

UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR
FACULTAD DE INGENIERÍA
LICENCIATURA EN INGENIERÍA MECÁNICA INDUSTRIAL

**"DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA CULATA SELLADA POR ANILLOS COMO PRIMERA
APROXIMACIÓN A UN MOTOR DE COMPRESIÓN VARIABLE "**

TESIS DE GRADO

JOSÉ AMILCAR CONTRERAS ORTIZ

CARNET 10407-12

GUATEMALA DE LA ASUNCIÓN, MAYO DE 2018
CAMPUS CENTRAL

UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR
FACULTAD DE INGENIERÍA
LICENCIATURA EN INGENIERÍA MECÁNICA INDUSTRIAL

**"DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA CULATA SELLADA POR ANILLOS COMO PRIMERA
APROXIMACIÓN A UN MOTOR DE COMPRESIÓN VARIABLE "**

TESIS DE GRADO

TRABAJO PRESENTADO AL CONSEJO DE LA FACULTAD DE
INGENIERÍA

POR
JOSÉ AMILCAR CONTRERAS ORTIZ

PREVIO A CONFERÍRSELE

EL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO INDUSTRIAL EN EL GRADO ACADÉMICO DE LICENCIADO

GUATEMALA DE LA ASUNCIÓN, MAYO DE 2018
CAMPUS CENTRAL

AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR

RECTOR: P. MARCO TULIO MARTINEZ SALAZAR, S. J.

VICERRECTORA ACADÉMICA: DRA. MARTA LUCRECIA MÉNDEZ GONZÁLEZ DE PENEDO

VICERRECTOR DE INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN: ING. JOSÉ JUVENTINO GÁLVEZ RUANO

VICERRECTOR DE INTEGRACIÓN UNIVERSITARIA: P. JULIO ENRIQUE MOREIRA CHAVARRÍA, S. J.

VICERRECTOR ADMINISTRATIVO: LIC. ARIEL RIVERA IRÍAS

SECRETARIA GENERAL: LIC. FABIOLA DE LA LUZ PADILLA BELTRANENA DE LORENZANA

AUTORIDADES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA

DECANA: MGTR. KAREN GABRIELA MORALES HERRERA DE ZUNIGA

VICEDECANO: MGTR. OSMAN CARRILLO SOTO

SECRETARIA: MGTR. MARYA ALEJANDRA ORTIZ PATZAN

DIRECTOR DE CARRERA: MGTR. JUAN BERNARDO LAGUARDIA RODAS

NOMBRE DEL ASESOR DE TRABAJO DE GRADUACIÓN

ING. CARLOS ENRIQUE KUMMERFELDT CASTILLO

TERNA QUE PRACTICÓ LA EVALUACIÓN

MGTR. ERNESTO DANIEL ALVARADO JIMÉNEZ

MGTR. JOSÉ CARLOS LÓPEZ ARENALES

ING. SERGIO ROBERTO SOTO GALLARDO

Guatemala, 29 de mayo 2018

Ingeniera
Mayra Alejandra Ortiz Patzan
Secretaria de Facultad
Facultad de Ingeniería
Universidad Rafael Landívar

Estimada Inga. Ortiz:

Por este medio le saludo cordialmente, deseándole éxitos en sus labores diarias. El motivo de la presente es para informarle que revisé el informe final del trabajo de graduación con el título de: **DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO DE UNA CULATA SELLADA POR ANILLOS COMO PRIMERA APROXIMACIÓN A UN MOTOR DE COMPRESIÓN VARIABLE**; del estudiante **José Amilcar Contreras Ortiz**, con número de carné: **1040712**.

Luego de haber revisado el informe final y de acuerdo con los requerimientos establecidos por la facultad de Ingeniería de la Universidad Rafael Landívar, **APRUEBO** dicho trabajo.

Sin otro particular, me suscribo.

Atentamente,



Ing. Carlos E. Kummerfeldt C.
Asesor



Orden de Impresión

De acuerdo a la aprobación de la Evaluación del Trabajo de Graduación en la variante Tesis de Grado del estudiante JOSÉ AMILCAR CONTRERAS ORTIZ, Carnet 10407-12 en la carrera LICENCIATURA EN INGENIERÍA MECÁNICA INDUSTRIAL, del Campus Central, que consta en el Acta No. 0259-2018 de fecha 20 de abril de 2018, se autoriza la impresión digital del trabajo titulado:

"DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA CULATA SELLADA POR ANILLOS COMO PRIMERA APROXIMACIÓN A UN MOTOR DE COMPRESIÓN VARIABLE "

Previo a conferírsele el título de INGENIERO MECÁNICO INDUSTRIAL en el grado académico de LICENCIADO.

Dado en la ciudad de Guatemala de la Asunción, a los 29 días del mes de mayo del año 2018.

**MGTR. MARYA ALEJANDRA ORTIZ PATZAN, SECRETARIA
INGENIERÍA
Universidad Rafael Landívar**

DEDICATORIA

A Dios por darme las facultades y vocación para terminar mi carrera y lograr diseñar este proyecto.

A mis queridos padres, Amílcar Contreras y Sayda Ortiz de Contreras por apoyarme incondicionalmente a lo largo de la carrera y ser ejemplo de orden, disciplina, esfuerzo y superación.

A mis hermanas Andrea y Madelin Contreras por su apoyo en mis proyectos y ser ejemplo de superación.

A toda mi familia por apoyarme en mi crecimiento como persona y como profesional.

A Guatemala para que este proyecto sea una muestra de las capacidades que tenemos como país.

AGRADECIMIENTOS

A la Escuela La Sagrada Familia por brindarme una educación con valores y principios

Al Instituto Técnico Vocacional Dr. Imrich Fischmann, por brindarme la oportunidad de aprender y desarrollar habilidades fundamentales como Mecánico Industrial, así como fortalecer en mí la vocación por mi profesión.

A la Universidad Rafael Landívar por brindarme un espacio dónde aprender y desarrollar mis habilidades como Ingeniero.

A mis catedráticos, ya que cada uno de ellos con su esfuerzo y vocación despertaron en mí el deseo de aprender más sobre ingeniería.

A mi Asesor Ing. Carlos Kummerfeldt por brindarme su apoyo, conocimiento y experiencia en el área de mecánica automotriz.

A mi amiga y asesora de ortografía, Jaqueline Rustrian, por su apoyo en la redacción de esta tesis.

A los proveedores de materiales y servicios, que, con su excelente trabajo, me permitieron desarrollar un proyecto funcional.

Resumen ejecutivo

Este proyecto plantea la construcción parcial de un motor de combustión interna de compresión variable, utilizando un método alternativo al utilizado actualmente. El estudio se centra en el diseño y construcción de una culata que, por su diseño, tiene la capacidad de moverse de forma paralela al eje central del cilindro del motor y en consecuencia variar el volumen de la recámara de combustión.

El prototipo fue diseñado utilizando el software Inventor®. Posteriormente, se fabricó el mismo para poder realizar pruebas básicas de funcionamiento y comprobar que realmente se pudiera variar la relación de compresión. Los resultados fueron exitosos demostrando así, que sí existen métodos alternativos para fabricar motores de compresión variable y que pueden ser fabricados en Guatemala.

Finalmente se logra el funcionamiento exitoso del prototipo desarrollado en esta investigación, variando el volumen de la recámara de combustión de forma distinta a las propuestas expuestas actualmente por algunos fabricantes de vehículos.

Ya que el diseño y construcción de prototipos es una actividad poco común en Guatemala, esta tesis busca incentivar a los estudiantes de nuestro país a proponer proyectos de innovación tecnológica y, en consecuencia, la creación de nuevas fuentes de empleo al llegar la necesidad de manufacturar proyectos exitosos.

Descriptor: Compresión variable, motor de combustión interna, culata, anillos, cuatro tiempos.

Índice

1. Introducción.....	8
1.1 Lo escrito sobre el tema	9
1.1.1 Motor de compresión variable propuesto por Infiniti®.....	9
1.1.2 Motor de compresión variable propuesto por Saab®.....	10
1.1.3 Motor de compresión variable propuesto por Peugeot.....	11
1.1.4 Motor de compresión variable propuesto por Toyota	13
2. Resumen crítico del marco teórico	14
2.1 Motor de combustión interna.....	14
2.2 Motor de combustión interna Ohv (Over Head Valve).....	15
2.3 Relación de compresión.....	16
2.4 Anillos de pistón	17
2.5 Eficiencia térmica del ciclo Otto	17
3. Materiales Utilizados	23
3.1 Aluminio 7075 T651	23
3.2 Hierro Fundido ASTM A48 Clase 40	25
3.3 Acero Inoxidable AISI 304.....	26
3.4 Acero AISI 1018	27
4. Planteamiento del problema.....	28
4.1 Preguntas de Investigación	28
4.2 Justificación	29
4.3 Consecuencias de la investigación	31
5. Objetivos	31
5.1 Objetivo general	31
5.2 Objetivos específicos	31
5.3 Hipótesis.....	31
5.4 Método	32
5.5 Alcances y limitaciones	32
5.6 Aporte.....	33
6. Propuesta	33

7. Componentes	37
7.1 Extensión de cilindro:.....	38
7.2 Tornillos guías	39
7.3 Bloque principal	40
7.4 Contra-pistón	42
7.5 Culata	43
7.6 Balancines.	44
7.7 Extensión de varilla empujadora	45
7.8 Tornillo sujetador de balancín	45
7.9 Eje accionador	45
7.10 Eje pivote.	45
7.11 Patín de balancín	45
7.12 Tuerca guía.....	47
7.13 Válvulas	47
8. Descripción del proceso de construcción	48
8.1 Etapa I.....	48
Rectificación de materia prima.....	48
8.2 Etapa II.....	49
Perforación y fresados	49
8.3 Etapa III.....	51
Construcción de válvulas	51
8.4 Etapa IV	54
Construcción de camisa para extensión de cilindro	54
8.5 Etapa V	55
Armado del modelo	55
9. Pruebas de funcionamiento	58
10. Discusión.....	63
11. Conclusiones.....	66
12. Recomendaciones.....	67
13. Referencias	68

14. Anexos	70
14.1 Abreviaturas y símbolos	70
14.2 Vocabulario	71
14.3 Herramientas, Maquinados y Materiales	73
14.3.1 Herramientas	73
14.3.2 Maquinados	73
14.3.3 Materiales	74

Índice de ilustraciones

Ilustración 1 Esquema del motor de compresión variable propuesto por Infiniti®. ..	9
Ilustración 2 Motor SAAB SVC	10
Ilustración 3 Motor SAAB SVC	11
Ilustración 4 Motor MCE-5 VCRI	12
Ilustración 5 Motor de compresión variable propuesto por Toyota	13
Ilustración 6 Motor de combustión interna estándar.	14
Ilustración 7 Motor OHV (Over Head Valve).	15
Ilustración 8 Relación de compresión.	16
Ilustración 9 Anillos de pistón.	17
Ilustración 10 Fórmula para la eficiencia térmica ciclo Otto.}	17
Ilustración 11 Salida neta de trabajo en un ciclo Otto.	18
Ilustración 12 Cambios en la curva presión volumen al modificar la relación de compresión.	19
Ilustración 13 Eficiencia térmica del ciclo Otto vs relación de compresión.	20
Ilustración 14 Torno.	21
Ilustración 15 Fresadora.	22
Ilustración 16 Corte transversal motor propuesto	30
Ilustración 17 Primera aproximación del modelo a fabricar	34
Ilustración 18 Primera aproximación del modelo a fabricar.	34
Ilustración 19 Contra-pistón dentro del cilindro en la segunda aproximación del modelo a fabricar.	35
Ilustración 20 Primer aproximación a fabricar.	35
Ilustración 21 Modelo a fabricar previo a pequeñas modificaciones finales.	36
Ilustración 22 Componentes del prototipo propuesto.	37
Ilustración 23 Extensión de cilindro, diseño CAD.	38
Ilustración 24 Extensión de cilindro real.	38
Ilustración 25 Tornillos guías instalados en la extensión de cilindro.	39
Ilustración 26 Tornillos guía modelo real.	39

Ilustración 27 Partes del bloque principal, diseño CAD	40
Ilustración 28 Partes del bloque principal, diseño CAD	41
Ilustración 29 Bloque principal y otras piezas del modelo real.	41
Ilustración 30 Contra-pistón diseño CAD.	42
Ilustración 31 Contra-pistón modelo real acoplado al bloque principal (Culata). ...	43
Ilustración 32 Balancines diseño CAD.	44
Ilustración 33 Balancín diseño real.....	46
Ilustración 34 Tuerca guía.....	47
Ilustración 35 Bloques de aluminio rectificadas.....	48
Ilustración 36 Bloques de aluminio con diseños a maquinar.....	49
Ilustración 37 Perforación bloque de aluminio en taller de la Universidad Rafael Landívar.	50
Ilustración 38 De izquierda a derecha, (contra-pistón, extensión de cilindro, placa de control y bloque principal).....	50
Ilustración 39 Extensión de cilindro, contra-pistón y bloque principal posterior a ser rectificadas a medidas finales.	51
Ilustración 40 Válvula diseño CAD.	52
Ilustración 41 De izquierda a derecha (válvula estándar, Válvulas fabricadas)....	53
Ilustración 42 Extensión de cilindro modelo real.	54
Ilustración 43 Extensión de cilindro final modelo real.....	55
Ilustración 44 Culata posterior a la primera prueba de funcionamiento.....	56
Ilustración 45 Motor ensamblado.	57
Ilustración 46 Modelo final.....	57
Ilustración 47 Motor estándar de culata plana y volumen de recámara de combustión fija.	58
Ilustración 48 Medición experimental del volumen en la recámara de combustión del motor estándar.	59
Ilustración 49 Pistón motor estándar en el punto muerto superior.	59
Ilustración 50 Configuración a 68.95 Kpa (10 PSI) de compresión.	63
Ilustración 51 Configuración a 207 Kpa (30 PSI) de compresión.	64
Ilustración 52 Instrumentos de medición para monitoreo de funcionamiento.....	64
Ilustración 53 Tacómetro laser.	65

Índice de tablas

Tabla 1 Ficha técnica aluminio 7075	24
Tabla 2 Ficha técnica hierro fundido	25
Tabla 3 Ficha técnica acero inoxidable 304	26
Tabla 4 Ficha técnica acero AISI 1018.....	27
Tabla 5 Resultados de las pruebas de funcionamiento en el motor estándar	60
Tabla 6 Resultados de las pruebas de funcionamiento en el modelo fabricado	62

Introducción

Actualmente, en otros países, están desarrollando motores capaces de variar el volumen de la recámara de combustión, lo cual da como resultado la capacidad de cambiar la relación de compresión, en cualquier instante del tiempo. Con esto, se logran motores más eficientes y con mayor potencia que los actuales de compresión fija.

La demanda de potencia en los motores de combustión interna no es uniforme, por ejemplo, cuando se está en el tráfico de la ciudad, los vehículos no necesitan la máxima potencia de sus motores, ya que, la mayor parte del tiempo la pasan sin movimiento, por lo tanto, para reducir el consumo de combustible y la contaminación, se están desarrollando motores capaces de modificar sus parámetros de funcionamiento en tiempo real y uno de estos parámetros es la relación de compresión.

Una planta generadora de energía no va a tener una demanda de energía igual todo el tiempo, va a depender de la cantidad de usuarios y el tipo de consumo que estos tengan, por lo tanto, si dicha planta tiene un motor capaz de acoplarse a la demanda necesitada, nos dará como resultado una reducción en el consumo de combustible y por lo tanto una reducción en los costos de operación.

La compresión variable nos permite tener un motor con la capacidad de trabajar bajo distintas configuraciones, el equivalente a tener distintos motores en una misma máquina, con la ventaja de que físicamente solo es un motor. Esta tecnología aún está en desarrollo y distintos fabricantes han lanzado sus propuestas implementando distintos mecanismos que permiten variar la compresión en tiempo real.

La principal desventaja de los motores de compresión variable, es el complejo diseño con el que se ha desarrollado esta tecnología, lo cual significa una limitación en la mano de obra capacitada para darles mantenimiento, poca oferta de repuestos en el mercado y en consecuencia un alto costo de mantenimiento.

El motor de compresión variable es un diseño que puede ser implementado en un gran número de máquinas, por ejemplo, motores estacionarios, compresores, motores de dos tiempos, entre otros, lo que se debe hacer es adaptar el principio de funcionamiento a cada nueva aplicación.

Proponer nuevos diseños de máquinas para solucionar problemas u optimizar procesos, es una actividad que impacta a la industria positivamente, ya que, para llegar a descubrir tecnologías exitosas, se debe partir de propuestas que implementen ideas innovadoras.

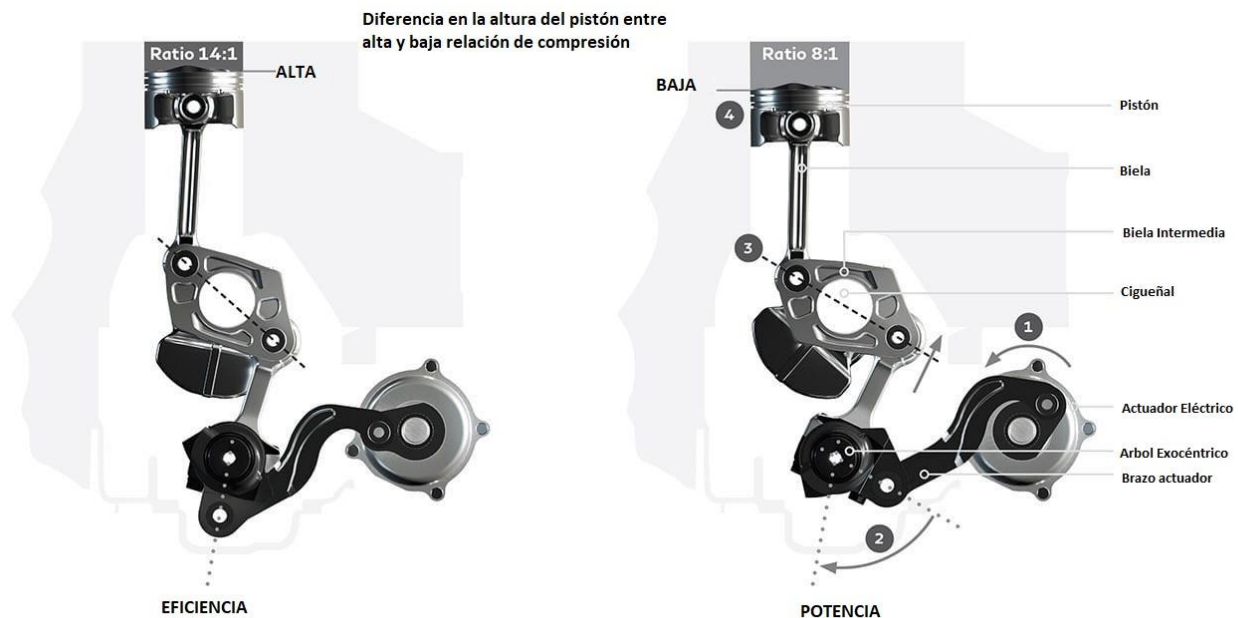
A continuación, se detalla una propuesta donde se diseña un método distinto a los actuales para variar la compresión de un motor.

1. Lo escrito sobre el tema

1.1.1 Motor de compresión variable propuesto por Infiniti®

Infiniti® es uno de los fabricantes de vehículos interesados en desarrollar el concepto de motores de compresión variable, su motor VC-Turbo es el primer motor de compresión variable que es instalado en uno de sus modelos de vehículos fabricados en serie.

Ilustración 1 Esquema del motor de compresión variable propuesto por Infiniti®.



Fuente: Soy Motor (2016)

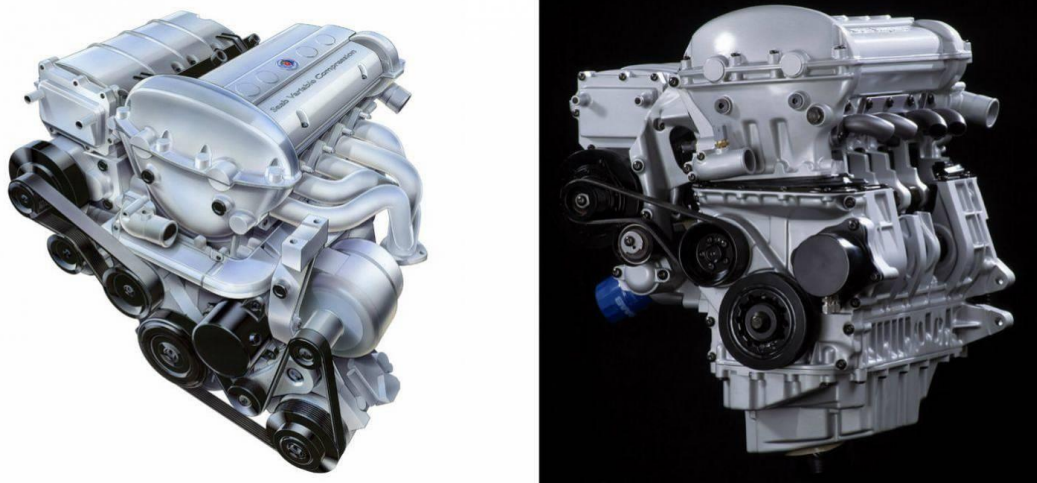
En la ilustración 1, se observan las modificaciones que Infiniti® realizó en un motor de combustión interna estándar; lo que logra esta empresa, es modificar la altura del pistón mediante la implementación de un sistema de enlaces, transmitiendo de forma indirecta la potencia al cigüeñal, factor que hace que el motor de combustión interna aumente demasiado su número de piezas que están sujetas a fatiga, desgaste y altas cargas, asimismo aumenta el tamaño del motor tanto en altura como en el ancho.

El aumento de piezas también aumenta el número de fallas posibles, el mantenimiento, el costo de fabricación, entre otros. Todos estos factores reducen la viabilidad de poder sustituir el principio de funcionamiento del motor actual con otros métodos sugeridos.

Las ventajas de este motor según lo indicado por Infiniti® en su página web oficial, es que combina la potencia de un motor a gasolina con el par y eficiencia de un motor Diesel al poder trabajar con un régimen de compresión de 8:1 y otro de 14:1 logrando un mayor rendimiento y una mayor eficiencia, respectivamente. El actual motor fabricado en serie con este sistema se llama VC-turbo y es el único motor de compresión variable disponible en el mercado que ya es instalado en vehículos de venta en concesionarios de Europa y estados unidos.

1.1.2 Motor de compresión variable propuesto por Saab®

Ilustración 2 Motor SAAB SVC



Fuente: Diario motor (2017)

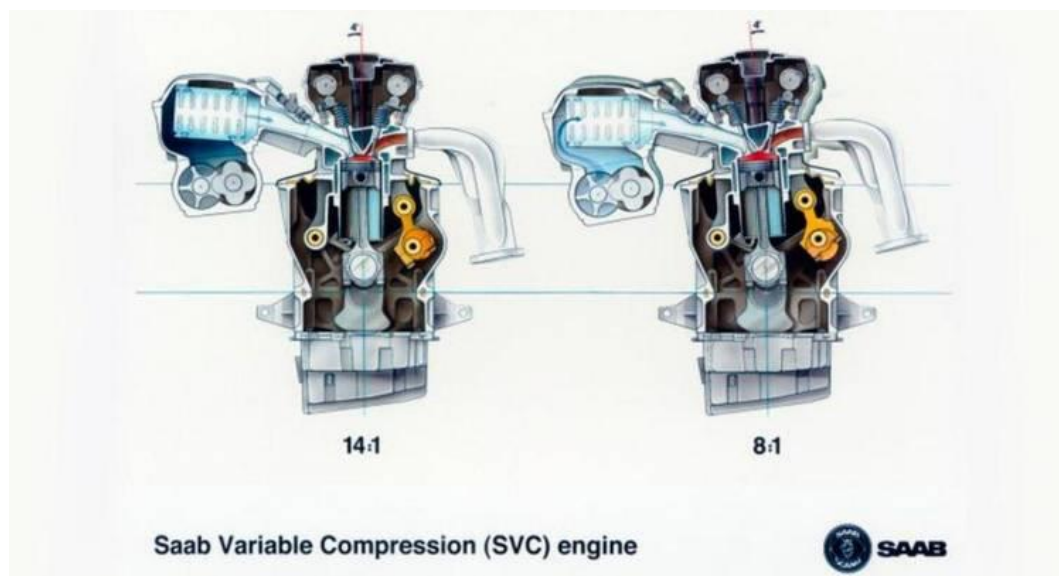
El motor propuesto por SAAB en el año 2000 consta de todas las piezas básicas de un motor de combustión interna, pistones, bielas, válvulas, etc., pero la principal diferencia radica en su culata con cilindros integrados llamada “monohead”, esta culata está parcialmente separada del bloque del motor, unida a este únicamente por una bisagra que permite moverla angularmente, logrando una variación en el volumen de la recámara de combustión.

Al dotar la culata junto con los cilindros, la libertad de moverse angularmente es una solución ingeniosa que cumple la función de variar el volumen de la recámara de combustión, sin embargo, se debe evaluar los efectos que estos tienen en la transmisión de potencia, los pistones, bielas y anillos de sellado, principalmente.

Actualmente la integración de los motores de compresión variable a la industria, es un proceso en el cual diversos fabricantes de vehículos están iniciando a interesarse. Las propuestas cada día son mayores y los métodos posibles son muchos, cada uno con sus ventajas y desventajas.

Algo muy importante es la simplicidad del método, ya que, algo muy complejo no es fácilmente aceptado por los usuarios. En la ilustración 3 se observa un corte transversal del motor de compresión variable propuesto por Saab ®, donde se ejemplifica la configuración de compresión 8:1 y 14: 1.

Ilustración 3 Motor SAAB SVC



Fuente: Diario motor (2017)

1.1.3 motor de compresión variable propuesto por Peugeot

El fabricante de vehículos Peugeot junto con la empresa MCE-5 Development desarrollaron un motor de compresión variable; este agrega una serie de piezas modificadas que, al interactuar, permiten variar la altura del pistón y en consecuencia la modificación del volumen de la recámara de combustión.

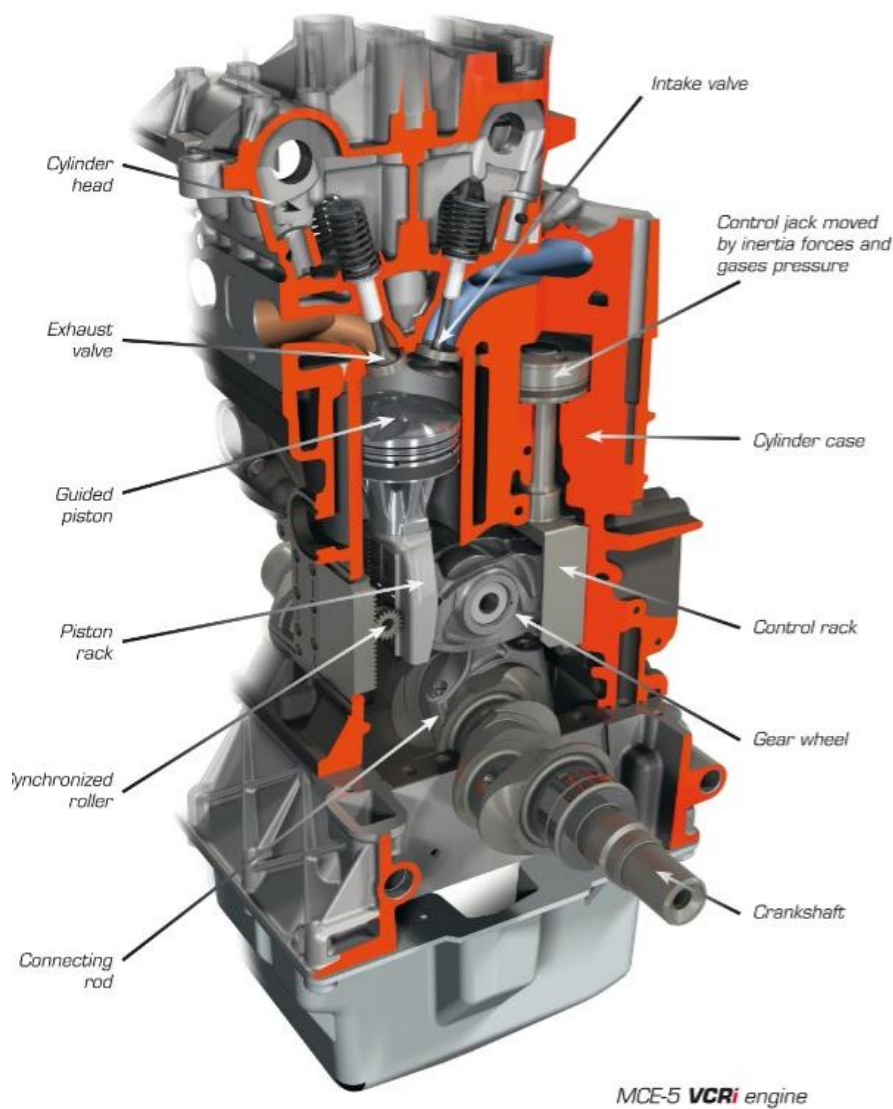
El motor propuesto por Peugeot y MCE-5 modifica la posición del cigüeñal, corriéndolo a un costado de los cilindros; modifica la forma de las bielas, añadiéndoles a estas, una cremallera y conectándolas mediante un enlace adicional al cigüeñal, este enlace cumple la función de modificar la altura a la que llega el pistón en el PMS, esto es, gracias a un actuador conectado a él, que le restringe movimiento al mecanismo.

Este sistema agrega múltiples piezas de complejo diseño. Este factor hace que esta propuesta sea poco atractiva para los usuarios, ya que, al ser muy compleja, es susceptible a grandes fallas y mantenimientos costosos.

La solución propuesta por Peugeot es una alternativa más para lograr variar la compresión de un motor que implementa adecuadamente mecanismos y elementos mecánicos diseñados para este modelo en específico.

A continuación, se muestra este motor en un corte transversal donde se aprecian todos los elementos que lo componen.

Ilustración 4 Motor MCE-5 VCRI



Fuente: mce-5 (2018)

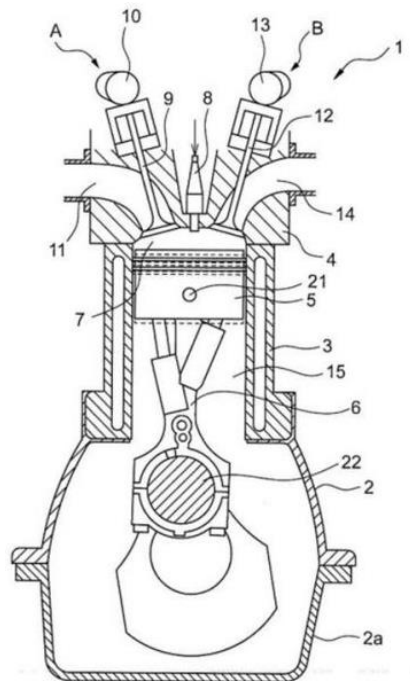
1.1.4 Motor de compresión variable propuesto por Toyota

El motor propuesto por Toyota, se enfoca en la modificación del volumen de la recámara de combustión, variando la longitud de las bielas mediante un sistema de enlaces y actuadores hidráulicos, instalados en la conexión entre el pistón y la biela.

Este método agrega pocos mecanismos y piezas. Sin embargo, las piezas que agrega, están instaladas en una zona sujeta a grandes cargas, amplios rangos de aceleración y alguna falla en este sistema podría provocar daños severos a todo el motor.

Modificar la longitud de las bielas es una propuesta interesante que brinda una alternativa más por evaluar para la fabricación en serie de motores de compresión variable, sin embargo, actualmente se encuentra en etapa de desarrollo y según los medios de comunicación, Toyota no ha dado más detalles sobre esta patente. A continuación, se muestra la propuesta diseñada por Toyota.

Ilustración 5 Motor de compresión variable propuesto por Toyota



Fuente: Soy Motor (2018)

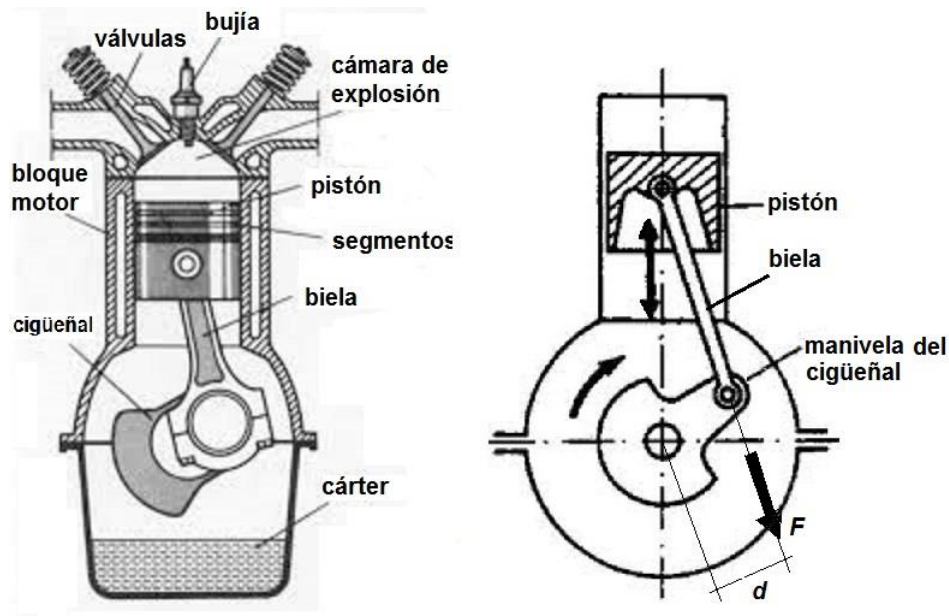
Los anteriores motores de compresión variable propuestos por diversos fabricantes de vehículos, tienen en común la implementación de piezas y mecanismos complejos, siendo esta la causa por la que la demanda en el mercado de estos motores, aún no ha aumentado, puesto que los consumidores de vehículos y motores buscan máquinas con diseños simples y de sencillo mantenimiento.

Los motores de compresión variable son una nueva tecnología que aún se está desarrollando, en busca del diseño más confiable y de fácil fabricación para que su producción en serie sea posible y el mercado los acepte, ya que, el poder variar la compresión, hace que un motor de combustión interna sea una máquina capaz de adaptarse a las demandas de potencia, que, en la mayoría de los casos, no es uniforme.

2. Resumen crítico del marco teórico

2.1 Motor De Combustión Interna

Ilustración 6 Motor de combustión interna estándar.



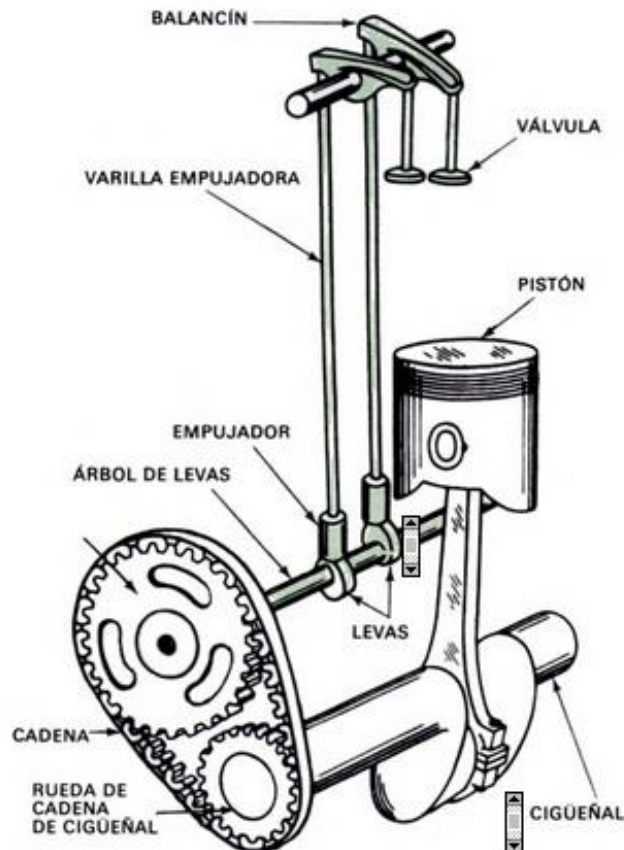
Fuente: Ingemecanica (2018)

El motor de combustión interna es una máquina que transforma la energía química del combustible en energía mecánica a través de un mecanismo manivela-corredera y el ciclo Otto, que consta de cuatro tiempos:

1. Admisión: inicia cuando el pistón tiene un movimiento descendente hasta llegar al punto muerto inferior, en esta etapa ingresa la mezcla aire-combustible.
2. Compresión: inicia en el punto muerto inferior, cuando el pistón tiene un movimiento ascendente hasta llegar al punto muerto superior, en esta etapa se comprime la mezcla aire-combustible.
3. Expansión: inicia con el pistón en el punto muerto superior, cuando la mezcla aire-combustible cumple la reacción de combustión y la presión de los gases producidos, impulsa al pistón hasta llegar al punto muerto inferior.
4. Escape: inicia cuando el pistón está en el punto muerto inferior con movimiento ascendente, en esta etapa, los gases producidos a consecuencia de la combustión, son expulsados hacia el exterior y finaliza cuando el pistón llega al punto muerto superior.

2.2 Motor de Combustión Interna Ohv (Over Head Valve)

Ilustración 7 Motor OHV (Over Head Valve).



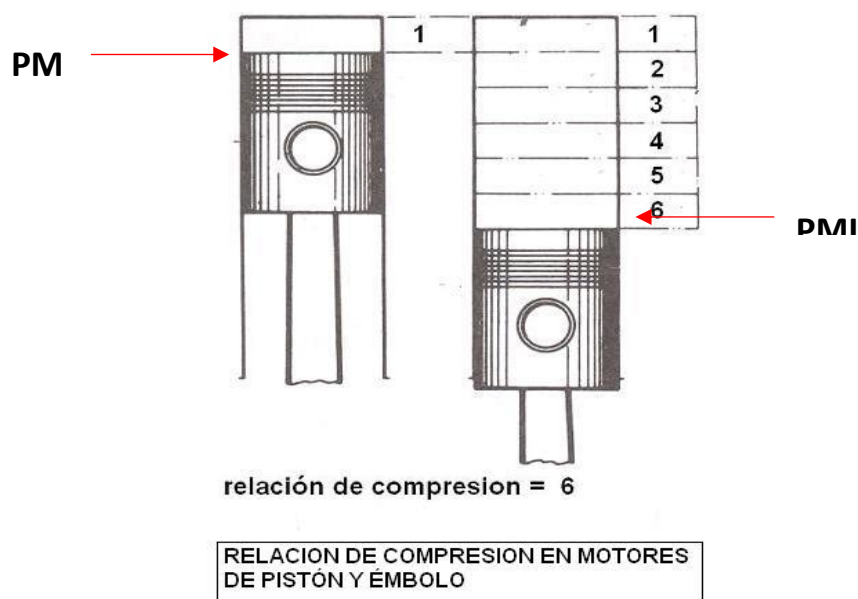
Fuente: Harry Crouse, W. (1993)

Los motores OHV son aquellos que tienen las válvulas en la culata y el árbol de levas en el bloque del motor, el árbol de levas puede coordinarse con el cigüeñal mediante cadenas o engranes según las dimensiones y diseño del motor.

Las válvulas son accionadas mediante varillas empujadoras y balancines. Las varillas empujadoras alojan los seguidores del árbol de levas.

2.3 Relación de Compresión

Ilustración 8 Relación de compresión.



Fuente: Full mecánica (2017)

Se le llama relación de compresión a la división del volumen de la recámara de combustión, cuando el pistón está en el punto muerto superior (PMS) entre el volumen de desplazamiento, cuando el pistón está en el punto muerto inferior (PMI)

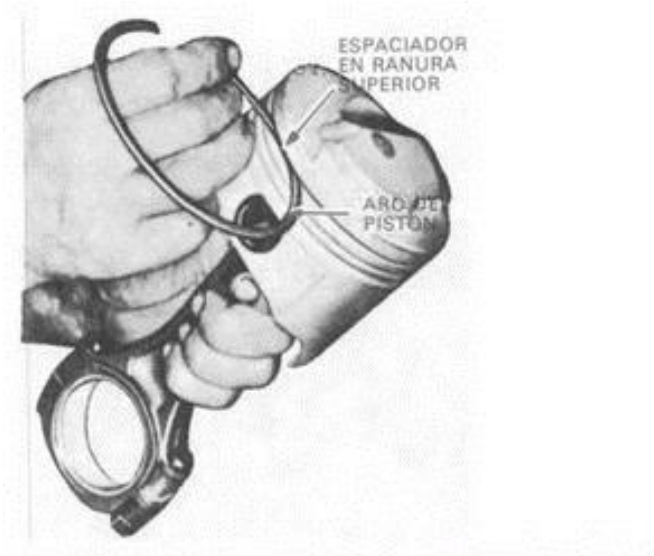
En la ilustración 8 se visualiza el proceso de compresión de un motor; básicamente, se logra cuando el pistón se mueve verticalmente y reduce el volumen que se forma entre el cilindro, la culata y el pistón. Para lograr este proceso, es fundamental que la recámara de combustión esté completamente hermética.

La relación de compresión es directamente proporcional a la eficiencia térmica del ciclo Otto, también es un factor que define la potencia que podrá desarrollar un motor de combustión interna.

2.4 Anillos de Pistón

Por lo general, los anillos de un motor son aros de hierro fundido que permiten sellar la recámara de combustión mientras el pistón se mueve de forma recíproca, asimismo permiten que este se dilate sin alterar el funcionamiento del motor, esto es gracias a que los anillos están en contacto directo con el cilindro del motor; siendo el pistón de un diámetro menor al del cilindro, usualmente la diferencia de diámetros es de 0.3 mm.

Ilustración 9 Anillos de pistón.



Fuente: Harry Crouse, W. (1993)

2.5 Eficiencia Térmica del Ciclo Otto

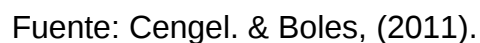
La eficiencia térmica del ciclo Otto está descrita por la siguiente fórmula:

Ilustración 10 Fórmula para la eficiencia térmica ciclo Otto.

$$\eta_{tér,Otto} = 1 - \frac{1}{r^{k-1}}$$

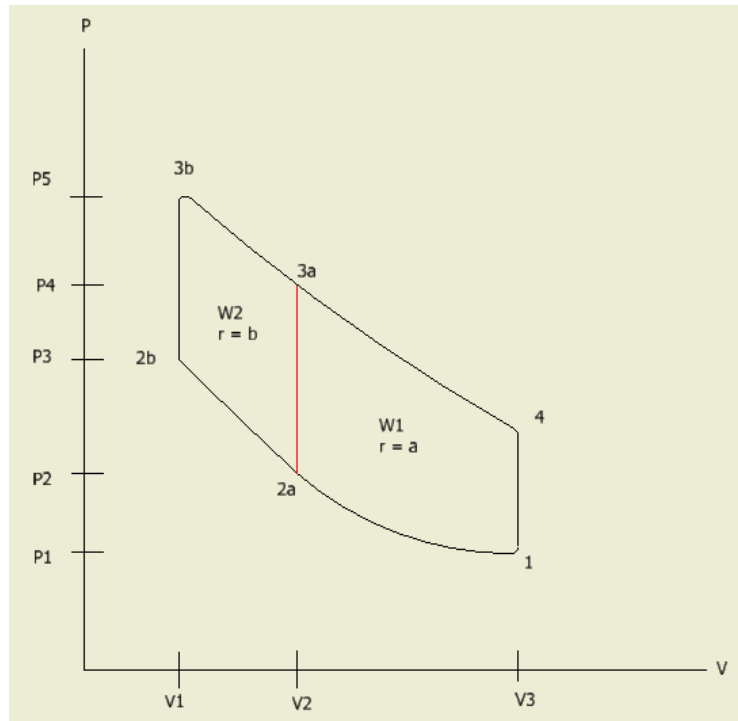
Fuente: Cengel. & Boles, (2011).

Ilustración 11 Salida neta de trabajo en un ciclo Otto.



18

Ilustración 12 Cambios en la curva presión volumen al modificar la relación de compresión.

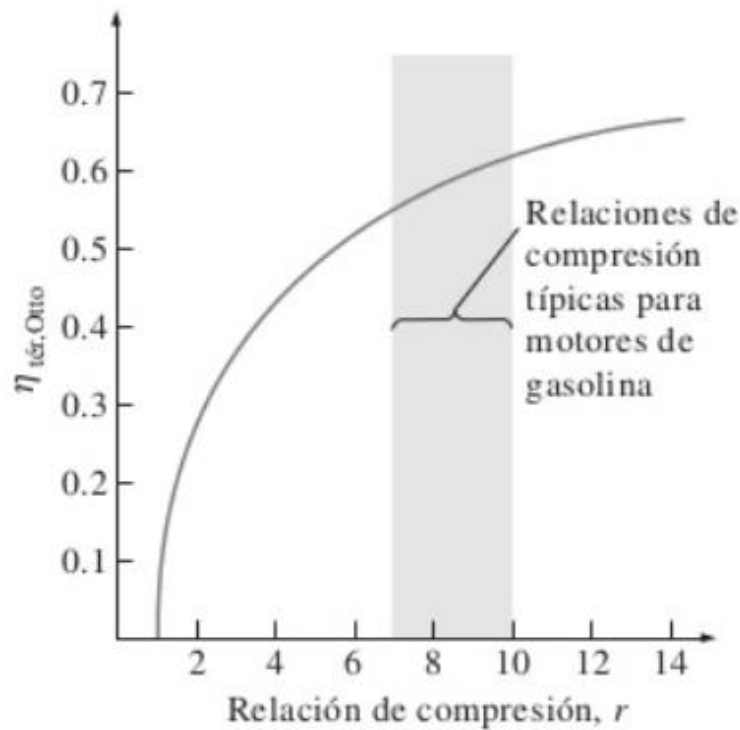


Fuente: Elaboración propia (2018)

En la ilustración 12 se observa la gráfica *Presión Volumen* ideal del Ciclo Otto, pero se ejemplifican los efectos que se observarían si se cambiara la relación de compresión de un motor a gasolina. Si la relación de compresión tiene un valor “a”, el trabajo del ciclo tendría un valor de “W1” y los cuatro tiempos se desarrollarían dentro de los puntos 1, 2a, 3a, y 4; si la relación de compresión cambia a un valor “b”, el trabajo sería igual a la suma del valor “W1” y “W2” y el ciclo se desarrollaría dentro de los puntos 1, 2b, 3b y 4.

Si un motor a gasolina tiene la capacidad de variar su relación de compresión, la gráfica del ciclo termodinámico oscilaría de la forma que se muestra en la ilustración 12, brindando la capacidad de aumentar o disminuir el trabajo total. Por ejemplo, si el motor no necesita generar alta potencia, puede trabajar a una relación de compresión que solo genera la potencia necesaria para mantener el motor y sus componentes en movimiento, pero si necesita generar alta potencia, puede ajustar su relación de compresión y trabajar según se requiera.

Ilustración 13 Eficiencia térmica del ciclo Otto vs relación de compresión.



Fuente: Cengel. & Boles, (2011).

Como se puede observar en la ilustración 13, la relación de compresión típica de motor a gasolina puede variar desde 7 hasta 10 y cada valor de compresión se reflejará en una distinta eficiencia térmica y, en consecuencia, dará a cada motor distintos parámetros de funcionamiento y características propias.

2.6 Máquinas herramientas.

Las máquinas herramientas son aquellas que se utilizan para transformar los materiales mediante la extracción de una porción de material (viruta), adición de material (Soldadura) o deformando los cuerpos (Dobladoras, prensas, etc.), estas máquinas se caracterizan por ser estacionarias. Entre ellas podemos mencionar:

- Torno
- Fresadora
- Dobladora
- Soldadora

A continuación, se describe las máquinas herramientas utilizadas en este proyecto.

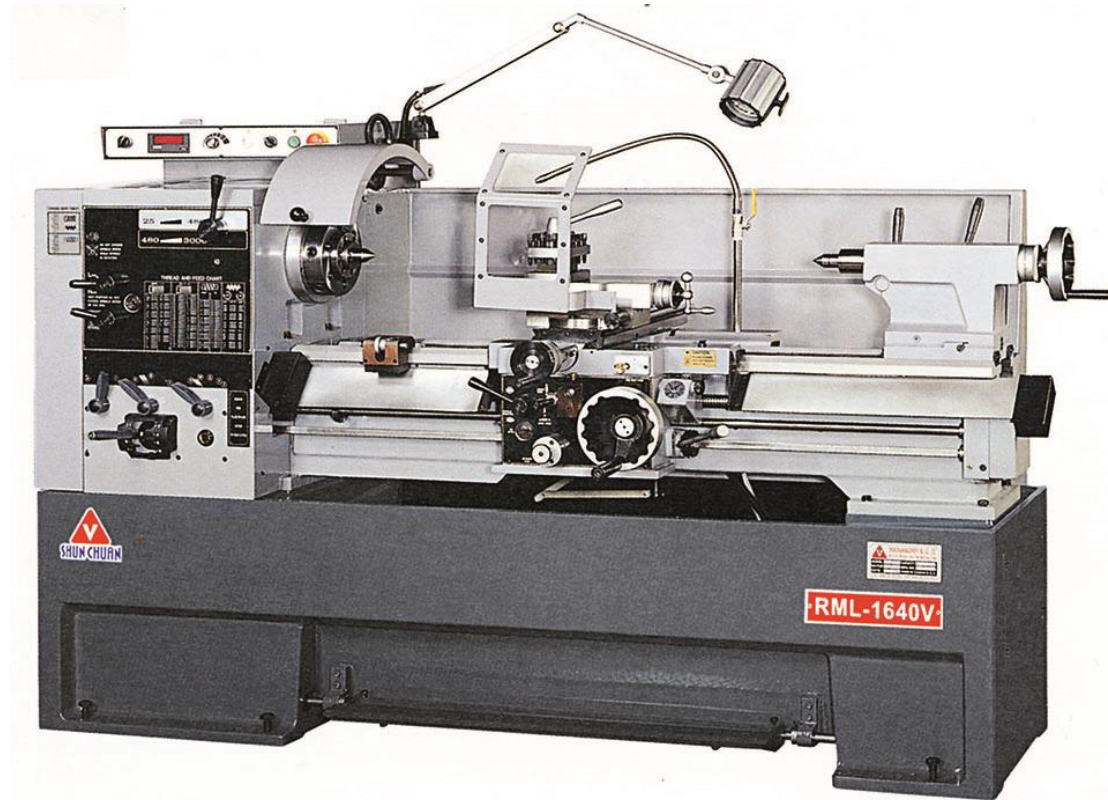
2.6.1 Torno.

El torno es una máquina herramienta que permite moldear piezas con formas geométricas de revolución, mediante el arranque de viruta en la parte interna y externa del material, en esta máquina herramienta se pueden fabricar cilindros, esferas, conos, roscas, entre otros.

La herramienta de corte, en los tornos, es una pieza que se mantiene semifija mientras el material a moldear gira, dicha herramienta de corte, arranca viruta de la pieza en movimiento, logrando así crear artículos con mucha complejidad según la capacidad del operador de la máquina.

En la siguiente imagen se muestra un torno convencional.

Ilustración 14 Torno



Fuente: Metal mecánica (2018)

2.6.2 Fresadora

La fresadora es una máquina herramienta utilizada para fabricar piezas planas o con formas que no obedecen a un perfil de revolución, en este tipo de máquina la herramienta de corte gira mientras la pieza a modelar puede moverse en cualquiera de los 3 ejes (x, y o z).

La herramienta de corte de estas máquinas es conocida como fresa, esta pieza es fabricada de materiales duros, por ejemplo, aceros templados, aleaciones que contienen tungsteno, cobalto, entre otros, su uso depende del tipo de material a trabajar, velocidad de corte y diseño de la pieza. Su función es arrancar viruta del material a modelar logrando crear vaciados, superficies planas, entre otras actividades.

A continuación, se muestra una fresadora.

Ilustración 15 Fresadora



Fuente: Directindustry (2018)

3. Materiales utilizados

Los materiales utilizados fueron seleccionados con base en los siguientes criterios:

1. Disponibilidad local en el perfil (cuadrado, redondo, etc.) y dimensión requerida
2. Simplicidad para maquinar
3. Peso
4. Que tenga propiedades mecánicas apropiadas para desempeñar la función asignada.
5. Precio

Las áreas de mayor dimensión como la extensión de cilindro y la culata, fueron fabricadas en aluminio, ya que, principalmente es un material liviano, con buena conductividad térmica, fácil de maquinar y económico. La camisa de la extensión de cilindro y los asientos de válvulas, se fabricaron en hierro fundido debido a que por sus propiedades físicas resisten altas temperaturas y esfuerzos mecánicos.

Las válvulas se fabricaron en acero inoxidable, puesto que luego de realizarles un análisis por espectrometría, se determinó que las válvulas originales estaban fabricadas en acero inoxidable. Las otras piezas se fabricaron en materiales según economía, simplicidad de maquinado y disponibilidad en el perfil requerido según el diseño; los materiales mencionados anteriormente son detallados a continuación.

3.1 Alumno 7075 T651

El aluminio es un material que se caracteriza principalmente por su bajo peso, lo cual hace que este sea ideal para piezas de gran dimensión como el bloque y culata de los motores a gasolina, al ser estas piezas livianas, se necesitará menor cantidad de energía para moverlas, en caso sea un motor instalado en un vehículo.

La aleación 7075 es un aluminio de alta dureza de uso general en la industria y se encuentra fácilmente en el mercado guatemalteco. La ficha técnica de este material es la siguiente:

Tabla 1 Ficha técnica aluminio 7075.

Composición química en %

Si	0.0 – 0.4	Mg	2.10 – 2.90
Cu	1.20 – 2.00	Cr	0.18
Fe	0.0- 0.5	Zn	5.10 – 6.10
Mn	0.0 – 0.30	Ti	0.0 – 0.20
Al	Resto		

Propiedades físicas

Densidad (gr/cm³)	2.8	Resistencia última a tensión (MPa)	570
Coeficiente de dilatación (0 a 100 °C [°C⁻¹ x 10⁶])	23.5	Módulo de rigidez (GPa)	28
Conductividad térmica (0 a 100 °C [W/m °C])	130	Módulo de elasticidad (GPa)	72

Fuente: Tecniaceros, Guatemala (2018)

Como se puede observar en la Tabla 1, la densidad del aluminio 7075 es baja comparada con la del acero que es aproximadamente 7.8 g/cm³, esto nos ayuda, puesto que para una pieza de mucha masa como la de un bloque de motor, tendremos bajo peso; otra de las ventajas de utilizar aluminio, es su conductividad térmica, ya que esto nos ayudará a lograr una efectiva disipación del calor generada por el motor, sin embargo, la deficiencia para la aplicación en motores es su alto coeficiente de dilatación.

Debido al coeficiente de dilatación del aluminio 7075, su baja resistencia al desgaste y a las altas temperaturas, este no puede ser utilizado en zonas como asientos de válvulas y cilindro del motor, ya que, al aumentar la temperatura del motor, la dilatación del material provocaría fallas por exceso de desajuste en las tolerancias dimensionales y las piezas mencionadas sufrirían un desgaste excesivo y prematuro.

3.2 Hierro fundido ASTM a48 clase 40

El hierro fundido es un material que, por sus propiedades y características, es apto para trabajar en áreas del motor donde se requiere mínima dilatación del material, mayor resistencia al desgaste y a altas temperaturas; en la Tabla 2, podemos observar dichas propiedades.

Tabla 2 Ficha técnica hierro fundido

Composición química en %

C	Si	Mn	S	P	Fe
2.0–3.70	2.30-2.70	0.40-0.80	0.20 max	0.10 max	Resto

Propiedades físicas

Densidad (gr/cm ³)	7.2	Resistencia última a tensión (MPa)	345
Coefficiente de dilatación (0 a 100 °C [°C ⁻¹ x 10 ⁶])	10.8	Módulo de rigidez (GPa)	65
Conductividad térmica (0 a 100 °C [W/m °C])	38	Módulo de elasticidad (GPa)	165

Fuente: Tecniaceros, Guatemala (2018)

Los cilindros y los asientos de válvulas de un motor de combustión interna, son zonas que necesitan estar fabricadas con materiales resistentes al ataque químico de la gasolina, alta temperatura y desgaste, así mismo, debe tener cambios mínimos en sus dimensiones al llegar a la temperatura de trabajo, ya que de esto depende el correcto funcionamiento y durabilidad de un motor.

Otra de las principales ventajas por las que se selecciona el hierro fundido para las anteriores zonas mencionadas, es por la maquinabilidad y la capacidad de lograr superficies con baja rugosidad al ser maquinadas que permiten acoples y sellos adecuados para el funcionamiento de motores de combustión interna.

3.3 Acero inoxidable AISI 304

El acero inoxidable AISI 304 es de los aceros inoxidables de uso general con alta resistencia a la corrosión, asimismo, presenta bajo coeficiente de dilatación, lo que permite su utilización en zonas expuestas a choques térmicos y que deben mantener cierto ajuste.

Por lo general, las válvulas de un motor de combustión interna están fabricadas con aceros inoxidables o aceros con alto contenido de cromo, que resisten el ataque químico y la corrosión, permitiendo que el ajuste que debe tener con los asientos de válvulas no se pierda a consecuencia de la corrosión, oxidación y/o dilatación.

El acero inoxidable también presenta buenas propiedades mecánicas que permite la fabricación de elementos mecánicos expuestos a esfuerzos como los generados por un motor de combustión interna y al mismo tiempo, permite maquinar complejas formas por arranque de viruta; en la tabla 3 podemos observar las propiedades de este material.

Tabla 3 Ficha técnica acero inoxidable 304

Composición química en %

Ni	9.0 – 10.5		Mn	2.0 max
S	0.030 max		P	0.045 max
Si	1.00 max		Cr	18.00 – 20.00
C	0.08 max		Fe	Resto

Propiedades físicas

Densidad (gr/cm³)	7.9	Resistencia última a tensión (MPa)	600
Coeficiente de dilatación (0 a 100 °C [°C⁻¹ x 10⁶])	11.7	Módulo de rigidez (GPa)	77
Conductividad térmica (0 a 100 °C [W/m °C])	16.3	Módulo de elasticidad (GPa)	200

Fuente: Tecniaceros, Guatemala (2018)

En los motores de combustión interna encontramos muchos de los materiales descritos anteriormente, cada uno de ellos es utilizado en áreas del motor donde sus propiedades mecánicas hacen que sean adecuados para desempeñar funciones específicas; por ejemplo, sellar espacios y así lograr el correcto funcionamiento del motor.

El coeficiente de expansión térmica es un factor importante en todas las máquinas, principalmente en los motores de combustión interna, puesto que estos generan altas temperaturas en la recámara de combustión durante su funcionamiento, igualmente, se debe tomar en cuenta los cambios generados por el ambiente que hace a las piezas cambiar su ajuste, ya que el sistema tendría fallas e incluso, dejaría de funcionar, si esto no hubiese sido contemplado en el diseño.

3.4 Acero AISI 1018

El acero AISI 1018 es un acero de bajo carbón utilizado ampliamente en la industria para la fabricación de piezas que no están sometidas a esfuerzos mayores de 400 MPa; por ejemplo, tornillos, tuercas, ejes sometidos a bajas cargas de torsión, entre otros.

Tabla 4 Ficha técnica acero AISI 1018

Composición química en %

C	Mn	S	P	Fe
0.15 – 0.20	0.60 – 0.90	0.050 Max	0.040 Max	Resto

Propiedades físicas

Densidad (gr/cm ³)	7.9	Resistencia última tensión (MPa)	440
Coeficiente de dilatación (0 a 100 °C [°C ⁻¹ x 10 ⁶])	12.06	Módulo de rigidez (GPa)	77.2
Conductividad térmica (0 a 100 °C [W/m °C])	16.3	Módulo de elasticidad (GPa)	205

Fuente: Tecniaceros, Guatemala (2018)

4. Planteamiento del problema

La relación de compresión, es un parámetro que define las características de cada motor en cuanto a eficiencia y potencia, actualmente es un valor fijo en los motores de combustión interna, sin embargo, en los últimos años se han diseñado motores capaces de modificar este parámetro en cualquier instante de tiempo.

Entre los métodos actualmente diseñados para variar el volumen de la recámara de combustión, ninguno plantea una modificación al concepto de culata plana, por lo que, en esta investigación se estudia como área de oportunidad la modificación física de la culata para desarrollar un método alternativo a los actuales para variar el volumen de la recámara de combustión.

La modificación que se plantea, es sustituir la culata plana por una culata con una parte cilíndrica que contiene las válvulas y la bujía. Esta pieza entrará en el cilindro del motor y el hermetismo de la recámara se logrará gracias a unos anillos del mismo tipo utilizados en los pistones, instalados en dicha pieza.

La culata tendrá la libertad de moverse de forma paralela al eje del cilindro del motor, lo que dará como resultado la modificación del volumen de la recámara de combustión.

4.1 Preguntas de Investigación

- ¿Es posible diseñar y fabricar una culata capaz de moverse sobre los cilindros, modificando así, el volumen de la recámara de combustión?
- ¿Es posible sustituir el empaque de culata por un juego de anillos como los utilizados en los pistones de los motores de combustión interna para mantener el hermetismo de la recámara de combustión?
- ¿Cómo se sincronizarán las válvulas del motor al dotar a la culata la capacidad de moverse sobre los cilindros del motor?
- ¿Cómo debe ser el diseño de una culata capaz de moverse sobre los cilindros?

4.2 Justificación

Actualmente los motores de compresión variable son máquinas de complejo diseño, que a pesar de las ventajas que ofrecen en cuanto a consumo, potencia y emisión de contaminantes, el mercado no los ha aceptado totalmente, por suponer un riesgo de alto costo de mantenimiento y la posibilidad de fallas severas en el funcionamiento.

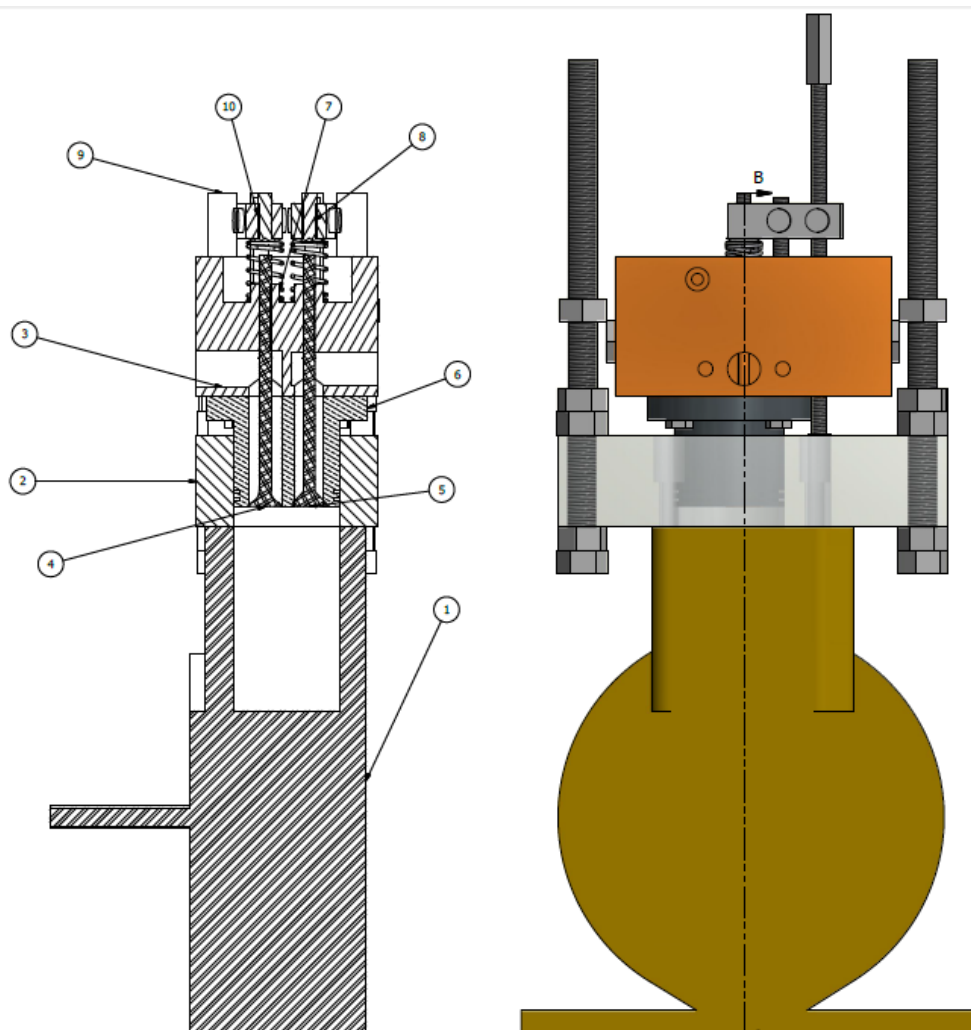
Variar la compresión de un motor, en cualquier instante de tiempo, es una modificación al funcionamiento de los motores de combustión interna, que ha llamado la atención de muchos de los grandes fabricantes de vehículos como Infiniti, Saab, Peugeot y Toyota, principalmente. Por el momento, solo Infiniti® ha logrado desarrollar el primer motor de compresión variable, producido en serie e instalado en un vehículo disponible en el mercado.

Los actuales motores de combustión interna utilizan culatas planas, que deben estar totalmente ajustadas con el bloque del motor para poder crear una recámara de combustión, sin embargo, se puede fabricar una culata capaz de moverse sobre los cilindros del motor y que esta conserve el hermetismo de la recámara de combustión, implementando una forma cilíndrica de culata que contenga a las válvulas y la bujía, sustituyendo el empaque de culata por anillos como los utilizados en los motores de combustión interna.

Para diseñar y fabricar las piezas de la propuesta planteada en esta investigación, se restringen los métodos de fabricación a la utilización de máquinas herramientas comunes de los talleres en Guatemala como taladro, torno y fresadora, ya que, si el diseño puede ser fabricado utilizando este tipo de maquinaria, significará un diseño con bajos costos de fabricación y simplicidad.

A continuación, se presenta una imagen de la propuesta a desarrollar en esta investigación.

Ilustración 16 Corte transversal motor propuesto



PARTS LIST		
ITEM	QTY	PART NUMBER
1	1	Motor base
2	1	Extensión de cilindro
3	1	Bloque principal
4	1	Valvula de admisión
5	1	Válvula de escape
6	1	Contrapiston
7	2	Compress Spring1
8	2	Balancin
9	4	Tornillos Guías
10	2	Patin

Diseño realizado por Amilcar Contreras utilizando el software inventor®

4.3 Consecuencias de la Investigación

El planteamiento de este nuevo método para variar la compresión de un motor, que implementa mecanismos sencillos, brinda un panorama distinto para esta tecnología aún en desarrollo. La simplicidad de un diseño capaz de cumplir los mismos objetivos que otros diseños de mayor complejidad, significará una ventaja tecnológica y brindará mayor confiabilidad del equipo.

Un motor de compresión variable permitirá generar la potencia necesaria en el momento que se requiera, debido a que la demanda energética en todas las máquinas no es la misma en un periodo de tiempo; de esta manera se reducen los costos de operación, generación de contaminantes, entre otros.

5. OBJETIVOS

5.1 Objetivo General

1. Desarrollar el prototipo de un motor de combustión interna con una culata sellada mediante anillos como los que utiliza el pistón del mismo motor y poder variar el volumen de la recámara de combustión para lograr diferentes relaciones de compresión.

5.2 Objetivos Específicos

1. Demostrar que se puede desarrollar una culata capaz de moverse sobre los cilindros del motor para variar el volumen de la recámara de combustión.
2. Demostrar que el empaque de culata puede ser sustituido por anillos de acero para mantener el hermetismo de la recámara de combustión.
3. Demostrar que la actual culata plana puede ser sustituida por una culata con forma cilíndrica en el área que contiene las válvulas y la bujía.

5.3 Hipótesis

La actual recámara de combustión sellada mediante empaque de culata puede ser sustituida por una recámara sellada mediante anillos como los que utilizan los pistones de los motores de combustión interna.

5.4 Método

El presente trabajo será demostrado a través de un diseño CAD y la construcción del prototipo de la propuesta planteada en la hipótesis. El diseño CAD será desarrollado utilizando el software Inventor®. En este, se dimensionarán todas las piezas que conforman la propuesta, ya que los planos generados en este diseño serán los utilizados para fabricar el prototipo.

El prototipo será fabricado con materiales de venta local; cada pieza será fabricada utilizando el laboratorio de metalmecánica de la Universidad Rafael Landívar y contratando los servicios de torneado y fresado, que en dicho laboratorio de metalmecánica no se pueden efectuar.

5.5 ALCANCES Y LIMITACIONES

En este estudio se pretende modificar la culata de un motor de combustión interna diseñando y fabricando el prototipo de una culata de un motor de combustión interna a gasolina capaz de moverse verticalmente, sin dejar de mantener el hermetismo de la recámara de combustión y su correcto funcionamiento, sin embargo, no se realizarán cálculos ni análisis de curvas características del motor, ya que, lo que se desea en este estudio es tener una aproximación de un tipo de culata que permita variar el volumen de la recámara de combustión para establecer un punto de partida en el estudio de nuevos tipos y diseños de motores.

Las limitaciones de este proyecto son las siguientes:

1. Capital disponible para invertir en el estudio.
2. Maquinaria disponible en la Universidad Rafael Landívar para fabricar el prototipo
3. Construcción de piezas específicas a medida para el prototipo propuesto.

5.6 Aporte

Esta propuesta busca plantear otra opción funcional para fabricar un motor capaz de variar el volumen de la recámara de combustión y con esto, reducir la contaminación que los motores de combustión interna generan, logrando así motores que se adapten a las distintas demandas de potencia y emitan la menor cantidad de contaminantes.

Con este proyecto también se busca iniciar una cultura de invenciones y planteamiento de propuestas de mejora por parte de los estudiantes de ingeniería para que se involucren en formular proyectos que aporten tecnología a Guatemala y que al ser llevados al mercado puedan contribuir con la creación de empleos en el país.

5.7 Propuesta

Una cualidad importante para cualquier mecanismo es su simplicidad, ya que esto se traduce en funcionamiento eficiente de la maquinaria o equipo, menores costos de fabricación, fácil mantenimiento, menor cantidad de fallas, entre otros aspectos. Con el objetivo de iniciar el proceso de crear un mecanismo que permita variar la compresión de un motor, se formuló una propuesta en la cual una sección de la culata tiene la capacidad de moverse verticalmente con el motor en funcionamiento.

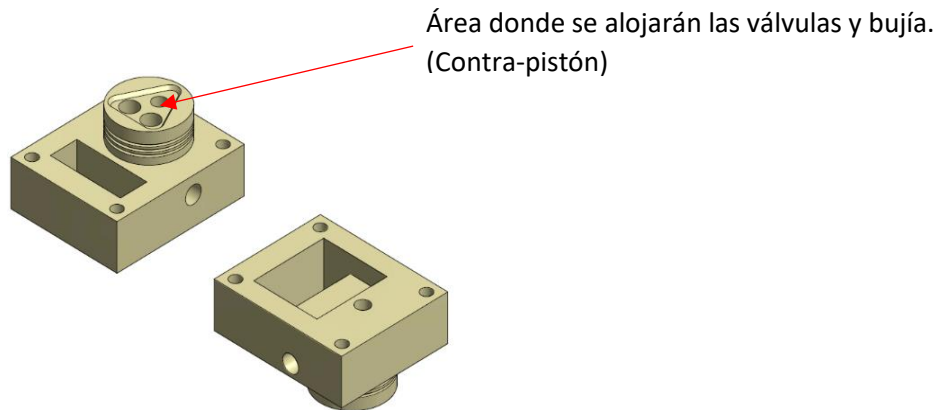
Al dotarle a la culata de un motor la capacidad de desplazarse verticalmente, logramos cambiar el volumen de la recámara de combustión y en consecuencia, la compresión, lo cual resulta en la modificación de las características del motor de combustión interna. Para lograr el funcionamiento de este sistema se debe contemplar los siguientes retos:

1. Eliminar la actual culata plana y sustituirla por una culata que permita un desplazamiento vertical de una porción sobre el pistón.
2. Al mismo tiempo el nuevo sistema debe mantener un alto nivel de hermetismo en la recámara de combustión.
3. Al moverse la sección, la culata no debe perder la sincronía entre el cigüeñal y el árbol de levas.

A continuación, se describe cómo se solucionaron los anteriores retos enumerados.

1. La culata plana se sustituyó por una culata que tiene una pieza similar a un pistón en donde están alojadas las válvulas y la bujía, ver ilustración 17.

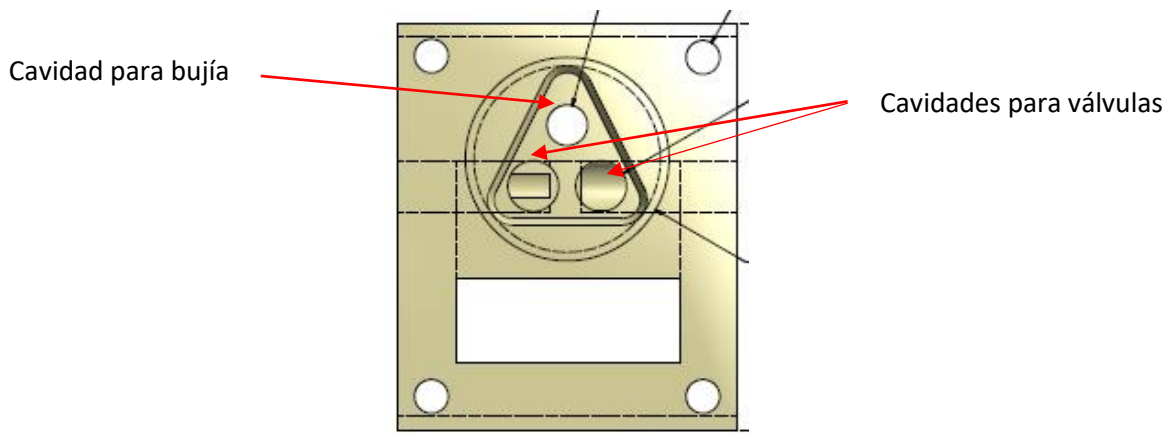
Ilustración 17 Primera aproximación del modelo a fabricar



Diseño realizado por Amilcar Contreras utilizando el software inventor®

El contra-pistón es una pieza cilíndrica del mismo diámetro que el pistón del motor, este tiene dos anillos (compresión y de fuego) iguales a los que utiliza el pistón del mismo motor, dentro del contra pistón están alojadas las válvulas y la bujía, ver ilustración 18.

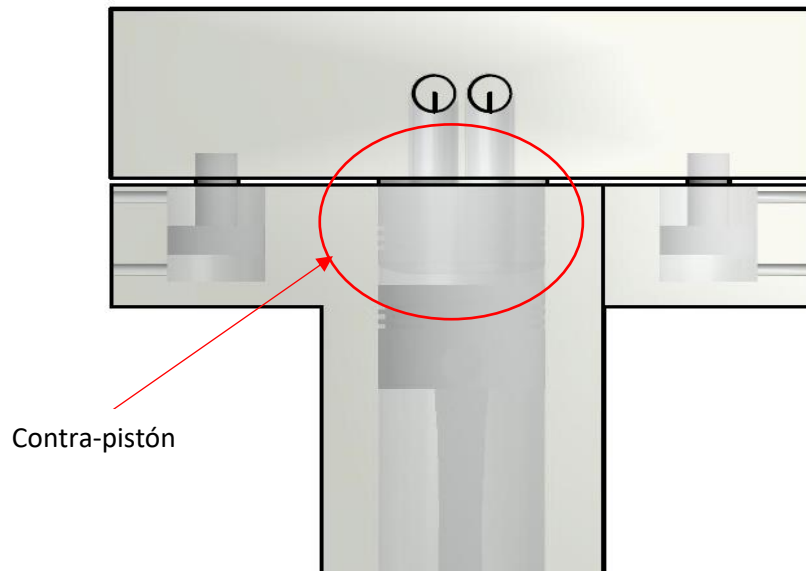
Ilustración 18 Primera aproximación del modelo a fabricar.



Diseño realizado por Amilcar Contreras utilizando el software inventor®

El contra-pistón es la pieza que permite sellar la recámara de combustión y lograr un hermetismo adecuado para que el motor funcione, esta pieza debe entrar en el cilindro como lo muestra la ilustración 19.

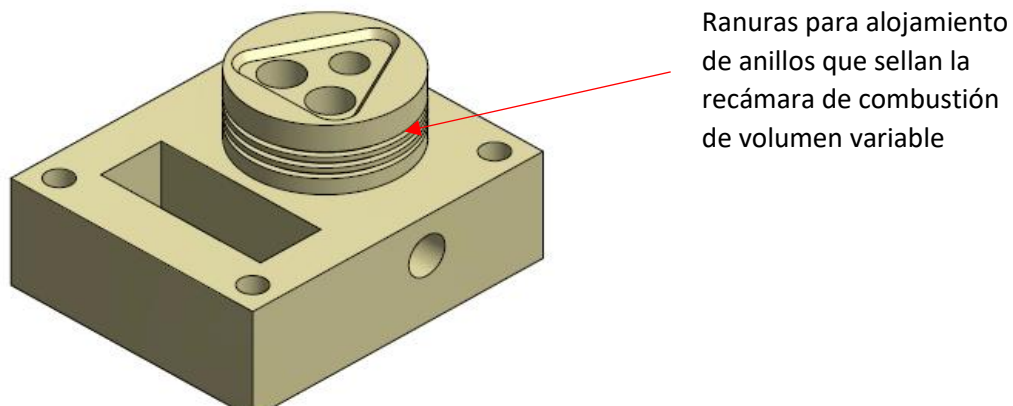
Ilustración 19 Contra-pistón dentro del cilindro en la segunda aproximación del modelo a fabricar.



Diseño realizado por Amilcar Contreras utilizando el software inventor®

2. El hermetismo de la recámara de combustión del motor, se logra mediante la utilización de anillos como los empleados en los pistones, el contra-pistón (ver ilustración 20) tiene unas ranuras donde aloja los anillos, excepto el anillo de aceite, pues este no es necesario por el momento, ya que el contra-pistón no tiene el mismo nivel de movimiento que el pistón.

Ilustración 20 Primer aproximación a fabricar.

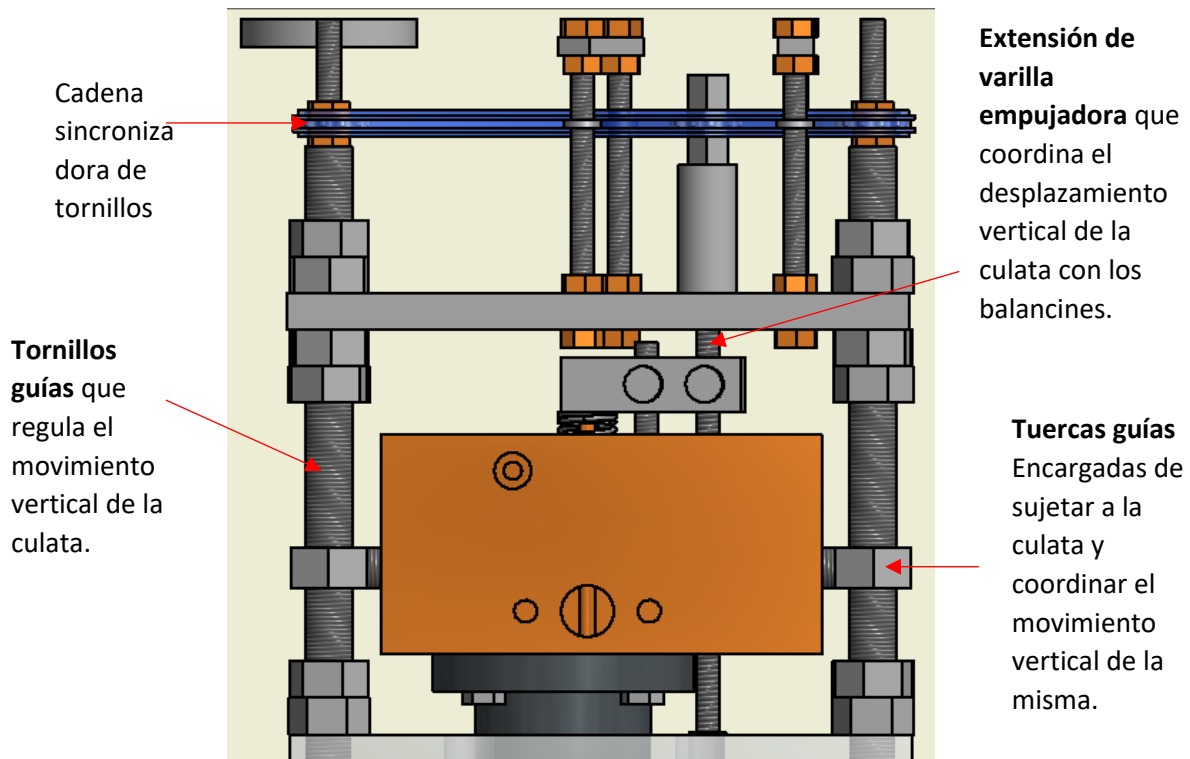


Diseño realizado por Amilcar Contreras utilizando el software inventor®

3. Uno de los principales retos en los motores de combustión interna es mantener la sincronía entre el cigüeñal, el árbol de levas y las válvulas, ya que de esto depende el correcto funcionamiento del motor, cuando la culata adquiere la posibilidad de moverse verticalmente, nace el problema de tener que ajustar el mecanismo que coordina las válvulas con el cigüeñal y cumplir los cuatro tiempos del ciclo Otto.

Con el fin de lograr la posibilidad de modificar la posición de la culata propuesta, se desarrolló un sistema de control utilizando tornillos de distintos diámetros, pero del mismo paso, ver ilustración 21.

Ilustración 21 Modelo a fabricar previo a pequeñas modificaciones finales.



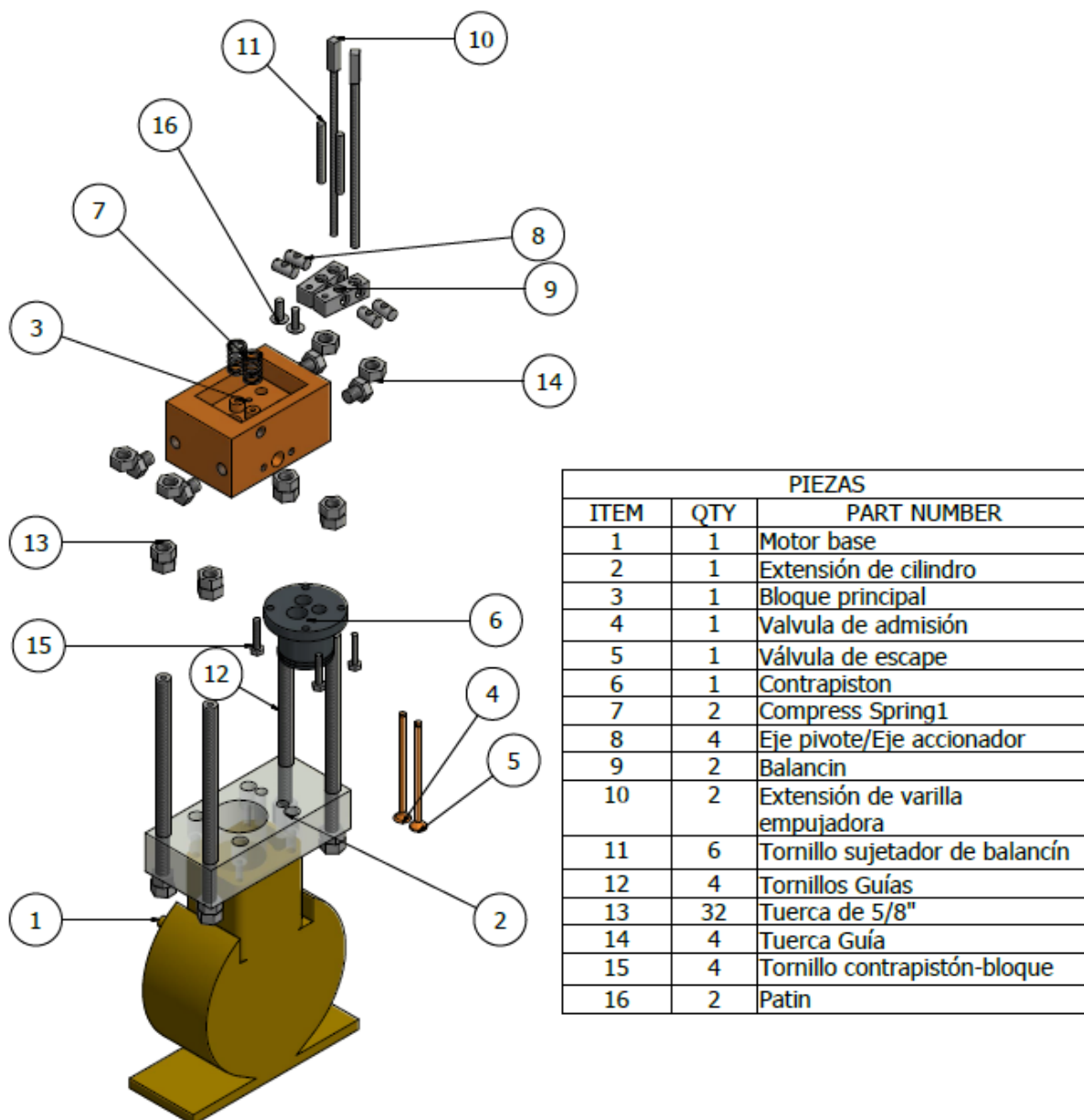
Diseño realizado por Amilcar Contreras utilizando el software inventor® (Escala 1: 2.67)

La culata tiene 4 tuercas guías que convierten la rotación de los tornillos guías en movimiento vertical, estos están coordinados con los tornillos de la extensión de varilla empujadora mediante un sistema de cadena según lo planificado; en caso no se utilice la cadena, puede ajustarse manualmente mientras el motor no esté en funcionamiento, para poder realizar pruebas variando el volumen de la recámara de combustión.

7. Componentes

Cada una de las piezas fue diseñada para este modelo de motor en específico, sin embargo, el principio puede ser aplicado en cualquier motor de combustión interna. A continuación, se da a conocer cada una de las piezas y se describe su funcionamiento.

Ilustración 22 Componentes del prototipo propuesto.

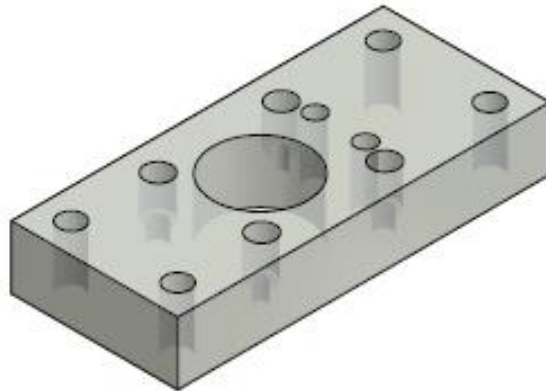


Diseño realizado por Amilcar Contreras utilizando el software inventor®

7.1 Extensión de cilindro:

Debido a que la culata propuesta se instaló en un motor de combustión interna estándar, se tuvo que hacer una pieza que permitiera extender el cilindro para poder demostrar el funcionamiento de la nueva culata, ver ilustración 23 y 24.

Ilustración 23 Extensión de cilindro, diseño CAD.



Diseño realizado por Amilcar Contreras utilizando el software inventor® (Escala 1: 2.67)

Ilustración 24 Extensión de cilindro real.

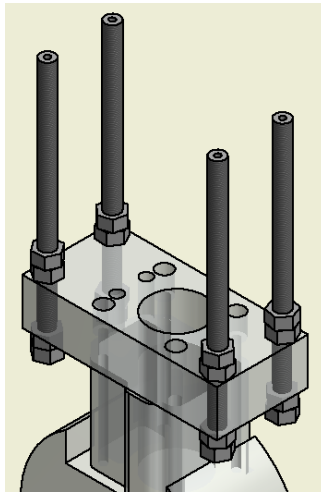


Fotografía tomada por Amilcar Contreras

7.2 Tornillos guías

Los tornillos guías fueron diseñados para mantener la culata en una posición fija y al mismo tiempo permitir cambiar la posición de la misma con el objetivo de variar la compresión del motor, también permiten que esta se desplace verticalmente sin inclinarse, logrando así que el contra-pistón se aloje en el centro de la extensión del cilindro. Ver ilustración 25 y 26.

Ilustración 25 Tornillos guías instalados en la extensión de cilindro.



Diseño realizado por Amilcar Contreras utilizando el software inventor®

Ilustración 26 Tornillos guía modelo real.

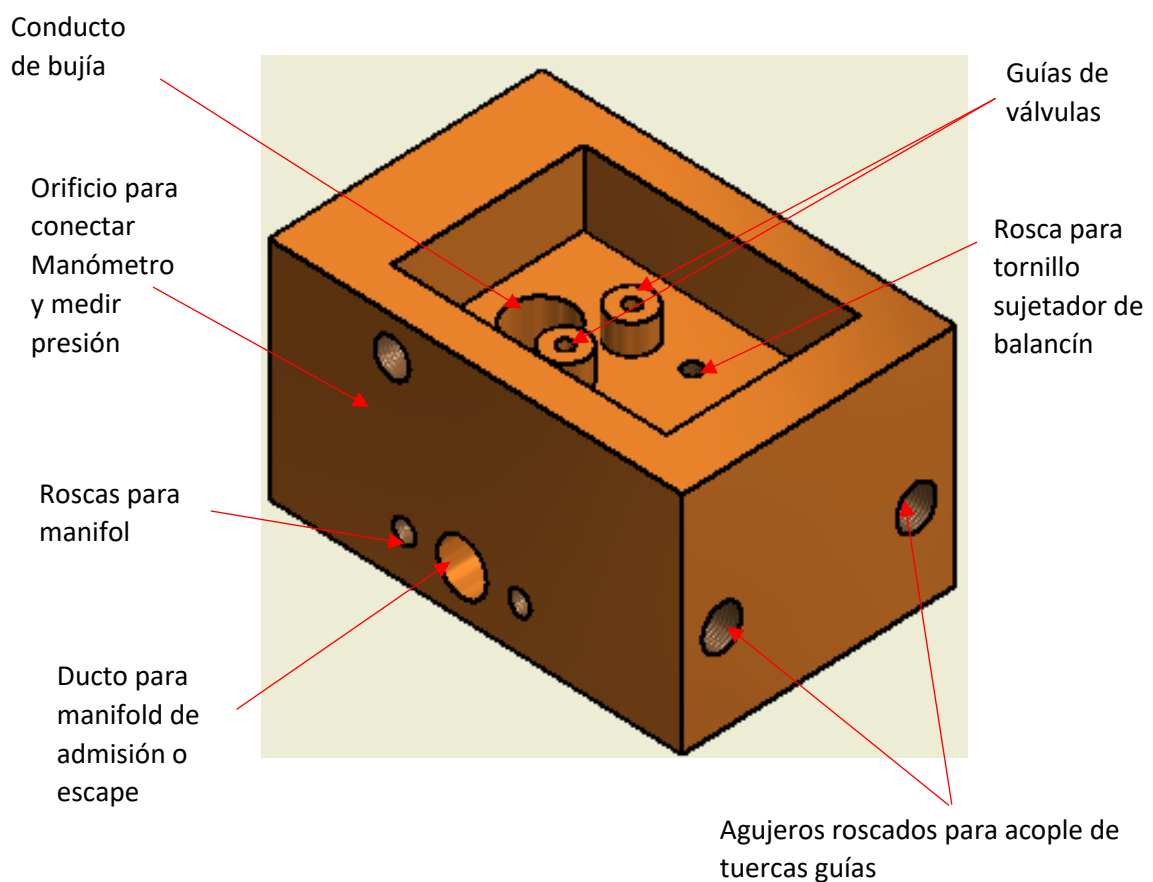


Fotografía tomada por Amilcar Contreras

7.3 Bloque principal

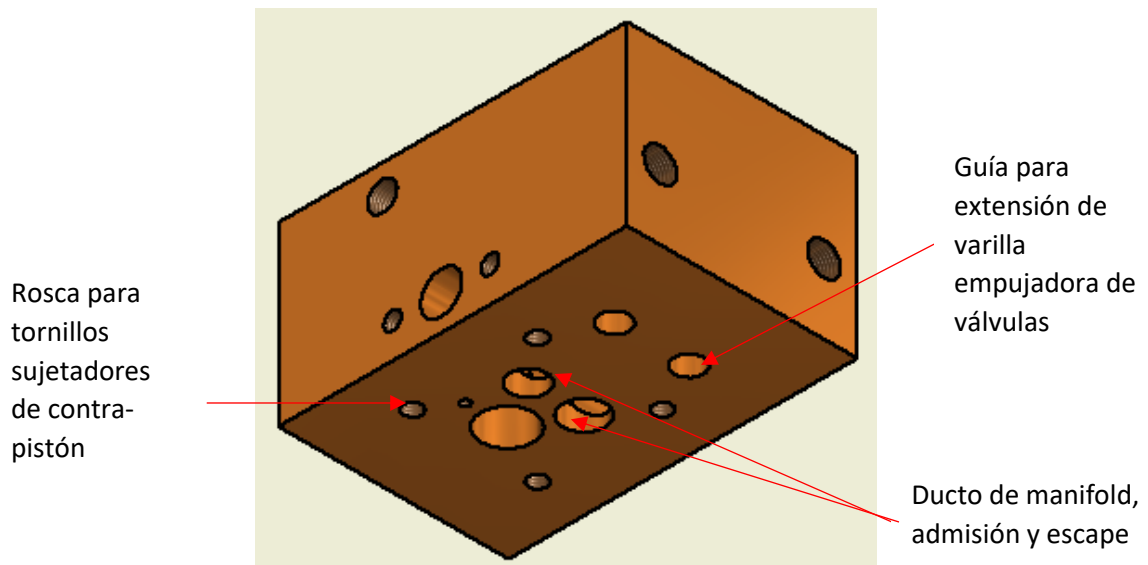
Esta pieza es fabricada de un bloque de aluminio con una serie de perforaciones y ductos diseñados para alojar diversos elementos fundamentales para el funcionamiento del motor. A continuación, se indican las partes del bloque principal.

Ilustración 27 Partes del bloque principal, diseño CAD



Diseño realizado por Amilcar Contreras utilizando el software inventor®

Ilustración 28 Partes del bloque principal, diseño CAD.



Diseño realizado por Amilcar Contreras utilizando el software inventor® (Escala 1: 2.67)

Ilustración 29 Bloque principal y otras piezas del modelo real.



Fotografía tomada por Amilcar Contreras

7.4 Contra-pistón

El contra-pistón es una pieza cilíndrica de aluminio que aloja los anillos que permiten el sellado de la recámara de combustión. Las válvulas, asientos de válvulas, bujía y la conexión manómetro recámara de combustión forman parte del contra-pistón.

Ilustración 30 Contra-pistón diseño CAD.



Diseño realizado por Amilcar Contreras utilizando el software inventor® (Escala

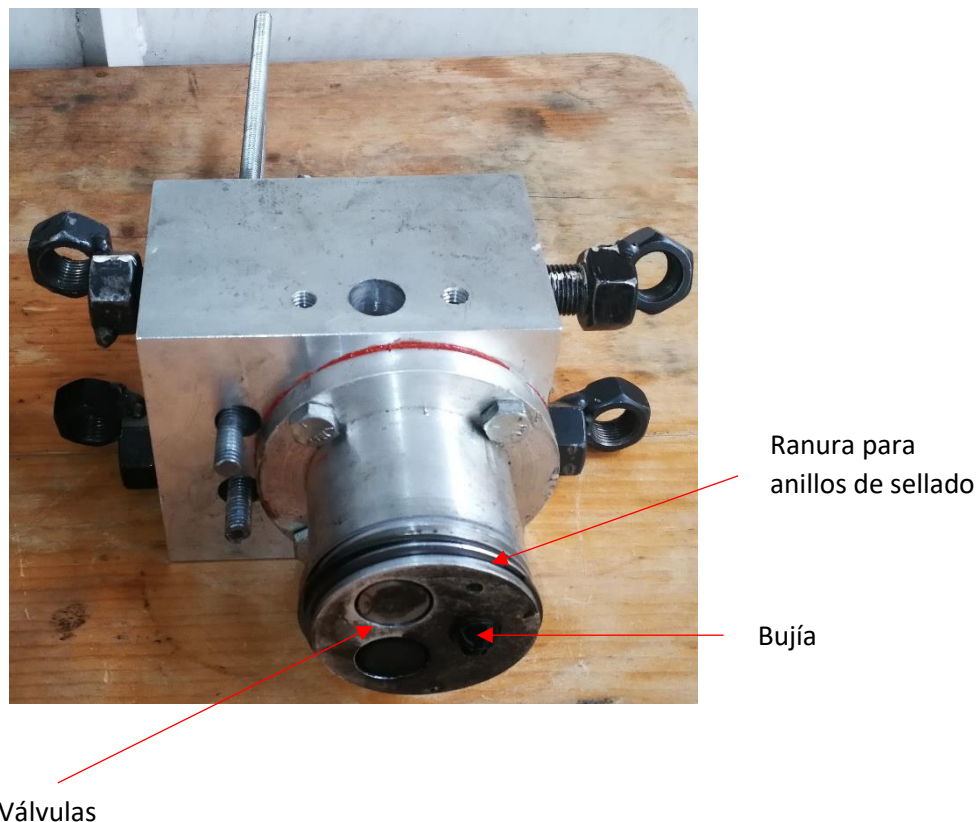
7.5 Culata

La unión entre el contra-pistón y el bloque principal forman la culata y en conjunto alojan la bujía, anillos de sellado, válvulas, conexión manómetro-recámara de combustión, resortes de válvulas, balancines, tuercas de control, ductos de admisión y escape, como se muestra en la ilustración 31.

Esta pieza es la propuesta que sustituye a la actual culata plana; por su diseño, no necesita empaque de culata para lograr hermetismo en la recámara de combustión y esto le permite moverse verticalmente cuando el motor está en marcha o está apagado.

En esta etapa de investigación no se instaló el sistema que controla el movimiento vertical de la culata, pero se diseñó para su posterior instalación.

Ilustración 31 Contra-pistón modelo real acoplado al bloque principal (Culata).



Fotografía tomada por Amilcar Contreras

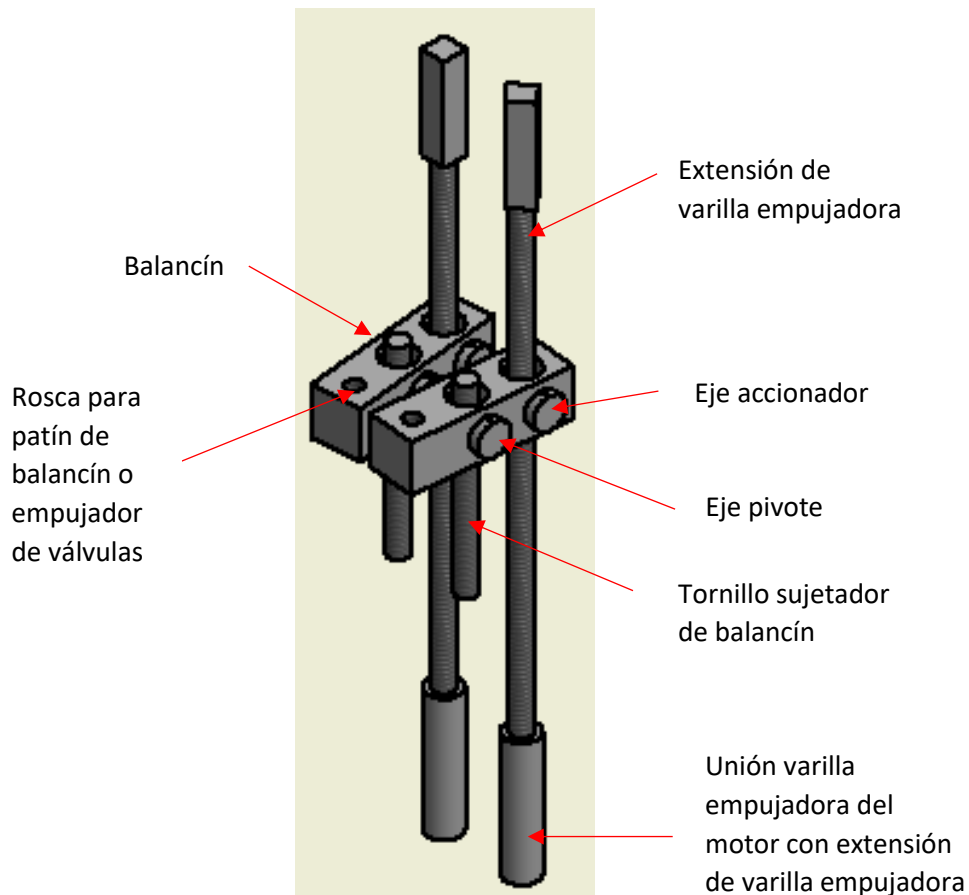
7.6 Balancines.

Los balancines fueron diseñados para abrir y cerrar las válvulas, permitir que la varilla empujadora se mueva sin dejar de impulsar los balancines según los 4 tiempos del ciclo Otto coordinados por el árbol de levas en el bloque del motor.

Los balancines son fabricados en barra cuadrada de acero 1045 con perforaciones que alojan ejes que permiten lo siguiente:

1. Transmisión del movimiento generado por el árbol de levas hacia el balancín.
2. Pivoteo del balancín
3. Permitir el ajuste de la varilla empujadora al momento de variar la posición vertical de la culata.

Ilustración 32 Balancines diseño CAD.



Diseño realizado por Amilcar Contreras utilizando el software inventor® (Escala 1: 2.67)

7.7 Extensión de varilla empujadora

La extensión de varilla empujadora es una varilla roscada galvanizada de 5/16" de diámetro con rosca ordinaria y paso de 18 hilos por pulgada, el ser roscada le permite ajustarse verticalmente según lo requiera la altura a la cual va a estar configurada la culata.

En el extremo inferior se encuentra la unión varilla empujadora del motor con extensión de varilla empujadora, esta es una pieza cilíndrica de aluminio que se enrosca a la extensión de varilla para acoplarse a la varilla empujadora del motor mediante una cavidad que únicamente impide que esta se mueva axialmente.

7.8 Tornillo sujetador de balancín

Este es un tornillo roscado galvanizado de 5/16" de diámetro, rosca ordinaria paso 18, el cual atraviesa el balancín por la mitad, mediante el eje pivote que le permite rotar sobre dicho eje y en consecuencia empujar las válvulas.

7.9 Eje accionador

El eje accionador es un eje de aluminio con diámetro de 1/2" con una perforación roscada en el centro por donde pasa la extensión de varilla empujadora. La función del agujero roscado es permitir que esta se pueda ajustar verticalmente según lo requiera el ajuste de la altura de la culata y al mismo tiempo permitir que la fuerza de la varilla empujadora del motor se transmita al balancín.

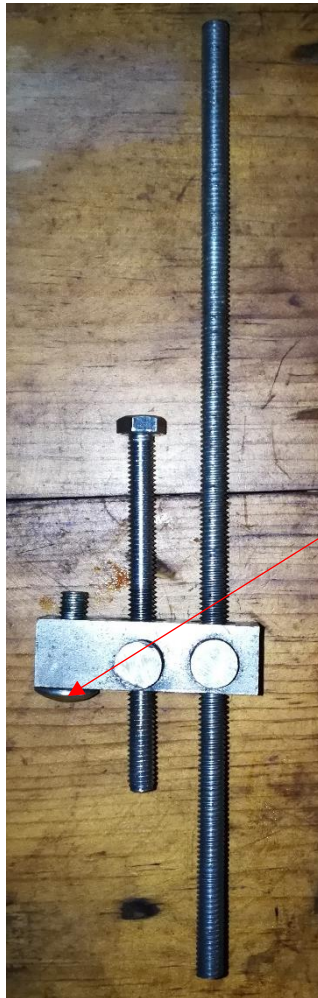
7.10 Eje pivote.

El eje pivote es una pieza cilíndrica de aluminio con diámetro de 1/2" y una perforación roscada en el centro por donde pasa el tornillo sujetador de balancín. Este eje permite que el balancín tenga la capacidad de moverse angularmente y ajustar la posición del mismo, respecto a las válvulas.

7.11 Patín de balancín

El patín de balancín es un tornillo galvanizado de cabeza redonda, que cumple la función de deslizarse sobre la cabeza de válvula y así empujarlas cuando el balancín sea accionado según el movimiento del árbol de levas.

Ilustración 33 Balancín diseño real.



Patín de balancín

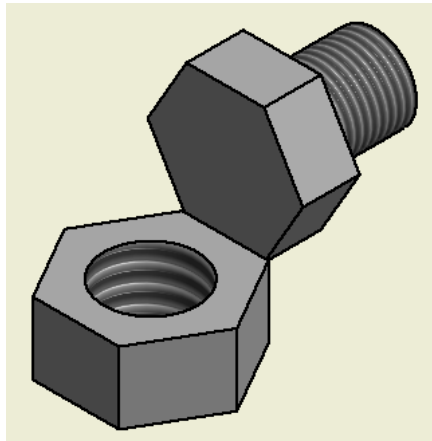


Fotografía tomada por Amilcar Contreras

7.12 Tuerca guía

La tuerca guía está fabricada con dos tuercas de 5/8", rosca fina paso 18, soldadas perpendicularmente y un eje roscado de 5/8", rosca fina paso 18, el cual está acoplado a una de las tuercas, como se muestra en la ilustración 34; este eje se acopla también a la culata.

Ilustración 34 Tuerca guía



Diseño realizado por Amilcar Contreras utilizando el software inventor®

Las tuercas guías transfieren el movimiento giratorio de los tornillos guías en desplazamiento vertical, que es transmitido a la culata; al interactuar las tuercas guías con los tornillos guías, se forma una estructura que permite que la culata se mantenga en una posición establecida sin presentar cambios durante el funcionamiento del motor.

Si hacemos una comparación con los motores actuales de culata plana, la unión de los tornillos guías y las tuercas guías sustituyen a los tornillos de culata, los cuales garantizan que la culata no cambie su posición a pesar de la dilatación de los materiales y de las fuerzas generadas por el funcionamiento propio del motor.

7.13 Válvulas

Las válvulas de este motor, cumplen la misma función que en los motores estándar, sin embargo, tienen un vástago más largo, debido a que esta culata tiene mayor distancia entre los balancines y los asientos de válvulas.

8. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE CONSTRUCCIÓN

Uno de los límites de esta tesis fue no invertir una cantidad mayor de Q4000.00 quetzales, ya que, se utilizó capital propio para financiar este estudio, para esto fue necesario comprar la cantidad exacta de materiales a utilizar y negociar los mejores precios con las empresas designadas a realizar ciertos maquinados descritos en este capítulo.

Para fabricar las piezas más grandes de este motor se utilizó aluminio 7075, por ser un material fácil de maquinar; además ofrece buena transferencia de calor, resistencia a la corrosión, a la oxidación y bajo costo, siendo estas propiedades fundamentales en la fabricación de un motor.

A continuación, se describe el proceso de construcción por etapas:

8.1 Etapa I

Rectificación de materia prima

En la primera etapa de construcción se contrató un servicio de torno, al cual se le solicitó rectificar las 6 caras de cada bloque de aluminio hasta llevarlas a dimensiones específicas según el diseño CAD, esto permite realizar las siguientes etapas del proceso de construcción.

En la ilustración 35 se puede observar los 3 bloques de aluminio posterior a su rectificación. Es indispensable tener superficies lisas y caras paralelas para poder establecer puntos de referencia que serán fundamentales para poder lograr que los maquinados posteriores sean realizados con precisión en el lugar diseñado previamente.

Ilustración 35 Bloques de aluminio rectificados.

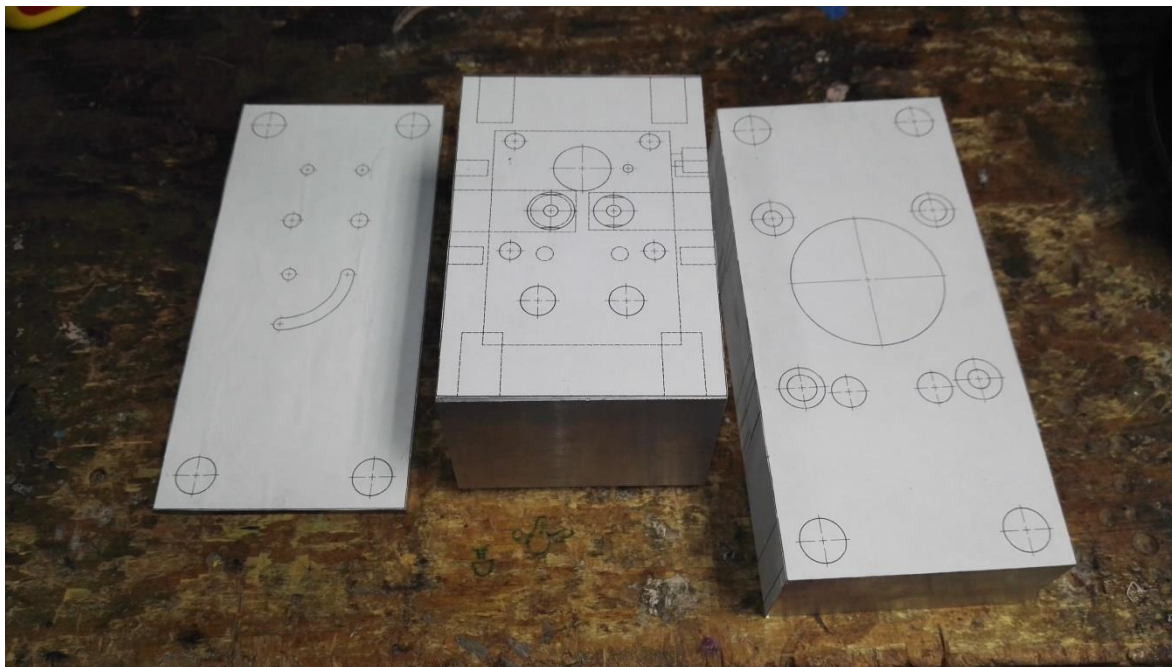


Fotografía tomada por Amilcar Contreras

8.2 Etapa II

Perforación y fresados

Ilustración 36 Bloques de aluminio con diseños a maquinar.



Fotografía tomada por Amilcar Contreras

En la ilustración 36 se observan 3 bloques de aluminio a los cuales se les pegó la impresión del diseño en 2D que será maquinado posteriormente, este método fue la solución para poder hacer las perforaciones y fresados necesarios en el lugar diseñado y así lograr que todas las piezas encajen cuando se llegue a la etapa de armado.

Luego de pegar el diseño en cada bloque, se procedió a marcar centros con un punzón, teniendo extremo cuidado de que la desviación sea mínima. En la ilustración 37 se puede observar el inicio de las perforaciones realizadas para alojar los tornillos guías.

En el proceso de perforación se debe tener mucho cuidado del diámetro requerido, ya que, en algunas de las perforaciones se realizarán roscas o encamisados.

Ilustración 37 Perforación bloque de aluminio en taller de la Universidad Rafael Landívar.

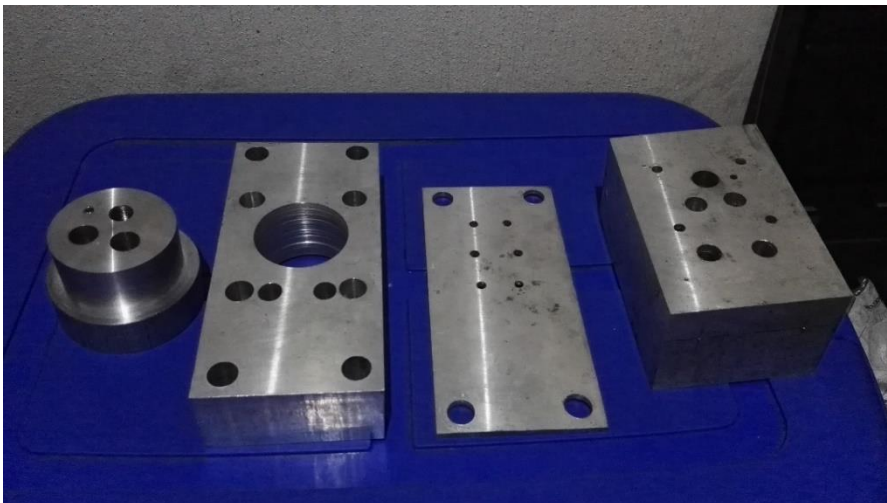


Fotografía tomada por Amilcar

Como se puede observar en la ilustración 37, el proceso de perforación debe ser realizado cuidadosamente, alineando la pieza con un nivel de burbuja, ya que, si no se tiene este cuidado, la perforación se puede desviar provocando desajuste en el ensamble final.

Las brocas utilizadas en este proceso, pueden ser del tipo HSS y deben tener suficiente filo para evitar una desviación provocada por herramientas en mal estado; para mantener en buen estado las herramientas de corte, estas deben ser refrigeradas durante su funcionamiento, con fluidos de corte, ya sean sintéticos o de base mineral.

Ilustración 38 De izquierda a derecha, (contra-pistón, extensión de cilindro, placa de control y bloque principal).



Fotografía tomada por Amilcar Contreras

Ilustración 39 Extensión de cilindro, contra-pistón y bloque principal posterior a ser rectificadas a medidas finales.



Fotografía tomada por Amilcar Contreras

8.3 Etapa III

Construcción de válvulas

Por ser este un modelo de culata diferente a las culatas fabricadas en serie, se tuvo que construir las válvulas y asientos de válvulas; esto fue un trabajo que se realizó con la ayuda de expertos en la reconstrucción de motores, especificando el diseño de las válvulas y material de construcción.

Para seleccionar el material con que se fabricaron las válvulas, se hizo un análisis de espectrometría a las válvulas originales del motor y los resultados fueron utilizar acero inoxidable, por lo que se utilizó una aleación común; acero inoxidable 304, de un eje solido de $\frac{3}{4}$ " de diámetro; se maquinó hasta llevarlo a la especificación diseñada, tal como se muestra en las ilustraciones 40 y 41.

Ilustración 40 Válvula diseño CAD.



Diseño realizado por Amilcar Contreras mediante inventor®

Ilustración 41 De izquierda a derecha (válvula estándar, Válvulas fabricadas).



Fotografía tomada por Amilcar Contreras

8.4 Etapa IV

Construcción de camisa para extensión de cilindro

Para lograr el hermetismo de la recámara de combustión del motor, la extensión de cilindro debe tener una superficie lisa y uniforme que le permita a los anillos del contra-pistón un ajuste adecuado y así reducir la cantidad de gases que se escapan por esta zona.

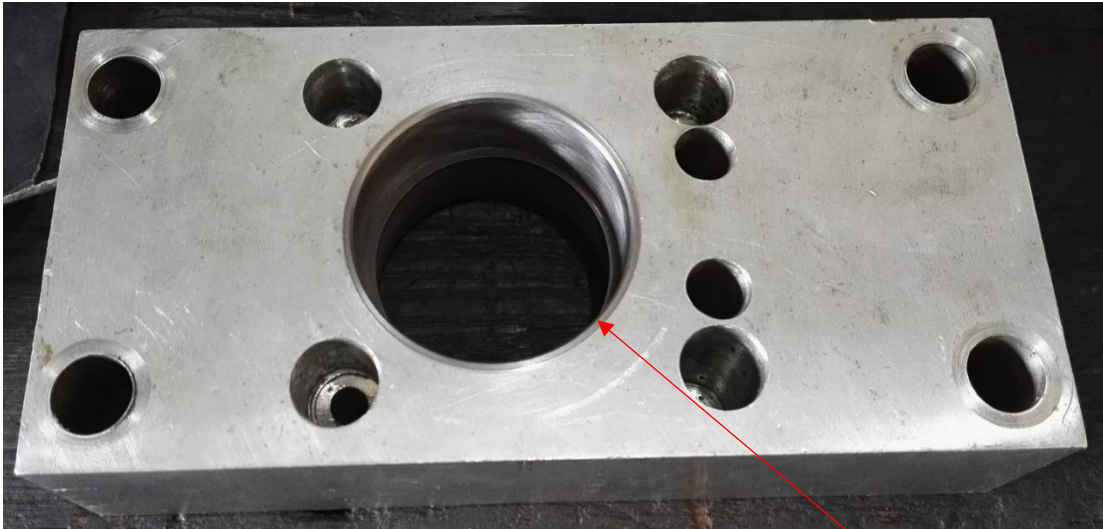
La camisa del cilindro fue fabricada en hierro fundido, ya que, este material permite lograr superficies pulidas y libres de herrumbre. En la ilustración 42 se muestra la extensión de cilindro sin camisa de hierro fundido y en la ilustración 43, la extensión de cilindro ya con la camisa de hierro fundido.

Ilustración 42 Extensión de cilindro modelo real.



Fotografía tomada por Amilcar Contreras

Ilustración 43 Extensión de cilindro final modelo real.



Camisa de hierro fundido

Fotografía tomada por Amilcar Contreras

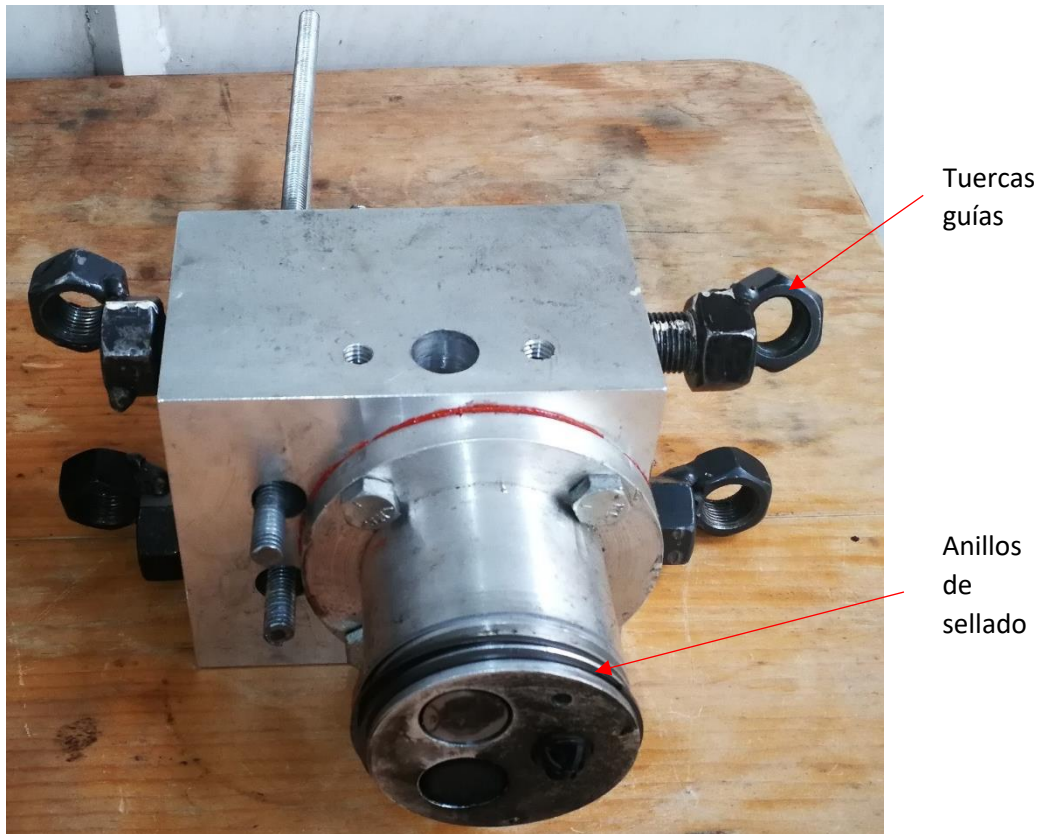
8.5 Etapa V

Armado del modelo

Luego de tener todas las piezas del modelo totalmente terminadas, se inició el proceso de ensamble, donde se realizaron pequeños ajustes con fresa de mano, lija, limas y brocas para lograr el ajuste necesario entre todas las piezas. En la ilustración 44, se muestra la culata ensamblada con las válvulas y bujía.

El ajuste de las válvulas es un proceso minucioso, donde una pequeña desviación en las guías de válvulas, puede provocar que no encaje el ángulo de la válvula con el de su asiento y en consecuencia no tener compresión en la recámara de combustión.

Ilustración 44 Culata posterior a la primera prueba de funcionamiento.



Fotografía tomada por Amilcar Contreras

En la unión entre el contra-pistón y el bloque principal, se forma una empaquetadura agregando silicón para altas temperaturas. Lleva 4 tornillos de 5/16" que se encargan de mantener una perfecta unión y lograr que el conjunto trabaje como una sola pieza.

Las tuercas guías están atornilladas al bloque principal mediante un eje roscado de 5/8". Este eje permite alinear axialmente la culata con la extensión de cilindro y transmite las cargas generadas durante el funcionamiento del motor a los tornillos guías.

Los anillos de sellado permiten lograr el hermetismo de la recámara de combustión del motor, ya que, al estar correctamente alineados con la camisa del cilindro, se forma una empaquetadura que sella y permite movimiento vertical como el de los pistones de un motor de combustión interna.

Ilustración 45 Motor ensamblado.



Fotografía tomada por Amilcar Contreras

En la ilustración 45 se puede observar el modelo ensamblado; al rotar los tornillos guías en el mismo sentido, la culata se moverá verticalmente, esto permite ajustar la compresión del motor a valores según la eficiencia a la que se desee configurar el sistema; si los tornillos no se rotan, la culata conservará su posición a pesar de que el motor esté en funcionamiento.

Ilustración 46 Modelo final.



Fotografía tomada por Amilcar Contreras

9. Pruebas de funcionamiento

Para tener un parámetro de comparación respecto al funcionamiento, se realizaron mediciones al motor estándar de culata plana y recámara de combustión de volumen fijo.

Ilustración 47 Motor estándar de culata plana y volumen de recámara de combustión fija.



Fotografía tomada por Amilcar Contreras

Se midió el volumen de la recámara de combustión utilizando agua con colorante inyectada, como se muestra en la ilustración 48. Este método consiste en colocar una tapa plana y transparente sobre la recámara de combustión; esta tapa debe tener un pequeño orificio por donde se inyectará agua y al mismo tiempo se extraerá el aire atrapado.

Este procedimiento es utilizado, ya que nos permite calcular el volumen de recámaras de combustión con formas complejas. En este motor, el pistón es totalmente plano, por lo que no se calculó el volumen que podía aportar; cómo podemos observar en la ilustración 49.

Ilustración 48 Medición experimental del volumen en la recámara de combustión del motor estándar.



Fotografía tomada por Amilcar Contreras

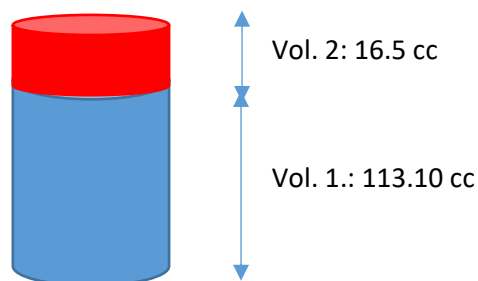
Ilustración 49 Pistón motor estándar en el punto muerto superior.



Fotografía tomada por Amilcar Contreras

Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

Volúmenes determinados:



$$r = \frac{V_{\text{desplazamiento}}}{V_{\text{recámara}}} = \frac{113.10 \text{ cc}}{16.5 \text{ cc}} = 6.9$$

Según la medición experimental con manómetro, la compresión del motor estándar es de 620.53 Kpa (90 PSI).

A continuación, se presenta una tabla con los valores determinados durante una prueba realizada al motor con su configuración original.

Tabla 5 Resultados de las pruebas de funcionamiento en el motor estándar

Presión Compresión (Kpa)	Volumen de combustible consumido (ml)	Tiempo (Seg)	RPM promedio	Volumen recámara de combustión (cc)	Volumen de desplazamiento (cc)	Relación de compresión
620.53	3	22.20	1051	16.5	113.10	6.9

A continuación, se presenta un cuadro donde se realizaron mediciones básicas en distintas configuraciones del modelo fabricado, con el fin de evaluar los distintos comportamientos que puede tomar un motor al variar la compresión.

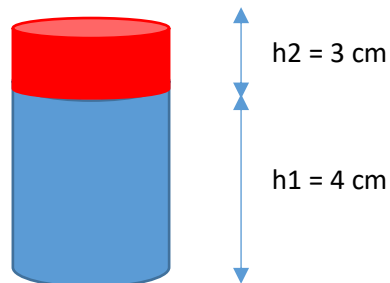
Los ensayos se realizaron en un escenario con los siguientes parámetros:

1. Motor en ralentí.
2. Sin carga.
3. Gasolina súper como combustible.
4. A 1500 metros sobre el nivel del mar.
5. Temperatura promedio 22 °C aproximadamente.

PRUEBA 1.

Configuración de alturas desplazamiento-recámara de combustión

Ø = 6 cm



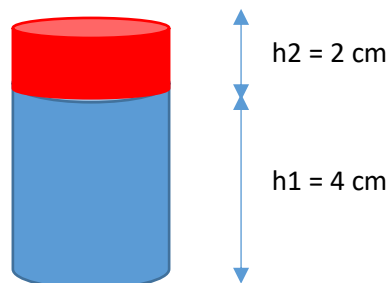
$$r = \frac{V_{desplazamiento}}{V_{recámara}} = \frac{h_2}{h_1} = \frac{4}{3} = 1.33$$

Medición experimental de presión de compresión: 68.95 Kpa (10 PSI)

PRUEBA 2.

Configuración de alturas desplazamiento-recámara de combustión

Ø = 6 cm



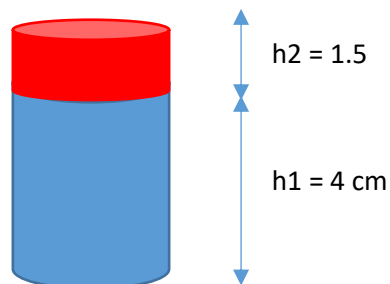
$$r = \frac{V_{desplazamiento}}{V_{recámara}} = \frac{h_2}{h_1} = \frac{4}{2} = 2$$

Medición experimental de presión de compresión: 137.9 Kpa (20 PSI)

PRUEBA 3.

Configuración de volúmenes.

Ø = 6 cm



$$r = \frac{V_{\text{desplazamiento}}}{V_{\text{recámara}}} = \frac{h_2}{h_1} = \frac{4}{1.5} = 2.66$$

Medición experimental de presión de compresión: 207 Kpa (30 PSI)

En la siguiente tabla se puede ver los valores obtenidos experimentalmente en 3 pruebas realizadas con distintos ajustes de compresión.

Tabla 6 Resultados de las pruebas de funcionamiento en el modelo fabricado

Presión Compresión (Kpa)	Volumen de combustible consumido (ml)	Tiempo (Seg)	RPM promedio	Presión máxima de trabajo promedio (PSI)	Volumen recámara de combustión (cc)	Volumen de desplazamiento (cc)	Relación de compresión
68.95	3	30.94	855.2	586	84.82	113.10	1.33
137.9	3	26.33	805.1	620.53	56.55	113.10	2
207	3	23.11	754.5	655	42.41	113.10	2.66

10. Discusión

Como se puede observar en la tabla 6, al aumentar la compresión de un motor, aumenta el consumo de combustible y se reducen las RPM, estos resultados demuestran que al variar la compresión de un motor podemos reducir o aumentar el consumo de combustible y según la ecuación descrita en la ilustración 10, el trabajo neto de salida también se reducirá o aumentará según la compresión a la que esté trabajando un motor.

La compresión es un parámetro fundamental en los motores de combustión interna, define la potencia y eficiencia a la que un motor podrá trabajar; para una elevada compresión (Mayor a 6.9), el motor tendrá que mantener una velocidad angular, que genere la suficiente inercia para seguir completando cada ciclo de operación.

El diseño de la culata sellada mediante anillos, no solo permite el funcionamiento del motor de combustión interna, sino también permite variar la compresión del motor de una manera sencilla mediante mecanismos simples.

A continuación, se presentan algunas imágenes de las pruebas realizadas para demostrar el funcionamiento de este sistema.

Ilustración 50 Configuración a 68.95 Kpa (10 PSI) de compresión.



Fotografía tomada por Amilcar Contreras

Ilustración 51 Configuración a 207 Kpa (30 PSI) de compresión.



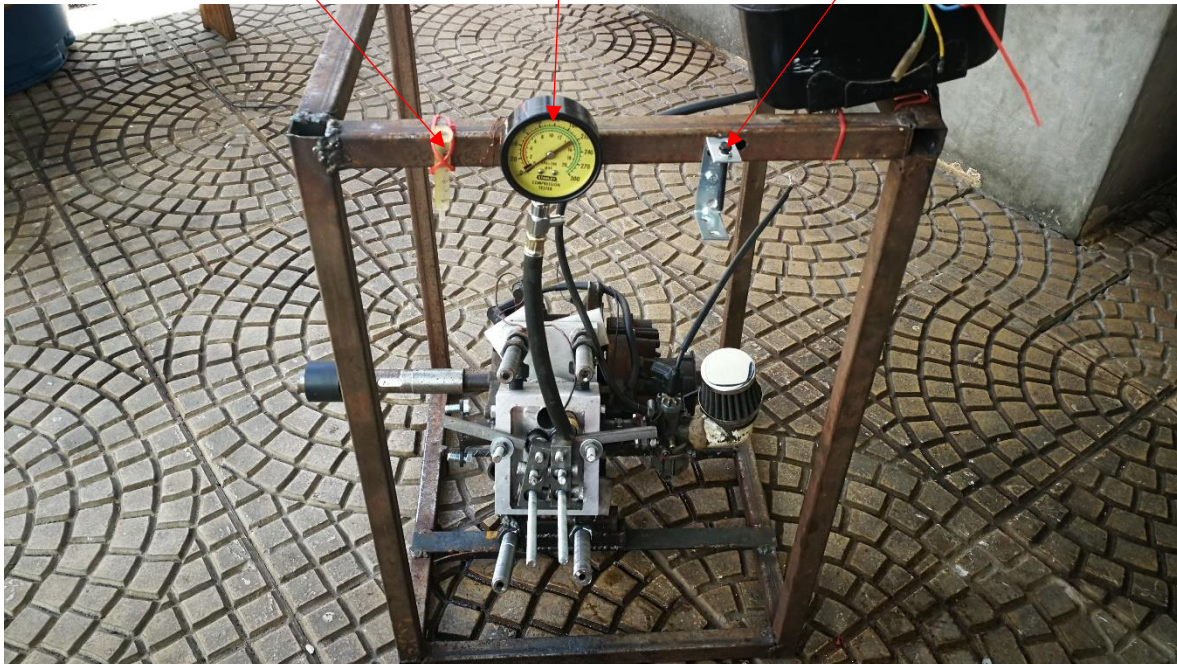
Fotografía tomada por Amilcar Contreras

Ilustración 52 Instrumentos de medición para monitoreo de funcionamiento.

Probeta para medición de
volumen de combustible
consumido

Manómetro

Acelerador



Fotografía tomada por Amilcar Contreras

Ilustración 53 Tacómetro laser.



Fuente: Ebay, (2018)

11. Conclusiones

1. Se logró desarrollar una culata móvil implementando un diseño cilíndrico que sella la recámara de combustión mediante anillos de acero como los utilizados en los pistones de los motores de combustión interna.
2. Los anillos de acero son capaces de sustituir el empaque de culata, ya que están diseñados para contener altas presiones a altas temperaturas al estar en contacto con superficies pulidas.
3. La actual culata plana puede ser sustituida por una culata con forma cilíndrica, toda vez, se adapten las válvulas y la bujía al espacio disponible.

12. Recomendaciones

1. Utilizar, para la culata cilíndrica, las mismas tolerancias dimensionales que las establecidas para el pistón del motor a modificar.
2. Al llevar la culata a una posición donde se desea crear una alta relación de compresión, tener cuidado de que esta no choque con el pistón del motor, ya que podría provocar la falla absoluta de este.
3. Implementar un sistema de refrigeración cuando se desee poner a trabajar este motor por largos periodos de tiempo.
4. Evaluar qué tan indispensable es la lubricación en los anillos de acero de la culata propuesta, para el correcto funcionamiento frente a largos ciclos de trabajo.
5. Evaluar materiales autolubricados para los anillos de la culata propuesta.
6. El sistema que coordina el movimiento de la culata con los balancines y el árbol de levas debe ser sometido a pruebas para garantizar el correcto funcionamiento.
7. Evaluar la implementación de un sistema hidráulico para variar la altura de la culata y que permita coordinar los balancines con el árbol de levas.
8. Los materiales utilizados para la construcción de este prototipo, pueden ser reevaluados para encontrar los que mejor se adapten a las necesidades de la aplicación.
9. El principio de funcionamiento que se plantea en este informe puede ser aplicado en múltiples equipos, como compresores, motores estacionarios, entre otros.
10. Se puede realizar pruebas con distintos combustibles para estudiar los efectos que esto provoca en el diseño propuesto.

13. Referencias bibliográficas

- Así funciona el motor de compresión variable de Infiniti. (s.f.). Recuperado el 1 de agosto de 2016, de <http://soymotor.com/coches/noticias/asi-funciona-el-motor-de-compresion-variable-de-infiniti-923803>
- Beer, F. P., Johnston Jr., R., & DeWolf, J. T. (2009). *Mecánica de Materiales*. Distrito Federal: Mac-Graw-Hill.
- Beha-Amprobe-Tach 20 contactos y sin contacto tacómetro. (s.f.). Recuperado el 20 de Junio de 2017, de <https://www.ebay.es/itm/Beha-amprobe-TACH20-Contact-And-Non-contact-Tachometer-/132369617457>
- Cengel, Y. A., & Boles, M. A. (2011). *Termodinámica*. Distrito Federal: Mac-Graw-Hill.
- Cómo funciona el motor Infiniti VC turbo. (s.f.). Recuperado el 4 de julio de 2017, de <https://www.youtube.com/watch?v=1ZG-iqpfw9I>
- Conoce nuestro nuevo motor VC-Turbo. (s.f.). Recuperado el 4 de julio de 2017, de <https://www.youtube.com/watch?v=0lu7B1PBvSQ>
- Ficha técnica Aluminio 7075. (s.f.). Recuperado el 4 de julio de 2017, de www.delmetal.com.ar/productos/aluminio/7075.pdf
- Ficha técnica hierro fundido V2. (s.f.). Recuperado el 4 de julio de 2017, de <http://www.acerosbravo.cl/imgmodulo/Imagen/127.pdf>
- FRESADORA. (s.f.). Recuperado el 25 de febrero de 2018, de <http://www.directindustry.es/prod/kent-industrial/product-18544-903601.html>
- García Loaiza, R. E. (2016). *Trabajo de Graduación titulado "ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD PARA EL DISEÑO, ADAPTACIÓN Y CONVERSIÓN DE UN MOTOTAXI CON MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA A MOTOR ELÉCTRICO"*. Guatemala.
- Harry Crouse, W. (1993). *Mecánica del automovil* (3 ra. ed.). Barcelona: Marcombo S.A.
- Historia de la fresadora. (s.f.). Recuperado el 25 de febrero de 2018, de <https://historia-biografia.com/historia-de-la-fresadora/>
- Monroy Marquez, D. A. (2017). *Trabajo de Graduación titulado "ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA MEDIANTE EL APROVECHAMIENTO DEL GRADIENTE TÉRMICO ENTRE LAS AGUAS SUPERFICIALES Y LAS PROFUNDAS DE LA ZONA MARÍTIMA EXCLUSIVA DE GUATEMALA"*. Guatemala.
- Motor MCE-5 VCRI. (s.f.). Recuperado el 5 de marzo de 2018, de www.mce-5.com

No olvidemos el brillante motor de compresión variable de Saab, cuyo desarrollo fue paralizado por General Motors. (s.f.). Recuperado el 6 de julio de 2017, de <https://www.diariomotor.com/noticia/saab-motor-relacion-compresion-variable/>

Principios de torneado. (s.f.). Recuperado el 25 de febrero de 2018, de <http://www.epetrg.edu.ar/apuntes/principiosdetorneado.pdf>

Relación de compresión. (s.f.). Recuperado el 4 de Julio de 2017, de www.fullmecanica.com

saab svc engine concept promo 2000. (s.f.). Recuperado el 6 de julio de 2017, de <https://www.youtube.com/watch?v=oxR-3Un6WkU>

TORNO. (s.f.). Recuperado el 25 de febrero de 2019, de <http://www.metalmecanica.com/temas/Torno-de-alta-velocidad-Sun-Master-RML+106286>

Toyota patent a variable compression engine. (s.f.). Recuperado el 5 de marzo de 2018, de <http://soymotor.com/coches/noticias/toyota-patenta-motor-compresion-variable-939034>

Tutorial Nº 63 (La potencia y el par motor, estudio de la cadena cinemática, estabilidad en los vehículos.). (s.f.). Recuperado el 5 de marzo de 2018, de <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn63.html>

14. Anexos

14.1 Abreviaturas y símbolos

®	Marca Registrada
Ø	Diámetro
r	Relación de compresión
°C	Grado centígrado
PSI	Libras por pulgada cuadrada
AISI	Instituto Americano de Hierro y Acero
CAD	Diseño Asistido por Computadora
RPM	Revoluciones Por Minuto
Seg	Segundo o segundos
cc	Centímetro cubico
ml	Mililitro
ft	Pies (Medida de longitud)
m	Metros
MPa	Mega Pascales
GPa	Giga Pascales
W/m °C	Watt sobre metro por grado centígrado (conductividad térmica)
C	Carbón
Si	Silicio
Mn	Manganeso
Mg	Magnesio
S	Azufre
P	Fósforo
Fe	Hierro
Ni	Níquel
Cr	Cromo

14.2 Vocabulario

Actuador	Dispositivo que, mediante energía hidráulica, neumática o eléctrica, puede realizar un trabajo.
Árbol de Levas	Eje que contiene una o más levas utilizado para coordinar movimiento.
Balancín	Pieza que gira alrededor de un eje transformando un movimiento lineal en angular.
Bujía	Es un dispositivo que se encarga de generar la chispa necesaria para iniciar la reacción de combustión en los motores de combustión interna a gasolina o de combustibles semejantes.
Broca	Herramienta de corte utilizada para realizar orificios.
Cigüeñal	Elemento que consta de un eje central y un eje excéntrico. La función de esta pieza es transformar un movimiento lineal en un movimiento angular.
Comburente	Tipo de sustancia que permite generar una reacción de combustión.
Combustión	Reacción química entre un combustible y un comburente, generada por una fuente de calor.
Conductividad Térmica	Propiedad física de los materiales que mide la capacidad que estos tienen para transmitir calor de un punto a otro.
Culata	Es una pieza de metal que cumple la función de cerrar la parte superior de los cilindros de un motor de combustión interna, logrando una recámara donde se llevará a cabo la combustión.
Dilatación	Cambio del volumen de un cuerpo en consecuencia al cambio de temperatura.

Fresado	Maquinado por arranque de viruta, utilizando una herramienta de corte giratoria capaz de trabajar en los 3 ejes disponibles.
Espectrometría	Técnica utilizada para la identificación de elementos, mediante la utilización de frecuencia electromagnética.
Leva	Elemento mecánico que mediante un seguidor transforma el movimiento giratorio en rectilíneo.
Manómetro Recama	Ducto que conecta la recámara de combustión con un manómetro.
Pistón	Pieza de los motores de combustión interna con forma cilíndrica; es encargada de convertir la presión de la recámara de combustión en fuerza.
Pivoteo de Balancín	Movimiento angular del balancín alrededor de un eje
Punzón	Herramienta de alta dureza utilizada para realizar marcas o muescas en otra pieza.
Prototipo	Máquina, equipo o elemento en prueba, utilizado para estudiar y perfeccionar el diseño, que posteriormente, será producido y comercializado.
Ralentí	Estado de reposo a mínimas revoluciones por minuto de un motor de combustión interna.
Recámara de combustión	Espacio donde se lleva a cabo la reacción de combustión.
Termodinámica	Ciencia que estudia la interacción entre el calor, el espacio y los cuerpos.

14.3 Herramientas, Maquinados y Materiales

18.3.1 Herramientas

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	COSTO TOTAL (Q)	
Juego de machuelo 5/16"	1 unidad	Q	37.50
Juego de machuelo 5/8"	1 unidad	Q	89.36
Broca HSS 1/4"	1 unidad	Q	14.25
Broca HSS 9/16"	1 unidad	Q	51.00
Juego Brocas titanio	1 unidad	Q	260.00
Disco de corte inox 4 1/2"	1 unidad	Q	10.10
Juego de machuelo 14 mm	1 unidad	Q	89.98

TOTAL	Q 552.19
--------------	-----------------

18.3.2 Maquinados

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	COSTO TOTAL (Q)	
Fabricación de válvulas	1 unidad	Q	700.00
Fresados varios	1 unidad	Q	400.00
Asientos de válvulas	1 unidad	Q	450.00
Camisa de cilindro	1 unidad	Q	650.00

TOTAL	Q 2,200.00
--------------	-------------------

18.3.3 Materiales

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	COSTO TOTAL (Q)
Barra redonda aluminio 6061-T651 ½"	4 piezas de 1"	Q 3.25
Barra redonda aluminio 6061-T651 ¾"	2 piezas de 2"	Q 6.98
Barra redonda aluminio 6061-T651 5/8"	4 piezas de 3"	Q 11.70
Barra redonda aluminio 6061-T651 ½"	2 piezas de 2"	Q 2.93
Barra redonda aluminio 6061-T651 3 ½"	1 piezas de 60 mm	Q 86.13
Barra cuadrada acero 1018 ¾"	2 piezas de 61 mm	Q 9.28
Barra redonda acero inox 304 ¾"	2 piezas de 150 mm	Q 32.48
Barra cuadrada acero 1018 1"	4 piezas de 1 3/16"	Q 21.00
Barra cuadrada acero 1018 3/8"	2 piezas de 3"	Q 3.35
Barra redonda aluminio 6061-T651 3/4"	1 pieza de 1.5"	Q 4.65
Barra perforada acero st52 152 mm X 100 mm	1 pieza de 3/8"	Q 45.52
Barra perforada acero st52 102 mm X 50 mm	1 pieza de 3/8"	Q 25.15
Barra perforada acero st52 50 mm X 32 mm	1 pieza de 3.75"	Q 26.88
Barra redonda acero 1045 1 ¼"	1 pieza de 7 ¾"	Q 18.95
Barra redonda acero 1018 1 ½"	4 piezas de 1 ½"	Q 23.27
Plancha Nylon 10 mm X 2 ¼" X 11"	1 pieza	Q 27.23
Barra redonda Nylon MSO2 2"	1 pieza de 1.5 "	Q 16.40
Barra redonda aluminio 6061 5/8"	2 piezas de 1"	Q 3.00
Tornillo de centro 5/8" X 12"	4 unidades	Q 228.00
Tubo cuadrado CH 18	1 unidad	Q 67.10
Tornillo hexagonal 5/8" X 1 ½"	4 unidades	Q 38.56
Coupling ¼"	1 unidad	Q 15.00
Tuerca hexagonal 5/8"	2 unidades	Q 4.50
Tornillo allen 5/8" X 2 ½"	1 unidad	Q 5.00
Tornillo hexagonal 5/16" X 1"	4 unidades	Q 4.00
Tuerca hexagonal negra 5/8"	24 unidades	Q 30.00
Cable para candela	1 unidad	Q 50.00
Pin de seguridad	4 unidades	Q 1.20
Tornillo 5/16" X 1 1/2"	2 unidades	Q 2.00
Barra roscada 5/16" X 36 "	1 unidad	Q 22.72
Cadena industrial paso 1/4"	1 unidad	Q 120.00
Kit de Anillos para pistón	2 unidades	Q 275.76

TOTAL

Q 1,231.99

La inversión total realizada fue de **Q3,984.18** quetzales.