar todo el sistema.

Sistema de refrigeración

Es el encargado de mantener la temperatura normal de funcionamiento del motor, debido a la combustión de la mezcla en su interior y el roce de las piezas en movimientos se producen temperaturas elevadas que este sistema debe controlar.

Curvas características del motor

Se denominan curvas características de un motor de combustión interna las que expresan gráficamente la potencia, el par motor y el consumo específico en función de la velocidad de rotación del cigüeñal. Dichas curvas se trazan señalando en un diagrama los valores de potencia (caballos de fuerza [HP]), torque (newton metro [N-m]) y consumo específico de combustible (gramos / caballos de fuerza hora [gr/HP-h]). (Jóvaj M., 1982, p.255)

Historia Del Renault

La sociedad Renault Frères da sus primeros pasos en 1898, el primer modelo fabricado es la Voiturette A; un total de 60 empleados fabrican 71 unidades (1899). Ya en el año 1905 y debido a su primer pedido de 250 taxis, Renault adopto la producción en serie, ya para 1911 dejan paso a los coches de combate de 1921 a 1930 sus coches son los más rápidos, en 1940 la producción avanza a las 58.000 unidades, 1960 establece 17 sucursales, 1977 crea el primer prototipo de fórmula, 1983 llega la primera generación de Clío con nuevo motor de tres cilindros y una importante carga de tecnología, ahora ya estamos en la cuarta generación contando en sus filas con un nuevo propulsor de gasolina de tres cilindros dispuesto a enfrentarse a la nueva hornada de propulsores de tamaño reducido, el Energy TCE 90; 3 cilindros, 900cc., turbo y 90 caballos a 5000 rpm, ha cuidado su estética, en lo que destaca un buen número de curvas nervios en su perfil, donde llama la atención los elementos cromados en el aplique inferior y frontal, este bloque llega asociado a una transmisión de relaciones largas y un sistema para contribuir en el ahorro de combustible, declarando un consumo medio homologado de 4.3/100 Km con unas emisiones que se quedan los 99g/Km de CO₂. (Renault, 2015)

Método

Cálculo Termodinámico del Motor de Combustión Interna

Para llegar a los resultados de esta investigación se optó por usar el método cuantitativo, se toma los datos técnicos proporcionados por Renault en la *tabla 1* y 2, con los cuales se realiza los cálculos termodinámicos, lo cual servirá para realizar el análisis del motor TCE a gasolina de 3 cilindros 900 cc., de un automóvil Renault Clío y de esta forma llegar obtener un análisis profundo del auto.

Tabla 1

Datos técnicos iniciales del vehículo Renault Clío.

Datos	Valor
Tipo	3 cilindros en línea
Cilindraje	900 cm ³
Diámetro	71.15 mm
Carrera	80 mm
Potencia Máxima	90 HP / 5000 rpm
Torque Máximo	135 Nm / 2500rpm
Relación de compresión	8.8:1

Nota. Los Datos Señalados en la *Tabla 1* Fueron Tomados de Anexo 1, *Fuente:* (Auto-Data, 2015)

Datos iniciales

Para encontrar las curvas características del motor, se inicia los cálculos con la *Tabla 2*.

Tabla 2

Datos técnicos iniciales del motor de un Renault Clío 3 cilindros en línea motor transversal.

Datos	Valor
Temperatura Inicial	$T_o = 288.15 \text{ K}^o$
Presión Inicial	$P_o = 0,0715 \text{ Mpa}$
Diámetro del pistón	$D = 7,15 \text{ cm}$
Carrera del pistón	$s = 8 \text{ cm}$
Relación de compresión	$E = 8,8$
Longitud de biela	$L = 13 \text{ cm}$
Número de cilindros	$i = 3$
Radio cigüeñal	$R = 4 \text{ cm}$
Revoluciones en Ralentí	800 rpm

Nota. Los Datos Señalados en la *Tabla 2* fueron tomados de anexo 1 y anexo 2, *Fuente:* (varios autores)

Calculo de los diferentes parámetros

Velocidad Angular (ω)

Son las vueltas que gira un cigüeñal en un minuto transformado a radianes sobre segundo, se transforma las rpm del motor en ralentí de la *tabla 2*, la ecuación (6) fue tomada de (Jóvaj M., 1982, p.255)

$$\omega = \frac{2 * \pi * \text{rev en ralentí}}{60} \quad (6)$$

$$\omega = \frac{2 * \pi * 800}{60}$$

$$\omega = 83.77 \frac{\text{Rad}}{\text{s}}$$

Área del círculo del Cilindro (A)

Es el área que tiene el círculo del cilindro, se determina con la ecuación (7) y se emplea (D)

obtenido de la *tabla 2*, la ecuación (7) fue tomada de (Jóvaj M., 1982, p.24)

$$A = \frac{\pi * D^2}{4} \quad (7)$$

$$A = \frac{\pi * 7,15^2}{4}$$

$$A = 40,15 \text{ cm}^2$$

Cilindrada unitaria (Vh)

Es la cilindrada de cada uno de los cilindros que tiene un motor, se dispone de (D), (s)

citados en la *tabla 2*, la ecuación (8) fue tomada de (Jóvaj M., 1982, p.26)

$$Vh = \frac{D^2 * \pi * s}{4} \quad (8)$$

$$Vh = \frac{7,15^2 * \pi * 8}{4}$$

$$Vh = 321,21 \text{ cm}^3$$

Cilindrada total (VH)

Es el volumen de todos los cilindros que tiene un motor, se usa (D), (s), (i) que se

determinaron en la *tabla 2*, la ecuación (9) fue tomada de (Jóvaj M., 1982, p.26)

$$VH = \frac{D^2 * \pi * s * i}{4} \quad (9)$$

$$VH = \frac{7,15^2 * \pi * 8 * 3}{4}$$

$$VH = 963,63 \text{ cm}^3$$

Volumen de la Cámara (V_c)

Es el volumen de la cámara cuando el pistón está en el P.M.S. se toman (E) que se consiguió de la *tabla 2* y (V_h) resultado de la ecuación (8), la ecuación (10) fue tomada de (Jóvaj M., 1982, p.36)

$$V_c = \frac{V_h}{E-1} \quad (10)$$

$$V_c = \frac{3,21}{8,8 - 1}$$

$$V_c = 41,18 \text{ cm}^3$$

Volumen total del cilindro (V_a)

Es el volumen de la cámara del cilindro cuando el pistón está en el P.M.I., se toman los datos (V_h), (V_c) de las ecuaciones (8), (10), la ecuación (11) fue tomada de (Jóvaj M., 1982, p.37)

$$V_a = V_h + V_c \quad (11)$$

$$V_a = 321,21 + 41,18$$

$$V_a = 362,39 \text{ cm}^3$$

Relación de longitudes (λ)

Es la relación que hay entre el radio del cigüeñal y la longitud de la biela, se disponen de los datos (R), (L) Tomados de la *tabla 2*, la ecuación (12) fue tomada de (Jóvaj M., 1982, p.88)

$$\lambda = \frac{R}{L} \quad (12)$$

$$\lambda = \frac{4}{13}$$

$$\lambda = 0.3076$$

Admisión

Al inicio de este tiempo el pistón se encuentra en el P.M.S. En este momento la válvula de admisión se encuentra abierta y el pistón, en su carrera o movimiento hacia abajo va creando absorción de la mezcla o un vacío dentro de la cámara de combustión a medida que alcanza el P.M.I. ya sea ayudado por el motor de arranque cuando ponemos en marcha el motor o debido al propio movimiento que por inercia le proporciona al volante una vez que ya se encuentra funcionando. El vacío que crea el pistón en este tiempo provoca que la mezcla de aire-combustible que envía los inyectores al cilindro penetre en la cámara de combustión del cilindro a través de la válvula de admisión abierta, se inicia este proceso con los datos de la *tabla (3)*. (Jóvaj M., 1982).

Tabla 3

Datos Específicos para diferentes cálculos de un motor 3 cilindros en línea transversal de un Renault Clío.

Datos	Valor
Coeficiente sumario	$C_s = 3$
Velocidad de carga	$\omega_{ad} = 90 \frac{m}{s}$
Incremento temperatura	$\Delta T = 15 K^o$
Temperatura de gases residuales	$T_r = 1050 K^o$
Presión gases residuales	$P_r = 0,12 Mpa$

Nota. Los Datos Señalados en la *Tabla 3* Fueron Tomados de anexo 4 (Jóvaj M., 1982, p. varias)

Densidad de la carga de admisión (ρ_o)

En esta fórmula se obtiene que tan pesado es el aire que entra en la admisión, los datos para este cálculo son (P_o), (T_o) obtenidos de la *tabla 2*, la ecuación (13), (14) fue tomada de (Jóvaj M., 1982, p.88)

$$\rho_o = \frac{P_o}{R_a * T_o} \quad (13)$$

Dónde

Para el aire

$$R_a = \frac{R}{U_a} \quad (14)$$

R Es la constante universal de los gases

$$R = 8314$$

Ua Es la masa molecular del aire

$$Ua = 28,96$$

Se transforma Po de MPa a Pa para esta transformación multiplicamos $Po * 10^6$

Se remplaza los datos de las ecuaciones (13) y (14) en la ecuación (12) para dar resultado a la ecuación (15).

$$\rho o = \frac{Po * Ua * 10^6}{R * To} \quad (15)$$

$$\rho o = \frac{0,07095 * 28,96 * 10^6}{8314 * 288,15}$$

$$\rho o = 0,8577 \frac{Kg}{m^3}$$

Presión de admisión (Pa)

Está determinado por la presión de ingreso de aire (Po) a los cilindros y algunos factores que influyen en esta presión tales como:

Los coeficientes de resistencia del sistema y de amortiguación de la velocidad de la carga (ωad) así como también de la densidad de la carga (Po). Se usan los datos (Po) de la *tabla 2*, (Cs), (ωad) de la *tabla 3*, (ρo) obtenido de la ecuación (15), la ecuación (16) fue tomada de (Jóvaj M., 1982, p.88)

$$Pa = Po - Cs \frac{\omega ad^2}{2} * \rho o * 10^{-6} \quad (16)$$

$$Pa = 0,07095 - 3 * \frac{90^2}{2} * 0,8577 * 10^{-6}$$

$$Pa = 0,0605 MPa$$

Cantidad de gases residuales (γ_r)

En el tiempo de escape no se logra desalojar todos los gases quemados y la cantidad de gases residuales se caracteriza por una magnitud relativa denominada coeficientes de gases residuales, se usan los datos (T_o), (E) de la *tabla 2*, (ΔT), (T_r), (P_r) de la *tabla 3*, (P_a) de la ecuación (16), la ecuación (17) fue tomada de (Jóvaj M., 1982, p.97)

$$\gamma_r = \left(\frac{T_o + \Delta T}{T_r} \right) * \frac{P_r}{E P_a - P_r} \quad (17)$$

$$\gamma_r = \left(\frac{288,15 + 15}{1050} \right) = \frac{0,12}{8,8 * 0,605 - 0,12}$$

$$\gamma_r = 0,084$$

Temperatura al finalizar la admisión (T_a)

Es a la temperatura que está el aire dentro del embolo al finalizar la admisión, se usan los datos (T_o) de la *tabla 2*, (ΔT), (T_r) de la *tabla 3*, (γ_r) de la ecuación (17), la ecuación (18) fue tomada de (Jóvaj M., 1982, p.93)

$$T_a = \frac{T_o + \Delta T + (\gamma_r * T_r)}{1 + \gamma_r} + \gamma_r \quad (18)$$

$$T_a = \frac{288,15 + 15 + (0,084 * 1050)}{1 + 0,084} = 360,99^\circ K$$

$$T_a = 360,99^\circ K$$

Combustible

Se realiza los cálculos de los distintos valores de acuerdo al tipo de combustible que usa el motor, en este caso Gasolina usando datos calculados anteriormente y la información de la *tabla 4*.

Tabla 4

Datos Específicos para diferentes cálculos del combustible de un motor 3 cilindros en línea transversal de un Renault Clío.

Datos	Valor
Coeficiente de exceso de aire	$\alpha = 0,9$
Contenido volumétrico de Carbono para 1Kg de Combustible	$C = 0,885$
Contenido volumétrico de Hidrógeno para 1Kg de Combustible	$H = 0,145$
La masa molecular media admisible de combustible para el motor	$\mu_c = 114$
Relación entre el número de moléculas de hidrógeno y del monóxido de carbono	$K = 0,5$

Nota. Los Datos Señalados en la *Tabla 4* Fueron Tomados de anexo 3 y anexo 4

Cantidad teórica de aire necesaria para la combustión de un kg de gases (L_o)

En este tipo de motor, el oxígeno que se necesita para la combustión, se halla en el aire que se admite al cilindro en el primer tiempo (admisión), se considera que el volumen de masa de oxígeno en el aire es el 23% aproximadamente, así obtener la cantidad teórica de aire necesaria para la combustión de 1kg de combustible, se usa (C), (H) de la *tabla 4*, la ecuación (19) fue tomada de (Jóvaj M., 1982, p.48)

$$L_o = \frac{1}{0.209} \left(\frac{C}{12} + \frac{H}{4} \right) \quad (19)$$

$$L_o = \frac{1}{0.21} \left(\frac{0.885}{12} + \frac{0.145}{4} \right)$$

$$L_o = 0.5263 \text{ Kmol}$$

Cantidad total de mezcla (M_1)

Está constituida por la cantidad de vapores de combustible y aire, para la combustión completa de un kg de carburante, se usa (μ_c), (α) de la *tabla 4*, (L_o) de la ecuación (19), la ecuación (20) fue tomada de (Jóvaj M., 1982, p.51)

$$M_1 = \frac{1}{\mu_c} + (\alpha * L_o) \quad (20)$$

$$M_1 = \frac{1}{114} + (0.9 * 0.5263)$$

$$M_1 = 0.4825 \text{ kmol}$$

Total productos de la combustión (M_2)

Es el total de las masas de los distintos gases de la combustión, las ecuaciones (21), (22), (23), (24), (25), (26) fueron tomadas de (Jóvaj M., 1982, p.51)

$$M_2 = M_{CO} + M_{CO2} + M_{H2} + M_{H2O} + M_{N2} \quad (21)$$

Dónde:

M_{CO} = Masa Molecular de Monóxido de carbono

(K), (α) se obtiene de la *tabla 4*, (L_o) obtenido de la ecuación (19).

$$M_{CO} = 0.42 * \frac{1-\alpha}{1+K} * L_o \quad (22)$$

$$M_{CO} = 0.42 - \frac{(1 - 0.9)}{(1 + 0.5)} + 0.526 = 0.0147 \text{ kmol}$$

M_{CO2} = Masa Molecular de dióxido de carbono

Se usan (C) de la *tabla 4*, (M_{CO}) como resultado de la ecuación (22).

$$M_{CO2} = \frac{C}{12} - M_{CO} \quad (23)$$

$$M_{CO2} = \frac{0.885}{12} - 0.0147 = 0.059 \text{ kmol}$$

M_{H_2} = Masa Molecular de Di hidrógeno

Se emplea los datos (K) de la *tabla 4*, (M_{CO}) de la ecuación (22).

$$M_{H_2} = K * M_{CO} \quad (24)$$

$$M_{H_2} = 0.5 * 0.0147 = 0.0074 \text{ kmol}$$

M_{H_2O} = Masa Molecular del agua

Para M_{H_2O} se toma (H) obtenido de la *tabla 4* y (M_{H_2}) de la ecuación (24).

$$M_{H_2O} = \frac{H}{2} - M_{H_2} \quad (25)$$

$$M_{H_2O} = \frac{0,145}{2} - 0.0074 = 0.0651 \text{ kmol}$$

M_{N_2} = Masa Molecular del Di nitrógeno

Los datos (α) que se extrae de la *tabla 4* y L obtenido de la ecuación (19).

$$M_{N_2} = 0.79 \alpha L \quad (26)$$

$$M_{N_2} = 0.79 * 0.9 * 0.526 = 0.3742 \text{ kmol}$$

Entonces:

$$M_2 = 0.0147 + 0.059 + 0.0074 + 0.0651 + 0.3742$$

$$M_2 = 0.5205 \text{ kmol}$$

Coeficiente teórico de variación molecular (μ_0)

El cambio de volumen durante la combustión se la adopta al expresar su magnitud relativa con respecto al coeficiente teórico molecular, se usan los datos (M_1), (M_2) de las ecuaciones (20), (21), la ecuación (27) fue tomada de (Jóvaj M., 1982, p.61)

$$\mu_0 = \frac{M_2}{M_1} \quad (27)$$

$$u_o = \frac{0.5205}{0.4825}$$

$$u_o = 1.0788$$

Coeficiente real de variación molecular (μ_r)

Es el coeficiente sacado mediante un análisis de la variación que tienen las moléculas, se calcula con, (μ_0), (γ_r) obtenidos de las ecuaciones (16), (26), la ecuación (27) fue tomada de (Jóvaj M., 1982, p.64)

$$\mu_r = \frac{\mu_0 + \gamma_r}{1 - \gamma_r} \quad (28)$$

$$u_r = \frac{1.0788 + 0.084}{1 - 0.084}$$

$$u_r = 1.0727$$

Compresión

Una vez que el pistón alcanza el PMI (punto muerto inferior), el árbol de levas que gira sincrónicamente con el cigüeñal y que ha mantenido abierta hasta este momento la válvula de admisión para permitir que la mezcla aire-combustible entre en el cilindro, la cierra. En ese preciso momento comienza a subirlo el pistón comprimiendo la mezcla de aire y gasolina que se encuentra dentro del cilindro. Se utiliza un exponente politrópico n_1 tomado de la tabla (5), el cual influye en el sistema de refrigeración. Cuando las superficies conductoras del calor, están a baja temperatura, el calor se extrae de la carga más intensamente y n_1 será más bajo (Jóvaj M., 1982).

Tabla 5

Exponentes politrópico.

Datos	Valor
Exponente politrópico de compresión	$n_1 = 1.34$
Exponente politrópico de expansión	$n_2 = 1.24$

Nota. Los Datos Señalados en la *Tabla 5* fueron tomados de anexo 4.

Presión final de la compresión: (P_c)

Esta se obtiene en el PMS al final de la compresión y es muy difícil determinarla ya que (n_1) varía, para lo cual se escoge un (n_1) adoptado en la *tabla 5*, que nos servirá para todos los cálculos en general, en esta ecuación se toma (E) obtenido de *tabla 2*, (n_1) de *tabla 5*, (P_a) de la ecuación (16), la ecuación (29) fue tomada de (Jóvaj M., 1982, p.112)

$$P_c = P_a * E^{n_1} \quad (29)$$

$$P_c = 0.0605 * 8.8^{1.34}$$

$$P_c = 1.1158 \text{ Mpa}$$

Temperatura al final de la compresión (T_c)

Al igual que (P_c), se determina un (n_1) para todos los cálculos, siendo (T_c) la temperatura al final del proceso de compresión, se usan los datos (E) de la *tabla 2*, (n_1) de la *tabla 5*, (T_a) de la ecuación (18), la ecuación (30) fue tomada de (Jóvaj M., 1982, p.112)

$$T_c = T_a * E^{n_1-1} \quad (30)$$

$$T_c = 360.9970 * 8.8^{1.34-1}$$

$$T_c = 756.1844 \text{ }^\circ\text{K}$$

Temperatura de combustión (T_z)

Para el cálculo de la temperatura de combustión hay varios cálculos que realizar los cuales se explica en el siguiente proceso se desarrolla a partir de la ecuación de $\mu_r \mu_z$ descrita a continuación.

La ecuación ($\mu_r \mu_z$) de combustión para los motores a gasolina cuando $\alpha < 1$ ecuación (31) fue tomada de (Jóvaj M., 1982, p.156)

$$\mu_r \mu_z = \xi_z \frac{[Hu - (\Delta Hu)_{quim}]}{M_1 (1 + \gamma_r)} + \frac{Uc + \gamma_r * Uc''}{1 + \gamma_r} \quad (31)$$

Para el cálculo de la ecuación (31) se usan (γ_r) , (M_1) obtenido de la ecuaciones, (17), (20).

Para $(\Delta H_u)_{quim}$, El calor no desprendido por efecto de la combustión incompleta cuando $\alpha < 1$, se usan los datos (α) de la *tabla 4*, y (Lo) obtenido de la ecuación (19), donde la ecuación (32) fue tomada de (Jóvaj M., 1982, p.63)

$$\Delta H_u_{quim} = 114 * 10^6 (1 - \alpha) Lo \quad (32)$$

$$(\Delta H_u)_{quim} = 114 * 10^6 (1 - 0.9) 0.5263 =$$

$$(\Delta H_u)_{quim} = 5,999 \frac{MJ}{Kmol}$$

La temperatura de combustión ha tomado en valor del coeficiente de aprovechamiento del calor

$$(\xi_z = 0.85)$$

(Hu) es el poder calorífico inferior de combustible y viene dado para la gasolina como:

$$Hu = 44000 \frac{MJ}{Kmol}$$

Se adopta que el calor específico de la mezcla fresca en la *Tabla 6* el cual es igual al calor específico del aire. Para $T_c = 756.18^\circ K = 483^\circ C$ tomado de la ecuación (30).

Tabla 6

*Calor especifico molar medio de los gases μC_v a $V = const$ en $(kJ/(kmol * ^\circ C))$*

t ^{°C}	CO	CO ₂	H ₂ O	N ₂	H ₂
400	21,774	34,935	26,775	21,185	20,871
483	21,68	35,83	27,14	21,45	20.92
500	21,784	21,784	27,315	21,358	20,934

Nota. Los datos mencionados en la *Tabla 6* fueron tomados de anexo 5.

De donde:

$$\mu C_v = 21.63 \frac{KJ}{Kmol} ^\circ C \quad (33)$$

La energía interna de la combustión es:

con (μC_v) , obtenido de la ecuación (33), la ecuación (34) fue tomada de (Jóvaj M., 1982, p.66).

$$U_c = (\mu C_v) * T \quad (34)$$

$$U_c = (21,63) (483) = 10471 \frac{KJ}{Kmol}$$

El calor específico de la mezcla es igual a la suma que resulta de multiplicar, los calores específicos de cada uno de los componentes de los parámetros de la combustión por sus fracciones volumétricas. Para la compresión química elemental adoptada, siendo $\alpha = 0.7$ se obtiene la ecuación (35) tomada de (Jóvaj M., 1982, p.66)

$$\gamma_i = \frac{M_i}{M_2} \quad (35)$$

Donde (M_i) son las masas de los diferentes gases vistos en las ecuaciones (22), (23), (24), (25), (26) y (M_2) tomado de la ecuación (21)

$$\gamma^{CO} = \frac{0.0147}{0.5205} = 0.0282$$

$$\gamma^{CO_2} = \frac{0.059}{0.5205} = 0.1133$$

$$\gamma^{H_2} = \frac{0.0074}{0.5205} = 0.0142$$

$$\gamma^{H_2O} = \frac{0.0651}{0.5205} = 0.1251$$

$$\gamma^{N_2} = \frac{0.3742}{0.5205} = 0.7189$$

Con estos datos y los de la *tabla 6* remplazamos en la ecuación (36) tomada de (Jóvaj M., 1982, p.66)

$$U^{cv''} = \sum(\gamma * (\mu C v)) \quad (36)$$

$$U^{cv''} = 0.0282 * 21.68 + 0.1133 * 35.83 + 0.1251 * 27.14 + 0.7189 * 21.45 + 0.0142 * 20.92$$

$$U^{cv''} = 23.78 \frac{KJ}{Kmol}$$

La energía externa de los productos se resuelve en la ecuación (37)

$$U^c = (U^{cv''}) T_c \quad (37)$$

$$U^c = 23.78 * 483 = 11487.47 \frac{KJ}{Kmol}$$

Se remplace los datos de las ecuaciones (32), (34), (36), (37) en la ecuación (31)

$$\frac{\xi_z [Hu + (\Delta Hu)_{quim}]}{M_1 (1 + \gamma_r)} + \frac{U_c + \gamma_r U^c}{1 + \gamma_r} = \mu_r \mu_z$$

$$\mu_r \mu_z = \frac{0.85 (44000 - 5999)}{0.482 (1 + 0.06)} + \frac{10471 + (0.06)(11487)}{1 + 0.084}$$

$$\mu_r \mu_z = 72808.52$$

Se despeja (μ_z) en el resultado de la ecuación (31).

$$\mu_z = \frac{72808.52}{\mu_r} \quad (38)$$

$$\mu_z = \frac{72808}{1.072}$$

$$\mu_z = 68587.28 \frac{KJ}{Kmol}$$

Una vez encontrada la energía interna (μ_z) en la ecuación (38), en la tabla 7 se interpola para encontrar (T_z).

Tabla 7

Energía interna de los productos de combustión u en (kJ/(kmol°C))*

T_z	μ_z
2300	67212.7
2372	68587.28
2400	70543.2

Nota. Los datos mencionados en la *Tabla 3* para la interpolación fueron tomados anexo 6

De donde la temperatura de expansión (T_z)

$$T_z = 2372^\circ\text{C} = 2615^\circ\text{K}$$

Presión calculada para el final de la compresión (P_z)

La presión de combustión es la fuerza con que se realiza la combustión, sobre el área de la cámara de combustión, se usan los datos (T_z) de la *tabla 6*, (μ_r), (T_c), (P_c) de las ecuaciones (28), (29), (30), la ecuación (39) es tomada de (Jóvay M., 1982, p.157)

$$P_z = \mu_r * \frac{T_z}{T_c} P_c \quad (39)$$

$$P_z = 1.0727 * \frac{2615}{756.1844} * 1.1158$$

$$P_z = 4.1389 \text{ Mpa}$$

Presión media del ciclo (P_z^n), la ecuación (40) es tomada de (Jóvay M., 1982, p.157)

$$P_z^n = 0.85 * P_z \quad (40)$$

$$P_z^n = 0.85 * 4.1389$$

$$P_z^n = 3.518 \text{ Mpa}$$

Expansión

Una vez que el cilindro alcanza el PMS (punto muerto superior) y la mezcla aire-combustible ha alcanzado el máximo de compresión, salta una chispa eléctrica en el electrodo de la bujía, que inflama dicha mezcla y hace que explote. La fuerza de la explosión obliga al pistón a bajar bruscamente y ese movimiento rectilíneo se transmite por medio de la biela al cigüeñal donde se convierte en movimiento giratorio y trabajo útil. Para calcular los procesos de este ciclo usamos datos anteriores y (n_2) de la *tabla 5*.

Presión al final de la expansión (P_b)

Es la presión que se ha generado en la cámara al final de la expansión, se usan los datos (n_2) tomado de la *tabla 5*, (E) de la *tabla 2*, (P_z) de la ecuación (39), la ecuación (41) es tomada de (Jóvay M., 1982, p.159)

$$P_b = \frac{P_z}{E^{n_2}} \quad (41)$$

$$P_b = \frac{4.1389}{8.8^{1.24}}$$

$$P_b = 0.2791 \text{ Mpa}$$

Temperatura al final de la expansión (T_b)

Es la temperatura que se ha generado en la cámara del embolo al final de la expansión, se usan los datos (n_2) de la *tabla 5*, (E) de la *tabla 2*, (T_z) de la *tabla 6*, la ecuación (42) es tomada de (Jóvay M., 1982, p.159)

$$T_b = \frac{T_z}{E^{n_2-1}} \quad (42)$$

$$T_b = \frac{2615}{8.8^{1.24-1}}$$

$$T_b = 1551.65 \text{ K}^\circ$$

Cálculo de Fuerzas

Para este cálculo se usa las presiones calculadas en los diferentes ciclos, se resumen en la *tabla (8)*.

Tabla 8.

Datos para el cálculo de fuerzas.

Datos
$P_o = 0.07095$
$P_a = 0.0605$
$P_c = 1.1158$
$P_z = 4.1389$
$P_b = 0.27908$
$A = 0.00402$

Nota. Los valores de la *tabla 8* se toma de (P_o) de la *tabla 2*, (A), (P_a), (P_c), (P_z), (P_b), obtenidos de las ecuaciones (6), (15), (28), (37), (39) respectivamente.

Se explica las fuerzas las que se calculó en los diferentes ciclos tomando los datos de la *tabla 8*.

Admisión

La fuerza está representado por $F = A * P$, esta fórmula se aplica para ecuaciones (43), (44), (45), (46), (47), se tomó de (Jóvaj M., 1982, p.387)

Fuerza inicial (F_o)

Es la fuerza que es genera al iniciar el ciclo de admisión

$$F_o = A * P_o \quad (43)$$

$$F_o = 0.00402 * 0.07095$$

$$F_o = 284.87 \text{ N}$$

Fuerza de Admisión (F_a)

Es la fuerza generada durante la admisión.

$$F_a = A * P_a \quad (44)$$

$$F_a = 0.00402 * 0.6053$$

$$F_a = 243.03 \text{ N}$$

Combustión:***Fuerza de combustión máxima (F_z)***

Es la máxima fuerza que se genera en la combustión

$$F_z = A * P_z \quad (45)$$

$$F_z = 0.00402 * 4.13888$$

$$F_z = 16618.22 \text{ N}$$

Compresión:***Fuerza de Compresión (F_c)***

Es la fuerza que se genera en la compresión

$$F_c = A * P_c \quad (46)$$

$$F_c = 0.00402 * 1.11576$$

$$F_c = 4479.95 \text{ N}$$

Final del trabajo:***Fuerza al final del Trabajo (F_b)***

Es la fuerza generada al final del trabajo.

$$F_b = A * P_b \quad (47)$$

$$F_b = 0.00402 * 0.27908$$

$$F_b = 1120.53 \text{ N}$$

Calculo para las curvas.**Presion y Volumen del motor TCE a gasolina de 3 cilindros 900cc. de un automóvil Renault Clio**

Para calcular la presión y volumen se decidió para mejor análisis de los cuadros realizar los cálculos cada 90° de giro del cigüeñal, usando los datos de la tabla (8) y las siguientes fórmulas para los diferentes punto en el giro del cigüeñal, las ecuaciones (48), (49), (50), (51), fueron tomadas de (Jóvaj M., 1982, p.391, 392)

$$P = \frac{180*Po+(Pa-Po)*\theta}{180} \text{ para } \theta \text{ de } 0^\circ \text{ a } 180^\circ \quad (48)$$

$$P = \frac{(Pa-Pc)*\theta-12*(29*Pa-15*Pc)}{180-12} \text{ para } \theta \text{ de } 190^\circ \text{ a } 350^\circ \quad (49)$$

$$P = \frac{(Pb-Pz)*\theta}{180} - 2 * Pb + 3 * Pz \text{ para } \theta \text{ de } 360^\circ \text{ a } 540^\circ \quad (50)$$

$$P = 4 * Pb - \frac{(Pb-Po)*\theta}{180} - 3 * Po \text{ para } \theta \text{ de } 550^\circ \text{ a } 720^\circ \quad (51)$$

Se determina (*Se*) de la *Tabla (19)*, (*A*) de la ecuacion (7), (*Vc*) de la ecuacion (10), la ecuación (52) fue tomada de (Jóvaj M., 1982, p.387)

$$V = Vc * A + Se \quad (52)$$

Los resultados de las formulas (48), (49), (50), (51), (52) a diferentes grados del giro del cigüeñal se presenta en la *tabla 9*.

Tabla 9

Datos obtenidos del cálculo de la presión y volumen con respecto al ángulo de giro del cigüeñal en los diferentes ciclos.

ÁNGULO DEL CIGÜEÑAL (θ)	PRESIÓN(P) C/10°	VOLUMEN(V) C/10°
(°)	(MPa)	Cc.
0	0,0710	41,18
90	0,0657	226,50
180	0,0605	362,39
270	0,6258	226,50
352	2,1235	43,22
360	4,13888	41,18
450	2,20898	226,50
540	0,27908	362,39
630	0,17501	226,50
720	0,07095	41,18

La Tabla 9 Muestra la presión que se ejerce en la cámara del cilindro, y el volumen existente en el mismo con respecto al ángulo e giro del cigüeñal calculado cada 90 grados en los 4 procesos de 0° a 720° de giro del cigüeñal.

Fuerza que ejerce el piston (F_e) en un motor TCE a gasolina de 3 cilindros

900cc. de un automóvil Renault Clio

Se compara la fuerza que ejerce el piston en distintos ciclos con respecto al giro del cigüeñal,

Para mayor exactitud de la grafica, se realiza los cálculos cada 90° de giro del cigüeñal, para

la ecuación (53) se toma (P) de las Tabla (9) y (A) de la ecuacion (7), la ecuación (53) fue

tomada de (Jóvaj M., 1982, p.387)

$$F_e = P * A * 100 \quad (53)$$

La fuerza que ejerce el pistón se describe en base al ángulo del giro del cigüeñal en la *tabla 10*

Tabla 10

Datos obtenidos del cálculo de la Fuerza del pistón con respecto al ángulo de giro del cigüeñal en los diferentes ciclos del motor.

ÁNGULO DEL CIGÜEÑAL (θ)	Fe N	ÁNGULO DEL CIGÜEÑAL (θ)	Fe N
($^{\circ}$)		($^{\circ}$)	
0	284,8750	360	16618,2276
90	263,9545	450	8869,3823
180	243,0341	540	1120,5370
270	2512,8152	630	702,7060
352	8526,0484	720	284,8750

La *Tabla 10* Muestra la fuerza que ejerce el pistón, con respecto al ángulo de giro del cigüeñal calculado cada 90 grados de 0° a 720° de giro del cigüeñal.

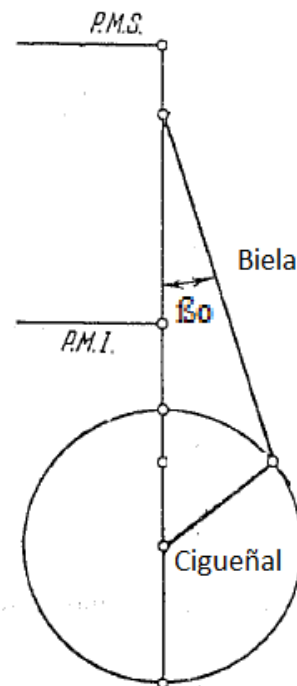
Fuerza lateral que ejerce el piston (N_e) del motor TCE a gasolina de 3 cilindros 900cc. de un automóvil Renault Clio

Se compara la fuerza lateral que ejerce el piston en los distintos ciclos con respecto al giro del cigüeñal, para mayor exactitud de la grafica, se realiza los cálculos cada 90° de giro del cigüeñal, se obtuvo (F_e) de la *Tabla (10)*, (λ) de la ecuacion (11), las ecuaciones (54), (55) fueron tomadas de (Jóvaj M., 1982, p.384,393) respectivamente.

$$\beta_o = \sin^{-1}(\lambda * \sin(\theta)) \quad (54)$$

$$N_e = F_e * \tan(\beta_o) \quad (55)$$

β_o es el ángulo que se forma entre biela y su eje de movimiento representado en la figura 9, este ángulo puede ser de 0° a 30° para un buen funcionamiento se recomiendan un ángulo máximo de 20° a 25° .

Figura 9, Representación de Angulo β_0

Los resultados de las formulas (54) y (55) con respecto al angulo de giro del cigüeñal se presenta en la *tabla 11*.

Tabla 11

Datos obtenidos del cálculo del ángulo que forma entre la Biela y su eje, de la Fuerza lateral del pistón cada 90 grados del ángulo de giro del cigüeñal en los diferentes ciclos del motor

ÁNGULO DEL CIGÜEÑAL (θ)	β_0 °	Ne N	ÁNGULO DEL CIGÜEÑAL (θ)	β_0 °	Ne N
(°)			(°)		
0	0,0000	0,0000	360	0,0000	0,0000
90	17,9202	85,3578	450	17,9202	2868,1882
180	0,0000	0,0000	540	0,0000	0,0000
270	-17,9202	-812,5963	630	-17,9202	-227,2416
352	-2,4543	-365,4419	720	0,0000	0,0000

La *Tabla 11* Muestra el ángulo que forma entre la biela y su eje y la fuerza lateral que ejerce el pistón, con respecto al ángulo de giro del cigüeñal calculado cada 90 grados de 0° a 720° de giro del cigüeñal.

Fuerza que actúa a lo largo de la biela (K_e) del motor TCE a gasolina de 3 cilindros 900cc. de un automóvil Renault Clio

Se compara la fuerza que actúa a lo largo de la biela en los distintos ciclos con respecto al giro del cigüeñal, para mayor exactitud de la gráfica, se realiza los cálculos cada 360° de giro del cigüeñal, se aplica (F_e) de la *Tabla (10)*, (β_o) de la *Tabla (11)*, la ecuación (56) fue tomada de (Jóvay M., 1982, p.393)

$$K_e = \frac{F_e}{\cos(\beta_o)} \quad (56)$$

Un resumen de los resultados de la fórmula (56), a diferentes grados del ángulo de giro del cigüeñal se presenta en la *tabla 12*.

Tabla 12

Datos obtenidos de la Fuerza que actúa a lo largo de la biela cada 90 grados del ángulo de giro del cigüeñal en los diferentes ciclos del motor.

ÁNGULO DEL CIGÜEÑAL (θ)	K_e N	ÁNGULO DEL CIGÜEÑAL (θ)	K_e N
(°)		(°)	
0	284,8750	360	16618,2276
90	277,4130	450	9321,6118
180	243,0341	540	1120,5370
270	2640,9379	630	738,5353
352	8533,8765	720	284,8750

La *Tabla 12* Muestra la fuerza que actúa a lo largo de la biela, con respecto al ángulo de giro del cigüeñal calculado cada 90 grados de 0° a 720° de giro del cigüeñal.

Fuerza Normal (Z_e) del motor TCE a gasolina de 3 cilindros 900cc. de un automóvil Renault Clio

Se compara la fuerza normal que ejerce el pistón en distintos ciclos con respecto al giro del cigüeñal para mayor exactitud de la gráfica, se realiza los cálculos cada 90° de giro del cigüeñal, se obtiene (F_e) de las *Tablas (10)*, (β_o) de las *Tablas (11)*, la ecuación (57) fue tomada de (Jóvay M., 1982, p.393)

$$Ze = \frac{Fe * \cos(\theta + \beta_o)}{\cos(\beta_o)} \quad (57)$$

Un resumen de los resultados de las formula (57), calculado a diferentes grados del angulo de giro del cigüeñal se presenta en la *tabla 13*.

Tabla 13.

Datos obtenidos de la Fuerza normal del pistón cada 90 grados del ángulo de giro del cigüeñal en los diferentes ciclos del motor.

ÁNGULO DEL CIGÜEÑAL (θ)	Ze N	ÁNGULO DEL CIGÜEÑAL (θ)	Ze N
(º)		(º)	
0	284,8750	360	16618,2276
90	-85,3578	450	-2868,1882
180	-243,0341	540	-1120,5370
270	-812,5963	630	-227,2416
352	8392,2138	720	284,8750

La *Tabla 13* Muestra la fuerza normal del pistón, con respecto al ángulo de giro del cigüeñal calculado cada 90 grados de 0º a 720º de giro del cigüeñal.

Fuerza tangencial (*Te*) del motor TCE a gasolina de 3 cilindros 900cc. de un automóvil Renault Clio

Se compara la fuerza tangencial que ejerce el piston en distintos ciclos con respecto al giro del cigüeñal, para mayor exactitud de la grafica, se realiza los cálculos cada 90º de giro del cigüeñal, (*Fe*) se determina de las *Tablas (10)*, (β_o) de las *Tablas (11)*, la ecuación (58) fue tomada de (Jóvaj M., 1982, p.393)

$$Te = \frac{Fe * \sin(\theta + \beta_o)}{\cos(\beta_o)} \quad (58)$$

Un resumen de los resultados de las formula (58), con respecto al angulo de giro del cigüeñal se presenta en la *tabla 14*.

Tabla 14

Datos obtenidos de la Fuerza tangencial del pistón cada 90 grados del ángulo de giro del cigüeñal en los diferentes ciclos del motor.

ÁNGULO DEL CIGÜEÑAL (Θ)	Te N	ÁNGULO DEL CIGÜEÑAL (Θ)	Te N
(º)		(º)	
0	0,0000	360	0,0000
90	263,9545	450	8869,3823
180	0,0000	540	0,0000
270	-2512,8152	630	-702,7060
352	-1548,4820	720	0,0000

La *Tabla 14* Muestra la fuerza tangencial del pistón, con respecto al ángulo de giro del cigüeñal calculado cada 90 grados de 0º a 720º de giro del cigüeñal.

Velocidad del piston (Ve)

Se compara la Velocidad del piston en los distintos ciclos de trabajo con respecto al giro del cigüeñal, para mayor exactitud de la grafica, se realiza los cálculos cada 90º de giro del cigüeñal, se obtiene $(\lambda), (\omega)$ de las ecuaciones (12), (6) y (R) de la *tabla 2*, la ecuación (59) fue tomada de (Jóvaj M., 1982, p.385)

$$Ve = R * \omega * (\sin(\theta) + \frac{\lambda}{2} * \sin(2 * \theta)) \quad (59)$$

Un resumen de los resultados de las formula (59), a diferentes grados del angulo de giro del cigüeñal se presenta en la *tabla 15*.

Tabla 15

Datos obtenidos de la velocidad del pistón cada 90 grados del ángulo de giro del cigüeñal en los diferentes ciclos del motor.

ÁNGULO DEL CIGÜEÑAL (Θ)	VELOCIDAD DEL PISTON (Ve)	ÁNGULO DEL CIGÜEÑAL (Θ)	VELOCIDAD DEL PISTON (Ve)
(º)	(cm/seg)	(º)	(cm/seg)
0	0,0000	360	0,0000
90	335,1031	450	335,1031
180	0,0000	540	0,0000
270	-335,1031	630	-335,1031
352	-60,8476	720	0,0000

La *Tabla 15* Muestra la velocidad del pistón, con respecto al ángulo de giro del cigüeñal calculado cada 90 grados de 0º a 720º de giro del cigüeñal.

Velocidad angular (We) del motor TCE a gasolina de 3 cilindros 900cc. de un automóvil Renault Clio

Se compara la Velocidad angular piston en distintos ciclos con respecto al giro del cigüeñal, para mayor exactitud de la grafica, se realizara los cálculos cada 90° de giro del cigüeñal, se determina (λ), (ω) de las ecuaciones (12), (6), (R) de la *tabla 2*, la ecuación (60) fue tomada de (Jóvaj M., 1982, p.385)

$$We = R * \omega^2 * (\cos(\theta) + \lambda * \cos(2 * \theta)) \quad (60)$$

Un resumen de los resultados de las formula (60), a diferentes grados del angulo de giro del cigüeñal se presenta en la *tabla 16*.

Tabla 16

Datos obtenidos de la aceleración del pistón cada 90 grados del ángulo de giro del cigüeñal en los diferentes ciclos del motor.

ÁNGULO DEL CIGÜEÑAL (θ)	ACELERACION DEL PISTON (We)	ÁNGULO DEL CIGÜEÑAL (θ)	ACELERACION DEL PISTON (We)
(°)	(cm/seg ²)	(°)	(cm/seg ²)
0	36711,5389	360	36711,5389
140	-20005,5969	500	-20005,5969
180	-19435,5206	540	-19435,5206
220	-20005,5969	580	-20005,5969
352	36103,7074	720	36711,5389

La *Tabla 16* Muestra la aceleración del pistón, con respecto al ángulo de giro del cigüeñal calculado cada 90 grados de 0° a 720° de giro del cigüeñal.

Desplazamiento del piston (Se) del motor TCE a gasolina de 3 cilindros 900cc. de un automóvil Renault Clio

Se compara el desplazamiento el piston en distintos ciclos con respecto al giro del cigüeñal, para mayor exactitud de la grafica, se realiza los cálculos cada 90° de giro del cigüeñal, donde (λ), (ω) de las ecuaciones (11), (5) y (R) de la *tabla 2*, la ecuación (59) fue tomada de (Jóvaj M., 1982, p.385)

$$Se = R * \left(1 + \frac{\lambda}{4}\right) - R * \cos(\theta) - R * \frac{\lambda}{4} * \cos(2 * \theta) \quad (61)$$

Un resumen de los resultados de la fórmula (61), a diferentes grados del ángulo de giro del cigüeñal se presenta en la *tabla 17*.

Tabla 17

Datos obtenidos del desplazamiento del pistón cada 90 grados del ángulo de giro del cigüeñal en los diferentes ciclos del motor.

ÁNGULO DEL CIGÜEÑAL (Θ)	DESPLAZAMIENTO DEL PISTON (Se)	ÁNGULO DEL CIGÜEÑAL (Θ)	DESPLAZAMIENTO DEL PISTON (Se)
(º)	Cm	(º)	Cm
0	0,0000	360	0,0000
90	4,6154	450	4,6154
180	8,0000	540	8,0000
270	4,6154	630	4,6154
352	0,0508	720	0,0000

La *Tabla 17* Muestra el desplazamiento del pistón, con respecto al ángulo de giro del cigüeñal calculado cada 90 grados de 0º a 720º de giro del cigüeñal.

Resultados.

En los resultados se realiza las curvas características del motor donde se analiza, aprende y entiende las mismas para proporcionar al usuario de una manera gráfica los parámetros de salida del motor en función de las principales variables de operación.

Para analizar estas curvas se explica los resultados obtenidos en los procesos del motor.

Se comenzó obteniendo la velocidad angular $\omega = 83.77 \frac{Rad}{s}$, el área del cilindro

$A = 40,15 \text{ cm}^2$, la cilindrada unitaria y cilindrada total $Vh = 321,21 \text{ cm}^3$

$VH = 963,63 \text{ cm}^3$, el volumen de la cámara $Vc = 41,18 \text{ cm}^3$ el volumen total del cilindro

$Vc = 41,18 \text{ cm}^3$, la relación de longitudes entre la biela y el radio del cigüeñal para con

estos datos empezar a analizar los diferentes procesos, empezando con:

Admisión

Para este proceso se determina ciertos cálculos como son: Densidad de la carga de admisión

$\rho_o = 0,8577 \frac{Kg}{m^3}$, presión de admisión $Pa = 0,0605 \text{ MPa}$, cantidad de gases residuales

$\gamma_r = 0,084$ y la temperatura al terminar la admision $Ta = 360,99^0 \text{ K}$.

Se analiza los datos del combustible los cuales se muestra a continuación, cantidad teórica de

aire necesaria para la combustión de un kg de gases $Lo = 0.5263 \text{ Kmol}$, cantidad total de

mezcla $M_1 = 0.4825 \text{ kmol}$, Total productos de la combustión $M_2 = 0.5205 \text{ kmol}$, coeficiente

teórico de variación molecular $u_o = 1.0788$, coeficiente real de variación molecular $u_r =$

1.0727, con todos estos datos se logra determinar la Fuerza inicial $Fo = 284.87 \text{ N}$ y la

Fuerza de Admisión $Fa = 243.03 \text{ N}$. Para luego seguir con el siguiente proceso.

Compresión

En el proceso de compresión se calcula la presión final de compresión

$P_c = 1.1158 \text{ Mpa}$, temperatura al final de la compresión $T_c = 756.1844 \text{ }^\circ\text{K}$, temperatura de combustión $T_z = 2372^\circ\text{C} = 2615^\circ\text{K}$, presión calculada para el final de la compresión

$$P_z = 4.1389 \text{ Mpa}$$

Estos datos ayudan a determinar la Fuerza de combustión máxima, $F_z = 16618.22 \text{ N}$

Continuando con la expansión

Expansión

El proceso tuvo varios cálculos tales como presión al final de la expansión

$P_b = 0.2791 \text{ Mpa}$, Temperatura al final de la expansión $T_b = 1551.65 \text{ K}^\circ$, finalizando con

la fuerza de compresión $F_c = 4479.95 \text{ N}$ y la fuerza al final del trabajo $F_b = 1120.53 \text{ N}$

Se finaliza el trabajo obteniendo las curvas características del motor 3 cilindros del Renault

Clío con los datos de las tablas mencionados en cada gráfica.

Curvas Características del Motor

Diagrama P – V del motor TCE a gasolina de 3 cilindros 900cc. de un automóvil

Renault Clio

Los datos se tomaron de los resultados de la *Tabla (9)*.

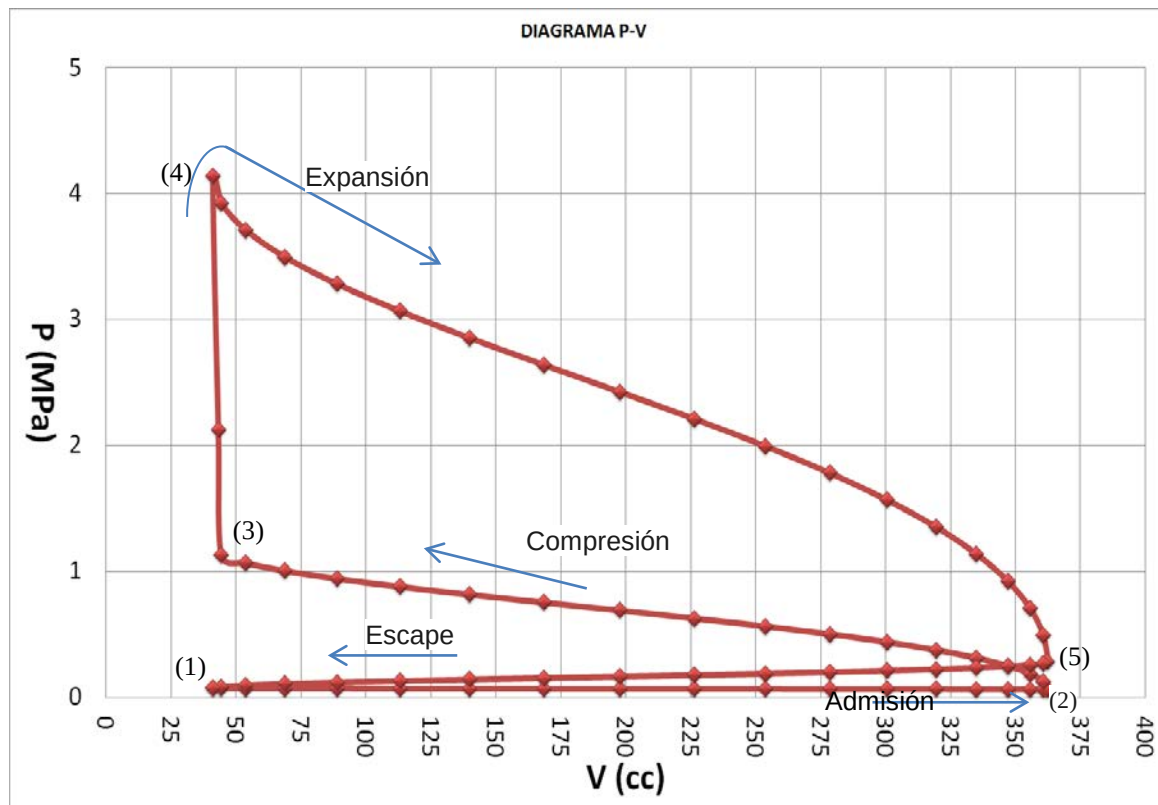


Figura 10, *Diagrama P – V* del motor TCE a gasolina de 3 cilindros 900cc. de un automóvil Renault Clío

En el diagrama P – V, se puede ver que en el punto (1) empieza el proceso de admisión con una presión de 0,0710 MPa y un volumen de 41.18cc. en el punto (2) disminuye la presión a 0,0657 MPa, el volumen aumenta a 362,39cc donde empieza el proceso de compresión pasando así al punto (3) donde observamos que ha llegado a una presión de 2,1235 MPa con un volumen de 43,22cc donde empieza la expansión continuando así con el punto (4) donde la presión aumenta notoriamente a 4,13888 MPa y el volumen llega a 41, 18cc empezando a disminuir notoriamente hasta el punto (5) donde empieza el proceso de escape con una presión de 0,27908 MPa y un volumen de 362,39cc para finalizar volviendo al punto (1) cerrando así los 4 ciclos, los diferentes procesos, admisión, compresión expansión y escape,

están muy bien diferenciados, con base en la *tabla (9)* el punto más notorio es del punto (3) al punto (4) que es donde salta la chispa, se observa un aumento de presión significativo, en cuanto al volumen, en la admisión de (1) a (2) y en la expansión de (4) a (5) disminuye, aquí es donde el pistón esta en desplazamiento del PMS al PMI; de (2) a (3) y de (5) a (1) desciende el volumen, donde la cámara se reduce, por motivo de que el pistón se desplaza de PMI al PMS.

Diagrama Presion-Angulo de giro del cigueñal del motor TCE a gasolina de 3 cilindros 900cc. de un automóvil Renault Clio

Este diagrama se toma los datos de la *Tabla (9)*.

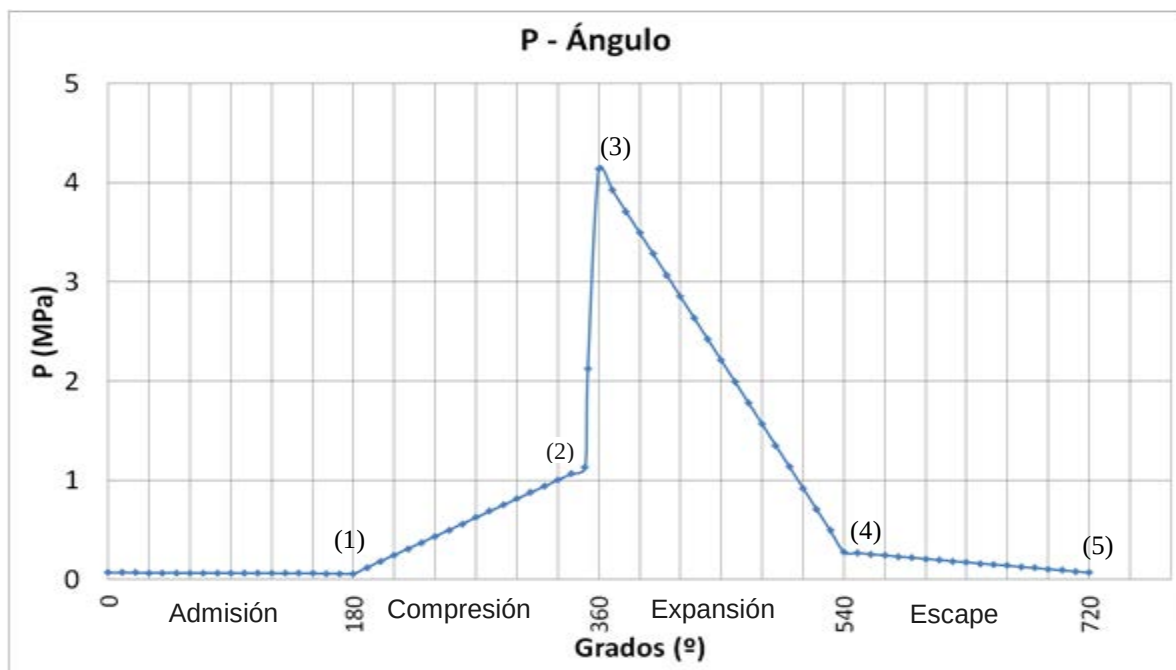


Figura 11, *Diagrama P – θ* del motor TCE a gasolina de 3 cilindros 900cc. de un automóvil Renault Clío

En la figura 11 se aprende que la presión empieza en 0,0710 MPa a 0° de giro del cigüeñal, para disminuir la presión mínimamente al llegar al punto (1) con 0,605 MPa a 180° de giro del cigüeñal al punto (2) incrementa la misma a 2,1235 MPa para así aumentar más rápidamente hasta el punto (3) donde es 4,1388 MPa disminuyendo considerablemente al punto (4) donde llega a 0,2790 MPa y así al punto (5) disminuye despacio llegando a 0,07095

MPa, un punto relevante es cuando la presión se eleva de 2 a 3, esta variación es el momento que salta la chispa y explota la mezcla, de aquí en adelante con la fuerza de la explosión el pistón baja rápidamente hasta el punto 4 donde termina el ciclo de expansión, del punto 4 al punto 5 donde se abre la válvula de escape por lo que baja la presión.

Diagrama Fuerza que ejerce el pistón – Angulo de giro del cigueñal ($Fe - \theta$) del motor TCE a gasolina de 3 cilindros 900cc. de un automóvil Renault Clio

Los datos se tomaron de los resultados de la *Tabla (10)*.

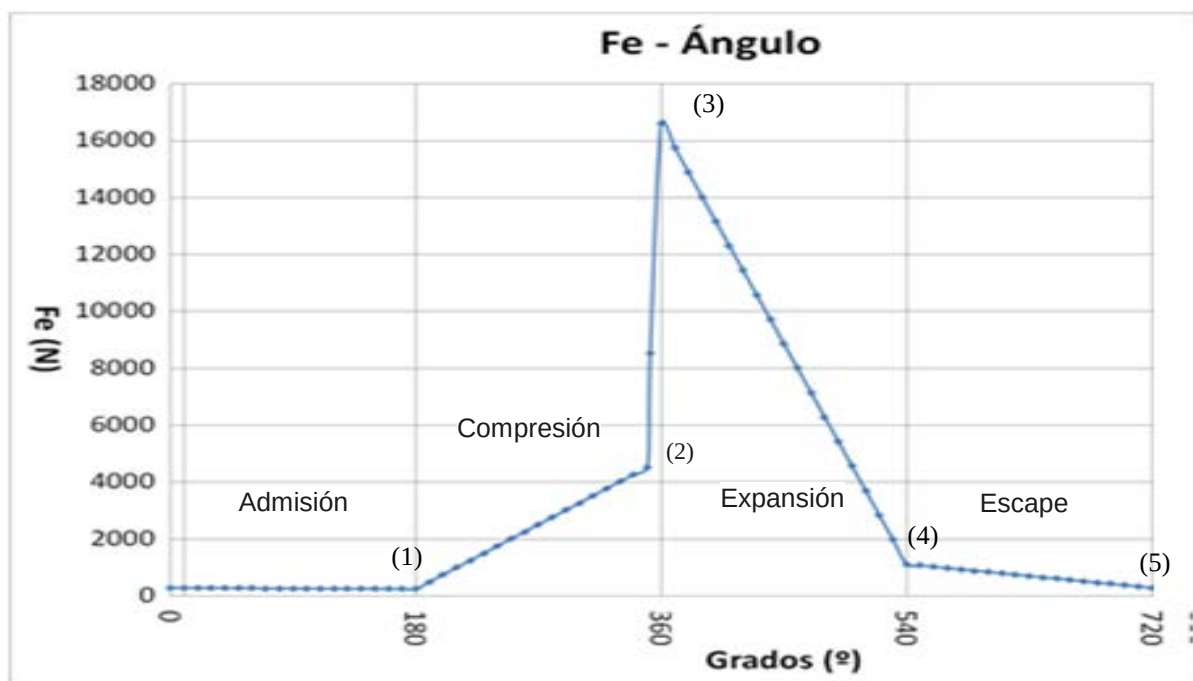
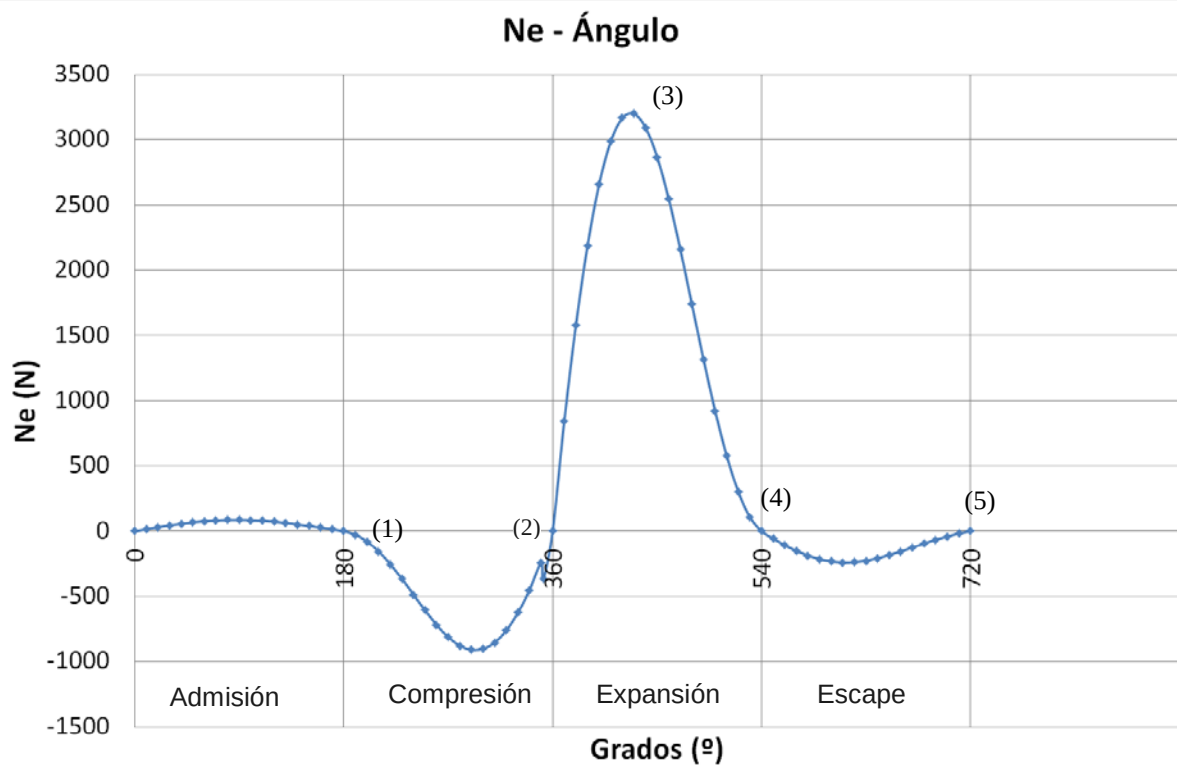


Figura 12, Diagrama $Fe - \theta$ del motor TCE a gasolina de 3 cilindros 900cc. de un automóvil Renault Clío

En la figura 12 se analizó que la fuerza que ejerce el pistón empieza en 284,87 N a 0° de giro del cigüeñal, para disminuir la presión mínimamente al llegar al punto (1) con 243,03 N a 180° de giro del cigüeñal al punto (2) incrementa la misma a 8526,04 N para así aumentar más rápidamente hasta el punto (3) donde es 16618,22 N disminuyendo considerablemente al punto (4) donde llega a 1120,53 y así al punto (5) disminuye despacio llegando a 284,87 N, un punto relevante es cuando la fuerza aumenta de 2 a 3, esta variación es el momento que salta la chispa y explota la mezcla.

Diagrama Fuerza lateral que ejerce el pistón – Angulo de giro del cigüeñal**($N_e - \theta$) del motor TCE a gasolina de 3 cilindros 900cc. de un automóvil Renault Clio**Los datos se tomaron de los resultados de la *Tabla (11)*.*Figura 13, Diagrama $N_e - \theta$ del motor TCE a gasolina de 3 cilindros 900cc. de un automóvil Renault Clío*

En el diagrama $\theta - N_e$, la fuerza lateral empieza en 0 N a 0° de giro del cigüeñal, para mantenerse al llegar al punto (1) con 0 N a 180° de giro del cigüeñal terminando así el proceso de admisión del punto (1) al punto (2) existe un cambio a fuerza negativa llegando a -812,59 N, en el punto (2) vemos un cambio espontaneo, se asume que en este punto se acciona la chispa, para luego aumentar rápidamente hasta el punto (3) donde es 2868,18 N a 450° disminuyendo considerablemente al punto (4) donde llega a 0 N y así al punto (5) donde igual es 0 N

Diagrama Fuerza que actúa a lo largo de la biela – Angulo de giro del cigüeñal
($K_e - \theta$) del motor TCE a gasolina de 3 cilindros 900cc. de un automóvil Renault Clio

Los datos se tomaron de los resultados de la *Tabla (12)*.

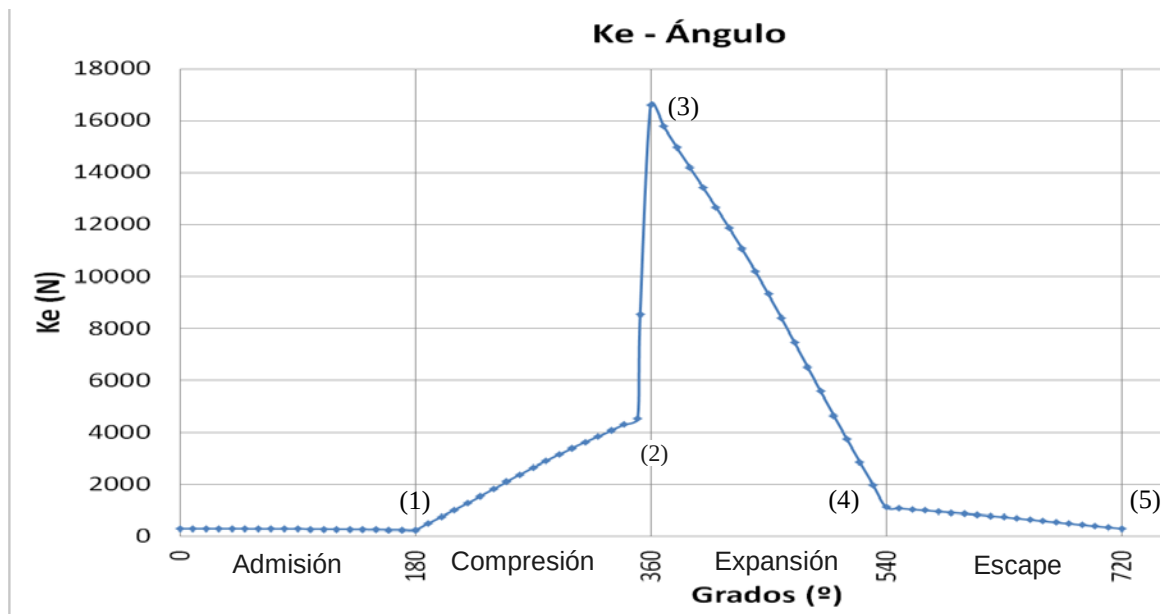


Figura 14, Diagrama $K_e - \theta$ del motor TCE a gasolina de 3 cilindros 900cc. de un automóvil Renault Clio

En la figura 14 se analizó que actúa a lo largo de la biela empieza en 284,87 N a 0° de giro del cigüeñal, para disminuir la presión mínimamente al llegar al punto (1) con 243,03 N a 180° de giro del cigüeñal al punto (2) incrementa la misma a 8533,87 N para así aumentar más rápidamente hasta el punto (3) donde es 16618,22 N disminuyendo considerablemente al punto (4) donde llega a 1120,53 y así al punto (5) disminuye despacio llegando a 284,87 N.

Diagrama Fuerza Normal que ejerce el pistón – Angulo de giro del cigüeñal**($Z_e - \theta$) del motor TCE a gasolina de 3 cilindros 900cc. de un automóvil Renault Clio**

Los datos se tomaron de los resultados de la *Tabla (13)*.

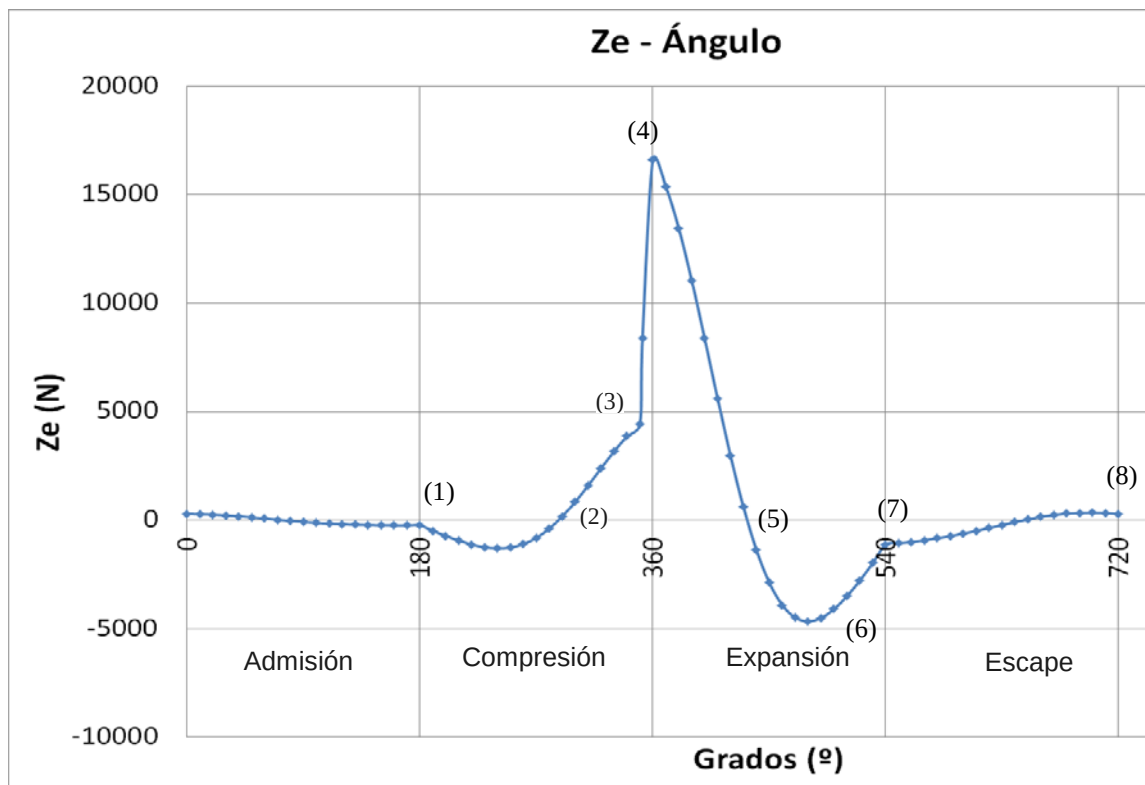


Figura 15, Diagrama $Z_e - \theta$ del motor TCE a gasolina de 3 cilindros 900cc. de un automóvil Renault Clío

En el diagrama $\theta - Z_e$, se determina que la fuerza normal genera fuerzas negativas del punto 1 al punto 2 donde es parte del proceso de compresión y de 5 a 7 donde es parte del proceso de expansión, la fuerza normal empieza en 284,87 N a 0° de giro del cigüeñal, disminuye al desplazarse al punto (1) con -243,03 N a 180° de giro del cigüeñal terminando así el proceso de admisión del punto (1) al punto (2) existe fuerzas negativas llegando a -812,59 N, del punto (2) al punto (3) existe un incremento llegando a 8392,21 N para aumentar de inmediato hasta el punto (4) a 16618,22 N 36° donde termina el proceso de compresión, disminuyendo considerablemente al punto (5) donde llega a -2868 N así equilibrarse en el punto (7) donde es -1120,53 N a 540° finalizando el proceso de expansión, desplazándose al final del proceso de escape en el punto (8) con 284,87 N a 720°.

Diagrama Fuerza tangencial que ejerce el pistón – Angulo de giro del cigüeñal**($T_e - \theta$) del motor TCE a gasolina de 3 cilindros 900cc. de un automóvil Renault Clio**

Los datos se tomaron de los resultados de la *Tabla (14)*.

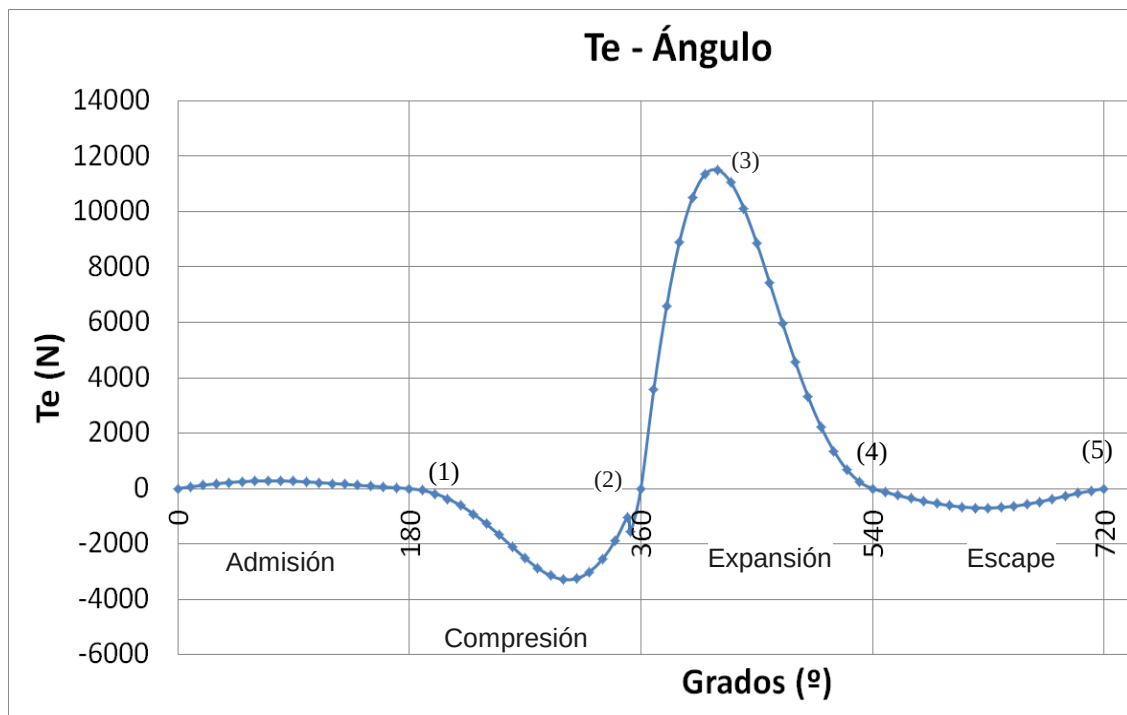


Figura 16, Diagrama $T_e - \theta$ del motor TCE a gasolina de 3 cilindros 900cc. de un automóvil Renault Clio

En el diagrama θ - T_e , se determina la fuerza tangencial la cual empieza en 0 N a 0° de giro del cigüeñal, para mantenerse al llegar al punto (1) con 0 N a 180° de giro del cigüeñal terminando así el proceso de admisión del punto (1) al punto (2) existe un cambio a fuerza negativa llegando a -2512,81 N, en el punto (2) vemos un cambio espontaneo, se asume que en este punto se acciono la chispa, para luego aumentar rápidamente hasta el punto (3) donde es 8869,38 N a 450° disminuyendo considerablemente al punto (4) donde llega a 0 N y así al punto (5) donde también es 0 N

Diagrama Velocidad del pistón – Angulo de giro del cigueñal ($V_e - \theta$) del motor**TCE a gasolina de 3 cilindros 900cc. de un automóvil Renault Clio**

Los datos se tomaron de los resultados de la *Tabla (15)*.

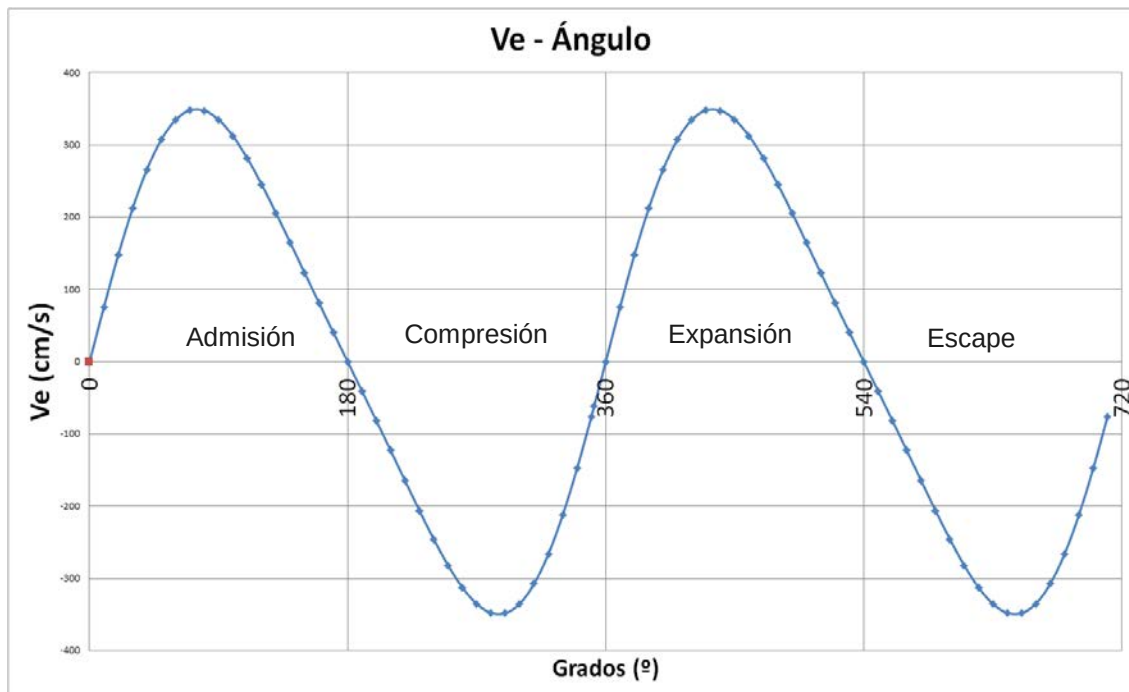


Figura 17, Diagrama $V_e - \theta$ del motor TCE a gasolina de 3 cilindros 900cc. de un automóvil Renault Clio

En el diagrama θ - V_e , se observa que en admisión del punto 0° a 180° y expansión de 360° a 540° va con una velocidad positiva llegando a una velocidad máxima de 335,1031 cm/Seg, en compresión y escape va en velocidad opuesta negativa llegando a -335,1031 del mismo valor, lo cual es correcto ya que el pistón cambia de dirección en los diferentes ciclos.

Diagrama Velocidad angular – Angulo de giro del cigüeñal ($We - \theta$) del motor**TCE a gasolina de 3 cilindros 900cc. de un automóvil Renault Clio**

Los datos se tomaron de los resultados de la *Tabla (16)*.

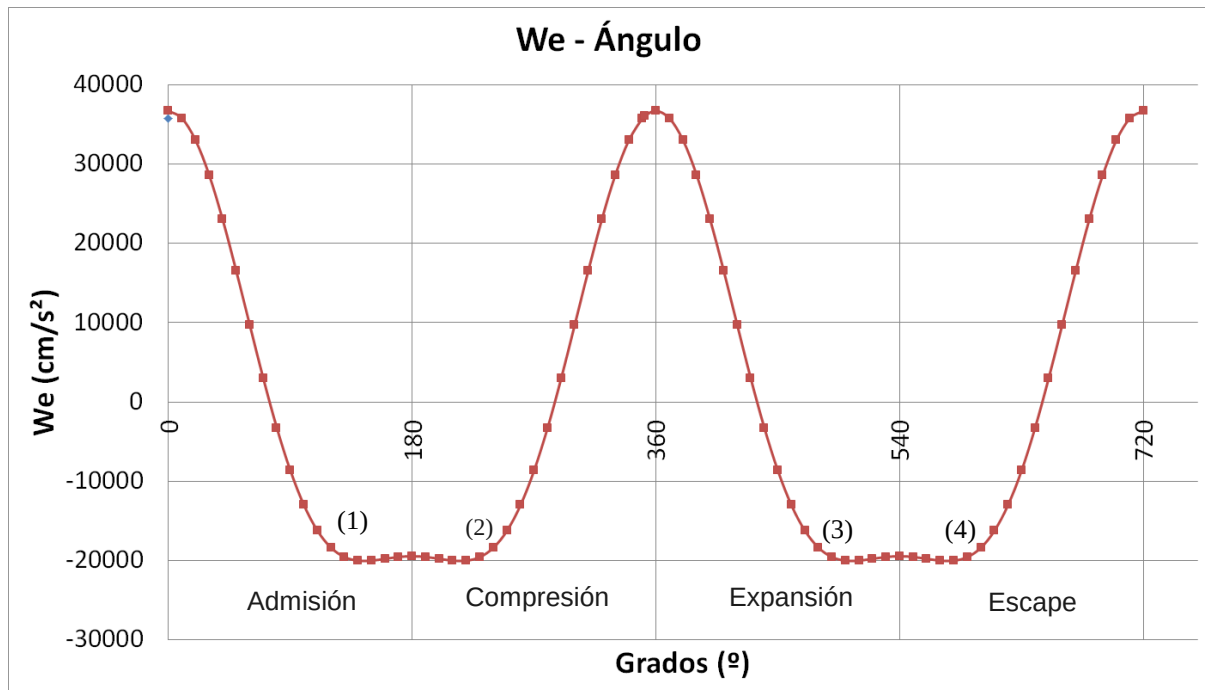


Figura 18, Diagrama $We - \theta$ del motor TCE a gasolina de 3 cilindros 900cc. de un automóvil Renault Clío

En el diagrama θ - We , la velocidad angular empieza con $36711,53 \frac{\text{cm}}{\text{seg}^2}$ a 0° disminuye al punto (1) donde es $-20005,59 \frac{\text{cm}}{\text{seg}^2}$ a 140° varía mínimamente pasando por 180° con $-19435,52 \frac{\text{cm}}{\text{seg}^2}$ hasta llegar al punto (2) donde retoma los $-20005,59 \frac{\text{cm}}{\text{seg}^2}$ a 220° donde aumenta hasta 360° con $36711,53 \frac{\text{cm}}{\text{seg}^2}$ para de aquí en adelante repetir el proceso, se analizó que del punto 1 al punto 2 y de 3 a 4 se mantiene una velocidad angular constante, lo que determina que en este rango el cigüeñal se mueve por el movimiento de los otros pistones, para así tener una velocidad constante.

Diagrama Desplazamiento del pistón – Angulo de giro del cigüeñal ($Se - \theta$) del motor TCE a gasolina de 3 cilindros 900cc. de un automóvil Renault Clio

Los datos se tomaron de los resultados de la *Tabla (17)*.

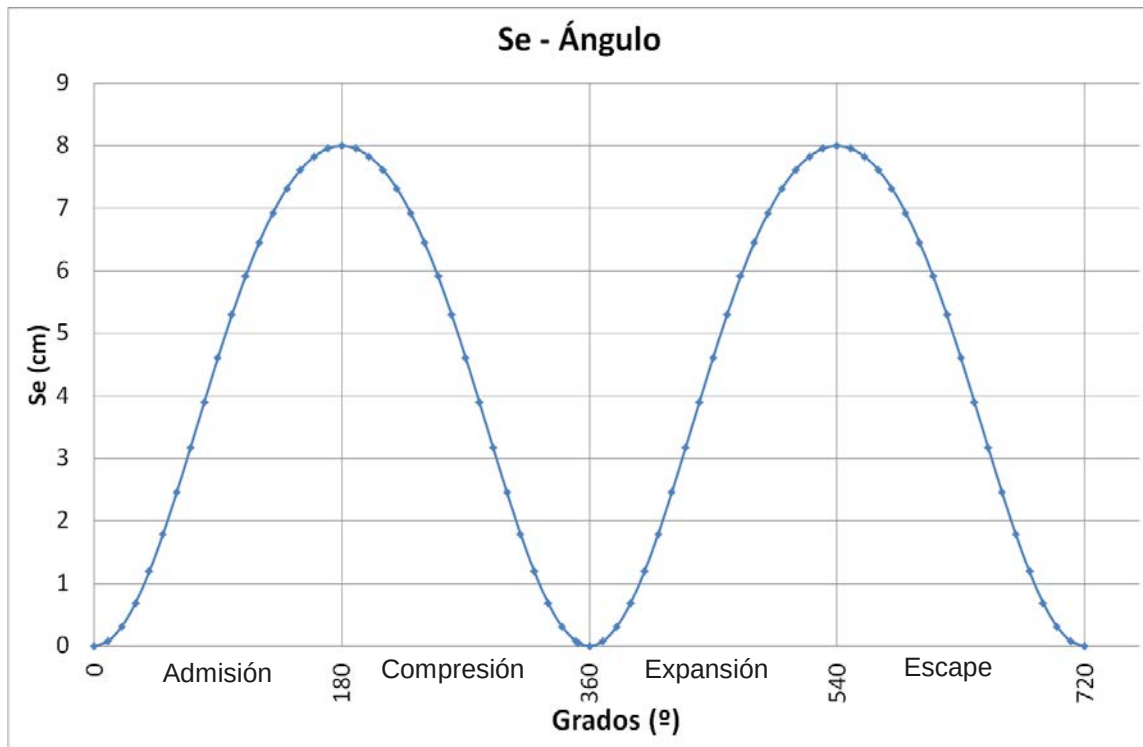


Figura 19, Diagrama $Se - \theta$ del motor TCE a gasolina de 3 cilindros 900cc. de un automóvil Renault Clío

En el diagrama θ -Se, se observa cómo se desplaza el pistón en los diferentes ciclos, admisión y expansión en dirección ascendente, compresión y escape en dirección descendente llegando a 180° y 540° a un desplazamiento de 8 cm lo cual es correcto, ya que al tener el cigüeñal un movimiento circular, por la acción del mecanismo biela manivela este movimiento se transforma el lineal avanzando en 2 direcciones

Discusión

Conclusiones

En este proyecto se determina las curvas características de un motor a gasolina de 3 cilindros de 900 cc., de un Renault Clío, en el cual se muestra las tablas y las gráficas de las curvas analizando su desplazamiento, conociendo así los beneficios y debilidades que genera los diferentes puntos, se compararon la presión, el volumen y las distintas fuerzas con respecto al ángulo de giro del cigüeñal obteniendo las curvas características del motor a combustión interna.

El resultado final de este proyecto se obtuvo mediante una investigación previa de los distintos tipos de motores existentes en el mercado, se estableció los datos iniciales utilizando los estándares de fábrica para con éstos, se analiza las distintas fórmulas en los diferentes ciclos: admisión, compresión, expansión y escape.

Se logró el propósito del proyecto de un motor a gasolina de 3 cilindros de 900 cc, de un Renault Clío para el usuario, se indicó los parámetros de salida del mismo, en función de sus principales variables de operación, los diagramas que se utilizó para transmitir esta información con los diagramas de curvas características del motor.

Se concluyó que las curvas características en este proyecto mostrando el intervalo de variables de operación en el régimen de giro del cigüeñal, se describe la variación de los parámetros en función a las condiciones de operación.

Se proporcionó al usuario de una manera gráfica los parámetros de salida del motor a gasolina de 3 cilindros de 900 cc, de un Renault Clío en función de las principales variables de operación.

Recomendaciones

Es de suma importancia partir con los datos correctos; obtenidos directamente del fabricante para que los cálculos permitan llegar a las conclusiones reales ya que de lo contrario los resultados finales podrían tener mucha variación y serian falsos llevando a apreciaciones y conclusiones equivocadas.

Para economizar tiempo, el único recurso no renovable en la vida, se puede instalar un software en la PC ya que con los cálculos analizados en este documento se puede crear el software, que a gran escala se comercializa con producción en serie y así capitalizarnos, creando más fuentes de trabajo en el país.

Realizar este tipo de análisis al comprar flotas de autos en las diferentes empresas, así se sabrá cuál es el auto ideal que se necesita, ya que en el mercado actual existe una amplia oferta de automóviles con características similares, y sabiendo que varias empresas compran flotas enteras de autos durante el año, al nadie ofrecer un servicio similar, siendo nosotros la única empresa con el servicio de análisis de autos para flotas, llegaremos a ser Millonarios.

Bibliografía

- Cascajosa, M. (2000). Ingeniería de vehículos. Madrid: Tébar Flores, S.L.
- Cengel, Y. Cimbala J. *Mecánica de Fluidos*.
- Chitón, M. (1991) *Manual de Reparación y Mantenimiento*. Barcelona.
- Esguar, J. *Combustión Teórica de Motores de Combustión*.
- Gerschler. (1986) *Tecnología del Automóvil*. Barcelona.
- Hibberler, R.C. (ed. 10) *Ingeniero Mecánico Dinámico*.
- Jóvaj, M.S. *Motores del Automóvil*. Lima: Mir – Moscú.
- Jóvaj, M.S. *Motores del Automóvil* Mir – Moscú.
- Kindler, H. (1984) *Tecnología y Tablas de Automóvil*. Moscú.
- Manual de Renault. (2015).
- Megraw, H. (ed.9). *Manual del Ingeniero Mecánico*.
- Payri, F. Desantes J. *Motores de Combustión Interna Alternativa*. REVERÉ. Barcelona – Bogotá – Buenos Aires – México
- Shigley. (1992) *Diseño de Ingeniería Mecánica*. México.

Anexos

Anexo 1. Tabla obtenida de (auto-data.net) Renault Clío 3 cilindros año de publicación 2015

Modelo	Clío
Generación	Clío III
Motor	1.5 dCi (90 Hp)
Numero de puertas	3/5
Potencia máxima	90 Hp
Velocidad máxima	176 km/h
Aceleración 0-100 km/h	11 s
Capacidad depósito	55 l
Año de la puesta en producción	2015 años
Año de detener la producción	XXXX años
tipo Coupe	Hatchback
Número de plazas	5
Longitud	4027 mm.
Anchura	2025 mm.
Altura	1497 mm.
Distancia entre ejes	2575 mm.
Vía delantera	1472 mm.
Vía trasera	1470 mm.
Capacidad maletero min.	288 l
Capacidad maletero max.	1038 l
Modelo del motor	K9K 766
Posición del motor	Frente, transversalmente
Cilindrada	900 cm ³
Potencia máxima en régimen de revoluciones	5000rpm.
Par máximo	135Nm/2500rpm.
Construcción de los cilindros	inline
Número Cilindros	3
Diámetro del cilindro	71,15 mm.
Recorrido del cilindro	80 mm.
Ratio de compresión	8.8
Número de válvulas por cilindro	2
Combustible	Gasolina
Drive	Frente
Revoluciones en Ralentí	800rpm.

Anexo 2. Datos medidos en proveedora automotriz S.A.C.I. de un auto Renault Clío chocado, Hoja de pedido Numero 96168. Varios autores.

Datos	Valor
Temperatura Inicial	$T_o = 288.15 \text{ K}^o$
Presión Inicial	$P_o = 0,0715 \text{ Mpa}$
Diámetro del pistón	$D = 7,15 \text{ cm}$
Carrera del pistón	$s = 8 \text{ cm}$
Longitud de biela	$L = 13 \text{ cm}$
Número de cilindros	$i = 3$
Radio cigüeñal	$R = 4 \text{ cm}$

La Presión inicial es la presión atmosférica.

La temperatura inicial se tomó con un termómetro laser.



El resto de datos fueron tomados por los operarios del taller.

Anexo 3. Tabla obtenida de la página 62 de (Jóvaj M., 1982)

Composición química elemental de la gasolina y del aceite Diesel y su característica		
Parámetros	Gasolina	Acete Diesel
Composición másica elemental		
C	0,855	0,870
H	0,145	0,126
O _c	—	0,004
Masa molecular media	110—120	180—200
Poder calorífico del combustible, MJ/kg	44	42,5
Poder calorífico de la mezcla para $\alpha=1$, MJ/kmol	83,9	86,0
Cantidad de aire teóricamente necesaria para quemar por completo 1 kg de combustible, kmol	0,516	0,496
Característica del combustible β	0,402	0,345

114 Masa molecular media para motores a gasolina, explicado en la misma página.

Anexo 4. Datos obtenidos de varias páginas de (Jóvaj M., 1982) detallados a continuación.

Dato	Página
Coeficiente de exceso de aire (α)	50
Relación entre el número de moléculas de hidrogeno y de monóxido de carbono. (K)	Ecuación 79, página 54
Coeficiente sumario ($(B^2 + \xi) = Cs$)	Página 89
Velocidad de la carga (ωad)	Página 89
Incremento de temperatura (ΔT)	Página 92
Temperatura de gases residuales (Tr)	Página 91
Presión de Gases Residuales (Pr)	Página 91
Exponente politrópico de compresión (n_2)	Página 115
Exponente politrópico de expansión (n_2)	Página 160

Anexo 5. Tabla obtenida de la página 65 de (Jóvaj M., 1982)

6. Calor específico molar medio de los gases μc_V a $V = \text{const}$
[en kJ/(kmol·°C)]

Temperatura, °C	Aire	O ₂	N ₂ (atmosférico)	CO ₂	H ₂ O	CO	H ₂
0 1)	20,758	20,959	20,704	27,545	25,184	20,808	20,302
100	20,838	21,223	20,733	29,797	25,426	20,863	20,620
200	20,984	21,616	20,800	31,744	25,803	20,988	20,758
300	21,206	22,085	20,972	33,440	26,260	21,202	20,808
400	21,474	22,563	21,185	34,935	26,775	21,474	20,871
500	21,780	23,019	21,449	36,258	27,315	21,784	20,934
600	22,090	23,446	21,729	37,438	27,880	22,110	21,001
700	22,408	23,834	22,027	38,498	28,474	22,437	21,093
800	22,713	24,187	22,320	39,448	29,077	22,755	21,202
900	23,006	24,510	22,609	40,302	29,693	23,061	21,332
1000	23,283	24,803	22,881	41,077	30,304	23,350	21,474
1100	23,547	25,071	23,140	41,784	30,901	23,622	21,629
1200	23,794	25,318	23,392	42,425	31,510	23,877	21,792
1300	24,018	25,548	23,626	43,007	32,092	24,112	21,972
1400	24,250	25,761	23,848	43,543	32,661	24,338	22,152
1500	24,459	25,967	24,057	44,033	33,210	24,543	22,332
1600	24,652	26,159	24,250	44,485	33,741	24,736	22,517
1700	24,863	26,343	24,434	44,903	34,261	24,916	22,697
1800	25,003	26,519	24,602	45,299	34,755	25,087	22,877
1900	25,167	26,691	24,765	45,644	35,224	25,246	23,057
2000	25,326	26,854	24,916	45,975	35,680	25,393	23,233
2100	25,474	27,013	25,062	46,281	36,120	25,535	23,408
2200	25,611	27,168	25,200	46,566	36,538	25,665	23,576
2300	25,745	27,319	25,326	46,829	36,940	25,791	23,743
2400	25,870	27,470	25,447	47,076	37,330	25,908	23,907
2500	25,992	27,612	25,560	47,302	37,702	26,021	24,070

1) Para $t = 0$ se exponen los valores del calor específico verdadero.

Anexo 6. Tabla obtenida de la página 67 de (Jóvaj M., 1982)

9. Energía interna de los productos de combustión U (en MJ/kmol)

Temperatura, °C	Gasolina, siendo α igual a				Aceite Diesel $\alpha = 1$
	1,0	0,9	0,8	0,7	
0	0	0	0	0	0
100	2,2530	2,2045	2,1881	2,1685	2,252
200	4,5766	4,5352	4,4867	4,4285	4,580
300	6,9969	6,9165	6,8337	6,7344	6,992
400	9,4881	9,3842	9,2584	9,1123	9,483
500	12,0740	11,9386	11,7688	11,5713	12,100
600	14,7500	14,5759	14,3590	14,1057	14,779
700	17,5130	17,2989	17,0422	16,7202	17,585
800	20,3090	20,0938	19,7753	19,4024	20,390
900	23,2800	22,9688	22,5870	22,1510	23,237
1000	26,4262	25,8806	25,4548	24,9534	26,293
1100	29,7490	28,8569	28,3743	27,7968	29,308
1200	33,2500	31,8871	31,3476	30,7140	32,406
1300	36,9430	34,9565	34,3598	33,6586	35,504
1400	40,8010	38,0531	37,4129	36,6433	38,686
1500	44,8760	41,1069	40,4090	39,8603	41,888
1600	49,0140	44,3680	43,6125	42,7048	45,008
1700	53,2680	47,5716	46,7580	45,7802	48,358
1800	57,5370	50,7924	49,9207	48,8732	51,498
1900	61,8350	54,0398	53,1101	51,9929	54,931
2000	66,1500	57,3052	56,3174	55,1298	58,197
2100	70,4910	60,5947	59,5484	58,2851	61,546
2200	74,8460	63,9001	62,7955	61,4671	64,979
2300	79,2080	67,2127	66,0498	64,6528	68,287
2400	83,5880	70,5432	69,3228	67,8557	71,594
2500	87,9760	73,8820	72,6038	71,0678	75,027

Anexo 7. Tabla de cálculos realizada en Excel.

ÁNGULO DEL CIGÜEÑAL (Θ)	PRESIÓN C/10º	Bo º	Fe N	Ne N	Ke N	Ze N
(º)	(MPa)					
0	0,0710	0,0000	284,8750	0,0000	284,8750	284,8750
10	0,0704	3,0628	282,5505	15,1183	282,9546	275,6326
20	0,0698	6,0408	280,2260	29,6548	281,7907	253,1837
30	0,0692	8,8499	277,9015	43,2692	281,2498	219,0351
40	0,0686	11,4072	275,5770	55,6022	281,1304	175,3638
50	0,0681	13,6332	273,2525	66,2746	281,1748	124,8741
60	0,0675	15,4543	270,9280	74,9022	281,0913	70,5968
70	0,0669	16,8062	268,6035	81,1281	280,5880	15,6323
80	0,0663	17,6389	266,2790	84,6679	279,4158	-37,1428
90	0,0657	17,9202	263,9545	85,3578	277,4130	-85,3578
100	0,0652	17,6389	261,6300	83,1897	274,5374	-127,3575
110	0,0646	16,8062	259,3056	78,3198	270,8752	-162,2843
120	0,0640	15,4543	256,9811	71,0464	266,6212	-190,0185
130	0,0634	13,6332	254,6566	61,7643	262,0397	-211,0043
140	0,0628	11,4072	252,3321	50,9121	257,4170	-226,0233
150	0,0623	8,8499	250,0076	38,9261	253,0198	-235,9760
160	0,0617	6,0408	247,6831	26,2110	249,0661	-241,7107
170	0,0611	3,0628	245,3586	13,1283	245,7096	-243,9108
180	0,0605	0,0000	243,0341	0,0000	243,0341	-243,0341
190	0,1233	-3,0628	495,2320	-26,4982	495,9404	-492,3097
200	0,1862	-6,0408	747,4299	-79,0965	751,6034	-729,4069
210	0,2490	-8,8499	999,6278	-155,6418	1011,6719	-943,5240
220	0,3118	-11,4072	1251,8257	-252,5764	1277,0522	-1121,3071
230	0,3746	-13,6332	1504,0236	-364,7854	1547,6289	-1246,2096
240	0,4374	-15,4543	1756,2215	-485,5345	1822,1025	-1298,5959
250	0,5002	-16,8062	2008,4194	-606,6166	2098,0305	-1256,9530
260	0,5630	-17,6389	2260,6173	-718,8017	2372,1438	-1100,4336
270	0,6258	-17,9202	2512,8152	-812,5963	2640,9379	-812,5963
280	0,6886	-17,6389	2765,0131	-879,1830	2901,4238	-385,6867
290	0,7515	-16,8062	3017,2110	-911,3087	3151,8321	175,5968
300	0,8143	-15,4543	3269,4088	-903,8784	3392,0540	851,9227
310	0,8771	-13,6332	3521,6067	-854,1294	3623,7068	1609,3441
320	0,9399	-11,4072	3773,8046	-761,4271	3849,8536	2401,4661
330	1,0027	-8,8499	4026,0025	-626,8477	4074,5103	3173,1966
340	1,0655	-6,0408	4278,2004	-452,7388	4302,0892	3865,3476
350	1,1283	-3,0628	4530,3983	-242,4064	4536,8789	4419,4780
352	2,1235	-2,4543	8526,0484	-365,4419	8533,8765	8392,2138
360	4,13888	0,0000	16618,2276	0,0000	16618,2276	16618,2276

370	3,92445	3,0628	15757,2448	843,1172	15779,7849	15371,4511
380	3,71001	6,0408	14896,2620	1576,3909	14979,4402	13458,7500
390	3,49558	8,8499	14035,2792	2185,2900	14204,3850	11062,2633
400	3,28115	11,4072	13174,2964	2658,1309	13439,7822	8383,4829
410	3,06671	13,6332	12313,3135	2986,4671	12670,3069	5627,0788
420	2,85228	15,4543	11452,3307	3166,1733	11881,9414	2984,1789
430	2,63785	16,8062	10591,3479	3198,9768	11063,9099	616,3995
440	2,42341	17,6389	9730,3651	3093,9352	10210,4084	-1357,2712
450	2,20898	17,9202	8869,3823	2868,1882	9321,6118	-2868,1882
460	1,99455	17,6389	8008,3995	2546,4069	8403,4904	-3898,3652
470	1,78011	16,8062	7147,4167	2158,7828	7466,3183	-4473,1528
480	1,56568	15,4543	6286,4338	1737,9815	6522,2565	-4648,3530
490	1,35124	13,6332	5425,4510	1315,8872	5582,7482	-4495,4407
500	1,13681	11,4072	4564,4682	920,9565	4656,4505	-4088,5650
510	0,92238	8,8499	3703,4854	576,6319	3748,1073	-3495,6284
520	0,70794	6,0408	2842,5026	300,8067	2858,3747	-2773,9607
530	0,49351	3,0628	1981,5198	106,0245	1984,3543	-1969,8270
540	0,27908	0,0000	1120,5370	0,0000	1120,5370	-1120,5370
550	0,26751	-3,0628	1074,1113	-57,4721	1075,6478	-1067,7731
560	0,25595	-6,0408	1027,6856	-108,7544	1033,4241	-1002,9048
570	0,24439	-8,8499	981,2600	-152,7820	993,0828	-926,1870
580	0,23283	-11,4072	934,8343	-188,6182	953,6729	-837,3661
590	0,22126	-13,6332	888,4086	-215,4743	914,1658	-736,1210
600	0,20970	-15,4543	841,9830	-232,7792	873,5682	-622,5842
610	0,19814	-16,8062	795,5573	-240,2876	831,0533	-497,8931
620	0,18658	-17,6389	749,1316	-238,1992	786,0897	-364,6657
630	0,17501	-17,9202	702,7060	-227,2416	738,5353	-227,2416
640	0,16345	-17,6389	656,2803	-208,6755	688,6576	-91,5434
650	0,15189	-16,8062	609,8546	-184,1985	637,0650	35,4926
660	0,14033	-15,4543	563,4290	-155,7686	584,5648	146,8149
670	0,12876	-13,6332	517,0033	-125,3938	531,9925	236,2661
680	0,11720	-11,4072	470,5776	-94,9468	480,0606	299,4528
690	0,10564	-8,8499	424,1520	-66,0404	429,2624	334,3062
700	0,09408	-6,0408	377,7263	-39,9727	379,8355	341,2751
710	0,08251	-3,0628	331,3006	-17,7268	331,7745	323,1892
720	0,07095	0,0000	284,8750	0,0000	284,8750	284,8750

Anexo 8. Tabla de cálculos realizada en Excel.

Te	TORQUE	VELOCIDAD DEL	ACELERACION DEL	DESPLAZAMIENTO	VOLUMEN
N	J	PISTON (Ve)	PISTON (We)	DEL PISTON (Se)	C/10º
		(cm/seg)	(cm/seg²)	cm	cc
0,0000	0,0000	0,0000	36711,5389	0,0000	41,18
63,9530	255,8121	75,8227	35764,1032	0,0793	44,37
123,7093	494,8373	147,7505	32997,5876	0,3132	53,76
176,4230	705,6919	212,1989	28631,3945	0,6897	68,88
219,7312	878,9249	266,1713	23005,5460	1,1901	88,96
251,9240	1007,6961	307,4750	16545,3425	1,7900	113,05
272,0816	1088,3266	334,8552	9717,7603	2,4615	140,02
280,1522	1120,6088	348,0324	2984,6138	3,1753	168,67
276,9361	1107,7443	347,6448	-3242,1562	3,9022	197,86
263,9545	1055,8181	335,1031	-8638,0091	4,6154	226,50
243,2096	972,8382	312,3796	-12991,9907	5,2914	253,64
216,8806	867,5222	281,7555	-16218,8116	5,9115	278,54
187,0289	748,1158	245,5605	-18355,7694	6,4615	300,62
155,3769	621,5076	205,9328	-19545,2916	6,9323	319,52
123,1950	492,7799	164,6290	-20005,5969	7,3184	335,03
91,2928	365,1711	122,9042	-19993,3853	7,6179	347,05
60,0824	240,3294	81,4735	-19763,3898	7,8308	355,60
29,6772	118,7088	40,5574	-19529,9563	7,9578	360,70
0,0000	0,0000	0,0000	-19435,5206	8,0000	362,39
-59,9005	-239,6020	-40,5574	-19529,9563	7,9578	360,70
-181,3097	-725,2389	-81,4735	-19763,3898	7,8308	355,60
-365,0241	-1460,0965	-122,9042	-19993,3853	7,6179	347,05
-611,1733	-2444,6931	-164,6290	-20005,5969	7,3184	335,03
-917,6694	-3670,6775	-205,9328	-19545,2916	6,9323	319,52
-1278,1652	-5112,6607	-245,5605	-18355,7694	6,4615	300,62
-1679,8218	-6719,2871	-281,7555	-16218,8116	5,9115	278,54
-2101,4548	-8405,8192	-312,3796	-12991,9907	5,2914	253,64
-2512,8152	-10051,2607	-335,1031	-8638,0091	4,6154	226,50
-2875,6748	-11502,6993	-347,6448	-3242,1562	3,9022	197,86
-3146,9368	-12587,7472	-348,0324	2984,6138	3,1753	168,67
-3283,3303	-13133,3214	-334,8552	9717,7603	2,4615	140,02
-3246,7311	-12986,9242	-307,4750	16545,3425	1,7900	113,05
-3009,0419	-12036,1676	-266,1713	23005,5460	1,1901	88,96
-2555,8673	-10223,4693	-212,1989	28631,3945	0,6897	68,88
-1888,6660	-7554,6642	-147,7505	32997,5876	0,3132	53,76
-1025,4191	-4101,6764	-75,8227	35764,1032	0,0793	44,37
-1548,4820	-6193,9280	-60,8476	36103,7074	0,0508	43,22
0,0000	0,0000	0,0000	36711,5389	0,0000	41,18
3566,5252	14266,1008	75,8227	35764,1032	0,0793	44,37
6576,1445	26304,5781	147,7505	32997,5876	0,3132	53,76
8910,1562	35640,6250	212,1989	28631,3945	0,6897	68,88

10504,5209	42018,0835	266,1713	23005,5460	1,1901	88,96
11352,2095	45408,8379	307,4750	16545,3425	1,7900	113,05
11501,0960	46004,3839	334,8552	9717,7603	2,4615	140,02
11046,7260	44186,9039	348,0324	2984,6138	3,1753	168,67
10119,7952	40479,1808	347,6448	-3242,1562	3,9022	197,86
8869,3823	35477,5292	335,1031	-8638,0091	4,6154	226,50
7444,5550	29778,2199	312,3796	-12991,9907	5,2914	253,64
5978,0275	23912,1099	281,7555	-16218,8116	5,9115	278,54
4575,2207	18300,8827	245,5605	-18355,7694	6,4615	300,62
3310,3007	13241,2026	205,9328	-19545,2916	6,9323	319,52
2228,4900	8913,9600	164,6290	-20005,5969	7,3184	335,03
1352,3648	5409,4593	122,9042	-19993,3853	7,6179	347,05
689,5273	2758,1093	81,4735	-19763,3898	7,8308	355,60
239,6736	958,6943	40,5574	-19529,9563	7,9578	360,70
0,0000	0,0000	0,0000	-19435,5206	8,0000	362,39
-129,9185	-519,6741	-40,5574	-19529,9563	7,9578	360,70
-249,2935	-997,1739	-81,4735	-19763,3898	7,8308	355,60
-358,3169	-1433,2677	-122,9042	-19993,3853	7,6179	347,05
-456,4100	-1825,6400	-164,6290	-20005,5969	7,3184	335,03
-542,0563	-2168,2250	-205,9328	-19545,2916	6,9323	319,52
-612,7891	-2451,1562	-245,5605	-18355,7694	6,4615	300,62
-665,3961	-2661,5845	-281,7555	-16218,8116	5,9115	278,54
-696,3878	-2785,5512	-312,3796	-12991,9907	5,2914	253,64
-702,7060	-2810,8239	-335,1031	-8638,0091	4,6154	226,50
-682,5460	-2730,1842	-347,6448	-3242,1562	3,9022	197,86
-636,0755	-2544,3020	-348,0324	2984,6138	3,1753	168,67
-565,8281	-2263,3124	-334,8552	9717,7603	2,4615	140,02
-476,6491	-1906,5964	-307,4750	16545,3425	1,7900	113,05
-375,2149	-1500,8597	-266,1713	23005,5460	1,1901	88,96
-269,2686	-1077,0745	-212,1989	28631,3945	0,6897	68,88
-166,7521	-667,0083	-147,7505	32997,5876	0,3132	53,76
-74,9872	-299,9489	-75,8227	35764,1032	0,0793	44,37
0,0000	0,0000	0,0000	36711,5389	0,0000	41,18

