



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE  
FACULTAD DE EDUCACIÓN CIENCIA Y TECNOLOGÍA  
CARRERA INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ**

**TEMA:  
MAQUETA DIDÁCTICA DE UN MOTOR ROTATIVO MAZDA 13B.**

**PLAN DE TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL  
TÍTULO DE INGENIEROS EN MANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ**

**AUTORES:**

Jiménez Benavides Leonel Santiago  
Madera Guerrero Fabián Rodrigo

**DIRECTOR:**

Ing. Diego Pineda

**IBARRA- 2015**

DEDICATORIA

CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR

Ingeniero

Carlos Segovia

**COORDINADOR DE LA CARRERA DE INGENIERÍA EN  
MANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ**

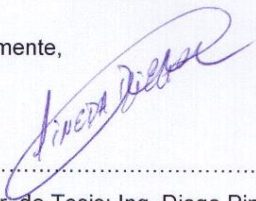
Presente

De mi consideración:

El presente tiene la finalidad de poner en conocimiento el fin del desarrollo teórico - práctico del tema de tesis **MAQUETA DIDÁCTICA DE UN MOTOR ROTATIVO MAZDA 13B**, de los autores: Jiménez Benavides Leonel Santiago, Madera Guerrero Fabián Rodrigo. El mismo que solicito fecha para su previa defensa ante los profesores, Msc. Fredy Rosero, Msc. Alex Calderón e Ing. Carlos Mafla. Tribunal considerado para la obtención del título de Ingeniería en Mantenimiento Automotriz

Esperando contar con una respuesta favorable, le reitero mi más sincero agradecimiento.

Atentamente,



.....  
Director de Tesis: Ing. Diego Pineda

Fabián Rodrigo Madera Guerrero

## **DEDICATORIA**

Con todo mi cariño y amor para aquellas personas que hicieron todo en la vida, para ayudarme a cumplir mis sueños, por motivarme y darme la mano cuando sentía que el camino se terminaba. A ustedes, por siempre, mi corazón y agradecimientos.

Fabián Rodrigo Madera Guerrero

## **DEDICATORIA**

Este logro conseguido es para mis padres, quienes me dieron su apoyo en todo momento y estuvieron cuando el camino se tornó difícil. A ustedes, quienes dieron todo por darme una educación, y a la vez me enseñaron que no hay nada más satisfactorio que lograr un triunfo por mérito propio. Gracias por todo.

Leonel Santiago Jiménez Benavides

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios, por darme la oportunidad de vivir esta época de desarrollo tecnológico.

A mis padres IGNACIO JIMÉNEZ Y GLORIA BENAVIDES, gracias a vuestro apoyo incondicional he logrado culminar una gran meta en mi vida profesional, lo cual es un símbolo de dedicación y perseverancia que me llena orgullo, a la vez, aumentan las ganas de seguir luchando por mis sueños, de la manera como ustedes me han enseñado, con esfuerzo y dedicación.

A mis hermanos Edison, Omar, Carolina, gracias por el apoyo brindado, no los defraudé, y espero no hacerlo.

Leonel Santiago Jiménez Benavides

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios ya que él me otorgo la oportunidad de vivir en un mundo que avanza a pasos agigantados.

A mis hermanos y familiares, gracias a su apoyo incondicional he conseguido culminar una gran etapa y meta en mi vida, lo cual es un símbolo de dedicación, esfuerzo y trabajo, espero no defraudarlos a todos ustedes jamás en la vida.

Agradezco a mi madre que desde el cielo siempre me guio por el camino correcto y me enseñó a ser un luchador en la vida.

Fabián Rodrigo Madera Guerrero

## ÍNDICE

CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR.....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
DEDICATORIA.....	I
AGRADECIMIENTO.....	IV
ÍNDICE.....	VI
SUMMARY.....	XI
1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	1
1.1. ANTECEDENTES.....	1
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	2
1.3. DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	2
1.4. OBJETIVOS.....	3
1.5. Preguntas de investigación.....	3
1.6 . JUSTIFICACIÓN.....	4
CAPÍTULO II.....	5
2. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. EL MOTOR WANKEL.....	5
2.2. Principios de funcionamiento.....	5
2.3. Evolución termodinámica.....	6
2.4. Elementos del motor.....	10
2.5. Procesos y sistemas.....	19
2.7. Glosario de términos.....	30
CAPÍTULO III.....	21

3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	21
3.1 Tipo de investigación.....	21
3.2. Métodos de investigación. ....	22
CAPÍTULO IV.....	33
4. PROPUESTA.....	33
4.1. Introducción.....	33
4.2. Proceso de desarmado, identificación, diseño, adaptación y ensamblaje. ....	33
4.2.5. Proceso de ensamble.....	42
<i>Armado del motor</i> .....	48
<i>Sistema de refrigeración</i> .....	59
<i>Sistema de combustible</i> .....	60
<i>Sistema de encendido</i> .....	60
4.2.7. Diseño y construcción de mesa con apoyos para el montaje del motor rotativo Mazda 13B. ....	79
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	84
Conclusiones.....	84
Recomendaciones.....	86
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	87
ANEXO 1 .....	89
ANEXO 2.....	95
ANEXO 3.....	102

### ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Ventajas y desventajas. ....	28
Tabla 4.2. Despiece del motor .....	34
Tabla 4.3. Armado del motor Wankel Mazda 13B.....	48
Tabla 4.4. Equivalencia de grado térmico entre marcas de bujías.....	63
Tabla 4.5 Datos técnicos de motor Mazda 13B. ....	66
Tabla 4.6 Proceso de adaptación, diseño y montaje de los sistemas del motor Mazda 13B .....	67



Tabla 4.7. Pruebas realizadas en el motor rotativo Mazda 13B.....	70
Tabla 4.8. Análisis comparativo de partes del motor rotativo Mazda 13B.....	70
Tabla 4.9 Mediciones standard de distintas partes del motor rotativo Mazda 13B. ....	72
Tabla 4.10 Datos de materiales utilizados . ....	80
Tabla 4.11 Fuerzas aplicadas sobre el banco del motor rotativo.....	81

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Dr. Félix Wankel.....	5
Figura 2.2. Primer tiempo admisión .....	7
Figura 2.3. Segundo tiempo compresión .....	7
Figura 2.4. Tercer tiempo explosión.....	8
Figura 2.5. Cuarto tiempo escape.....	8
Figura 2.6. Ciclo teórico .....	9
Figura 2.7. Ciclo de trabajo.....	10
Figura 2.8. Conjunto Rotor Estator .....	11
Figura 2.9. Lumbreras.....	12
Figura 2.10. Estator .....	13
Figura 2.11. Tapa lateral.....	14
Figura 2.12. Rotor .....	15
Figura 2.13. Conjunto ápex y cimbra .....	16
Figura 2.14. Ápex.....	16
Figura 2.15. Conjunto de sellos en el rotor .....	17
Figura 2.16. Segmentos y pernos de anclaje.....	17
Figura 2.17. Cámara de combustión.....	18
Figura 2.18. Engranaje de transmisión .....	19
Figura 2.19. Piñón motriz del rotor.....	19
Figura 2.20. Doble cámara .....	20
Figura 2.21. Contrapesos del motor.....	20
Figura 2.22. Refrigeración del motor.....	22
Figura 2.23. Refrigeración por aire .....	23
Figura 2.24. Refrigeración del rotor .....	23

Figura 2.25. Bomba de presión de aceite .....	25
Figura 2.26. Bomba dosificadora de aceite.....	25
Figura 2.27. Trabajo del radiador del aceite .....	26
Figura 2.28. Segmentos de lubricación del rotor.....	27
Figura 2.29. Sistema de doble bujía .....	28
Figura 4.30. Rines del rotor .....	36
Figura 4.31. Limpieza de elementos del motor .....	36
Figura 4.32. Rectificado del estator .....	37
Figura 4.33. Tapas Laterales .....	38
Figura 4.34. Readecuación de rotores.....	39
Figura 4.35. Cigüeñal.....	39
Figura 4.36. Bomba de aceite .....	40
Figura 4.37. Múltiple de admisión .....	40
Figura 4.38. Carcasa (Housing) .....	41
Figura 4.39. Elementos de sellado del rotor .....	41
Figura 4.40. Carter de aceite .....	42
Figura 4.41. Rotores .....	43
Figura 4.42. Identificación segmentos de los rotores.....	44
Figura 4.43. Proceso de armado del rotor .....	45
Figura 4.44. Partes del rotor con sus sellos.....	46
Figura 4.45. Instalación de sellos de carcasa .....	47
Figura 4.46. Orden de apriete .....	51
Figura 4.47. Instalación de bomba de aceite .....	51
Figura 4.48. Partes de la bomba de aceite .....	52
Figura 4.49. Conjunto de balanceo del motor .....	53
Figura 4.50. Piñón de distribución y distribuidor de corriente .....	53
Figura 4.51. Coladera y cárter de aceite .....	54
Figura 4.52. Montaje de bomba de agua .....	55
Figura 4.53. Partes de la bomba de agua .....	55
Figura 4.54. Múltiples de admisión y escape .....	56
Figura 4.55. Carburador.....	57
Figura 4.56. Motor de arranque .....	58

Figura 4.57. Sistema de refrigeración .....	59
Figura 4.58. Orden de encendido .....	61
Figura 4.59. Diagrama eléctrico del sistema de encendido .....	61
Figura 4.60. Tipos de bujías de motores rotativos .....	62
Figura 4.61. Factor de seguridad de mesa de apoyo.....	83

## **RESUMEN**

Este Proyecto de Tesis que lleva por nombre “Maqueta didáctica de un motor rotativo Mazda 13B”, da a conocer los distintos elementos, por los cuales están formados este tipo de motores. De igual manera, se realiza un análisis de su funcionamiento, y a la vez, se hace una comparación con respecto a los motores de ciclo Otto, concluyendo con un análisis de ventajas y desventajas. En la reparación se expone el estado inicial en el que este motor fue adquirido, y además, se hace una comparación de parámetros iniciales y finales, pasando por un ensamble muy didáctico, en el cual se exterioriza cuáles fueron los contratiempos en detalle. También se explica el cómo y por qué se realizan los distintos procesos de: limpieza, readecuación, rectificación e identificación de los distintos elementos que posee este motor. Los sistemas que posee este motor son casi similares a los de un motor lineal a carburador, a excepción del sistema de encendido, que posee doble bujía para cada housing, y un distribuidor de corriente de doble platino, que le da a este motor un sistema de doble encendido, el cual lleva por nombre: Leading Side y Trailing Side. Terminando todo el proceso de armado, se creó unas tablas en las que se exponen los datos técnicos del motor rotativo Mazda 13B, como también los valores standard y mínimos de los distintos elementos para el ensamble. Terminando con el proceso de puesta en

funcionamiento del motor rotativo, se dan algunas recomendaciones a tomar en cuenta para su utilización.

## **SUMMARY**

This thesis Project is called “teaching of a Mazda 13B rotary engine model”, Aim to illustrate the different element formed by this type of engine. However, it will be pertinent to elucidate more on its module of operation and time taken by a Mazda 13B rotary engine to form these element in comparison to that of a motor cycle engines. Finally, we will discuss the advantages and disadvantages of both engine models, further investigation and comparison will be made basically using the parameters. (The first state of these engine) when there were newly purchased and aftermath performance rating when both engine models had undergone repairs, cleaning, retrofitting, rectification and identification processes. Although, these engines may differ with system components, but they share virtually similar linear motor carburetors, except for the ignition system which has dual spark plugs for each housing and distributor of double flow platinum, that gives the engine system dual ignition, which is the leading and trailing side of this analysis. A detail conclusion of the assembling process of Mazda 13B rotary engine, as well as the standard and minimum values of various component element used in assembling this engine, made it recommendable for efficient use.

## **INTRODUCCIÓN**

El estudio de los motores rotativos se ha dejado de lado porque salió de circulación hace algunos años y la información es reducida, pese a esto, se ha elaborado un documento sumamente explicito, ya que es un motor revolucionario porque trabaja con un régimen más bajo, genera una potencia mayor y la vibración es más baja al realiza un movimiento rotatorio.

La empresa automotriz Mazda ha mejorado este motor desde la década de los sesenta. Con el paso del tiempo y los avances tecnológicos se han logrado mejoras en la estanqueidad, como también en sus sistemas de refrigeración y lubricación. Los motores rotativos se han fabricado de diferentes tipos como son: 10A, 10B, 12A, 12B, 13B, como también a gasolina y a diésel sobrealimentados.

En este Proyecto de Tesis, se muestra como es el funcionamiento interno de un motor rotativo y las diferencias de funcionamiento, frente a uno de pistón alternativo. De igual manera, se identifica cada una de las partes por las que está compuesto y cuál es la función que realiza, como también cuáles son los parámetros de funcionamiento.

En el proceso de desarmado, rectificación, identificación de elementos y ensamblaje del motor, se logra apreciar el trabajo que realizan los distintos elementos del motor rotativo Mazda 13B, y también cómo es la manera correcta de realizar una reparación de estos elementos; a la vez que se da a conocer cuáles son las herramientas que se deben utilizar y la ubicación de cada elemento. Los distintos elementos internos del motor cuando se encuentran en óptimo funcionamiento, deben estar dentro de los parámetros que se dan a conocer algunas tablas del texto, en las cuales se detallan el valor estándar y límite de trabajo.

## **CAPÍTULO I**

### **1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

#### **1.1. ANTECEDENTES**

(Farell, 2009, págs. 3,4) En 1924, el alemán Félix Wankel comenzó a trabajar en la idea de un motor diferente, en el cual se sustituiría los pistones por un rotor, a sus 30 años de edad el Ingeniero Wankel obtuvo el apoyo de las autoridades nazis. El primer prototipo que utilizó un motor Wankel de un solo rotor, fue construido en 1957, sin embargo éste era bastante complicado, por este motivo un año más tarde NSU produjo el KKM, que tenía un cilindraje de 400 CC, este motor rotativo fue el primero de su clase que se montaba sobre un vehículo en esa época. Pero existían algunos problemas como: fuertes vibraciones a baja velocidad, alto consumo de aceite y una eficiencia reducida.

El Presidente de Mazda, Tsuneji Matsuda, vio el inmenso potencial de este motor y en julio de 1961 la compañía de Hiroshima firmó un tratado de cooperación con NSU, para el desarrollo de motores rotativos. También, Mercedes Benz, se interesó por esta planta motriz y desarrolló el prototipo C111, que no tuvo continuidad.

Después de un análisis minucioso del motor rotativo tipo Wankel, Mazda formó un grupo técnico de estudio que empezó a desarrollar su propia versión del motor Wankel. La primera unidad fabricada fue completada en noviembre de 1961, pero presentaba el mismo inconveniente que el NSU: las vibraciones del rotor dañaban las paredes de la cámara de combustión, la marca japonesa había probado motores de dos, tres y

cuatro rotores, todos tenían mejores cifras de par y reducían las vibraciones de la versión mono-rotor. El motor rotativo ha sido usado en automóviles, así como también algunas aplicaciones experimentales aeronáuticas.

## **1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Los motores rotativos son generadores de una gran potencia, en la actualidad son utilizados en automóviles de alta gama y competencia, su movimiento rotacional, diseño y menos piezas móviles hacen que alcance altas revoluciones y grandes velocidades.

Este tipo de motores, hoy en día, no es común encontrar en óptimas condiciones; por este motivo, se dotará de una maqueta didáctica de un motor Mazda 13B a la Universidad Técnica del Norte, que servirá para extender conocimientos, tanto a: estudiantes, profesores, gremios automotrices, establecimientos técnicos, entre otros.

### **1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

¿Cómo elaborar una maqueta de un motor rotativo Mazda 13B?

### **1.3. DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **1.3.1. Temporal**

Este Proyecto se llevó a cabo desde el mes de octubre del 2012 hasta el mes de enero del 2015.

#### **1.3.2. Espacial**

Este Proyecto se realizó en la provincia de Pichincha, ciudad de Sangolquí, en el taller del Ing. Cristóbal Arboleda.



### **1.3.3. Tecnológica**

Reparación, adaptación y montaje de un motor rotativo Mazda 13B, a un banco didáctico.

### **1.3.4. Teórica**

Estudio de los diferentes sistemas que posee el motor Mazda 13B

## **1.4. OBJETIVOS**

### **1.4.1. Objetivo general**

Realizar una maqueta didáctica para un motor rotativo Mazda 13B.

### **1.4.2. Objetivos específicos**

- Realizar una investigación de los motores rotativos a carburador.
- Poner a punto el motor rotativo Mazda 13B, tomando en cuenta los parámetros iniciales y finales.
- Realizar pruebas al motor rotativo Mazda 13B.
- Diseñar base soporte para el motor rotativo Mazda 13B, en el programa de diseño mecánico inventor.

## **1.5. Preguntas de investigación**

¿Cómo es el funcionamiento de los motores rotativos?

¿Qué desgates se toma en cuenta para reparar un motor rotativo?

¿Qué pruebas se pueden realizar para que los estudiantes se sientan familiarizados con este motor?

¿Cómo diseñar la maqueta para que resista las vibraciones del motor?

## **1.6. JUSTIFICACIÓN**

Una vez desarrollado este Proyecto, será de mucha ayuda como banco didáctico para el aprendizaje de los estudiantes en la materia de motores a gasolina, debido a que es un excelente aporte al conocimiento acerca de los motores térmicos.

Es importante para los estudiantes de la carrera conocer acerca de los motores rotativos, para así tener un conocimiento práctico acerca de su funcionamiento y formar profesionales con criterio, y a la vez, que tengan la capacidad de tomar decisiones frente al mantenimiento de uno de estos motores, ya que en la vida laboral se puede encontrar con algunos automóviles, que dispongan de este motor, tales como: los vehículos de alta gama de Mazda (RX7, RX8, RX9, MX5).

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1. EL MOTOR WANKEL

Es llamado motor rotativo o Wankel en honor a su creador, el Dr. Félix Wankel, quien se muestra en la figura 1, para cumplir con un ciclo completo realiza los 4 tiempos al igual que un motor Otto, pero de una manera totalmente diferente.

(tallerenred.es, 2012) “Este motor desarrolla cada tiempo en un punto específico, gracias a sus aristas que permiten un cierre hermético, de tal modo que las 3 caras del rotor equivalen a 3 pistones, debido al movimiento rotatorio se reduce notablemente las pérdidas de potencia en el tiempo de compresión”.



**Figura 2.1. Dr. Félix Wankel**  
**Fuente.** (Miguel, 2009)

#### 2.2. Principios de funcionamiento

El motor rotativo está conformado de una carcasa en forma de epitrocoide y un rotor triangular que gira internamente. El alojamiento entre el rotor y la pared de la carcasa se conoce como cámaras de combustión, y la presión de la expansión de los gases provocan el giro del rotor, con la

finalidad que el rotor gire, realizando los cuatro tiempos que son: admisión, compresión, combustión y escape.

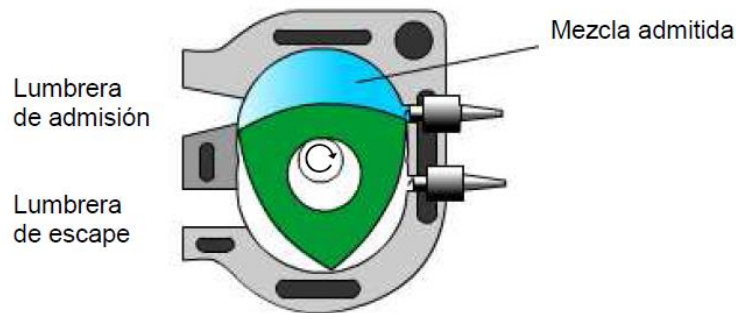
Para mantener la estanqueidad entre cámara y cámara, posee segmentos llamados ápex (segmentos esquineros del rotor), que se alojan en los vértices del rotor, que siguen el contorno de la epitrocoide del motor. Un mecanismo de engranes guían la órbita del rotor triangular, el engranaje de fase consiste en un engranaje de dientes en el interior del rotor y un engranaje exterior de dientes fijos en un eje excéntrico.

(Farell, 2009, págs. 12,13) “La relación entre dientes es de 3:2 y una relación de transmisión de 3:1, es decir si el rotor gira una vuelta, el eje excéntrico gira tres vueltas, con el motor funcionando a 3000 rpm, el rotor girará a 1000 rpm, generalmente las relaciones de transmisión que se utilizan son: 45/30, 33/22 y 30/20”.

### **2.3. Evolución termodinámica**

A continuación se muestran imágenes con las cuales se puede observar cómo se producen los cuatro tiempos en una de las cámaras de combustión, que ayudará a entender su funcionamiento y a apreciar los distintos elementos que intervienen.

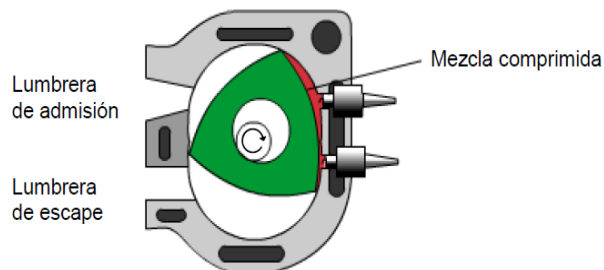
(Farell, 2009, págs. 8-10) “En un motor Otto, el mismo volumen del cilindro se realiza sucesivamente en cuatro diferentes tiempos. El motor Wankel desarrolla los cuatro tiempos en lugares distintos de la carcasa, es como tener un cilindro para cada uno de los tiempos con el rotor girando continuamente”.



**Figura 2.2.** Primer tiempo admisión

**Fuente.** (Farell, 2009)

El tiempo de admisión empieza cuando el vértice del rotor descubre la lumbrera de admisión, en ese instante, el volumen de la cámara de combustión aumenta aspirando la mezcla estequiometria de aire-combustible. Cuando el otro vértice del rotor ha pasado por la lumbrera de admisión el volumen contenido queda aislado y comienza la compresión.



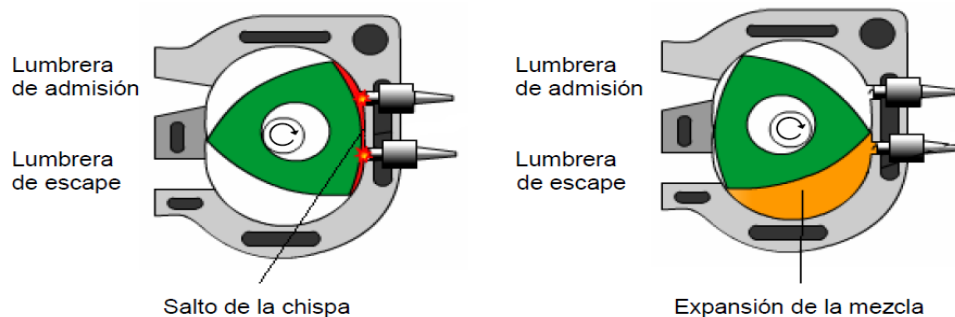
**Figura 2.3.** Segundo tiempo compresión

**Fuente.** (Farell, 2009)

A medida que el rotor sigue su movimiento dentro de la carcasa, el volumen contenido en la cámara de combustión se hace cada vez más pequeño, y la mezcla aire-combustible se comprime. En el momento en que la cara del rotor queda frente de las bujías, llega al punto máximo de compresión.

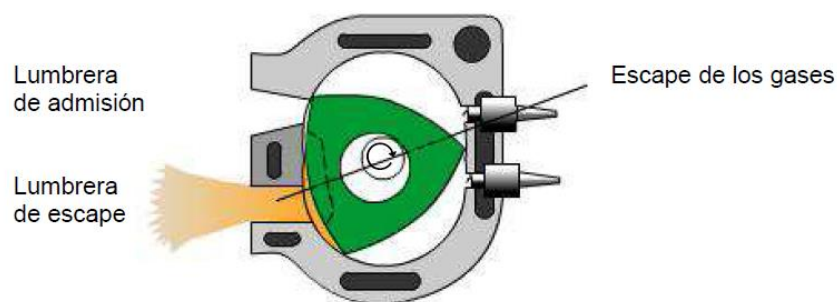
El rotor sigue la pared del estator, las cámaras de combustión están alojadas en cada una de las caras de los rotores. Estas cavidades presentan un inconveniente, permiten la comunicación de los conductos de admisión y escape (semejante al de los motores de dos tiempos). A pesar de todo, las relaciones de compresión con las que se trabaja

habitualmente van desde 8:1 hasta 9,5:1, para esta última se obtiene el consumo mínimo.



**Figura 2.4.** Tercer tiempo explosión  
**Fuente.** (Farell, 2009)

En este punto se genera el salto de la chispa, seguido de la combustión de la mezcla. Los motores rotativos poseen dos bujías, las que llevan por nombre, Trailing side, que entrega una chispa retrasada inflamando la mezcla y Leading Side, que emite una chispa adelantada. Esto se debe a que la cámara de combustión es larga y es difícil quemar toda la mezcla con una sola bujía, además este es el único tiempo en el que se generan: fuerza, trabajo y movimiento del motor.

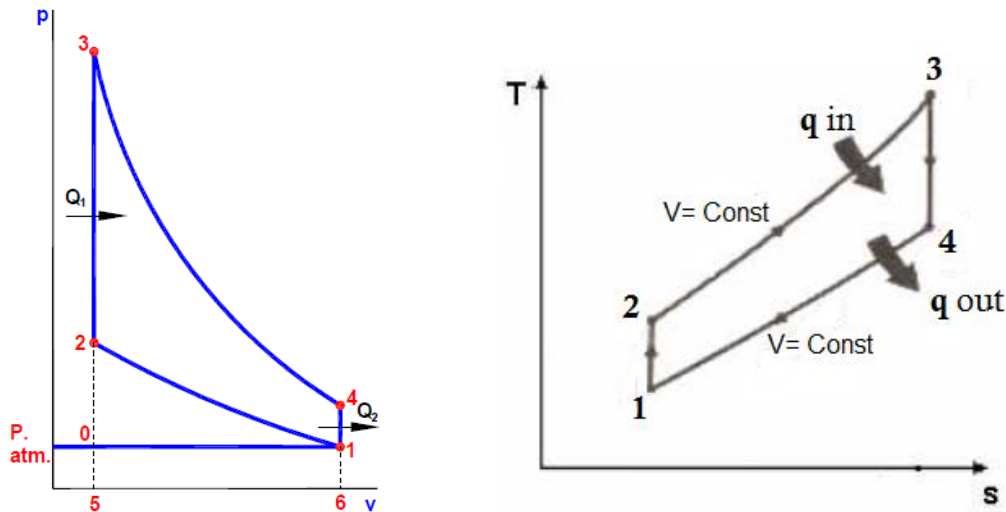


**Figura 2.5.** Cuarto tiempo escape  
**Fuente.** (Farell, 2009)

El tiempo de escape inicia cuando uno de los vértices entra en contacto con lumbrera de escape, y termina cuando el vértice posterior de la cara sella la lumbrera de admisión. Por medio de este ducto se expulsan los gases resultantes de la combustión hacia el exterior, siguiendo el proceso de salida como es el tubo de escape, silenciador y posteriormente la atmosfera. De esta manera se termina con un ciclo más de trabajo. Se

debe acotar que la relación entre dientes es de 3:2, entre el rotor y el cigüeñal, por tanto, por un ciclo completo del rotor o  $360^\circ$ , el cigüeñal gira  $1080^\circ$ .

A continuación se describe cómo se realiza el ciclo de trabajo de motor Wankel en un diagrama termodinámico P-V:



**Figura 2.6.** Ciclo teórico  
**Fuente.** (mgallegosantos, 2010)

➤ Admisión Isobara.

Donde la aspiración de mezcla es a presión constante o trabaja a presión atmosférica durante el proceso de admisión, los puntos entre los que se identifican son: 0, 1, 6, 5.

➤ Compresión Adiabática.

El fluido interno no intercambia calor con el medio exterior, por lo que, la transformación es considerada a calor constante, el trabajo en el diagrama es entre los puntos 1-2-5-6-1.

➤ Transformación Isocora.

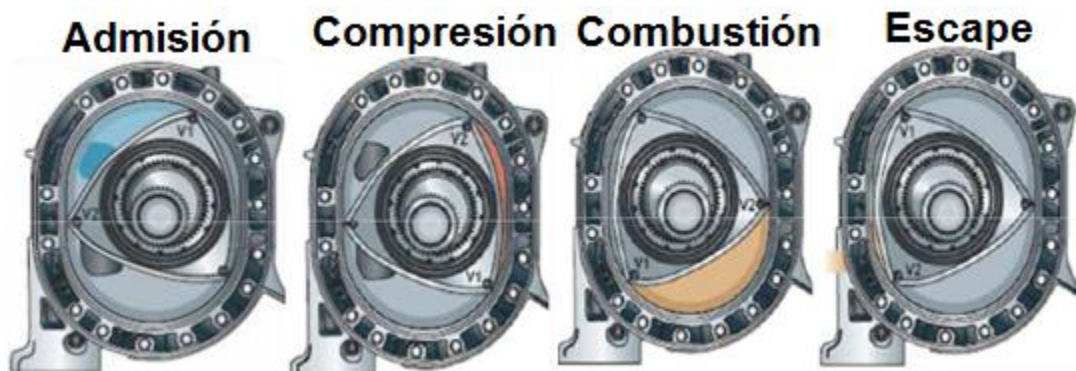
Al saltar la chispa de la bujía se inflama rápidamente la mezcla aire-combustible comprimida hasta P2, lo que produce una cantidad de calor Q1, al ser tan rápida la transformación el rotor no ha girado y el volumen de la cámara permanece constante.

➤ Expansión Adiabática.

A la vez, se produce un trabajo adiabático, debido a la rapidez con que gira el rotor y los gases quemados no tienen tiempo para intercambiar calor con el exterior, es decir, sufren una transformación a calor constante.

➤ Escape Isocora

Al descubrirse rápidamente la lumbrera de escape, se expulsan los gases quemados luego de la combustión sin dificultad, y a la vez, existe una pérdida de calor  $Q_2$ , con lo cual, se considera que es a volumen constante. De esta manera, el calor que no se ha convertido en trabajo es cedido a la atmósfera.



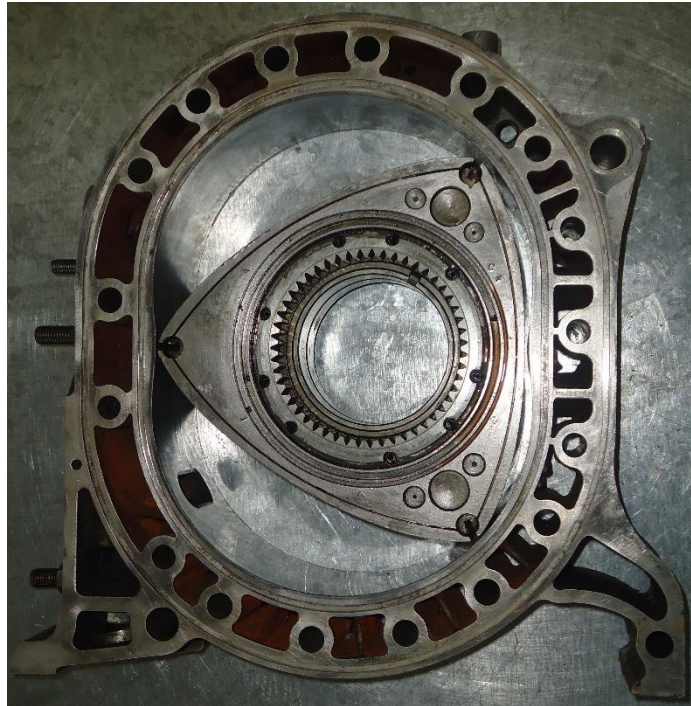
**Figura 2.7.** Ciclo de trabajo  
**Fuente.** (mgallegosantos, 2010)

## 2.4. Elementos del motor

### 2.4.1. Trocoide

El trocoide es la forma geométrica que posee la carcasa, a la cual debe adaptarse el rotor. La carcasa posee ductos para la refrigeración, los cuales tienen la función de hacer recircular el líquido refrigerante, con la finalidad de evitar un sobrecalentamiento en el motor.



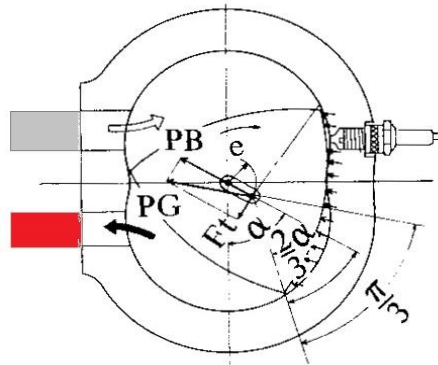


**Figura 2.8.** Conjunto Rotor Estator  
*Fuente. Autores, 2014*

#### **2.4.2. Lumbreras de admisión y escape**

Se encuentran situadas en un costado de la carcasa y tiene la función de:

- *Lumbrera de admisión.*- Permite el ingreso de la mezcla estequiométrica de aire y combustible, que previamente es dosificado por el carburador.
  
- *Lumbrera de escape.*- Da paso a la salida de gases quemados que resultan de la combustión.



**Figura 2.9.** Lumbreras  
**Fuente.** (YAMAMOTO, 1987)

### 2.4.3. Estator

El estator o housing es la cavidad donde se aloja el rotor; se podría decir que actúa como el bloque de cilindros, si lo comparamos con un motor de pistón alternativo, el motor rotativo tiene para cada tiempo su lugar específico de trabajo. Se debe aclarar que para un rotor debe existir un estator.

(Farell, 2009, pág. 16) “El estator se construye de aleaciones de aluminio, posteriormente se recubre con una capa de acero, y luego se recubre nuevamente con una capa de cromo en la superficie de la pista”.

El revestimiento que se le da al estator, es debido a que está sometido a desgaste por el constante giro del rotor, debe ser diseñado para soportar cargas radiales así como elevados gradientes de temperatura y presión. Lastimosamente, no se puede rectificar o volver a cromar el estator, debido al desgaste la única opción es reemplazarlo. El material con que se diseña el estator debe asegurar un buen período de vida útil, debido a los esfuerzos que está sometido y a la vez debe proporcionar:

1. Resistencia suficiente ante los esfuerzos causados por la combustión.
2. Asegurar la resistencia provocada por las tensiones térmicas, como también las condiciones de lubricación y refrigeración.

3. Mantener la estanqueidad entre cámara y cámara mediante la no deformación de la superficie interior del estator.



**Figura 2.10.** Estator  
**Fuente.** Autores, 2014

#### **2.4.4. Estator y tapas laterales**

Las tapas deben poseer un paralelismo total, puesto que la carcasa se encuentra entre ellas y el rotor gira internamente. Por este motivo la superficie debe ser lisa en su totalidad, de manera que se facilite el deslizamiento de los sellos esquineros a apex seals y se asegure la estanqueidad. Las tapas laterales cumplen la función de canalizar y direccionar los ductos de refrigeración y lubricación, que circulan a través del motor.

(Farell, 2009, pág. 17) “Para motores de bajas prestaciones, las tapas laterales se fabrican de fundición sin tratamiento superficial, pero si el motor está sometido a cargas más elevadas, a la superficie se le da un endurecimiento por inducción y nitruración”.



**Figura 2.11.** Tapa lateral  
**Fuente.** Autores, 2014

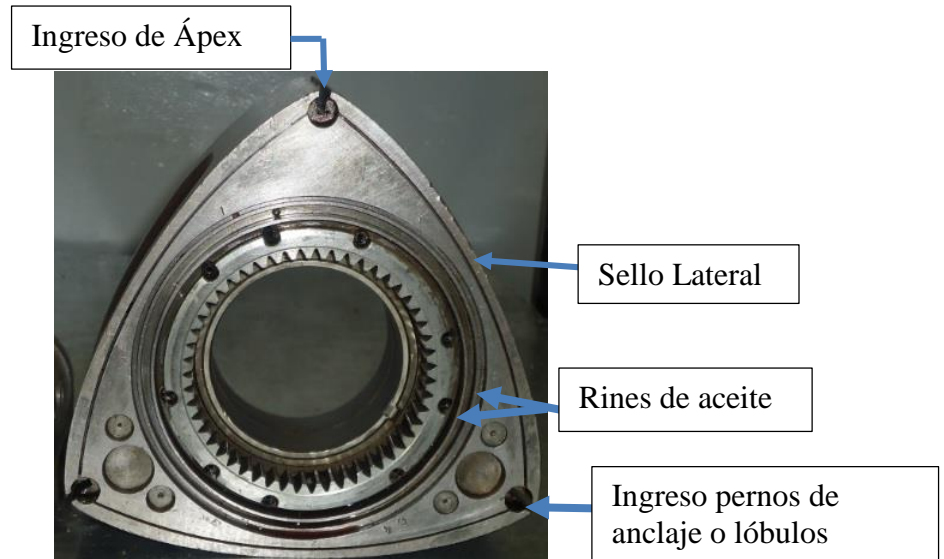
#### **2.4.5. Rotor**

El rotor realiza los 4 tiempos en el interior de la carcasa (housing), con el objetivo de generar movimiento y trabajo, está diseñado para adaptarse a la geometría de la epitrocoide que forma la carcasa, a la vez debe poseer una gran hermeticidad para evitar fugas de gases y pérdidas de compresión.

(Farell, 2009, pág. 14). “Generalmente la holgura existente entre la carcasa y el rotor es de 0.5mm, tomando en cuenta las deformaciones térmicas y tolerancia de fabricación”.

Por lo general, en el diseño del rotor se trata en lo posible de alivianar pesos, por este motivo el rotor se lo construye de hierro fundido dúctil, logrando con esto una mejor construcción y un enfriamiento forzado en su interior. Actualmente en la construcción de rotores se utiliza aleaciones de aluminio. El material a emplear en la fabricación del rotor debe cumplir los siguientes requisitos:

- ✓ Gran resistencia a la fatiga en alta temperatura.
- ✓ Bajo coeficiente de dilatación térmica.
- ✓ Gran resistencia al desgaste.
- ✓ Buenas características de maleabilidad.
- ✓ Buenas propiedades para la mecanización.



**Figura 2.12.** Rotor  
**Fuente.** Autores, 2014

#### **2.4.6. Mecanismo de sellado**

(Diego Rivera, 2009). “Los mecanismos de sellado aseguran que no existan filtraciones en las cámaras de combustión y además evitan pérdidas de compresión. El diseño de los sellos debe asegurar que los gases y fluidos que ingresan en la cámara de combustión permanezcan en su sitio”. Para conseguir esto, el material a elegir debe ser capaz de soportar elevadas temperaturas y presiones de trabajo. En el motor rotativo, el sistema que asegura la estanqueidad está formado por tres tipos de segmentos:

1. Segmentos periféricos.
2. Segmentos laterales.
3. Pernos de anclaje o lóbulos.

➤ **Los segmentos periféricos (Ápex).**

Actúan como un sello que mantiene la hermeticidad entre cámara y cámara, de esta manera se mantienen los gases en un solo sitio evitando filtraciones. Antes que el ápex ingrese en el canal del rotor se ingresa una cimbra que realiza la función de un resorte, de manera que el ápex esté siempre en contacto con la superficie cromada del estator. En la actualidad, para que los sellos mantengan una hermeticidad mayor son fabricados con aleaciones de carbono.



**Figura 2.13.** Conjunto ápex y cimbra  
**Fuente.** Autores, 2014



**Figura 2.14.** Ápex  
**Fuente.** Autores, 2014

➤ **Los segmentos laterales**

Son láminas que mantienen la estanqueidad axial en el rotor, de este modo se asegura un total hermetismo con las tapas laterales. Cada rotor posee 6 segmentos laterales, 3 por cada cara. También estos segmentos poseen cimbras, las cuales tienen forma de zig - zag, y cumplen la función de mantener el segmento presionado contra la superficie lateral. Por esta razón, la carcasa lateral debe ser lisa en su totalidad y poseer un

total paralelismo para mantener un área de contacto en todos los puntos a lo largo e segmento.

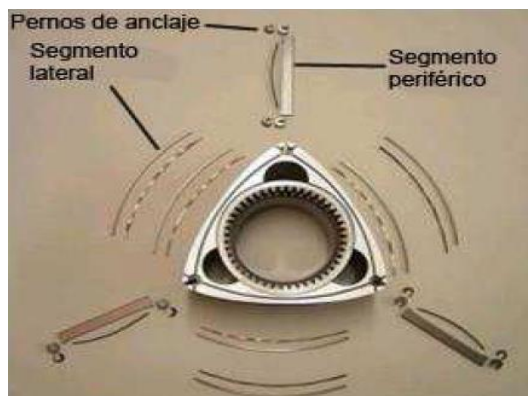
(Farell, 2009, pág. 21). “Generalmente se deja una tolerancia de aproximadamente 0.05 – 0.15 mm en la unión con el sello de esquina, permitiendo posibles expansiones térmicas”.



**Figura 2.15.** Conjunto de sellos en el rotor  
**Fuente.** (YAMAMOTO, 1987)

### ➤ Los pernos de anclaje o lóbulos

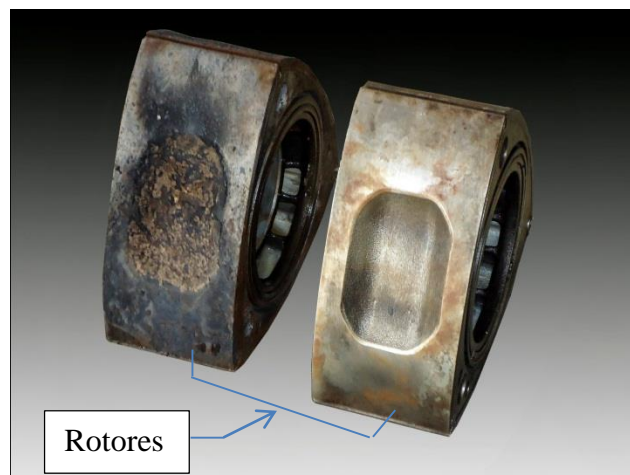
Son elementos que mantienen fijos tanto a los sellos radiales o ápex y a los sellos axiales o segmentos laterales, también poseen cimbras que le dan una cierta elasticidad, para mantener presionados los elementos de sellado contra la superficie de la epitrocoide y las tapas laterales.



**Figura 2.16.** Segmentos y pernos de anclaje  
**Fuente.** (Farell, 2009)

### 2.4.7. Cámaras de combustión

La cámara de combustión se encuentra en cada cara del rotor, es decir, un rotor posee 3 cámaras, cada una actúa como un cilindro diferente y debe soportar todas las cargas que se producen durante el trabajo, y a la vez, ser sumamente hermética, esto se logra con la ayuda de todos los sellos.



**Figura 2.17.** Cámara de combustión  
**Fuente.** Autores, 2014

### 2.4.8. Engranajes de transmisión

Es un piñón que se sujeta a la tapa lateral mediante pernos para su sujeción, éste hace la función de un eje para que el rotor gire realizando los 4 tiempos. Generalmente dichos engranajes son diseñados con dientes rectos, de esta manera se reducen costos y se tiene una excelente transmisión de movimiento, a pesar del ruido que se genera. (Farell, 2009, pág. 18) “La relación del número de dientes entre los dos engranajes es de 3:2, con una relación de transmisión de 1:3”.





**Figura 2.18.** Engranaje de transmisión  
**Fuente.** Autores, 2014

#### **2.4.9. Piñón de árbol motriz**

Este piñón se sujeta fijamente a la tapa delantera del motor para acoplarse a la corona dentada que dispone el rotor en su interior, de esta manera guía el giro del rotor, para cumplir con sus ciclos de funcionamiento.



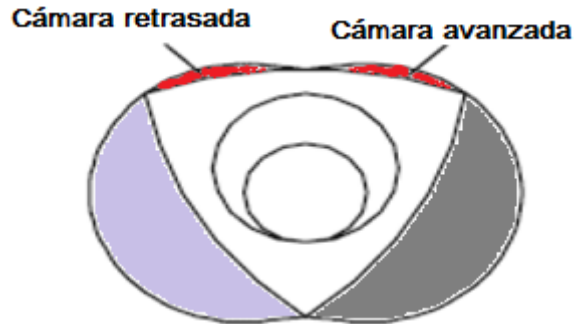
**Figura 2.19.** Piñón motriz del rotor  
**Fuente.** Autores, 2014

### **2.5. Procesos y sistemas**

#### **2.5.1 Características de la combustión**

(Farell, 2009, pág. 22) “El motor Wankel posee una cámara de combustión, que se divide en dos cuando llega el tiempo de compresión, conforme avanza la rotación se genera un volumen mayor. Esta situación

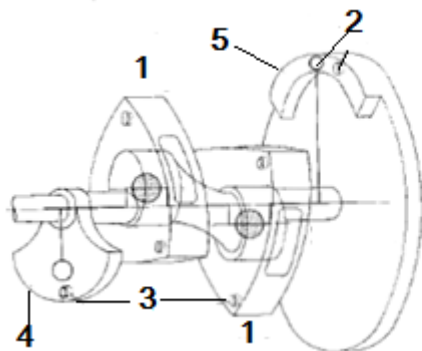
provoca un desplazamiento turbulento que obliga a aumentar la velocidad de propagación de inflamación, de acuerdo a esto, se determinan los puntos donde se deben montar las bujías”.



**Figura 2.20.** Doble cámara  
**Fuente.** (Farell, 2009)

### 2.5.2. Equilibrado del motor

Por lo general cuando se ensambla un motor rotativo de dos rotores, estos van desfasados 180° entre sí para anular cargas. De esta manera, se genera un par simétrico entre los dos, y luego de acuerdo al peso que posean se le aumentará un contrapeso con el fin de equilibrar cargas, igual que en los motores de Otto se debe controlar la inercia. De esta manera, se mantiene un equilibrio dinámico y las vibraciones se reducen.



1. Rotor
2. Orificios de ajuste de equilibrio
3. Orificios de balanceo
4. Contrapesa delantera
5. Volante de cigüeñal

**Figura 2.21.** Contrapesos del motor  
**Fuente.** (YAMAMOTO, 1987)

### 2.5.3. Refrigeración del estator

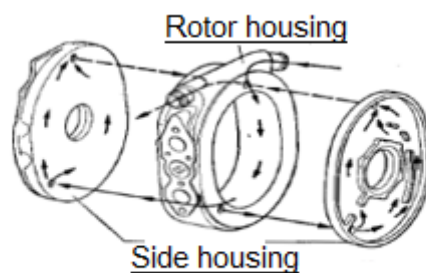
Como ya se ha explicado anteriormente, el estator sufre enormes gradientes de temperatura, porque cada una de las fases del ciclo se realiza en la misma parte del estator.

(Diego Rivera, 2009)“. Por esta razón, posee zonas frías (son las que corresponden a: admisión y compresión) y otras, mucho más calientes (corresponden a combustión y escape) que provocan tensiones térmicas, que a su vez, deben ser anuladas por un sistema de refrigeración adecuado”.

La refrigeración en un motor térmico tiene la responsabilidad de mantener la temperatura estable en el sistema. La manera más efectiva de evacuar rápidamente la temperatura es con la ayuda de un líquido refrigerante, el cual circula por medio de un intercambiador de calor o radiador.

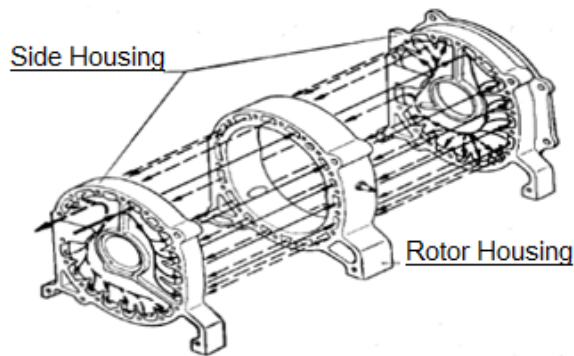
#### ***Refrigeración por agua***

La refrigeración por agua en los motores rotativos puede llevarse a cabo mediante dos construcciones distintas, ya sea por flujo circunferencial o axial, tal como se muestra en las figuras 25 A-B.



**Ductos de refrigeración circunferencial**

**A**



**Ductos de refrigeración tipo axial**

**B**

**Figura 2.22.** Refrigeración del motor

**Fuente.** (YAMAMOTO, 1987)

### ***Sistema de refrigeración por agua con flujo axial***

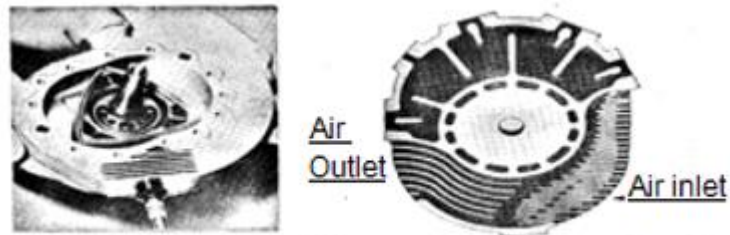
En este sistema de refrigeración el motor posee ductos que lo atraviesan de principio a fin, es decir, que posee ductos lineales, los cuales a su vez, se ramifican para llegar a todas las partes del motor, ayudando a circular el refrigerante por todo el motor.

### ***Sistema de refrigeración por agua con flujo circular***

Este sistema es más utilizado para la refrigeración de un solo rotor, y se podría decir que es una refrigeración independiente, ya que el estator posee sus propios ductos de refrigeración.

### ***Refrigeración por aire***

Este es un sistema muy utilizado por las motocicletas, también se utiliza en motores rotativos pero de bajo cilindraje, porque no están expuestos a una elevada temperatura. Generalmente la estructura de la carcasa es en forma de paletas, de esta manera ayuda a disipar rápidamente la temperatura generada en el interior del motor. Este sistema puede ser: radial o tangencial.



**Arreglo de aletas para un sistema de refrigeración circunferencial**

A



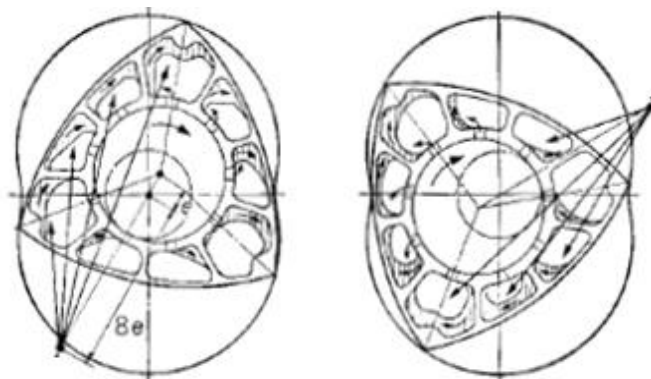
**Arreglo de aletas para un sistema de refrigeración axial**

B

**Figura 2.23.** Refrigeración por aire  
**Fuente.** (YAMAMOTO, 1987)

#### 2.5.4. Refrigeración del rotor

Básicamente, hay dos formas de refrigerar el rotor, por un lado cabe la posibilidad de utilizar un aceite lubricante, y por el otro, puede emplearse la propia mezcla fresca antes de proceder a su combustión. Es imprescindible refrigerarlo con el propósito de evitar combustiones antes de tiempo o auto-inflamaciones.



**Figura 2.24.** Refrigeración del rotor  
**Fuente.** (YAMAMOTO, 1987)

### ***Refrigeración por aceite***

El rotor es refrigerado por medio de aceite, posee ductos por los que ingresa y circula a través de los rotores, tomando el calor y disminuyendo su gradiente de temperatura, posteriormente sale y pasa por un intercambiador de calor que reduce la temperatura del aceite a circular.

(Diego Rivera, 2009). “Al utilizar aceite para la refrigeración del rotor, se obtiene como resultado una temperatura óptima de trabajo, por el contrario, no se utiliza agua como refrigerante, debido a que es muy efectivo y se perdería la temperatura de trabajo, además que afectaría considerablemente en el mecanismo de sellado.

### ***Refrigeración mediante la mezcla fresca***

Se podría decir que este es un sistema natural de refrigeración, porque el rotor tiene contacto directo con mezcla fresca por medio de la lumbrera de admisión, y de esta manera, se reduce la temperatura del rotor.

### **2.5.5. Lubricación**

(Farell, 2009, págs. 27,28). “La lubricación del motor rotativo con respecto a un motor Otto, no posee tantas pérdidas por rozamiento, tomando en cuenta que no posee movimientos alternativos elimina inercias notablemente, pero los cojinetes están sometidos a fricción, obviamente que se puede controlar fabricando piezas de materiales más ligeros y resistentes con buenos coeficientes de fricción”.

Para la lubricación se utiliza una bomba que impulsa el lubricante a presión, llegando a todas las partes móviles del motor, al igual que otros motores, posee un cárter de aceite, desde el cual la bomba impulsa lubricante por medio de los ductos de lubricación que poseen las carcasas.



**Figura 2.25.** Bomba de presión de aceite  
**Fuente.** Autores, 2014

Se utilizan dos sistemas independientes de aceite:

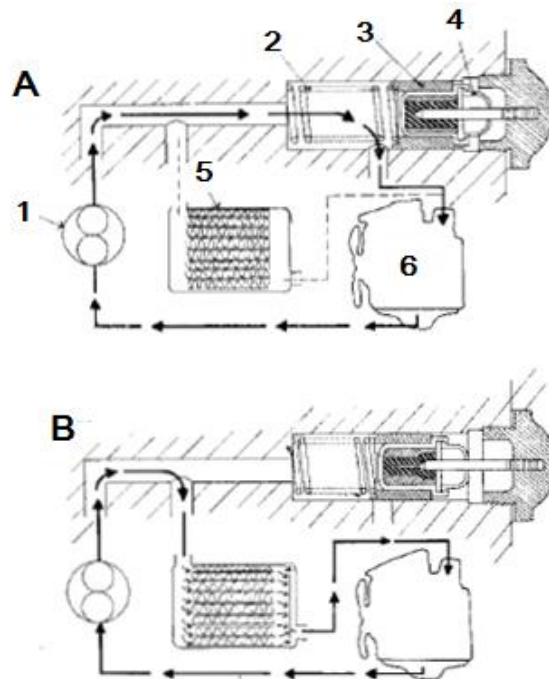
- ✓ El sistema principal lleva aceite a presión a todos los elementos móviles del motor.
- ✓ El sistema secundario lleva aceite hasta los segmentos de sellado, por medio de la bomba dosificadora de aceite, que tiene conexión el carburador que se muestra en la figura 2.25.



**Figura 2.26.** Bomba dosificadora de aceite  
**Fuente.** Autores, 2014

### **Lubricación del eje de motor**

Como ya sabemos, es necesario la lubricación del eje de motor o cigüeñal, el aceite que circula debe trabajar una temperatura que oscila entre 70° y 90°C, temperatura a la cual debe mantenerse; es por esta razón que, para motores que se encuentran con un cierto desgaste se debe utilizar un aceite 15W40.



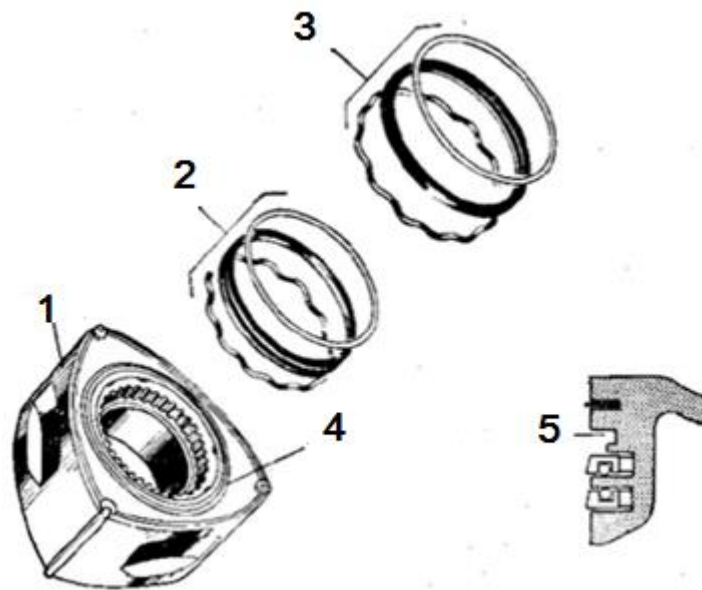
**Figura 2.27.** Trabajo del radiador del aceite  
**Fuente.** (YAMAMOTO, 1987)

- A. En baja temperatura.
- B. En alta temperatura.
- 1. Bomba de aceite.
- 2. Resorte de presión.
- 3. Termostato.
- 4. Bola de cera.
- 5. Radiador de aceite.
- 6. Motor.

### **Anillos de lubricación del rotor**

Son una especie de segmentos dispuestos en los costados del rotor, que mantienen la estanqueidad radial entre sus lados. Los anillos evitan pérdidas de aceite en un trabajo conjunto con cauchos retenedores, que restringen el paso de aceite hacia los costados del rotor con la finalidad de mantener la estanqueidad, que es la primordial en una máquina térmica. Los anillos se alojan en una cavidad del rotor y se encuentran sobre el engranaje interno del mismo, como se indica en la figura 2.28.





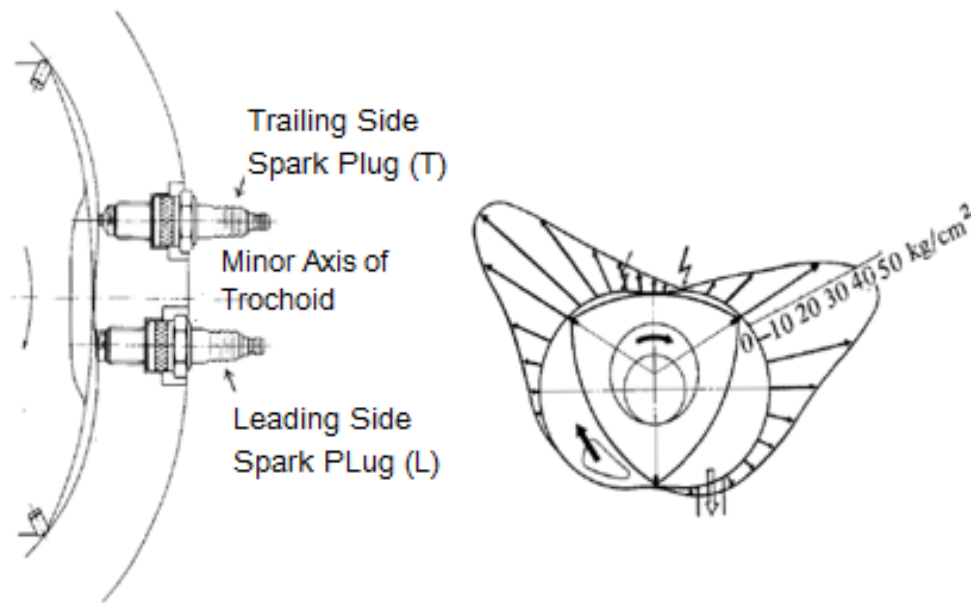
**Figura 2.28.** Segmentos de lubricación del rotor  
**Fuente.** (Diego Rivera, 2009)

1. Rotor.
2. Sello de aceite interno.
3. Sello de aceite externo.
4. Reten.
5. Guía o ranura.

### 2.5.6. Encendido doble

#### ***Bujías***

Se encuentran en el lado opuesto de las lumbreras de admisión-escape y son encargadas de transmitir la chispa para encender la mezcla aire-combustible, ingresan hasta llegar a la superficie interna del housing. (YAMAMOTO, 1987, pp. 89,90). “Este motor utiliza un sistema de doble encendido, debido a que la cámara es larga, y con una sola bujía no se podría obtener una combustión completa, los sistemas de ignición son: Trailing Side y posteriormente sigue Leading Side”.



**Figura 2.29.** Sistema de doble bujía  
**Fuente.** (YAMAMOTO, 1987)

Al utilizar solo una bujía no se lograría quemar todos los gases, ya que la cámara de combustión es larga, para mejorar este inconveniente se diseñó el encendido doble. El uso de dos bujías es eficiente porque los gases pueden ser quemados en casi su totalidad y el rendimiento del motor es más eficaz. Para introducir la bujía en el motor, la carcasa es atravesada de lado a lado. Por esta razón, el electrodo de la bujía llega a la misma altura de la superficie interna de la carcasa, de esta manera, la chispa entra en contacto directo con la mezcla.

## 2.6. Ventajas y desventajas

**Tabla 2.1.**

*Ventajas y desventajas.*

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Menos un 40% de piezas móviles que un motor de combustión interna alternativo.	Resulta muy difícil aislar cada una de las 3 caras del rotor, en rotación deben ser comparadas unas respecto a otras para un buen

	<p>funcionamiento.</p> <p>Como consecuencia, se hace necesaria la sustitución de los segmentos cada seis-siete años.</p>
<p>Ausencia de válvulas de admisión y escape, esto conlleva a evitar las dificultades que plantean las distribuciones de los motores Otto.</p>	<p>Las lumbreras de admisión y escape están separadas por una mínima diferencia, esto hace que los gases no sean quemados en su totalidad y se eleven emisiones de hidrocarburos.</p>
<p>Mecanismo rotativo con dos contrapesos debidamente dimensionados y dispuestos, en el eje se puede equilibrar estática y dinámicamente el motor. Esto le confiere una mayor suavidad de funcionamiento.</p>	<p>Excesivo ruido a causa de los engranajes rectos de transmisión.</p>
<p>Las relaciones potencia/peso y potencia/volumen son muy elevadas, de hecho son las más elevadas de todos los motores rotativos.</p>	<p>Cámara de combustión muy larga. Esto hace que exista un alto consumo de combustible y una baja eficiencia termodinámica.</p>
<p>Menos vibraciones.</p>	<p>Mantenimiento costoso, motor poco comercial.</p>
<p>Par motor casi constante ya que se producen los cuatro tiempos del ciclo simultáneamente dentro del estator.</p>	<p>Distribución heterogénea de temperaturas. Las diferentes fases del ciclo ocurren siempre en los mismos lugares del estator; la admisión y comprensión (fases</p>

frías) ocurren en la parte superior, mientras que la explosión y el escape (fases calientes), ocurren en la parte inferior. Esto implica que un lado del motor alcanza temperaturas de 150°C y el otro supera los 1000°C, lo que provoca una tendencia a la deformación en el estator. Esta deformación puede desembocar en fugas que empeoran aún más el fenómeno de la delicada estanqueidad.

Los sellos internos permanecen siempre lubricados, por este motivo parte del aceite es quemado, generando un elevado consumo de lubricante y elevando los niveles de contaminación.

**Fuente:** (Farell, 2009), (YAMAMOTO, 1987)

## 2.7. Glosario de términos

- **Rotor-Housing.-** Parte exterior del motor que aloja al rotor en su interior.
  
- **Side Housing.-** Parte lateral del motor, que en conjunto con el rotor-housing, mantienen una estanqueidad.
  
- **Rotor.-** Parte esencial del motor rotativo que gira en el interior de la carcasa realizando los cuatro tiempos. Tiene forma triangular y a cada lado posee una cámara de compresión.
  
- **Epitrocoide.-** Forma geométrica del estator.

- **Lumbrera.-** Ductos de ingreso y salida de gases tanto de admisión y escape. En este caso, las lumbreras reemplazan a todo el conjunto de la culata.
- **Paralelismo.-** Es una propiedad de la geometría que impide que dos líneas se corten. En este caso, impide que las tapas laterales posean desniveles o rugosidades.
- **Inducción.-** Es un tratamiento térmico que realiza un calentamiento por inducción eléctrica, en el que un material conductor es atravesado por un campo magnético variable.
- **Nitruración.-** Es un tratamiento térmico que se le da el acero, en el cual se añade nitrógeno mientras se adquiere temperatura. Como resultado se obtiene un endurecimiento en la superficie del elemento, al igual que aumenta su resistencia ante la corrosión y fatiga.
- **Dilatación térmica.-** Deformación que sufren los metales a causa de la temperatura.
- **Maleabilidad.-** Propiedades que poseen algunos metales para adquirir distintas geometrías y también son grandes conductores de energía.
- **Segmentos periféricos (Ápex).-** Sellos esquineros del rotor de los motores rotativos, realiza el trabajo de mantener la estanqueidad entre las diferentes cámaras.
- **Segmentos laterales.-** Sellos laterales que posee el rotor de los motores rotativos, con la finalidad de evitar fugas de compresión y que ingrese aceite hacia la cámara de compresión.

- **Lóbulos.-** Segmentos que se alojan en los vértices del rotor, trabajan en conjunto con los Ápex al mantener la estanqueidad entre las cámaras de compresión del rotor.
  
- **Cimbra.-** Segmento que actúa como resorte impulsando a todos elementos de sellado que posee el rotor, de forma que mantengan una presión contra las paredes del estator, con el fin de evitar fugas de gases.
  
- **Turbulento.-** Es un desorden en las moléculas al ingresar o salir de un ducto o cañería.
  
- **Desfasado.-** Posición opuesta entre dos elementos, en este caso los rotores están desfasados entre sí 180°.
  
- **Par simétrico.-** Potencia que genera un motor a determinadas revoluciones por minuto.

## CAPÍTULO III

### 3. Metodología de la Investigación.

#### 3.1 Tipo de investigación.

La investigación a realizar es acerca de los diferentes sistemas que posee este motor para su correcto funcionamiento, y a la vez, estudiar sus parámetros de trabajo, consiguiendo con ello hacer algunas comparaciones frente a los motores de pistón alternativo, y realizar conclusiones objetivas acerca de las ventajas y desventajas que posee el motor rotativo.

##### 3.1.1. Tipos de investigación utilizados:

Toda la comunidad científica no acepta un esquema único sobre los tipos de investigación, sin embargo haciendo un análisis de las siguientes propuestas clasificativas, se plantea.

➤ *Investigación bibliográfica.*

Consiste en recopilar datos, valiéndose del manejo adecuado de libros, revistas, resultados de otras investigaciones, entre otros.

➤ *Investigación tecnológica*

Es la actividad que a través de la aplicación del método científico, está encaminada a descubrir nuevos conocimientos (investigación básica), a la que posteriormente se le buscan aplicaciones prácticas, para que el diseño o mejoramiento de un producto, proceso industrial o maquinaria y equipo.

### **3.2. Métodos de investigación.**

➤ *Método inductivo-deductivo.*

Los métodos generales de la investigación son los que miran el problema de la ciencia en forma global, que buscan el conocimiento de la realidad.

➤ *Método descriptivo.*

El método descriptivo se dirige a las condiciones dominantes o conexiones existentes que determinan el estado actual del objeto de estudio, el mismo que construye el problema a investigarse.



## **CAPÍTULO IV**

### **4. Propuesta**

#### **4.1. Introducción**

En este capítulo se presentan los distintos procesos que se llevaron a cabo para la reparación de un motor Mazda 13B, como también el diseño y adaptación del motor a un banco didáctico, en el cual se puede apreciar sus distintos sistemas y funcionamiento.

El motor fue adquirido semi-desarmado y a simple vista se observó que el motor se encontraba mucho tiempo fuera de funcionamiento. Posteriormente, se ejecutó el despiece y se constató lo siguiente:

- Se encontraron partes que previo a un trabajo de mantenimiento fueron reutilizadas.
- Las partes en mal estado fueron reemplazadas.
- Las partes faltantes fueron adquiridas.

#### **4.2. Proceso de desarmado, identificación, diseño, adaptación y ensamblaje.**

##### **4.2.1. Proceso de despiece.**

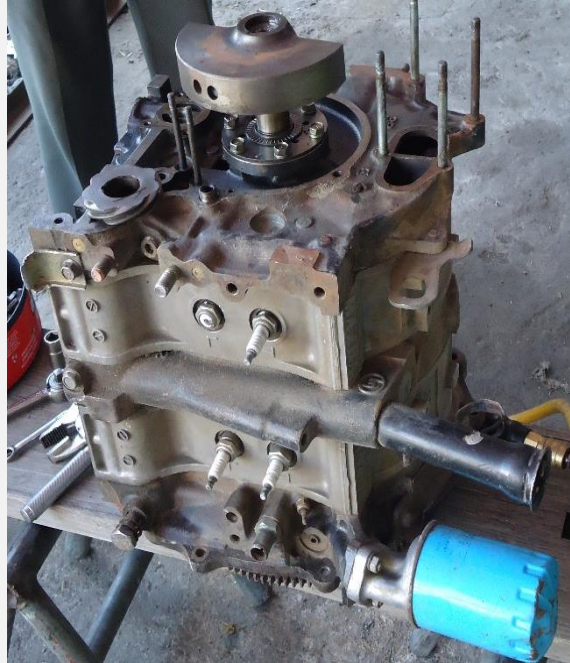
Para realizar este proceso, el taller debe poseer algunas herramientas especiales para motores rotativos como: copa 2"1/8, palanca de fuerza mando  $\frac{3}{4}$ , piñón de acople al volante del cigüeñal para aflojar tuerca de apriete, extractores de diferentes medidas. El técnico encargado de realizar el despiece debe ser cuidadoso y observador.

**Tabla 4.2.**  
Despiece del motor

**DESCRIPCIÓN DEL  
PROCESO**

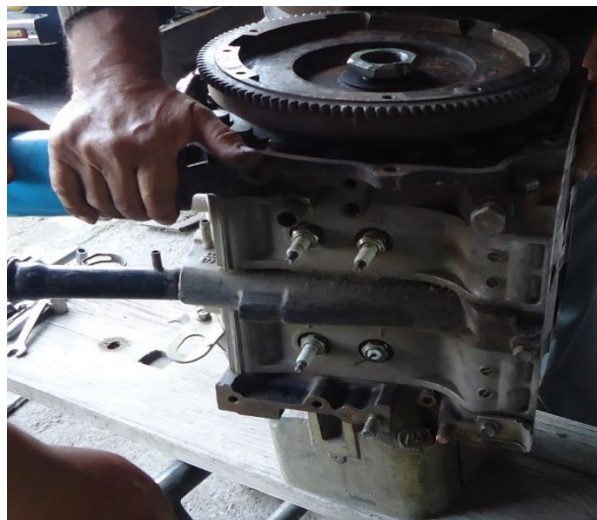
**FIGURA**

El proceso de desarmado empieza por la parte frontal del motor, extrayendo: bomba de agua, tapa frontal, bomba de aceite y todo el sistema de balanceo.

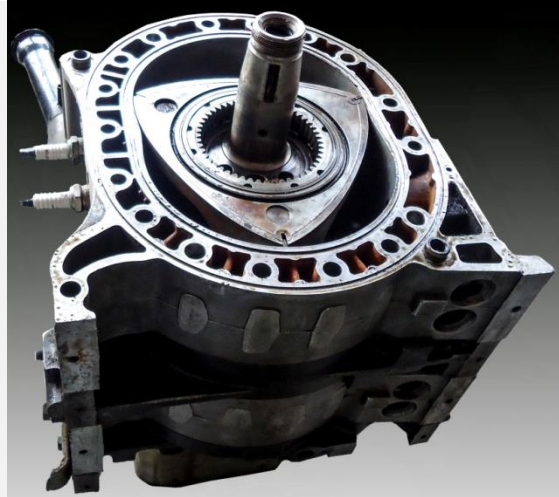


A continuación sigue el volante del cigüeñal, donde se encontró la tuerca de sujeción en malas condiciones. Para extraer el volante se utilizó un extractor.

CONTINUA ➡



Se regresa a la parte frontal, desde la cual se puede realizar el despiece total del motor, empezando por: tapa frontal, ápex con cimbras, rotor I, housing 1, tapa intermedia, ápex con cimbras II, rotor II, housing 2 y piñón fijo posterior.



Tras la finalización del despiece de los elementos internos, se debe realizar una limpieza de todos los elementos del motor, para realizar un análisis de todos los elementos.



*Fuente. Autores*

#### **4.2.2. Proceso de Limpieza**

Una vez desarmado el motor, se hizo un fuerte y arduo trabajo de limpieza con cada una de las partes que se iban a readecuar para reutilizar. Este trabajo fue realizado con el objetivo de apreciar el estado en que se encontraban las piezas. Todos los elementos del motor fueron limpiados muy meticulosamente, seguido se detalla parte de las piezas que tienen una tarea esencial en el funcionamiento del motor.

➤ *Rines de aceite*

Trabajo realizado: Limpieza



**A** **B**  
**Figura 4.30.** Rines del rotor  
**Fuente.** Autores, 2014

Los rines de aceite se encontraban en un estado relativamente bueno, y se les realizó un trabajo de limpieza total, sumergiéndolos en sustancias disolventes con la finalidad de obtener una superficie lisa en su totalidad y tipo espejo, para mantener una excelente estanqueidad. A continuación, se muestra el trabajo realizado en la figura 4.30.



**Figura 4.31.** Limpieza de elementos del motor  
**Fuente.** Autores, 2014

### 4.2.3. Proceso de rectificación y readecuación

En este paso se utilizó máquinas herramientas de precisión como son: el torno, taladro de banco, cepilladora. Al realizar los trabajos manuales de readecuación, las técnicas utilizadas deben ser delicadas y de mucha concentración, de tal manera que el resultado final sea el esperado.

#### ***Estator 2***

Trabajo realizado: Rectificado



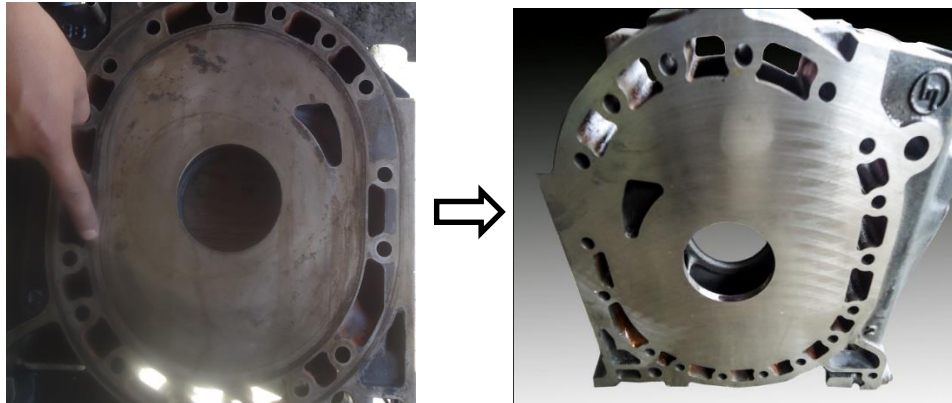
***Figura 4.32.*** Rectificado del estator  
***Fuente.*** Autores, 2014

De los dos estatores que posee el motor, uno se encontró en buen estado, el otro no poseía parte del cromado interno en la pista, lo cual permite fugas de gas entre cámara y cámara, esto afecta directamente en pérdidas de potencia. El estator en buen estado se readecuó, porque poseía una deformación del cromado en la pista que se aloja el rotor. Para realizar este trabajo, se utilizó un ápex, un rotomatic (sirve para quitar material que está en exceso) de alta velocidad y una pomada llamada azul mecánico. El trabajo fue realizado de la siguiente manera:

1. Se desliza un ápex en el interior del estator con azul mecánico, seguido se observa que tan deformada se encuentra la pista.
2. Se quita el material en exceso, utilizando la rotomatic. Este proceso se realiza hasta llegar a una superficie totalmente lisa.

### **Tapas laterales**

Trabajo realizado: Rectificado



**Figura 4.33.** Tapas Laterales  
**Fuente.** Autores, 2014

El motor poseía desgaste, que es normal en él por sus años de uso, se midió las caras de las carcasas, obteniendo como resultado 0,1 mm de desgaste. Este resultado se obtuvo con la ayuda de un reloj palpador. Las piezas fueron enviadas a maquinar, para realizar este trabajo la rectificadora debía estar encerada y esta no lo había estado, por tal motivo se volvió a rectificar pero con la maquina calibrada, obteniendo como resultado que el motor se redujera 1 milímetro.

No es bueno reducir el nivel de cromado de las tapas laterales del motor rotativo, porque al cepillar un porcentaje mayor a una décima, las tapas ya no servirán, teniendo en cuenta que la capa de cromado en la superficie de la tapa no es superior a un milímetro. La desventaja que el motor sufriría al poseer una superficie reducida de cromo es que estaría expuesto a una elevación de temperatura y la única opción en esas condiciones es el reemplazo.

Las consecuencias de la mala rectificación se darán a conocer más adelante, en cómo afecta indirectamente la reducción del motor, y a la vez, ocasionan un ensamblaje con dificultad de los demás elementos.

## **Rotores**

Trabajo realizado: Readecuado y limpieza



**Figura 4.34.** Readecuación de rotores

**Fuente.** Autores, 2014

Se readecué las cavidades de los ápex a causa de un juego excesivo, para reducir esta holgura se trabajó los vértices de los rotores con herramientas de golpe, de tal manera que los ápex ingresen en la cavidad con una holgura considerable. Estos elementos se encontraban con una capa de carbonilla y suciedad, para realizar la limpieza se utilizó cepillos de alambre y herramientas improvisadas, con el objetivo de dejar totalmente pulcro las caras del rotor y los alojamientos de: ápex, lóbulos, rines axiales y rines de aceite.

## **Cigüeñal**

Trabajo realizado: Rectificado



**Figura 4.35.** Cigüeñal

**Fuente.** Autores, 2014

Este elemento fue rectificadado en la parte indicada por la flecha de la figura 4.35, poseía un desgaste en forma de estriado, que no es normal en esta parte del cigüeñal; y a consecuencia de ello, no permitía el ensamble de otros elementos, los cuales son: el conjunto de balanceo del motor.

### **Bomba de aceite**

Trabajo realizado: Readecuado



**Figura 4.36.** Bomba de aceite  
**Fuente.** Autores, 2014

Poseía un cierto desgaste por el rozamiento al que está sometida, a consecuencia de trabajar a elevadas revoluciones. Para reducir el desgaste que poseía, se lijó la parte afectada sobre una lija (600) fina, sobre una superficie totalmente plana y se repitió el procedimiento con una lija (1200) para alcanzar mayor planicidad en la superficie del elemento, y su funcionamiento sea el correcto.

### **Múltiple de admisión**

Trabajo realizado: Readecuado



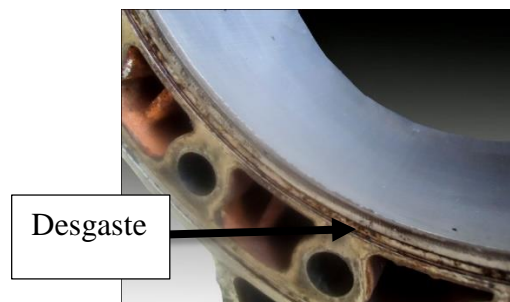
**Figura 4.37.** Múltiple de admisión  
**Fuente.** Autores, 2014



Ya que el motor se redujo a causa del rectificado, se realizó una adaptación del múltiple de admisión, en la cual el diámetro de los agujeros de sujeción al motor fue ampliado, con el objeto de realizar un ensamble sin ningún esfuerzo.

#### 4.2.4. Partes adquiridas *Housing 2*

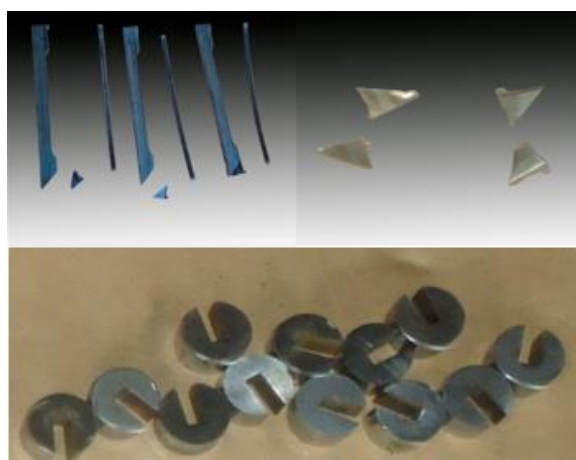
Trabajo realizado: Reemplazo



**Figura 4.38.** Carcasa (Housing)  
**Fuente.** Autores, 2014

La carcasa fue reemplazada porque no poseía parte del cromado interno en el cual gira el rotor y estos espacios que no poseen cromado ocasionan fugas de gases, por tanto, la estanqueidad entre cámara y cámara se reduce, y el motor no genera toda la potencia debida, a la vez que su vida útil se reduce muy notablemente.

#### **Ápex, rines axiales, lóbulos y cimbras de todos los elementos** Trabajo realizado: Reemplazados



**Figura 4.39.** Elementos de sellado del rotor  
**Fuente.** Autores, 2014

Por el desgaste excesivo se cambió estos elementos, ya que tienen el trabajo de mantener la estanqueidad entre las cámaras del rotor. Pero su reemplazo fue por otros elementos utilizados, pero en mejor estado que los que poseía originalmente, esto se realizó ya que repuestos de este motor no se consigue en el medio, puesto que salieron de circulación en nuestro país mucho tiempo atrás.

### ***Carter de aceite***

Trabajo realizado: Reemplazado



**Figura 4.40.** Carter de aceite  
**Fuente.** Autores, 2014

El cárter inferior fue reemplazado porque se encontraba en mal estado, poseía un agujero en la parte inferior por causa de la corrosión, que no permite el almacenamiento de aceite, tal como se indica por la flecha color naranja en la figura 4.40-A. Este fue reemplazado por el cárter indicado en la figura 4.40-B.

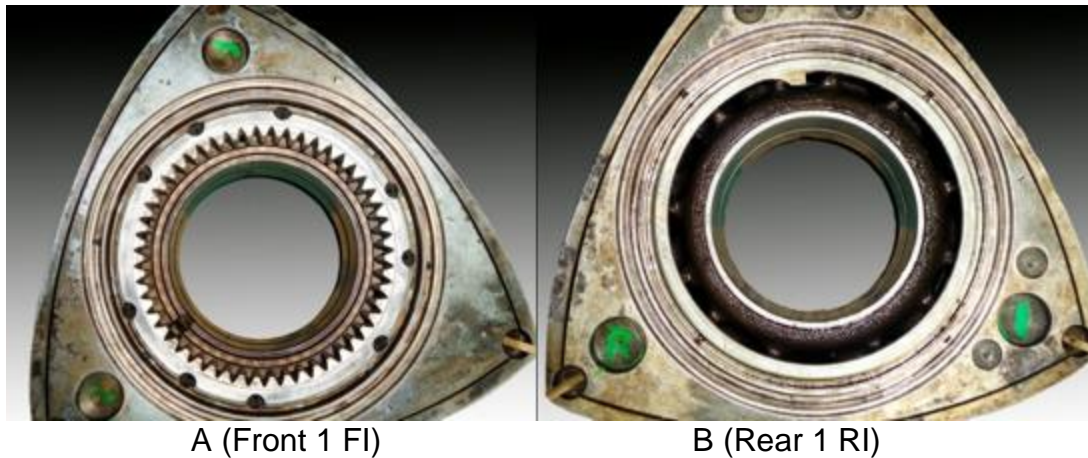
#### **4.2.5. Proceso de ensamble**

Al proceder a armar el motor rotativo, verificar que tanto piezas como herramientas se encuentren ordenadas y limpias, para así tener mayor facilidad de ensamble de los distintos elementos que dormán el motor, de igual manera el lugar donde se realizará, debe encontrarse libre de impurezas. A continuación se detallará todo el proceso de ensamble

interno del motor rotativo, empezando por la identificación que es el primer proceso y además ayuda a conocer la ubicación de los elementos que conforman: rotores, estatores, tapas laterales, etc.

### **Rotores**

Proceso realizado: Identificación



**Figura 4.41.** Rotores  
**Fuente.** Autores, 2014

La identificación de los rotores se realizó tomando en cuenta el sentido de giro, al rotor frontal (1) se le designó con la letra F (FRONT), como se muestra en la figura 4.41-A y se señalaron sus caras de la siguiente manera:

- FI para el lado que posee el dentado interno.
- FII para el lado opuesto.

De la misma manera, al rotor posterior (2) se lo identificó con la letra R (REAR), como se muestra en la figura 4.41-B y sus caras fueron señaladas de la siguiente manera:

- RI se utilizó para el lado que no posee dentado interno.
- RII para su lado opuesto.

### **Identificación de segmentos de rotores**

Proceso realizado: Identificación



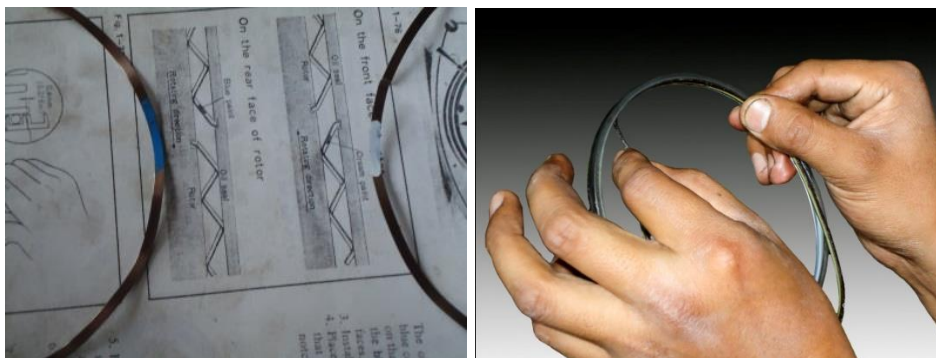
**Figura 4.42.** Identificación segmentos de los rotores

**Fuente.** Autores, 2014

Luego de conocer la posición de los rotores, se instalaron los elementos de sellado y conjuntamente a esto se clasificaron qué elementos son de cada rotor, esto se lo hace tomando en cuenta el sentido de giro del mismo y su posición.

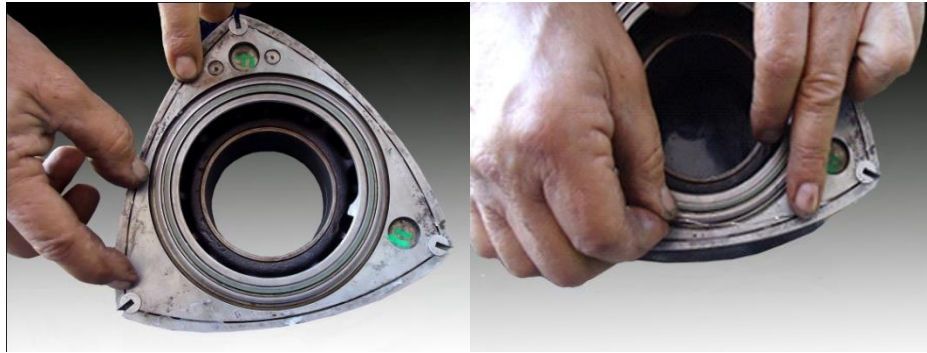
### **Armado de los rotores**

Proceso realizado: Armado



A

B



C  
**Figura 4.43.** Proceso de armado del rotor  
**Fuente.** Autores, 2014

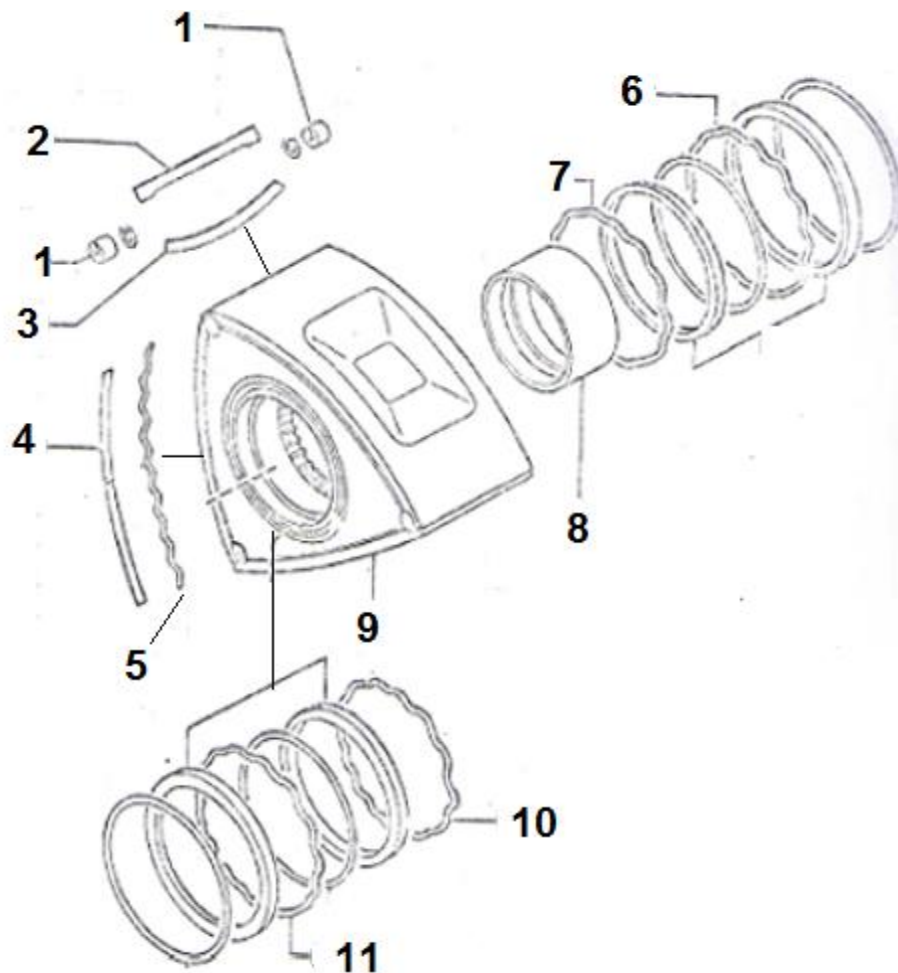
El armado de los rotores se lo realiza de la siguiente manera:

1. El armado se lo hace con la ayuda de vaselina, este elemento ayuda a que los demás componentes no se muevan de su sitio en el momento del ensamble.
2. Se instalan los elementos que actúan como resortes en los rines de aceite, su manera de instalación es: el extremo de color crema (como se muestra en la figura 4.43-A) se ubica hacia arriba, ingresando en el alojamiento del rin de aceite; y el otro resorte con el extremo de color azul, se instala de la misma manera pero en el otro rin.
3. Los sellos de aceite trabajan en conjunto con retenes que ingresan en su interior, (como se muestra en la figura 4.43-B) con la finalidad de mantener la estanqueidad de lubricante en el cigüeñal.
4. A continuación se ensambla los sellos axiales, los cuales a su vez poseen cimbras que realizan la función de resorte, presionando al sello contra la tapa lateral del motor.
5. Finalmente los lóbulos ingresan en los extremos del rotor, y tienen la función de guiar la posición del ápex al momento de ingresar en

el rotor. Estos sellos también poseen cimbras para evitar fugas de gases.

6. Los ápex son instalados cuando el conjunto rotor-estator se encuentran ensamblados, estos elementos son quienes dan la estanqueidad al motor, debido a ello su ensamble es a presión, de manera que la superficie cromada del ápex mantenga contacto en todos los puntos con la superficie interna de la carcasa.

A continuación se da a conocer las partes por las que está conformado el rotor, las mismas que se puede identificar en la figura 4.44.



**Figura 4.44.** Partes del rotor con sus sellos  
**Fuente.** ((COMAR), 2014)

1. Sello esquina.
2. Sello ápice.
3. Cimbra sello ápice.
4. Sello lado.
5. Cimbra lado.
6. Cimbra posterior externa.
7. Cimbra posterior interna.
8. Cojinete del Rotor.
9. Rotor.
10. Cimbra frontal interna.
11. Cimbra frontal externa.

### **Sellos de la carcasa o Housing**

Proceso realizado: Armado



A

B

**Figura 4.45.** Instalación de sellos de carcasa

**Fuente.** Autores, 2014

Estos sellos tienen la función de:




- El sello interno, que se muestra en la figura 4.45-A, impide fugas de compresión y a la vez el ingreso de líquido refrigerante hacia las cámaras de compresión.
- El sello externo de la figura 4.45-B, mantiene la hermeticidad entre las tapas y carcasa impidiendo, fugas de refrigerante.

## **Armado del motor**

En la siguiente tabla 3 se detallan los pasos a seguir para el ensamblaje interno de un motor rotativo, donde empieza por la tapa frontal y termina con el ensamblaje del volante del cigüeñal con el apriete necesario.

### **Tabla 4.3.**

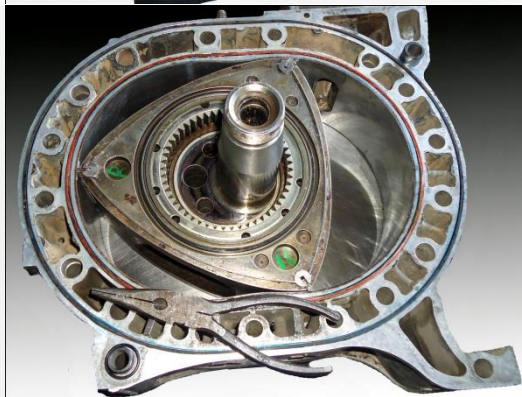
#### **Armado del motor Wankel Mazda 13B**

FIGURA	PROCESO DE ENSAMBLE
 A photograph showing the front cover of the Mazda 13B rotary engine. A central gear is visible, and a white rod is being inserted into a hole on the left side of the cover.	<ol style="list-style-type: none"><li>1. El ensamble empieza por la tapa frontal, a la que se sujeta el engranaje fijo de transmisión.</li><li>2. Se acoplan las guías a la carcasa para guiar la carcasa.</li></ol>
 A photograph showing the cylinder housing being fitted onto the front cover. The housing has a blue sealant ring around its inner edge.	<ol style="list-style-type: none"><li>3. Es ensamblada la carcasa 1 sobre la tapa frontal, dando paso al ingreso del rotor frontal.</li></ol>
 A photograph showing the rotor and crankshaft assembly being installed into the housing. The rotor is being pushed into the crankshaft's central hole.	<ol style="list-style-type: none"><li>4. El cigüeñal se acopla a la tapa frontal.</li><li>5. El rotor ingresa en el moñón del cigüeñal. El piñón fijo se acopla con el dentado interno del rotor 1 del lado FI.</li><li>6. Se ensamblan en el rotor los sellos de los vértices (Ápex).</li></ol>





7. La tapa intermedia es la que sella al rotor 1 y da paso al ensamblaje del siguiente rotor, sobre su superficie lateral.



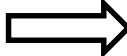
8. Se ensambla la carcasa (Housing) dos.

9. El rotor dos encaja de lado (RI) contra la tapa central, con el vértice más largo en sentido contrario del rotor 1 (anterior).

10. Seguido se ubican los segmentos de los vértices del rotor llamados Ápex.



11. Para finalizar el sellado del motor, se acopla la última tapa seguido del engranaje de transmisión fijo posterior.

CONTINÚA 



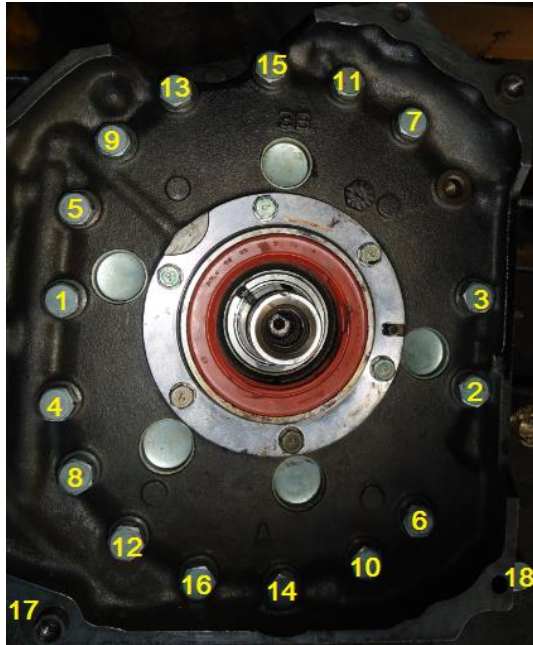
12. Introduciendo los pernos alrededor de las carcasas, se realiza el ajuste, siempre en sentido opuesto, con la finalidad de equilibrar las cargas y evitar dañar los componentes internos. El apriete debe ser realizado a 25 Lb-f. El orden de apriete debe realizarse tal como se indica en la figura 46.

13. Para equilibrar el giro del motor se instaló el volante del cigüeñal. Debido a que el volante de inercia posee una sola tuerca de sujeción, esta debe ajustarse entre los siguientes valores indicados:

Torque:

40 a 50 Kg-m (289 a 362 ft-lb).

*Fuente. Autores, 2014*



**Figura 4.46.** Orden de apriete  
*Fuente. Autores, 2014*

A continuación se detalla el armado de las partes que conforman los distintos sistemas del motor, dando a conocer: el trabajo que realizan los distintos elementos, la función a realizar, la posición, las características y los parámetros de trabajo.

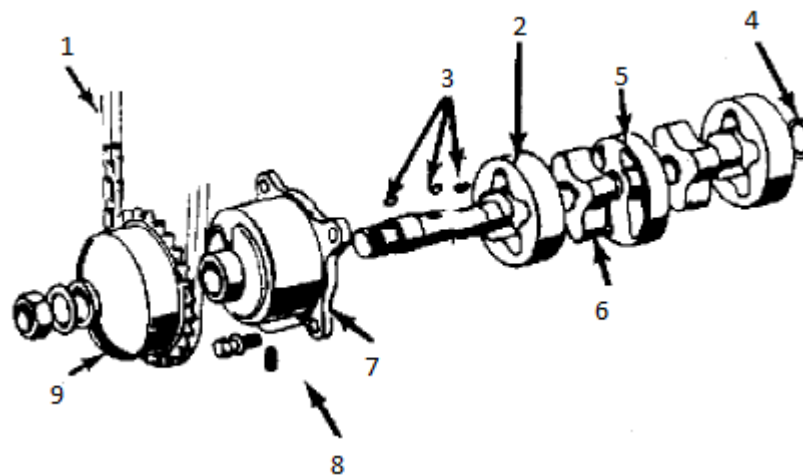
### ***Bomba de aceite***

Proceso realizado: Armado



**Figura 4.47.** Instalación de bomba de aceite  
*Fuente. Autores, 2014*

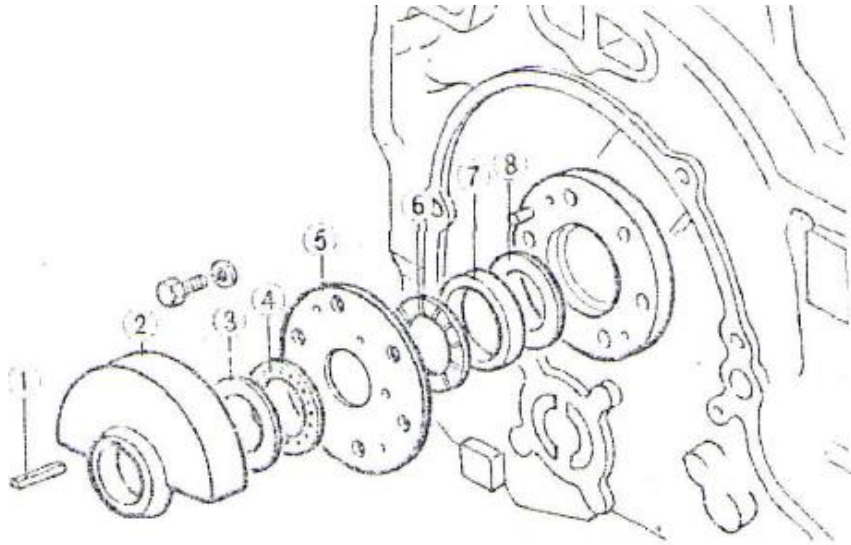
La bomba de aceite está ubicada en la parte frontal inferior del motor, tal como se indica en la figura 4.47, toma lubricante del cárter de aceite desde una cavidad que permite dotar de lubricante a todos los componentes móviles del mismo. Sobre el eje de salida del cigüeñal se ensambla un conjunto de rodamientos, seguido de una contrapesa que ayuda a equilibrar las fuerzas internas que se producen en el motor, el movimiento del cigüeñal es transmitido a la bomba por medio de una cadena de transmisión.



**Figura 4.48.** Partes de la bomba de aceite  
**Fuente.** (TUNE-UP-ROTARY, 2001, pág. 87)

1. Cadena de la bomba de aceite.
2. Rotor exterior.
3. Llave.
4. Retenedor.
5. Placa media.
6. Rotor intermedio.
7. Cuerpo de bomba.
8. Bloqueo de tornillo.
9. Piñón de la bomba de aceite.

En la figura 4.49 se indica como ensamblar el conjunto de balanceo del motor rotativo, donde se puede observar los elementos que intervienen en este sistema, y el orden que deben llevar para un correcto funcionamiento y equilibrado del motor.

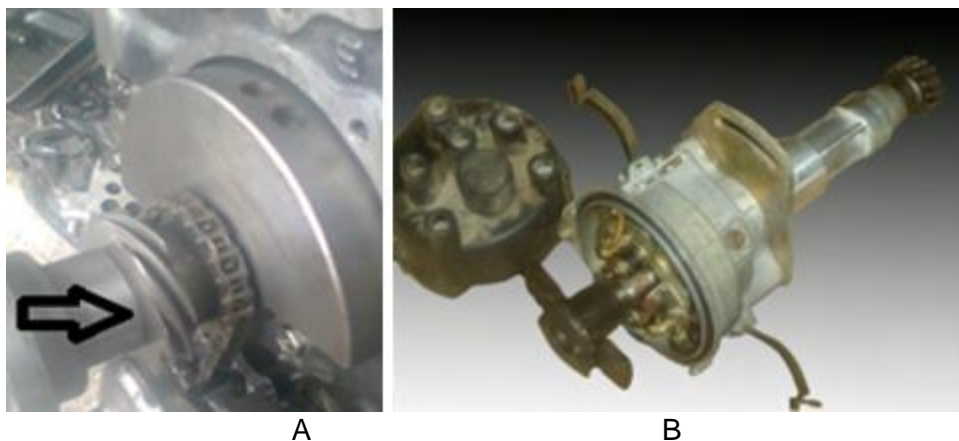


**Figura 4.49.** Conjunto de balanceo del motor  
**Fuente.** ((COMAR), 2014)

1. Seguro.
2. Contrapesa.
3. Arandela de empuje.
4. Rodamiento.
5. Cojinete de carcasa.
6. Rodamiento.
7. Espaciador.
8. Tlirust plate.

***Piñón de distribución y distribuidor de corriente***

Proceso realizado: Montaje



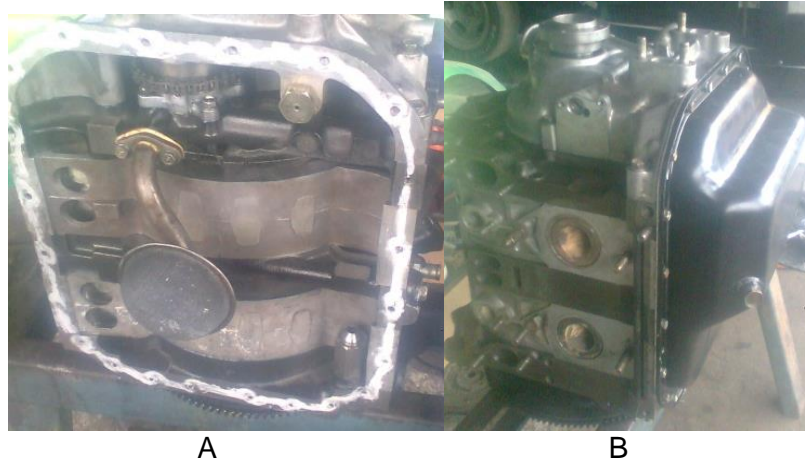
**Figura 4.50.** Piñón de distribución y distribuidor de corriente  
**Fuente.** Autores, 2014

Luego del montaje del sistema de bomba de aceite, se instala el piñón de la distribución en el mismo eje del cigüeñal, seguido a esto se sellan estos componentes con la tapa de distribución y se monta el distribuidor de

corriente. Fue necesario realizar una limpieza de los platinos del distribuidor, porque se encontraban sucios, y adquirir dos condensadores de 27 uf.

### ***Carter de aceite y coladera***

Proceso realizado: Montaje



**Figura 4.51.** Coladera y cárter de aceite  
**Fuente.** Autores, 2014

Una vez armado el motor internamente, se realizó la instalación de la coladera y el cárter de aceite, pero como se indicó al inicio, por la doble rectificación que se realizó al motor, se redujo de tal manera que los orificios del cárter no coincidieron en la posición original. A causa de ello, se aumentó el diámetro de cada agujero del cárter, solucionando tal inconveniente.

## **Bomba de agua**

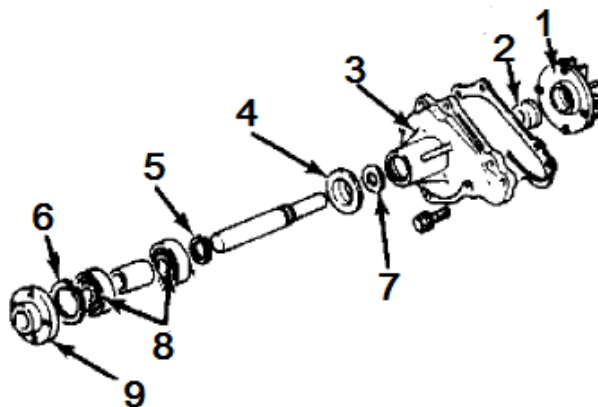
Proceso realizado: Montaje



**Figura 4.52.** Montaje de bomba de agua

**Fuente.** Autores, 2014

En la instalación de la bomba de agua se necesita de unas rodela planas que se instalan en las flechas de color rojo que se indica en la figura 4.52, para mantener una superficie nivelada, de esta manera se evita torceduras o fisuras que causarían daño en el elemento al momento de realizar el apriete necesario.



**Figura 4.53.** Partes de la bomba de agua

**Fuente.** (TUNE-UP-ROTARY, 2001)

Nombres de las partes de la bomba de agua:

1. Impulsor.
2. Conjunto de sello.
3. Cuerpo de bomba.
4. Sello de polvo.
5. Anillo de Tope.
6. Anillo de resorte.
7. Plato deflector.
8. Bearing.
9. Polea jefe.

### ***Múltiples de admisión y escape***

Proceso realizado: Montaje



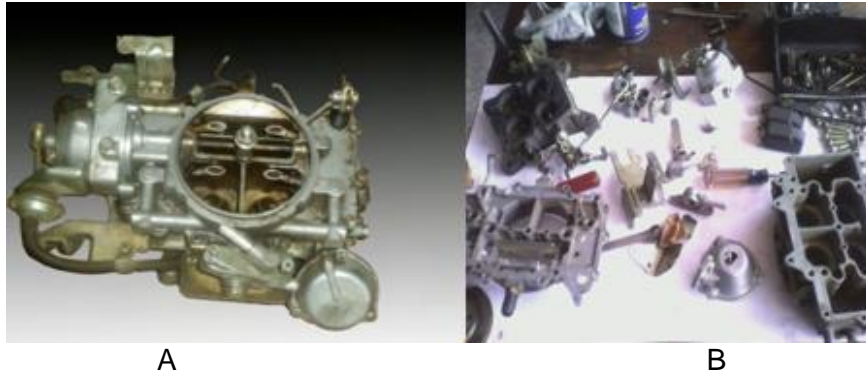
A B  
**Figura 4.54.** Múltiples de admisión y escape  
**Fuente.** Autores, 2014

En los múltiples de admisión y escape, se realizó un trabajo de limpieza y mantenimiento correctivo, en el que se amplió el diámetro de los agujeros de sujeción al motor, por el motivo de reducción del motor, que ya se ha mencionado en algunas ocasiones.



## **Carburador**

Proceso realizado: Limpieza y montaje



**Figura 4.55.** Carburador  
**Fuente.** Autores, 2014

El trabajo que se realizó en este elemento fue:

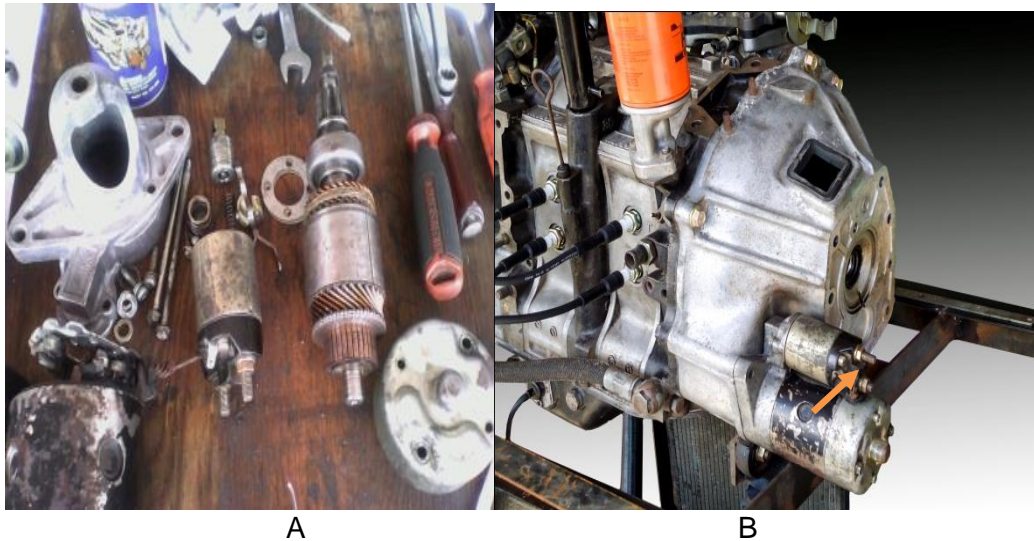
- Desarmar.
- Limpiar.
- Verificar partes internas.

Mediante este análisis se logró apreciar:

1. Los shiglores del carburador se encontraron en perfecto estado, al igual que la mayoría de piezas internas.
2. Otras partes estaban en mal estado como el conducto de retorno de combustible. Este conducto se adquirió de otro carburador.
3. Algunas partes no se encontraban, y que no afectan al funcionamiento del mismo.

### **Motor de arranque**

Proceso realizado: Mantenimiento y montaje



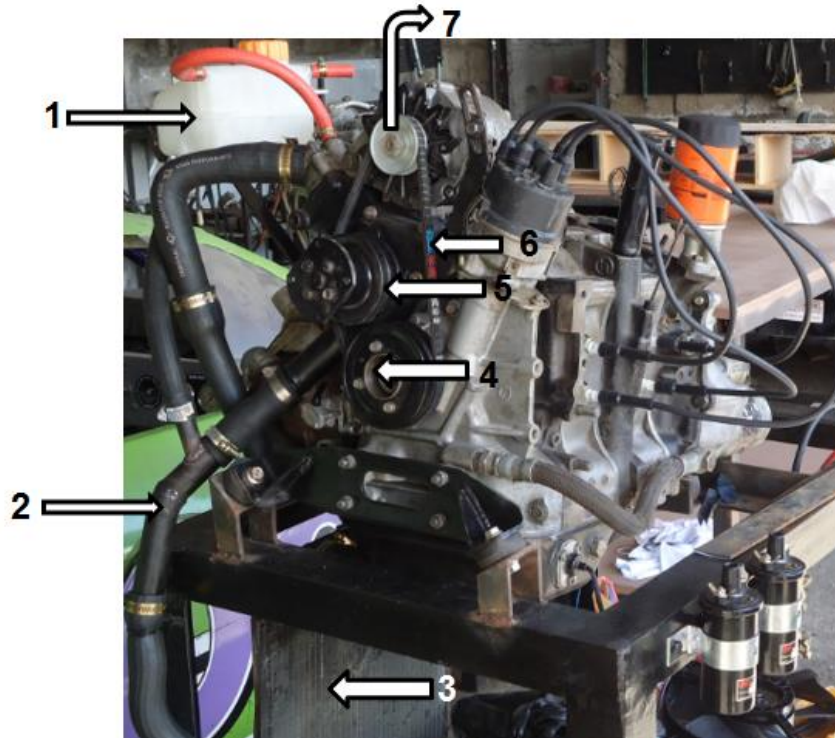
**Figura 4.56.** Motor de arranque  
**Fuente.** Autores, 2014

En la campana de este se encontró mal el buje en el que ingresa el eje del rotor. A causa de este daño el eje sufría un cabeceo que no permitía un correcto funcionamiento, esto se controló rectificando el eje del rotor en el torno; otro trabajo que se realizó fue una limpieza total de las partes. Para el montaje del motor de arranque se adquirió parte de la coraza de la caja de cambios del motor original. Esta parte fue acoplada con la finalidad de:

1. Tener un apoyo para el arranque.
2. Obtener más puntos de apoyo para el montaje del motor sobre el banco didáctico que se indica en la figura 4.56-B.

### **Sistema de refrigeración**

Trabajo realizado: Para el correcto funcionamiento de este sistema, se realizó la adaptación de: radiador, reservorio de refrigerante y mangueras de alta presión.



**Figura 4.57.** Sistema de refrigeración  
**Fuente.** Autores, 2014

1. Reservorio.
2. Ductos de refrigeración.
3. Radiador.
4. Polea de bomba de agua.
5. Bomba de agua.
6. Banda.
7. Polea de Alternador.

La adaptación del radiador se realizó en la parte inferior del motor. El reservorio de refrigerante se ubicó en un costado de la bomba de agua a una altura mayor, con la finalidad de ayudar al refrigerante a descender por gravedad hacia el radiador. En las conexiones del sistema se utilizaron mangueras de alta presión de diferentes diámetros y acoples

que fueron diseñados, con el propósito de mantener una total hermeticidad en el sistema.

### ***Sistema de combustible***

Trabajo realizado: Montaje de bomba de combustible, readecuación del reservorio y enlace entre carburador y bomba auxiliar de aceite

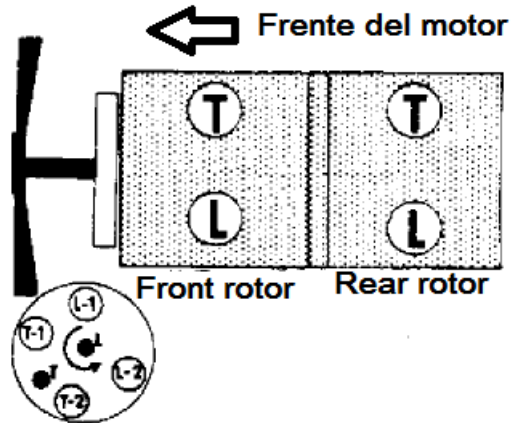
Se adquirió una bomba de combustible de 3.5 bares de presión, fue instalada en la parte inferior de la mesa sobre una plancha de tol que anteriormente se ubicó. En el reservorio se introdujeron dos acoples de cañería, con el objetivo de tener una salida y un retorno de combustible. El acople entre el carburador y la bomba auxiliar de aceite se realizó mediante una varilla, a la cual se le dio forma tal que actúen los dos elementos a la vez. Este trabajo se realizó porque al existir una mayor aceleración, la dosificación de aceite hacia las partes internas del motor debe aumentar conforme sea el régimen.

### ***Sistema de encendido***

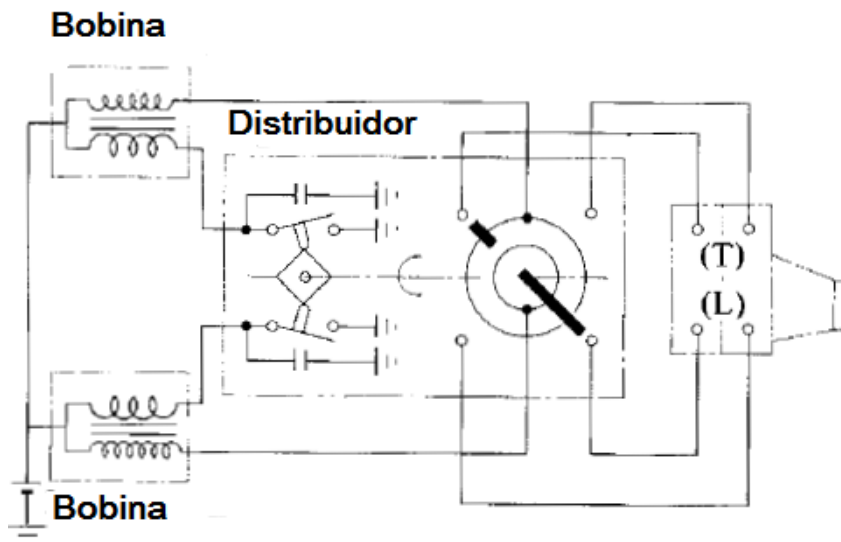
Este motor trabaja con doble sistema de encendido, a lo que se llama Trailing Side y Leading Side. Utiliza cuatro bujías, de las cuales dos son de Trailing y dos de Leading. Para controlar la chispa en tiempos correctos, posee un distribuidor de corriente doble platino, que tiene un enlace con el cigüeñal, de esta manera se controlan los tiempos de ignición.

Al ser la cámara de compresión larga con una sola bujía es imposible obtener una buena combustión, pero al poseer doble bujía para cada rotor, la inflamación de la mezcla es más efectiva, generando más potencia y disminuyendo a la vez emisiones contaminantes. El doble encendido es eficiente y trabaja de la siguiente manera:

1. Al entrar en la etapa de combustión la bujía de Trailing side, dota de una descarga para inflamar la mezcla.
2. Seguido el sistema de Leading side, dota de otro chispazo para terminar de inflamar la mezcla.



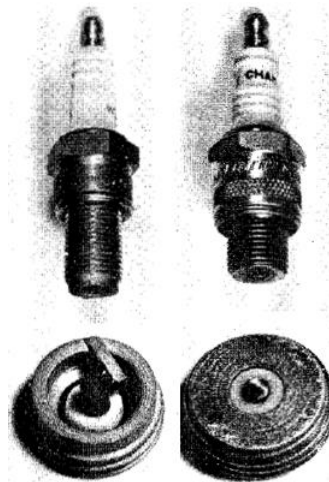
**Figura 4.58.** Orden de encendido  
**Fuente.** (TUNE-UP-ROTARY, 2001)



**Figura 4.59.** Diagrama eléctrico del sistema de encendido  
**Fuente.** (YAMAMOTO, 1987)

## **Bujías**

Este motor posee dos tipos de bujías de diferente grado térmico. El catálogo del libro Kenichi Yamamoto sugiere utilizar en la marca Denso bujías de descarga superficial especiales para motor rotativo, y bujías W25EG, como se muestra en la figura 63. El motivo de la utilización de diferente grado térmico es porque la bujía principal Leading Side dota de una descarga adelantada con la ayuda de una bujía de superficie plana y el sistema de Trailing Side termina de inflamar la mezcla con la bujía alterna indicada.



A (Bujía W25EG) B (Bujía de descarga superficial)

**Figura 4.60.** Tipos de bujías de motores rotativos

**Fuente.** (YAMAMOTO, 1987)

En vista que las bujías originales son difíciles de conseguir, se utilizó en la marca NGK con código B9EGB, que en comparación con la marca Denso equivale a W27EMR, los dos tipos son de bajo grado térmico., A continuación se muestra una equivalencia de grados térmicos entre las diferentes marcas de bujías.

En esta tabla se dan a conocer los valores el grado térmico de las bujías en sus diferentes marcas, para así conocer cuál es la bujía a utilizar en una diferente marca, conociendo que un motor rotativo debe utilizar bujías frías.

**Tabla 4.4.**

*Equivalencia de grado térmico entre marcas de bujías*

DENSO	16	20	22	24	27	27	31	32	34	35
NGK	5	6	7	8	9	9.5	10	10.5	11	11.5
CHAMPION	12.11	10.9	8.7	6.6361	4,59	57	55	53		
BOSCH	8	7,6	5	4	3		2			

*Fuente.* (DENSO, 2014)

#### 4.2.6. Cálculo de potencia del motor rotativo Mazda 13B

Para realizar el cálculo de potencia de este motor, se tomará en cuenta el volumen máximo y mínimo. Los dos volúmenes se los obtuvo mediante un ensayo práctico, en el cual las dos posiciones que forman el rotor con la carcasa, de volumen máximo y mínimo, fueron sellados herméticamente y se procedió a medir la cantidad de líquido que ingresa en las diferentes cavidades, para así tener un valor referencial.

Para cada volumen se realizaron 3 mediciones, tomando un valor medio como resultante:

- En el volumen máximo resultó 651 CC. El fabricante de este motor dice que el cilindraje original con el que fue diseñado es 654 CC.
- Para el volumen mínimo la media resultante es 69.6 CC.

Las fórmulas con las que se realizó el cálculo fueron tomadas de: (H. Kindler, 1986, págs. 168-169)

Datos:

$$V_{max} = \text{Volumen máximo [cm}^3\text{]}$$

$$\Sigma V_{max} = V1 + V2 + V3 + n \dots \dots$$

$$V1 = 650 \text{ [cm}^3\text{]}$$

$$V2 = 654 \text{ [cm}^3\text{]}$$

$$V3 = 649 \text{ [cm}^3\text{]}$$

$$V_{max} = 650 + 654 + 649 \text{ [cm}^3\text{]}$$

$$V_{\max} = \frac{650 + 654 + 649}{3}$$

$$V_{\max} = \frac{1953}{3}$$

$$V_{\max} = 652 \text{ [cm}^3\text{]}$$

$$V_{\min} = \text{Volumen mínimo [cm}^3\text{]}$$

$$V_{\min} = V_1 + V_2 + V_3 \text{ [cm}^3\text{]}$$

$$V_1 = 70 \text{ [cm}^3\text{]}$$

$$V_2 = 69 \text{ [cm}^3\text{]}$$

$$V_3 = 70 \text{ [cm}^3\text{]}$$

$$V_{\min} = 70 + 69 + 70 \text{ [cm}^3\text{]}$$

$$V_{\min} = \frac{207}{3}$$

$$V_{\min} = 69,6 \text{ [cm}^3\text{]}$$

Como dato real del motor se toma: (YAMAMOTO, 1987, p. 130)

$$\text{Torque Max} = 14.2/5000 \text{ [Kg.m/rpm]}$$

$p_m = \text{Presión media de trabajo (bar de sobrepresión)}$

Valor real tomado con la ayuda de un medidor de compresión.

$$\text{Compresión (pm)} = \frac{50}{4000} \text{ [psi/rpm]} \quad p_m = 50 \text{ [psi]} \cdot 1 \frac{\text{[bar]}}{14,7 \text{ [psi]}}$$

$$p_m = 3,40 \text{ psi}$$

*Fórmulas a aplicar para el cálculo de potencia:*

*Donde:*

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

$i = \text{Número de pistones rotatorios}$

$\varepsilon = \text{Relación de compresión [-]}$

$n = \text{Número de vueltas que gira el eje excéntrico [}^1\text{/min]}$



$$\varepsilon = \frac{V_{max}}{V_{min}} [-] \text{ Relación de compresión}$$

$$\varepsilon = \frac{651}{69,6}$$

$\varepsilon = 9,35:1$  La relación de compresión real de estos motores es de 9,4:1

$$V_k = V_{max} - V_{min} [cm^3] \text{ Volumen de la cámara}$$

$$V_k = 5651 - 69,9 [cm^3]$$

$$V_k = 581,4 [cm^3] \text{ Volumen de la cámara}$$

$$P_i = i \frac{V_k \cdot p_m \cdot n}{600} [Kw] \text{ Potencia indicada}$$

$$P_i = 2 \frac{0,58 \cdot 3,40 \cdot 4000}{600}$$

$$P_i = 2 \frac{5916}{600}$$

$$P_i = 2 \cdot 9,86$$

$$P_i = 19,72 [Kw] \quad P_i = 19720 [w] \frac{1[HP]}{747,7[w]}$$

$$P_i = 26,37 HP$$

Después del ensamblaje y según este cálculo realizado, se puede determinar que la potencia generada por este motor es baja y es debido a que:

- El motor adquirido se encontraba deteriorado y fuera de funcionamiento.

- Este motor fue dado de baja 10 años después de su fabricación aproximadamente, y tomando en cuenta que un motor rotativo dura un aproximado de 7 a 8 años, porque después necesariamente hay que realizar un cambio y sellos.
- Los sellos esquineros (Ápex) no son nuevos, pero en comparación con los originales de este motor, los Apex actuales se encuentran en mejores condiciones y están dentro de los límites establecidos.
- El desgaste de los housings también afecta a la compresión, porque no permite que se mantenga la estanqueidad entre cámaras.
- Los rotores poseían un juego excesivo en las cavidades de los Apex.
- Los repuestos de este motor no se encuentran en stock en el país, porque los vehículos que disponen de este motor no llegan fácilmente al Ecuador.

En la siguiente tabla se da a conocer algunos datos técnicos del fabricante del motor rotativo Mazda 13B, donde se detalla cómo están asistidos los diferentes sistemas que lo conforman.

**Tabla 4.5.**

*Datos técnicos del motor Mazda 13B*

<b>MOTOR TOYO KOGYO MODELO 0813</b>	
Número de rotores	2-rotor wáter-cooled
Radio de compresión	9,4:1
Compresión máxima [ <i>Psi/rpm</i> ]	128/7000
Torque máximo [ <i>Kg.m/rpm</i> ]	14,2/5000
Dimensiones (largo, alto, ancho) [ <i>mm</i> ]	655*575*610
Peso [ <i>Kg</i> ]	102
Sistema de encendido	2 bujías, batería de 12v
Sistema de alimentación	Carburador
Aceite	15W40

**Fuente.** (YAMAMOTO, 1987)

En la tabla seis se expone con figuras originales y esquemas cómo se realizó la adaptación de los sistemas de: refrigeración, lubricación, alimentación y encendido, que se realizó para los diferentes sistemas del motor rotativo Mazda 13B.

**Tabla 4.6.**

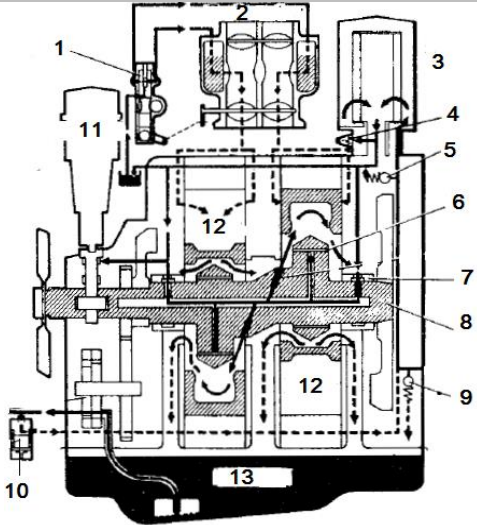

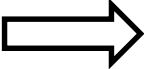
*Proceso de adaptación, diseño y montaje de los sistemas del motor Mazda 13B*


N o	Pieza/parte/sistema	Trabajo realizado	Medidas/características
1	Sis. Refrigeración	Adaptación	Óptimo funcionamiento



1. Reservorio de refrigerante.
2. Ductos de refrigeración.
3. Radiador.
4. Bomba de agua.
5. Banda.

CONTINÚA 

2	Sis. Lubricación	Readecuación	Óptimo funcionamiento
		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Bomba dosificadora.</li> <li>2. Carburador.</li> <li>3. Filtro de aceite.</li> <li>4. Interruptor de presión.</li> <li>5. Válvula de alivio.</li> <li>6. Cojinete del rotor.</li> <li>7. Cojinete principal.</li> <li>8. Eje excéntrico.</li> <li>9. Regulador de presión.</li> <li>10. Bomba de aceite.</li> <li>11. Distribuidor.</li> <li>12. Rotor.</li> <li>13. Cáster de aceite.</li> </ol>	
3	Sis. Alimentación	Adaptación	Óptimo funcionamiento
		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Carburador.</li> <li>2. Ductos de alimentación.</li> <li>3. Reservorio.</li> <li>4. Bomba.</li> <li>5. Filtro.</li> </ol> <p style="text-align: right;"><b>Continúa</b> </p>	

4	Sis. Encendido	Adaptación	Correcto encendido
			
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Distribuidor de corriente.</li> <li>2. Cables.</li> <li>3. Bobina Trailing.</li> <li>4. Bobina Leading.</li> <li>5. Bujías Trailing.</li> <li>6. Bujías Leading.</li> </ol>			

**Fuente.** Autores, 2014

En la tala 7 se expone datos de las pruebas que se realizó al motor rotativo Mazda 13B, y a la vez, se da a conocer un valor referencial obtenido de un catálogo del fabricante del motor.

**Tabla 4.7.**

*Pruebas realizadas en el motor rotativo Mazda 13B*

VARIABLE/PARAMETRO	VALOR MEDIDO	VALOR REFERENCIAL
Temperatura del refrigerante	90 °C	Termostato totalmente abierto 95 °C.
Presión de aceite	55 PSI a 2000 RPM	64-78 PSI a 3000 RPM
Compresión	50 PSI a 4000RPM	60 PSI a 4000 rpm

**Fuente.** Autores, 2014

### **Variables iniciales y finales de la reparación.**


En la tabla 8 se exterioriza una comparación del estado inicial y final de los elementos que conforman el motor rotativo Mazda 13B. De esta manera, se puede realizar una comparación y conocer en qué elementos hubo cambios para un correcto funcionamiento.

**Tabla 4.8.**

Análisis comparativo de partes del motor rotativo Mazda 13B

ELEMENTO	PARÁMETRO		COMPARACIÓN
	Antes	Actual	
Ápex (altura)	5,1 mm	7 mm	Con la altura inicial no se conseguía estanqueidad, porque no existe un contacto hermético entre Ápex y carcasa.
Sellos axiales (laterales)	Excesivo desgaste	Trabajo óptimo	Con esto, se evita filtraciones de aceite hacia el interior de la cámara de combustión.

**CONTINÚA** 

Rines de aceite	Excesivo desgaste	Sello hermético	Restringe el paso de aceite hacia las caras laterales del rotor.
Carcasa (housing) 1	Pista interna sin cromado	En perfecto estado	Sin cromado interno existen fugas de compresión.
Caras laterales	Desgaste 0.1 mm	Rectificado	Con las carcasas laterales sin desgaste, el rotor gira con facilidad.
Cadena de bomba de aceite (tensión)	12 mm	12 mm	Si existe un juego excesivo la transmisión de movimiento, no es efectivo.
Distribuidor de corriente	Condensadores en mal estado	Posee condensadores de 27 uf.	No existe transmisión de corriente hacia las bujías.
Bujías	En pésimo estado	Posee bujías NGK B9EGB, bajo grado térmico.	Existe encendido de mezcla aire combustible.
Cables de bujías	No poseía	Posee cables	Existe transmisión de corriente.
Alternador	No poseía	Posee alternador original.	Existe sistema carga.
Motor de arranque	No poseía	Posee motor de arranque original.	Existe sistema de encendido. <b>CONTINÚA</b> 

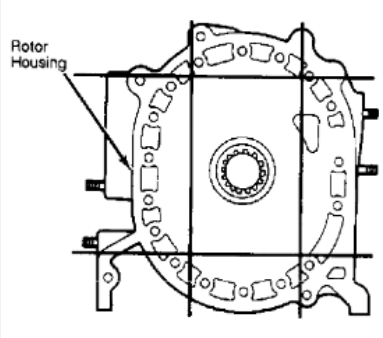
Carburador	Incompleto	Completo y limpio.	Existe dosificación de aire-combustible hacia el interior del motor.
Bomba de combustible	No poseía	Posee bomba de alimentación de gasóleo.	Existe suministro de combustible al carburador.
Radiador	No poseía	Posee radiador.	Existe sistema de refrigeración.

**Fuente.** Autores

En la tabla 9 se exponen diferentes partes internas del motor, como también el valor referencial del fabricante tanto estándar como límite para el correcto funcionamiento del motor rotativo. Estos valores se aplican a todos los motores Wankel, ya sean en sus diferentes versiones como: 10A, 10B, 12A, 12B, 13B y 20B. En esta tabla se detalla el elemento, los valores y una imagen donde se observa la parte o superficie que debe ser medida para tomar un valor.

**Tabla 4.9.**

*Mediciones standard de distintas partes del motor rotativo Mazda 13B*

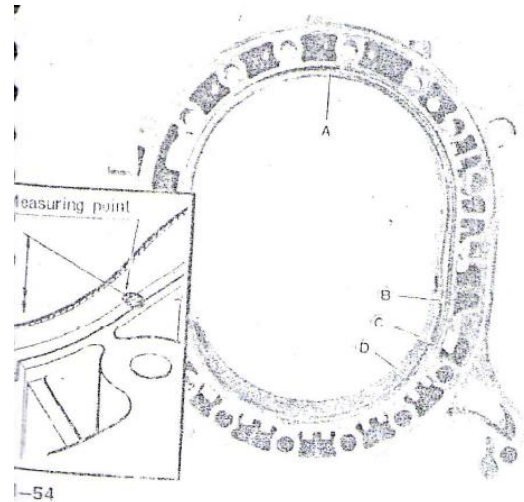
ELEMENTO O PIEZA	VALOR REFERENCIAL	IMAGEN
Tapas laterales	El paralelismo debe ser total, en caso de existir distorsión no debe ser superior a 0,0016" (0,04mm).	

CONTINÚA ⇨



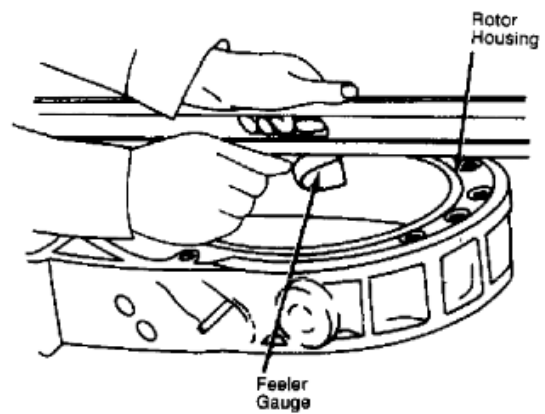
Housing o estator

Tomando un punto referencial (A) en la pista del housing, y comparando con los puntos (B C y D), los valores de comparación no deben exceder de 0,06mm (0,0024”).



Housing (estator)

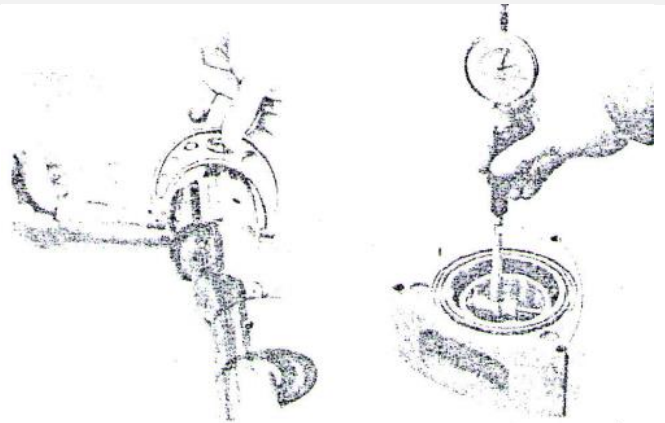
Con una regla verificar que el housing no se encuentre distorsionado, o de estarlo, no debe superar los 0,04mm (0,0016”).



Rotor y cigüeñal

Entre el conjunto rotor-cigüeñal, se debe considerar una holgura estándar de 0.04 a 0,08mm (0,0016 a 0,0031”).

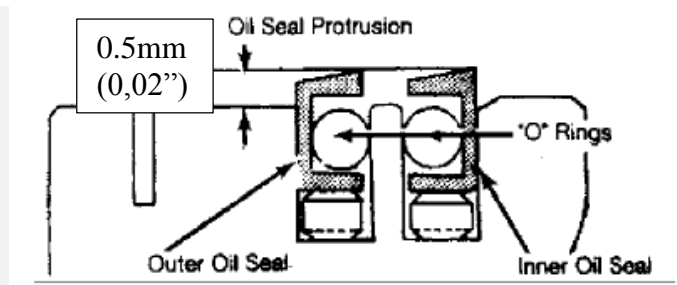
Con un límite máximo de 0,10mm (0,0039”). Si se sobrepasa del último valor, reemplazarlos.



CONTINUA →

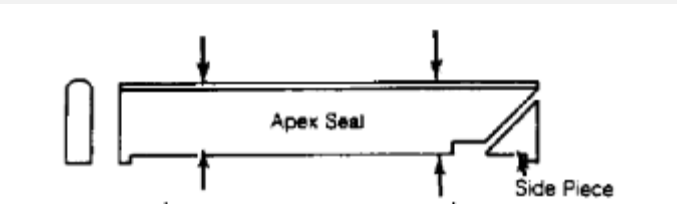
Rines de aceite del rotor

Con el sello de aceite instalado en el rotor, medir el ancho del labio de contacto que sella. El rin deberá reemplazarse si se excede de 0,020 "(0,5 mm).



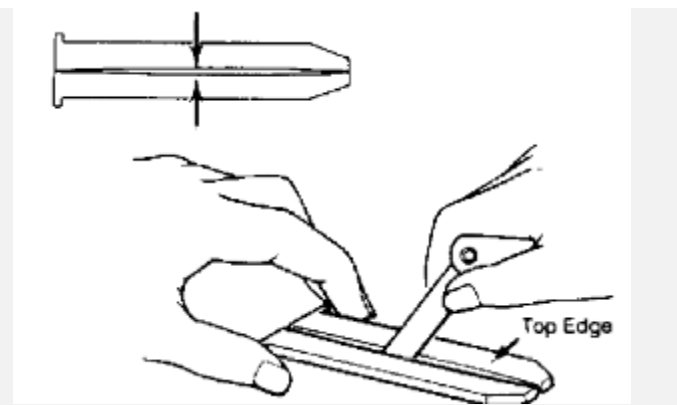
Ápex

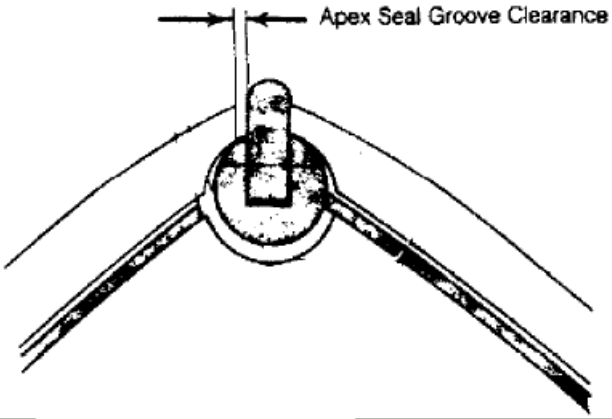
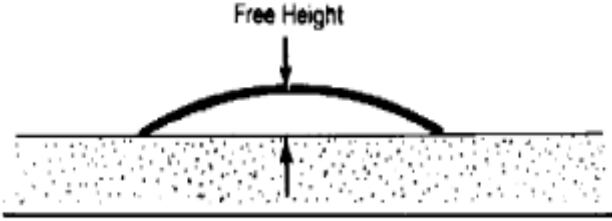
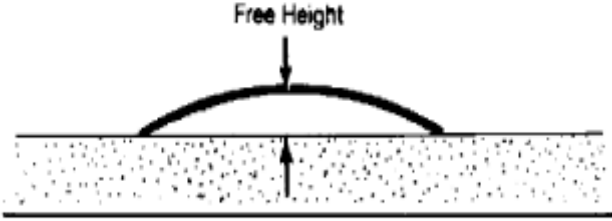
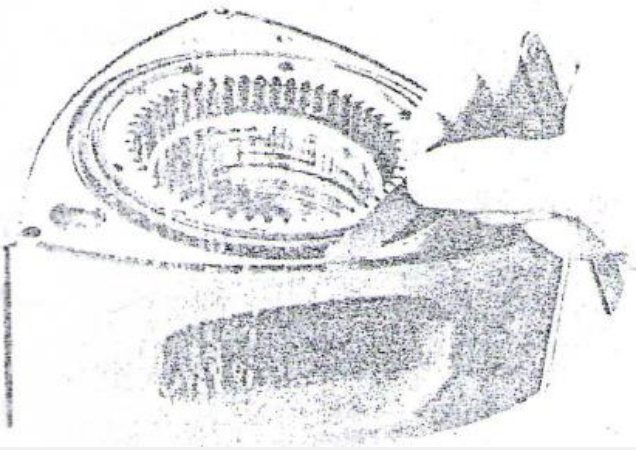
El ancho del Ápex no debe estar bajo la medida límite:  
 Standard: 8,5 mm (0.335").  
 Límite: 7,0 mm (0,276").



Ápex

Verifique la deformación de la cara del ápex que entra en contacto con la superficie del estator.  
 Límite: 0.06mm (0,0024").



<p>Rotor-ápex</p>	<p>Entre el conjunto Rotor-Ápex debe existir una tolerancia:</p> <p>Standard: 0, 05 a 0,09mm.</p> <p>Límite: 0,15mm (0,006”).</p>	 <p>A technical cross-section diagram of a rotor apex seal assembly. A central rotor shaft is shown with a seal ring. The seal ring has a groove on its outer edge. The diagram highlights the 'Apex Seal Groove Clearance' between the rotor and the seal ring with a double-headed arrow.</p>
<p>Ápex</p>	<p>La longitud de los sellos Ápex está dentro de la siguiente tolerancia:</p> <p>0,13 a 0,17 mm (0,0051 a 0,0067”).</p>	 <p>A technical cross-section diagram of an apex seal. A curved seal ring is shown above a textured surface representing the rotor. A vertical double-headed arrow indicates the 'Free Height' of the seal ring above the rotor surface.</p>
<p>Resorte de ápex (cimbra).</p>	<p>Reemplazar si la altura libre es menor a: 5,5mm (0,22”).</p>	 <p>A technical cross-section diagram of an apex spring. A curved spring is shown above a textured surface. A vertical double-headed arrow indicates the 'Free Height' of the spring above the surface.</p>
<p>Sellos laterales (axiales).</p>	<p>Los sellos axiales deben sobresalir de la cara lateral del rotor. Límite: 0,5mm (0,02”).</p>	 <p>A technical drawing of a rotor assembly. The rotor is shown with several axial seals (lip seals) mounted on its side. The drawing illustrates how the seals protrude from the rotor's side face.</p>

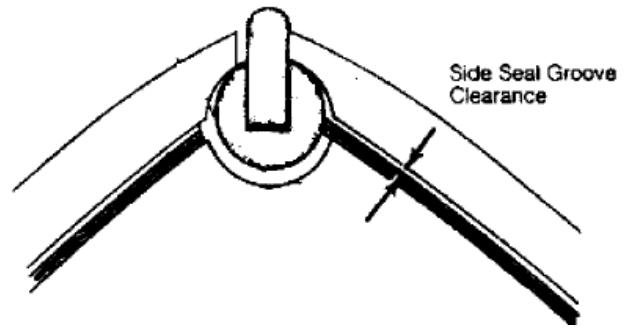
**CONTINÚA** ⇨

Sellos laterales

La tolerancia entre el conjunto rotor-rin axial debe estar entre:

Standard: 0,03 a 0,07mm (0,0012 a 0,0028")

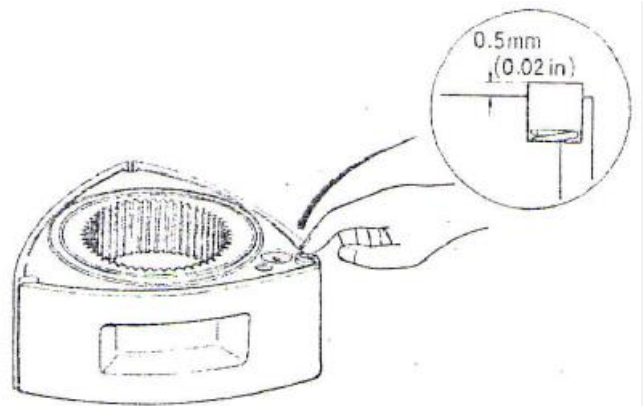
Límite: 0,1mm (0,0039").



Lóbulos

Estos sellos deben sobresalir de la superficie lateral del rotor.

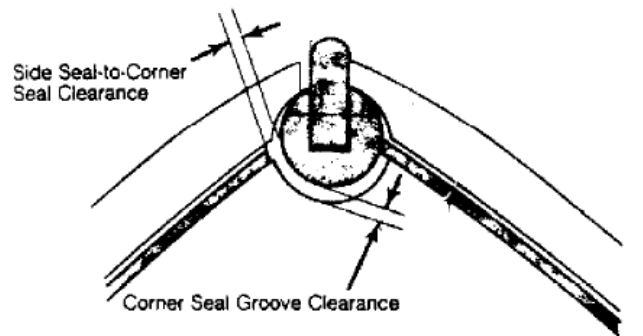
0,5mm (0,02").



Lóbulos

La tolerancia entre el lóbulo y su alojamiento debe estar entre:

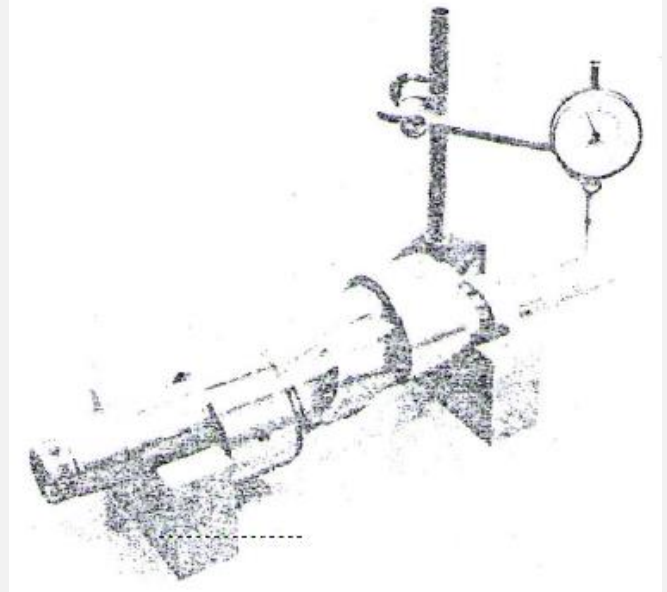
0,05 a 0,15mm (0,002 a 0,006").



**CONTINÚA** →

Cigüeñal

La tolerancia máxima de excentricidad que debe poseer el cigüeñal no se debe exceder del límite: 0,06mm (0,0024”).



Bomba de aceite

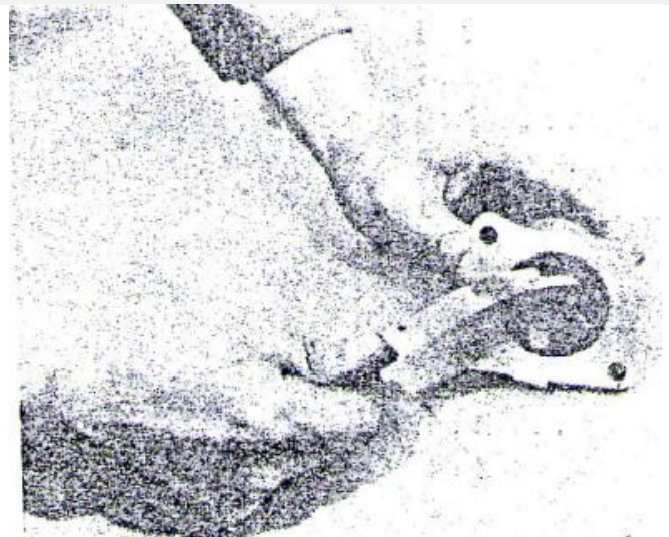
Chequear la tolerancia existente entre:

Rear outer rotor y

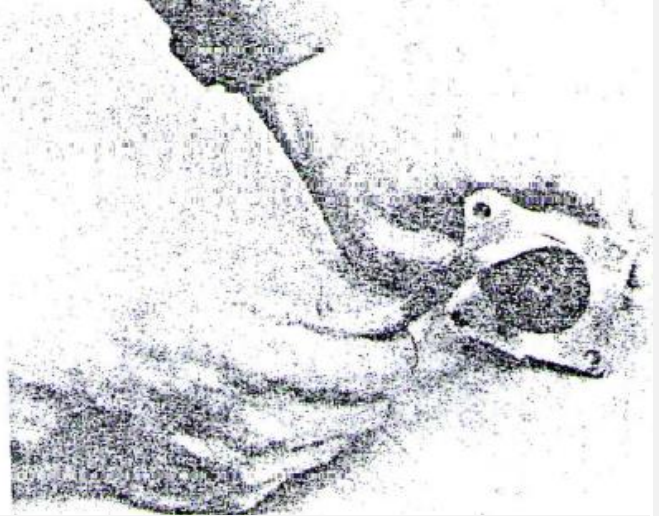
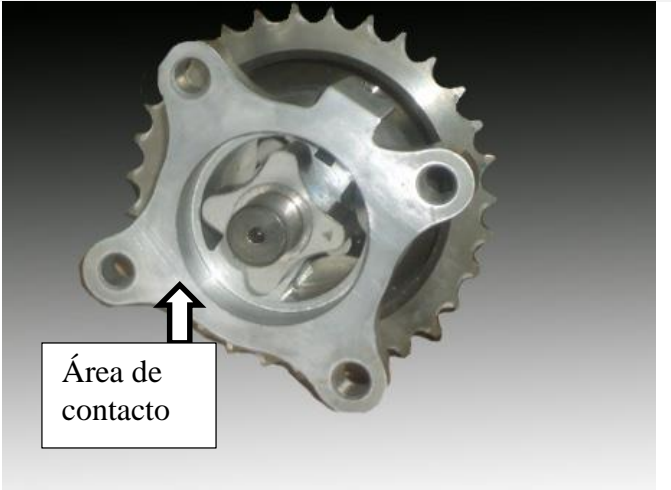
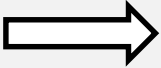
Rear inner rotor.

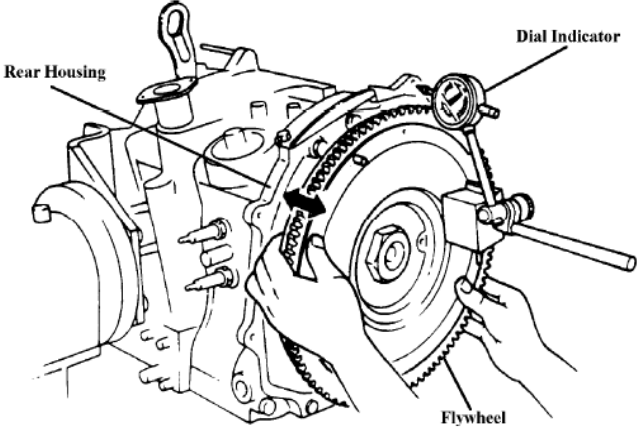
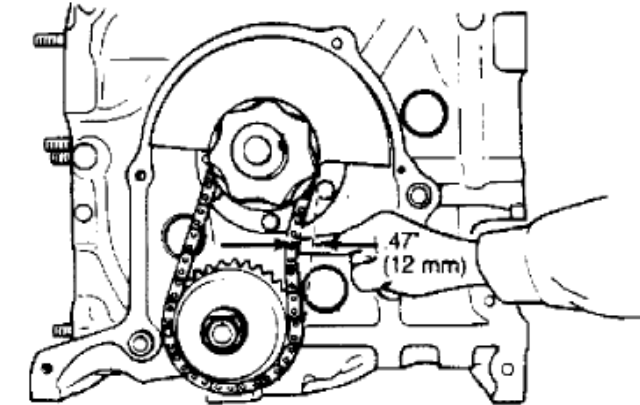
Standard: 0,01 a 0,09mm (0,0004 a 0,0035”).

Límite: 0,15mm (0,006”).



**CONTINÚA** ⇨

<p>Bomba de aceite</p>	<p>Chequear la tolerancia existente entre: Rear outer rotor y Carcasa de la bomba. Standard: 0,20 a 0,25mm (0,008 a 0,010”). Límite: 0,30mm (0,012”).</p>	
<p>Bomba de aceite</p>	<p>Chequear el área de contacto con el motor, su distorsión debe estar entre los siguientes parámetros: Standard: 0,03 a 0,13mm (0,001 a 0,005”). Límite: 0,15mm (0,006”).</p>	
<p>Bomba auxiliar de aceite</p>	<p>Para constatar que su funcionamiento es el correcto, se debe realizar la siguiente prueba. Con el motor a 2000 RPM y durante 6 minutos, la cantidad de aceite</p>	<p>Continúa </p>

	que debe entregar debe estar entre 2 a 2,5 CC.	
Volante del cigüeñal	<p>Con el motor armado se mide la tolerancia que debe poseer el volante de inercia.</p> <p>Standard: 0,04mm a 0,07mm (0,0016 a 0,00276")</p> <p>Límite: 0,09mm (0,0035").</p>	
Cadena de distribución	<p>La tensión correcta de la cadena debe poseer un juego de 12mm (0,47").</p>	

**Fuente.** (TUNE-UP-ROTARY, 2001) ((COMAR), 2014)

#### 4.2.7. Diseño y construcción de mesa con apoyos para el montaje del motor rotativo Mazda 13B.

Para el diseño estático de una estructura las condiciones a tomar en cuenta son:

- Carga.
- Factor de seguridad.
- Confiabilidad.
- Ergonomía.
- Estética.

## **Diseño**

El diseño se realizó en el programa de diseño mecánico inventor, tomando en cuenta el peso del motor, como factor principal puesto que son cargas estáticas. La vibración no se tomó en cuenta porque es mínima, ya que el motor rotativo posee un sistema de balanceo eficiente que reduce notablemente vibraciones en exceso.

Los datos que se tomó en cuenta para el diseño son:

1. El peso neto del motor es de 102 Kg.
2. El peso que se tomó en cuenta para el diseño es de 200 Kg, asumiendo el peso del refrigerante, aceite y adaptaciones de los distintos sistemas.

Seguido se detallan los datos generados por el programa de diseño mecánico inventor:

En las tablas 10-11 se da a conocer el diseño de la mesa a la que fue montado el motor. Esta fue diseñada en el programa de diseño mecánico inventor, y se puede apreciar que si está diseñada para soportar el peso del motor.

**Tabla 4.10.**

Datos de materiales utilizados

Masa	6,9911 kg
Área	2432350 mm <sup>2</sup>
Volumen	6879080 mm <sup>3</sup>
Centro de gravedad	x=454,053 mm y=-325,441 mm z=-290,582 mm



Nombre	Acero al carbón	
General	Densidad	7,87 g/cm <sup>3</sup>
	Límite elástico	350 MPa
	Resistencia última a la tracción	420 MPa
Esfuerzos	Módulo de Young	200 GPa
	Radio de poisson	0,29 ul
	Módulo de corte	77,5194 GPa
Esfuerzo térmico	Coeficiente de Expansión	0,000012 ul/c
	Conductividad térmica	52 W/( m K )
	Calor Específico	486 J/( kg c )
Nombres de partes	MESA CON APOYOS	
	Part1	
	Part1	
	Heavy Hex Flange Screw - Metric M12 x 1,75 x 35	
	Heavy Hex Flange Screw - Metric M12 x 1,75 x 35	

Fuente. Inventor, 2014

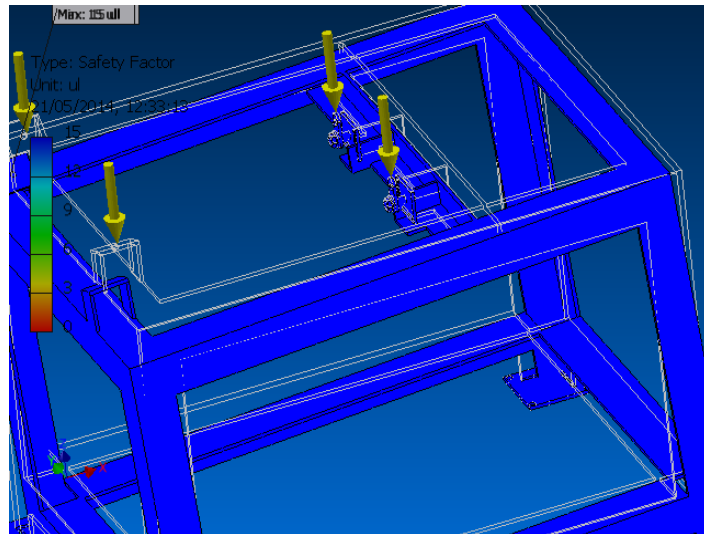
**Tabla 4.11.**

Fuerzas aplicadas sobre el banco del motor rotativo

NOMBRE	MÍNIMO	MÁXIMO
Volumen	6879080 mm <sup>3</sup>	
Masa	54,1384 kg	
Esfuerzo de von mises	0 MPa	10,8477 MPa
1st esfuerzo principal	-1,22681 MPa	5,93204 MPa
3rd esfuerzo principal	-11,9753 MPa	1,74097 MPa
Desplazamiento	0 mm	84,7061 mm

Factor de seguridad	15 ul	15 ul
Esfuerzo xx	-4,88313 MPa	4,88251 MPa
Esfuerzo xy	-2,95256 MPa	2,83137 MPa
Esfuerzo xz	-1,91212 MPa	3,06058 MPa
Esfuerzo yy	-8,7891 MPa	4,82303 MPa
Esfuerzo yz	-3,65271 MPa	4,81028 MPa
Esfuerzo zz	-7,99882 MPa	4,2393 MPa
X desplazamiento	-30,7429 mm	33,3482 mm
Y desplazamiento	-2,83619 mm	1,09796 mm
Z desplazamiento	-78,1271 mm	0 mm
Equivalent strain	0 ul	0,000048770 2 ul
1st principal strain	- 0,0000005555 85 ul	0,000027991 8 ul
3rd principal strain	-0,0000563832 ul	0,000000788 553 ul
Strain xx	-0,0000255921 ul	0,000024883 1 ul
Strain xy	-0,000019044 ul	0,000018262 4 ul
Strain xz	-0,0000123332 ul	0,000019740 8 ul
Strain yy	-0,0000376275 ul	0,000019767 8 ul
Strain yz	-0,00002356 ul	0,000031026 3 ul
Strain zz	-0,0000307351 ul	0,000020128 8 ul
Presión de contacto	0 MPa	45,0004 MPa
Presión de contacto x	-44,8231 MPa	38,9981 MPa
Presión de contacto y	-4,39889 MPa	3,65509 MPa
Presión de contacto z	-4,16982 MPa	3,4102 MPa

**Fuente.** Inventor, 2014



**Figura 4.61.** Factor de seguridad de mesa de apoyo  
**Fuente.** Inventor, 2014

### **Resultados**

De acuerdo con los datos generados por inventor, se puede apreciar que la mesa está sobredimensionada y que soporta sin dificultad el peso del motor. Además queda demostrado científicamente que la estructura de la mesa está en condiciones de soportar las vibraciones del motor y como banco didáctico ofrece seguridad, estabilidad y resistencia.

## CAPÍTULO V

### Conclusiones y Recomendaciones

#### Conclusiones

- La estructura geométrica del motor rotativo es totalmente diferente a la de los motores de ciclo Otto, porque las carcasas hacen la función del block de cilindro de un motor de pistón alternativo, de igual manera forma geométrica del pistón del totalmente diferente.
- La mezcla estequiométrica suministrada por el carburador es similar a la de los motores de dos tiempos, porque la mezcla que ingresa a la cámara de combustión se compone de: aire-gasolina-aceite.
- El sistema de encendido de los motores rotativos es diferente a los demás tipos de motores, porque posee un doble sistema de encendido que es Leading Side y Trailing Side. Este sistema posee un adelanto y un retraso para lograr una combustión completa.
- En la reparación de los motores rotativos, la única rectificación que se puede realizar es en las tapas laterales, porque los demás elementos importantes como son: housing y rines, deben reemplazarse porque no existe rectificación para estos elementos. En los motores de Otto se puede realizar hasta máximo cuatro rectificaciones.
- El motor rotativo es generador de más potencia que un motor de ciclo Otto, debido a que no posee pérdidas de potencia por su giro rotatorio.
- Las bujías que posee este motor son diferentes a las de los motores convencionales, ya que poseen una superficie plana que ayuda a una detonación más eficiente de la mezcla aire-combustible; por lo general, el grado térmico de estas bujías es bajo.
- Las emisiones contaminantes de este motor son más elevadas que los motores de ciclo Otto, porque funcionan como un motor de dos

tiempos, y los contaminantes que emana hacia el exterior son: HC, NOx y en un porcentaje mínimo CO.

- Las vibraciones son reducidas porque poseen un sistema de balanceo muy eficiente, y entre más rotores posea el motor rotativo las vibraciones se reducen en un mayor porcentaje. En los motores Otto las vibraciones son más elevadas porque el único elemento de balanceo que posee es la cinta dentada.
- El rotor gira 1/3 de vuelta por un giro completo del cigüeñal. Esto indica que se necesita menos revoluciones para entregar la misma potencia que un motor de pistón alternativo.
- El motor rotativo no posee sistema de distribución, por lo que admite y expulsa los gases por medio de lumbreras tanto de admisión como de escape.
- Este tipo de motores ha ido evolucionando desde la década de los cincuenta, en la actualidad se ha mejorado con la nueva tecnología, disminuyendo el consumo y las emisiones contaminantes, como es el caso del motor Renesis.

## Recomendaciones

- Al realizar el rectificado de las tapas laterales se debe asegurar que el centro especializado en rectificar motores, encere la rectificadora antes de realizar el trabajo, para así lograr un acabado perfecto, y de esta manera, obtener como resultado que las tapas laterales del motor, mantengan un paralelismo en toda la superficie cromada.
- Antes de realizar la reparación de este tipo de motores, se debe poner en consideración que los repuestos no se consiguen fácilmente en el país, solamente se pueden obtener importando, pero a un precio muy alto, en vista que este tipo de motores no son comerciales.
- El régimen de los motores rotativos es más elevado que los motores de ciclo Otto, un régimen medio sería entre 4000 y 5000 rpm, pero sin sobrepasar las 8000 rpm. En conclusión, los motores rotativos giran de 15 a 20% más que los motores de ciclo Otto.
- Utilizar las bujías adecuadas, en caso de no poseer las bujías originales, utilizar otro tipo pero de bajo grado térmico, como las que se indican en la figura 63 y tabla 4. En la marca Denso W25EG o W27EG u otras marcas, pero con el mismo grado térmico.
- Revisar que la bomba de aceite auxiliar trabaje de forma correcta, caso contrario el desgaste interno sería excesivo. Realizar la prueba que se expone en la tabla 8.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (COMAR), I. C. (Febrero de 2014). Motores rotativos. (S. Jiménez, Entrevistador) 13B, D. R. (s.f.). *Complete Rotary 13B Rebuild-Engine (Part 3)*. Obtenido de Complete Rotary 13B Rebuild-Engine (Part 3):  
<http://www.youtube.com/watch?v=InAejpftFO0>
- Alting, L. (1996). *PROCESOS PARA INGENIERIA DE MANUFACTURA*. New York: Alcaomega Grupo Editor, S.A. de C.V.
- Arrizabalaga, N. L. (2005). *MÁQUINAS PRONTUARIO TÉCNICAS MÁQUINAS HERRAMIENTAS*. Madrid-España.
- Cerna, C. J. (2011). *Autodesk Inventor*. Lima: Grupomegabyte. Código: .620/.Qu84/Aut
- CHAMPION. (s.f.). *Rango termico de la bujía*. Obtenido de Rango termico de la bujía: <http://www.youtube.com/watch?v=b8TpoDJlhvM>
- DENSO. (2014). *Bujías de encendido DENSO*. Obtenido de Bujías de encendido DENSO:  
[http://www.globaldenso.com/en/products/aftermarket/plug/catalog/europe/pdf/pdfcatalog\\_eu\\_esp.pdf](http://www.globaldenso.com/en/products/aftermarket/plug/catalog/europe/pdf/pdfcatalog_eu_esp.pdf)
- Diego Rivera, Y. M. (6 de Febrero de 2009). *Motor Tipo Wankel SISTEMA DE REFRIGERACION*. Obtenido de <file:///G:/motor%20r/Motor%20Rotativo%20Tipo%20Wankel.htm>
- Diego Rivera, Y. M. (2010). *SISTEMA DE LUBRICACIÓN*. Obtenido de <file:///G:/motor%20r/Motor%20Rotativo%20Tipo%20Wankel.htm>
- Farell, M. B. (julio de 2009). *MOTORES ROTATIVOS*. Recuperado el 3 de diciembre de 2012, de <http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/7367/1/MOTORES%20ROTATIVOS.%20Tipolog%C3%ADas%20y%20combustibles%20alternativos..pdf>
- Galicia, F. A. (2012). *MEODOLOGÍA DE A INVESTIGACIÓN*. Mexico D.F.: Trillas, S.A. de C.V.
- Gonzales, H. D. (2009). *Metodología de la investigación Propuesta, anteproyecto y proyecto*. Bogotá-Colombia : EcoEdiciones.
- H. Kindler, H. (1986). *gtz Matemática aplicada para ala tecnica del automovil*. Barcelona, España: EDITORIAL REVERTÉ, S. A., Barcelona.
- Ing. Wilson Quezada, I. C. (2011). *Autodesk AUTOCAD*. Lima-Perú: GEM.
- Ma Angel Martínez Hernandez, E. B. (2008). *Seguridad Industrial*. Madrid-España: Cultural S.A.
- Mazda. (2008). *2008 MAZDA RX-8: CELEBRATING 40 YEARS OF CUTTING-EDGE ROTARY POWER*. Obtenido de 2008 MAZDA RX-8: CELEBRATING 40 YEARS OF CUTTING-EDGE ROTARY POWER:  
<http://www.mazda.com/mazdaspirit/rotary/howto/>
- Mazda Cosmo Restoration Part 12: 13B Rotary Engine Rebuild*. (1976). Obtenido de Mazda Cosmo Restoration Part 12: 13B Rotary Engine Rebuild:  
[http://www.youtube.com/watch?v=ijJeUk\\_GqiI](http://www.youtube.com/watch?v=ijJeUk_GqiI)  
<http://www.youtube.com/watch?v=AYtUZtRW1S8&list=PL59108DD807DD3EF1>
- Mazda. (s.f.). *Mazda Global*. Obtenido de Mazda Global:  
<http://www.mazda.com/mazdaspirit/rotary/howto/>

- mgallegosantos. (Enero de 2010). *Motores rotativos*. Obtenido de Motores rotativos: [mgallegosantos.files.wordpress.com/2010/01tema\\_16-pdf](http://mgallegosantos.files.wordpress.com/2010/01tema_16-pdf)
- Miguel. (30 de abril de 2009). *EL MOTOR ROTATIVO O MOTOR WANKEL*. Obtenido de [www.motorrotativo.com/EL MOTOR ROTATIVO O MOTOR WANKEL.mht](http://www.motorrotativo.com/EL_MOTOR_ROTATIVO_O_MOTOR_WANKEL.mht)
- Motor rotativo tipo wankel*. (s.f.). Obtenido de <file:///C:/Users/FABIAN/Documents/motor%20rotativo/sistema-de-sellos.htm>
- Pastor, J. M. (2009). *ANÁLISIS DEL PROCESO DE BARRIDO EN MOTORES DE DOS TIEMPOS DE PEQUEÑA CILINDRADA*. Barcelona-España: Reverté.
- RE AMEMIYA 20B Diasassembly*. (s.f.). Obtenido de RE AMEMIYA 20B Diasassembly: <http://www.youtube.com/watch?v=gcrVxIORk-w>
- Sánchez, A. (1977). *EL MOTOR WANKEL Y EL MOTOR DE EMBOLO*. Obtenido de EL MOTOR WANKEL Y EL MOTOR DE EMBOLO: <http://www.members.tripod.com/~roteng/mci2.htm>
- Santander, J. R. (2010). *Técnico en Mecánica & Electrónica Automotriz*. Bogota: Diseli editores.
- Santander, J. R. (2011). *Manual Técnico de Fuel Injection*. Bogota-Colombia: Diseli.
- tallerenred.es. (26 de diciembre de 2012).
- talonsport. (30 de Abril de 2003). *Ventajas y desventajas del motor rotativo*. Obtenido de Ventajas y desventajas del motor rotativo: <http://www.zonatuning.com/f13/ventajas-y-desventajas-del-motor-rotativo-53498/>
- The Mazda engine rotary part 2*. (s.f.). Obtenido de The Mazda engine rotary part 2: [http://www.youtube.com/watch?v=Xys2q\\_uItng](http://www.youtube.com/watch?v=Xys2q_uItng)<http://www.youtube.com/watch?v=lyItjvs8nv>
- Toyo Kogyo Co., L. (Marzo de 1977). *Mazda Rotary Pickup. Parts Catalog*. Japón.
- TUNE-UP-ROTARY. (Domingo 26 de Agosto de 2001). [www.iluvmyrx7.com](http://www.iluvmyrx7.com). Obtenido de [www.iluvmyrx7.com](http://www.iluvmyrx7.com).
- Video Armado de sellos de un rotor de motor Mazda 13B-Rev.Mazda RX-8 Renesis*. (s.f.). Obtenido de Video Armado de sellos de un rotor de motor Mazda 13B-Rev.Mazda RX-8 Renesis: <http://www.youtube.com/watch?v=aHJHY9q5yBQ>
- YAMAMOTO, K. (1987). *MOTOR ROTATIVO*. TOKIO.
- Yunes A. Cengel, M. A. (2012). *Termodinámica*. México, DF: Mc Graww Hill.



# **ANEXO 1**

## **Pruebas prácticas para el motor rotativo Mazda 13B.**

Introducción.

Las diferentes pruebas prácticas a realizarse en la maqueta didáctica del motor rotativo Mazda 13B, servirán para conocer los parámetros prácticos de funcionamiento del mismo. Además, servirá como un aporte didáctico para las prácticas que se realicen en este motor, que servirán a la vez, como un respaldo más para el docente en su módulo de enseñanza.

Objetivo General

- Conocer algunas pruebas prácticas que se pueden realizar en este tipo de motores, en las que se toma como referencia los datos indicados por el fabricante y se realizará una comparación con los datos obtenidos en la práctica.

Objetivos Específicos

- Realizar la medición de compresión en el motor antes mencionado.
- Medir la presión de aceite existente en el sistema de lubricación.
- Medir la cantidad de aceite que inyecta la bomba auxiliar de aceite.

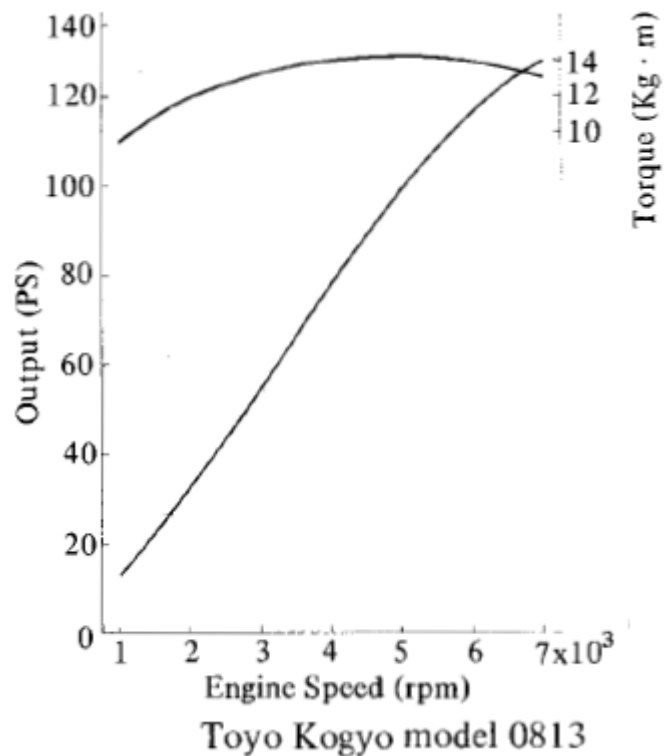
### **Prueba número 1**

- Compresión en las cámaras

Desarrollo experimental

Tomando como referencia este diagrama que indica:

Con el motor a 7000 rpm se debe obtener una compresión de 120 PSI.



Equipo y materiales.

- Medidor de compresión.
- Copas de bujías # 21.

Desarrollo práctico.

- Sacar cables de las bujías.
- Con la copa 21 extraer una de las bujías ya sea de Leading o Trailing de los dos housings.
- Introducir el medidor de compresión.
- Realizar 3 mediciones y obtener un valor medio.
- Este proceso realizar en los dos Housings (carcasas).

## Resultados

Resultado obtenido		Parámetro fabricante
Housing 1	Housing 2	120 PSI a 7000 1/min
1		
2		
3		
$\Sigma$		

### Prueba número 2

- Presión de aceite

#### Desarrollo experimental.

El motor debe poseer una cierta presión de aceite para lubricar los sellos que se alojan en el cigüeñal, y también para dotar de aceite a la bomba auxiliar que inyecta aceite en el carburador, de acuerdo al régimen en que se encuentre el motor. La presión se puede medir por un ducto que posee el motor en la parte derecha sobre el medidor de temperatura. Este orificio posee un tapón de llave hexagonal número 6,5.

#### Equipo y materiales.

- Manómetro de presión.
- Hexágono.

#### Desarrollo práctico.

- Sacar el tapón con el hexágono 6,5.
- Introducir el manómetro con la reducción adecuada.
- Medir la presión del aceite con el motor caliente (95°) y a 3000 rpm.

## Resultados

Resultado obtenido	Parámetro fabricante
	Temperatura 95 °, 3000 1/min, 64-78 PSI

### Prueba 3

Bomba auxiliar de aceite.

Esta bomba dota de aceite al carburador, para que este inyecte al interior del housing, porque los sellos esquineros del rotor (Ápex) necesitan ser lubricados, con el objetivo de minimizar la fricción.

La prueba que se realizará a continuación es con el fin de verificar si la bomba auxiliar de aceite está trabajando normalmente, y esto se lo ejecutará de la siguiente manera:

Se medirá la cantidad de aceite que entrega la bomba auxiliar en un determinado tiempo, y a una revolución indicada.

### Materiales

- Medidor de volumen.

### Desarrollo práctico.

- Calentar el motor a 90°.
- Mantener el motor a 2000 1/min.
- Sacar los ductos de la bomba auxiliar de aceite en la parte del carburador.
- Tomar el medidor de volumen.
- Medir durante 6 minutos la cantidad de aceite que entrega la bomba.
- Medir por más de una vez y obtener un resultado medio.

Resultados.

Resultado obtenido		Parámetro fabricante
1		Temperatura 90°
2		2000 1/min
$\Sigma$		2-2,5 cm <sup>3</sup>

# **ANEXO 2**

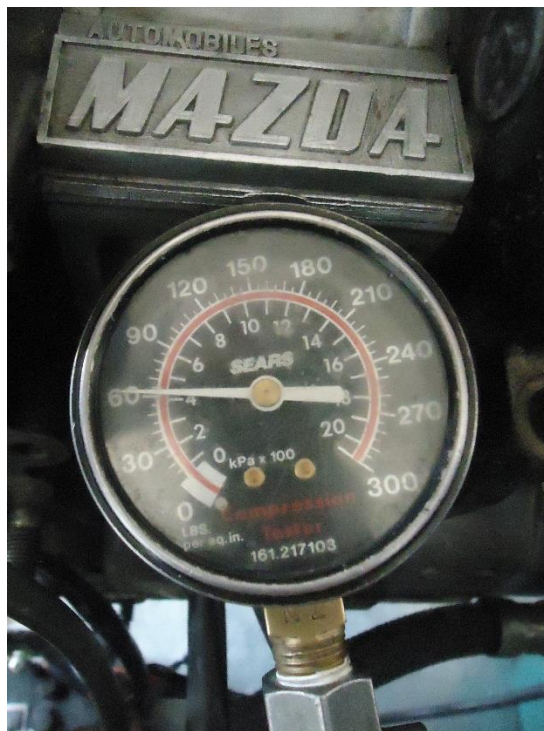














# **ANEXO 3**

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE  
FACULTAD DE EDUCACIÓN CIENCIA Y TECNOLOGÍA  
CARRERA DE ING. EN MANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ**

Director de Carrera.  
Ing. Carlos Segovia

Ibarra, 23 de octubre de 2014

**INFORME**

**Desarmado "MAQUETA DIDÁCTICA PARA UN MOTOR ROTATIVO  
MAZDA 13B."**

Siendo el día lunes 13 de octubre del 2014, se procede a encender el motor rotativo en los Talleres de la UTN, ubicado en el Colegio Universitario, en presencia de los docentes asignados y estudiantes de 7mo nivel de Ingeniería en Mantenimiento Automotriz, donde se pudo apreciar su funcionamiento estable del motor, en un tiempo aproximado de 30 minutos, el cual operó sin mayores complicaciones.

El despiece del motor se lo realizó a  $\frac{3}{4}$ , en el cual se logró apreciar los elementos internos del motor y se comprobó que no muestra un deterioro excesivo, además todas sus partes fijas y móviles del motor se encuentran dentro de los parámetros y estándares adecuados de trabajo.

El trabajo se realizó durante las fechas lunes 13 de octubre 2014 hasta viernes 17 de octubre 2014, donde nuevamente fue encendido, comprobando de esta manera que el motor rotativo Mazda 13B está operando correctamente.

Una vez culminado el proceso se realizaron varias recomendaciones estéticas y de seguridad realizadas por los docentes asignados.

Es todo en cuanto podemos informar de este tema de Tesis, quedando como evidencias que el desarme se lo ha realizado y dando fe de esto, se anexan las siguientes fotografías.

Ing. Diego Pineda

Ing. Alex Calderón

Ing. Carlos Mafla

Santiago Jiménez

Fabián Madera

### Anexos

















**BIBLIOTECA UNIVERSITARIA  
AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN  
A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

**1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA**

La Universidad Técnica del Norte dentro del proyecto Repositorio Digital Institucional, determinó la necesidad de disponer de textos completos en formato digital con la finalidad de apoyar los procesos de investigación, docencia y extensión de la Universidad.

Por medio del presente documento dejo sentada mi voluntad de participar en este proyecto, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
<b>CÉDULA DE IDENTIDAD:</b>	<b>DE</b>	040158692-0	
<b>APELLIDOS Y NOMBRES:</b>	<b>Y</b>	JIMÉNEZ BENAVIDES LEONEL SANTIAGO	
<b>DIRECCIÓN:</b>		BRASIL Y PANAMA	
<b>EMAIL:</b>		Jimenez.santiago19@yahoo.com	
<b>TELÉFONO FIJO:</b>	xxxxxxx	<b>TELÉFONO MÓVIL:</b>	0988637083

DATOS DE LA OBRA	
<b>TÍTULO:</b>	MAQUETA DIDÁCTICA DE UN MOTOR ROTATIVO MAZDA 13B
<b>AUTOR (ES):</b>	JIMÉNEZ BENAVIDES LEONEL SANTIAGO
<b>FECHA: AAAAMMDD</b>	2015-02-13
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
<b>PROGRAMA:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> <b>PREGRADO</b> <input type="checkbox"/> <b>POSGRADO</b>
<b>TÍTULO POR EL QUE OPTA:</b>	INGENIERO EN MANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ
<b>ASESOR /DIRECTOR:</b>	Ing. Diego Pineda

## 1. AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD


Yo, Jiménez Benavides Leonel Santiago, con cédula de identidad Nro. 040158692-0, en calidad de autor y titular de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo de grado descrito anteriormente, hago entrega del ejemplar respectivo en formato digital y autorizo a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y uso del archivo digital en la Biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad del material y como apoyo a la educación, investigación y extensión; en concordancia con la Ley de Educación Superior Artículo 144.

## 2. CONSTANCIAS

Los autores manifiestan que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto la obra es original y que es el titular del derecho patrimonial, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

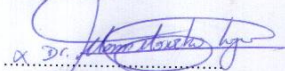
Ibarra, a los 13 días del mes de Febrero del 2015

### Los autores:



Jiménez Benavides Leonel Santiago

### Aceptación:



Ing. Betty Chávez  
JEFE DE BIBLIOTECA



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE GRADO**  
**A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

**1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA**

Yo, Jiménez Benavides Leonel Santiago, con cédula de identidad Nro. 040158692-0, manifiesto mi voluntad de ceder a la Universidad Técnica del Norte los derechos patrimoniales consagrados en la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador, artículos 4, 5 y 6, en calidad de autor (es) de la obra o trabajo de grado denominado: "MAQUETA DIDÁCTICA DE UN MOTOR ROTATIVO MAZDA 13B" que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero en Mantenimiento Automotriz. En mi condición de autor reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Técnica del Norte.

Ibarra, a los 13 días del mes de Febrero del 2015

DIRECCIÓN:	13 DE ABRIL IBARRA		
Los autores:	Pedro M. Madera		
	230-434	TELÉFONO MÓVIL:	099104547

Jiménez Benavides Leonel Santiago  
C.I.: 040158692-0

<b>DATOS DE LA OBRA</b>	
TÍTULO:	MAQUETA DIDÁCTICA DE UN MOTOR ROTATIVO MAZDA 13B
AUTOR (ES):	MAQUETA DIDÁCTICA DE UN MOTOR ROTATIVO MAZDA 13B
FECHA DE ASESORADO:	2015-02-13
SOLAMENTE PARA TRABAJOS DE GRADO	
ENFERMADA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	INGENIERO EN MANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ
ASESOR DIRECTOR:	Ing. Diego Pinada





**BIBLIOTECA UNIVERSITARIA  
AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN  
A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

**1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA**

La Universidad Técnica del Norte dentro del proyecto Repositorio Digital Institucional, determinó la necesidad de disponer de textos completos en formato digital con la finalidad de apoyar los procesos de investigación, docencia y extensión de la Universidad.

Por medio del presente documento dejo sentada mi voluntad de participar en este proyecto, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA IDENTIDAD:	DE	040164662-5	
APELLIDOS NOMBRES:	Y	MADERA GUERRERO FABIAN RODRIGO	
DIRECCIÓN:	13 DE ABRIL E IBARRA		
EMAIL:	Fabian_madera@hotmail.com		
TELÉFONO FIJO:	2987-459	TELÉFONO MÓVIL:	0959104647

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	MAQUETA DIDÁCTICA DE UN MOTOR ROTATIVO MAZDA 13B
AUTOR (ES):	MADERA GUERRERO FABIAN RODRIGO
FECHA: AAAAMMDD	2015-02-13
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	INGENIERO EN MANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ
ASESOR /DIRECTOR:	Ing. Diego Pineda

## 2. AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD

Yo, Madera Guerrero Fabián Rodrigo, con cédula de identidad Nro. 040164662-5, en calidad de autor y titular de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo de grado descrito anteriormente, hago entrega del ejemplar respectivo en formato digital y autorizo a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y uso del archivo digital en la Biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad del material y como apoyo a la educación, investigación y extensión; en concordancia con la Ley de Educación Superior Artículo 144.

## 3. CONSTANCIAS

Los autores manifiestan que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto la obra es original y que es el titular del derecho patrimonial, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.


Ibarra, a los 13 días del mes de Febrero del 2015

Los autores:



Madera Guerrero Fabián Rodrigo

Aceptación:



Ing. Betty Chávez  
JEFE DE BIBLIOTECA



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE  
CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE GRADO  
A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

Yo, Madera Guerrero Fabián Rodrigo, con cédula de identidad Nro. 040164662-5, manifiesto mi voluntad de ceder a la Universidad Técnica del Norte los derechos patrimoniales consagrados en la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador, artículos 4, 5 y 6, en calidad de autor (es) de la obra o trabajo de grado denominado: "MAQUETA DIDÁCTICA DE UN MOTOR ROTATIVO MAZDA 13B" que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero en Mantenimiento Automotriz. En mi condición de autor reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Técnica del Norte.

Ibarra, a los 13 días del mes de Febrero del 2015

**Los autores:**

.....  
Madera Guerrero Fabián Rodrigo  
C.I.: 040164662-5