UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA

Repositorio Digital USM **https://repositorio.usm.cl**

Tesis USM TESIS de Pregrado de acceso ABIERTO

2022

PROPUESTA DE REDISEÑO DE SISTEMA EN MOTOR ROTATIVO WANKEL PARA EL VEHÍCULO MAZDA RX 7

ZEGPI TOLEDO, NICOLÁS JOAQUÍN

https://hdl.handle.net/11673/53923

Repositorio Digital USM, UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
SEDE DE CONCEPCIÓN – REY BALDUINO DE BÉLGICA

PROPUESTA DE REDISEÑO DE SISTEMA EN MOTOR ROTATIVO WANKEL PARA EL VEHÍCULO MAZDA RX 7

Trabajo de titulación para optar al Título Profesional de Ingeniero de Ejecución Mecánica de Procesos y Mantenimiento Industrial

Alumno:
Nicolás Joaquín Zegpi Toledo

Profesor guía:
Eduardo Andrés Aracena Cuéllar

2022

DEDICATORIA

Dedicado a mi madre Bárbara Carolina Toledo Latorre, a mis abuelos, Berta, Alexis, Manuel y Eva, a mis tías Catarina y Valentina que han sido como mis hermanas, y a toda mi familia. Agradezco también Andrés Campos, con quien comencé este informe y juntos lo llevamos a cabo. A mis profesores de toda la vida, y a todos los entrenadores que me han ayudado en mi vida deportiva.

RESUMEN

El motor rotativo Wankel es un motor de combustión interna que funciona de una manera completamente diferente a los motores comúnmente conocidos. Ya que el cigüeñal permanece fijo y el motor completo gira a su alrededor, además este diseño no posee pistones, sino que dos rotores que son los responsables de cumplir con los cuatro tiempos (admisión, compresión, expansión, escape). Este diseño fue muy usado en la época de la primera guerra Mundial y durante esta para propulsar aviones, automóviles y motocicletas. Dentro de las principales desventajas de este motor tenemos el alto consumo de combustible y de lubricante de motor, temperaturas dispares y principalmente la alta emisión de gases contaminantes, debido a esto último no se podía circular en algunas zonas geográficas del mundo que tienen normativas de emisiones contaminantes más estrictas. Debido a estos inconvenientes los fabricantes optaron por no continuar produciendo este tipo de motor. Mazda fue sin duda la marca más reconocida por utilizar en varios modelos el motor rotativo y la que por mayor tiempo mantuvo la producción de este, hasta el año 2012 con la última producción del deportivo Mazda rx-8. A partir de estos inconvenientes surge la idea de solucionar dichos problemas para evitar la obsolescencia de este motor que sin duda ha dado mucho que hablar a través de la historia debido a sus prestaciones y su particular método de funcionamiento.

Partiendo por la base del motor rotativo wankel utilizado en la última generación de rx-8 comenzaremos la eliminación, sustitución y modificación de piezas y componentes que identifiquemos como responsables de los principales inconvenientes de este motor, con el fin de erradicarlos definitivamente y a su vez lograr disminuir los índices de gases contaminantes. Todo esto con el fin de plantear una modificación o rediseño de este motor que vendrá a mejorar los desperfectos que este tenía originalmente para así aumentar la confiabilidad de este motor y poder aprovechar completamente sus prestaciones que no pueden ser entregadas por un motor tradicional como lo son su diseño compacto, bajo peso y alto torque. De esta forma poder brindarle una segunda oportunidad y así evitar la obsolescencia de este motor que no solo resalta por su método de funcionamiento, sino que también por las múltiples ventajas que nos puede proporcionar a diferencia de un motor convencional

ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA 2

RESUMEN 3

INTRODUCCIÓN 8

LIMITACIONES 9

OBJETIVO GENERAL 10

OBJETIVOS ESPECIFICOS 10

CONFLICTOS A SOLUCIONAR 11

CAPITULO 1: IDENTIFICAR LAS TECNOLOGÍAS Y NORMATIVAS ALREDEDOR DE LOS MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA DE USO AUTOMOTRIZ E INDUSTRIAL 12

1.1 Normativas De Emisiones Contaminantes En La Industria Automotriz Actualmente ... 13

1.2 Proceso De Ignición Y Las Tecnologías Asociadas A Este En Motores De Combustión Interna 14

1.2.1 Elementos Básicos Para El Proceso De Ignición: 14

1.2.2 Tipos De Encendidos: 14

1.3 Sistemas De Lubricación Y Las Tecnologías Asociadas En Motores De Combustión Interna. 14

1.3.1 Lubricación Por Barboteo. 15

1.3.2 Lubricación Forzada Por Presión 15

1.3.3 Engrase Directo A Través Del Combustible. 15

1.4 Sistemas De Refrigeración Y Las Tecnologías Asociadas En Motores De Combustión Interna. 15

1.5 Sistemas De Admisión Del MRW 16

CAPÍTULO 2: PROPONER EL REDISEÑO DEL MOTOR ROTATIVO WANKEL A PARTIR DE FACTORES DE MEJORA EVALUADOS 21

2.1 Realización O Elaboración De Un Análisis En Términos De Ventajas Y Desventajas De La Tecnología Actual Del Motor Rotativo Wankel 22

2.1.1 Ventajas 22

2.1.2 Inconvenientes 27

2.2 Identificación De Los Factores De Mejora Del M.R.W. 31

2.3 Evaluación Técnica De Modificación Del M.R.W. Considerando Los Factores De Mejora Identificados.....32

2.4 Propuesta De Rediseño Del M.R.W.....32

CAPITULO 3: EVALUAR ECONÓMICAMENTE EL REDISEÑO Y LA OPERACIÓN DEL MOTOR ROTATIVO WANKEL.....33

3.1 Cotizar Motor Standard (Sin Modificaciones) 34

3.2 Verificar Compatibilidad De Repuestos Y Accesorios.....35

3.3 Rediseño De Componentes.....35

3.4 Cotizar Modificaciones Y Refacciones.....35

3.5 Cotización De Mano De Obra 40

(performance, 2021) 40

3.6 Puesta En Marcha Y Su Metodología 41

3.7 Metodología De Verificación De Parámetros 41

3.8 Comparativa De Parámetros.....42

3.9 Evaluación De Parámetros 42

3.10 Valorización De Gastos 43

CAPITULO 4: PROPUESTAS DE SOLUCIÓN 45

4.1 Solucionar La Falta De Lubricación En Los Sellos Ápex 46

4.1.1 Excelente Auto Lubricación 46

4.1.2 Excelente Durabilidad Térmica 46

4.1.3 Excelente Resistencia Química 46

4.1.4 Resistencia Al Choque Térmico 46

4.2 Solucionar La Alta Emisión De Contaminantes Que No Permiten La Aplicación De Este Motor Ante Las Actuales Normas De Contaminantes. 47

4.2.1 Beneficios De Utilizar Premix.....48

4.3 Controlar Las Altas Temperaturas De Trabajo. 49

4.4 Lograr Un Equilibrio De Temperaturas O Acercarse A Ello. 51

4.5 Disminuir El Consumo De Combustible Provocado Por Las Pérdidas O Filtraciones De Las Lumbreras. 51

CONCLUSIÓN 53

BIBLIOGRAFÍA 54

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Despiece del MRW 16

Figura 2 - Posición de las lumbreras de admisión 17

Figura 3 - Vista frontal MRW puertos periféricos 17

Figura 4 – MRW Vista real en corte 18

Figura 5 - Stock port 19

Figura 6 - Street port 19

Figura 7 - Bridge port 20

Figura 8 - Características Mazda rx7 22

Figura 9 - Ficha técnica BMW 130i 22

Figura 10 - Desarme MRW 23

Figura 11 - Desarme motor v8 23

Figura 12 - Tiempos en el MRW 24

Figura 13 – Flujo en MRW 24

Figura 14 - Tiempos en el MRW 26

Figura 15 - Distribución de temperaturas en la superficie del rotor MRW 27

Figura 16 - Distribución de vibraciones en MRW 27

Figura 17 - Comparación estructural de lubricante mineral y sintético 28

Figura 18 - Vista frontal plano MRW 29

Figura 19 - Motor bmw S54 29

Figura 20 - Sistema de sellado cámara de combustión 30

Figura 21 - Ignición MRW 31

Figura 22 - Cotización MRW rx8 4 puertos 5 velocidades 34

Figura 23 - Cotización MRW rx8 6 puertos 6 velocidades 34

Figura 24 - Cotización convertidor catalítico odb2 con orificio para sensor o2 35

Figura 25 - Cotización enfriador de aceite mazda mx5 nd 2.0 L 36

Figura 26 - Cotización sistema de eliminación bomba OMP 36

Figura 27 - Cotización plug inyector de aceite 37

Figura 28 - Cotización aceite náutico 37

Figura 29 - Cotización radiador yonaka mazda rx8 2004 – 2008 38

Figura 30 – Bomba PreMix 38

Figura 31 – Aceite 10w30 full sintético 39

Figura 32 - Comparativa cilindrada, consumo, emisiones 43

Figura 33 - Comparativa rendimiento uso normal y alto 47

Figura 34 – Catalizador 48

Figura 35 – Radiador 50

Figura 36 - Sistema enfriador de aceite maxda mx5 50

Figura 37 - Partes del MRW 51

INTRODUCCIÓN

“En el año 1924 el ingeniero mecánico Félix Heinrich Wankel, diseñó el primer sistema de motor rotativo que no poseía pistones, el cual patentó en el año 1926, sin embargo, no sería hasta el año 1957, en su trabajo en la empresa NSU motorenwerke AG, en donde desarrollaría el primer prototipo de este motor, el cual recibió mejoras antes de su montaje, lo cual requirió una nueva patente, posterior a esto recibió nuevas mejoras por la empresa Curtiss – Wright, este diseño mejorado, fue comprado al año siguiente por la empresa automotriz Mazda, el cual emplearía este diseño en la serie RX”. (Wikipedia, 2019) . El motor rotativo wankel es un motor de combustión interna que funciona completamente diferente a un motor convencional, llama mucho la atención por su forma epitrocoidal, diseño compacto y por no poseer pistones, ni válvulas, Este diseño fue muy usado en la época de la primera guerra Mundial y durante esta para propulsar aviones, automóviles y motocicletas. Debido a sus increíbles prestaciones y bajo peso, pero desgraciadamente requería un exhaustivo mantenimiento y sobre todo estar muy bien informado sobre sus cuidados como usuario. Muchas marcas del área automotriz pagaron por la patente de este motor para ser incorporado en sus vehículos, pero la gran mayoría desistió por lo anteriormente mencionado, a excepción de Mazda que creo varios modelos y variantes del motor rotativo. Sin embargo, con el pasar de los años la gran mayoría de estos motores fallaron de igual forma. Generando una rápida obsolescencia de este tipo de motor.

LIMITACIONES

La normativa vehicular específica y vigente en Chile, establece parámetros de emisiones respecto a CO, NOx, PPM e HC. Mientras que por otra parte se establece la vigencia de las Normas euro, para las medidas correspondientes al CO2, esto según el año del vehículo.

Para este vehículo, Mazda Rx7, de la versión 1990 a 2000, le corresponde la normativa euro 2, la cual, no especifica los límites de emisiones de CO2, pero si especificando límites de CO (2,2 g/km) y HC + NOx (0,5 g/km).

Sin embargo, no existen antecedentes de emisiones en ensayos en dinamómetros que contemplen otras variables distintas al dióxido de carbono, es decir, dado al año del vehículo, no se encuentran valores ni ensayos que contemplen CO, HC + NOx, NOx, HC, o PPM; es decir, solo se encuentran valores de emisiones de CO2, las cuales, según norma, no se aplican por el año del vehículo.

Sin embargo, se ha comparado el aspecto de emisiones de CO2 con vehículo de similar potencia y gama, que podrían verse enfrentadas en la industria automotriz de competición de alta gama, como, por ejemplo, la carrera de veinticuatro horas de Le Mans.

OBJETIVO GENERAL

Proponer el rediseño del proceso estequiométrico del motor rotativo Wankel y sus componentes en el vehículo Mazda Rx7, incorporando mejoras para su desempeño y potenciación.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

1. Identificar las tecnologías y normativas alrededor de los motores de combustión interna de uso automotriz e industrial.

METODOLOGÍA

1.1. Investigar las normativas de emisiones de contaminantes en la industria automotriz actualmente.
1.2. Investigar el proceso de ignición y las tecnologías asociadas a este, en motores de combustión interna.
1.3. Investigar sistemas de lubricación y las tecnologías asociadas a este, en motores de combustión interna.
1.4. Investigar sistemas de refrigeración y las tecnologías asociadas a este, en motores de combustión interna.
1.5. Investigar los sistemas de admisión de este sistema.

2. Proponer el rediseño del motor rotativo wankel a partir de factores de mejora evaluados e investigados

METODOLOGÍA

2.1 Realización o elaboración de un análisis en términos de ventajas y desventajas de la tecnología actual del motor rotativo wankel
2.2 Identificación de los factores de mejora del M.R.W.
2.3 Evaluación técnica de modificación del M.R.W. considerando los factores de mejora identificados.
2.4 Propuesta de rediseño del M.R.W.
2.5 Incorporar posibles aplicaciones del M.R.W. modificado.

3. Evaluar económicamente el rediseño y la operación del motor rotativo wankel.

METODOLOGÍA

3.1 Cotizar importadores de motores y accesorios.

3.2 Verificar compatibilidad de repuestos

3.3 Rediseño de componentes

3.4 Cotizar modificaciones y refacciones.

3.5 Cotización de mano de obra

3.6 Puesta en marcha y su metodología.

3.7 Metodología de verificación de parámetros.

3.8 Comparativa de parámetros.

3.9 Evaluación de parámetros.

3.10 Valorización de activos

CONFLICTOS A SOLUCIONAR

- Solucionar la falta de lubricación en los sellos ápex
- Solucionar la alta emisión de contaminantes que no permiten la aplicación de este motor ante las actuales normal de contaminantes.
- Controlar las altas temperaturas de trabajo.
- Lograr un equilibrio de temperaturas o acercarse a ello.
- Perdidas o filtraciones por las lumbreras.

CAPITULO 1: IDENTIFICAR LAS TECNOLOGÍAS Y NORMATIVAS ALREDEDOR DE LOS MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA DE USO AUTOMOTRIZ E INDUSTRIAL

1.1 Normativas De Emisiones Contaminantes En La Industria Automotriz Actualmente

La subsecretaría de transportes estipuló el 18 de octubre de 1991, y publicó el 11 de diciembre de 1991, la ley n°211, en donde habla sobre la contaminación producida por el sector automotriz y como afecta a la calidad de aire en la zona metropolitana y regiones, haciendo alusión a la necesidad de nuevas normativas de agentes contaminantes.

En el artículo n°1, se puede observar la clasificación de distintos grupos motorizados, ad hoc a su uso y peso. El vehículo analizado y en cuestión, que usa el M.R.W. se encuentra en la clasificación de "Vehículos motorizados livianos", la cual dice, que "Son todos los vehículos motorizados livianos diseñados principalmente para el transporte de personas. Se incluyen en esta definición, las camionetas livianas o furgones con un peso bruto menor a 2.700 kg. y que son derivadas de vehículos que fueron originalmente diseñados para el transporte de pasajeros".

Posterior a esto, específicamente en el artículo n°4, específica sobre las emisiones permitidas, para vehículos comerciales livianos, que es la categoría del automóvil de estudio, donde se dice que, las emisiones deben, no sobrepasar los siguientes valores

"HC totales: 0,5 g/km

CO: 6,2 g/km

NOx: 1,43 g/km

Partículas: 0,16 g/km"

(Gobierno de Chile, 1991)

1.2 Proceso De Ignición Y Las Tecnologías Asociadas A Este En Motores De Combustión Interna

1.2.1 Elementos Básicos Para El Proceso De Ignición:

- Batería
- Llave de encendido
- Distribuidor (Según el sistema de encendido)
- Bobina
- Sensores (Según el sistema de encendido)
- Unidad de control de motor (ECU) (Según el sistema de encendido)
- Cables
- Bujía

1.2.2 Tipos De Encendidos:

La evolución de la tecnología en los automóviles no ha estado exenta de modificaciones en los sistemas de encendido de motores de ciclo Otto. hasta mediados de la década del 90 aproximadamente el encendido convencional era genérico para todos los vehículos sin embargo con el pasar de los años fueron incorporándose cada vez más sistemas de encendido como los son:

- El encendido convencional
- El encendido transistorizado por contactos
- El encendido transistorizado por efecto Hall
- El encendido por generador de impulsos por inducción
- El controlado por la unidad de control

1.3 Sistemas De Lubricación Y Las Tecnologías Asociadas En Motores De Combustión Interna.

Las piezas móviles del motor necesitan ser lubricadas, debido a las propias características de cada componente, el modo de engrase se realiza de distinta manera. Por este motivo, existen distintos tipos de lubricación para los diferentes modelos motores en el mercado. Las cuales se dividen en tres:

1.3.1 Lubricación Por Barboteo.

El lubricante se dirige las bancadas de biela y otra parte por la parte baja del motor formando una película de aceite que se recoge en pequeños pozos que presentan orificios en su parte inferior, situados sobre zonas a lubricar. El lubricante cae posteriormente por gravedad nuevamente cárter

1.3.2 Lubricación Forzada Por Presión

Es un tipo de lubricación forzada por una bomba de aceite, accionada por el movimiento del cigüeñal, que se encarga de generar presión y caudal suficientes para hacer llegar el lubricante a través de canalizaciones especiales a todas las partes del motor que necesiten ser lubricadas.

1.3.3 Engrase Directo A Través Del Combustible.

Consiste en agregar el aceite directamente al combustible o también añadir ambos en dos depósitos distintos, para este último debe utilizarse un mezclador automático que dosifique la proporción adecuada de mezcla (aceite-combustible) en función de las revoluciones y la carga del motor. Como es el caso del motor rotativo wankel.

1.4 Sistemas De Refrigeración Y Las Tecnologías Asociadas En Motores De Combustión Interna.

El motor de un automóvil en funcionamiento alcanza una temperatura muy elevada que puede llegar a generar daños en los elementos móviles de este. por tal motivo es necesario refrigerarlo, es por esto que la función del sistema de refrigeración del motor es fundamental, este está conformado por un conjunto de elementos que tienen la función de eliminar el exceso de calor acumulado producto de la compresión del motor, manteniéndolo en valores de temperatura normales de funcionamiento los cuales se encuentran entre los 75ºc y los 90ºc.

Existen principalmente dos tipos de refrigeración:

- A través del Aire:

La refrigeración por aire se utiliza frecuentemente en motocicletas y automóviles de tipo pequeño y principalmente en los que en sus motores los cilindros van dispuestos de forma horizontal. En los equipos que adoptan este sistema, la refrigeración se produce durante el movimiento y estos suelen ser más livianos y poco ruidosos, se enfrían y calientan con mucha facilidad.

- A través de líquido (aguja o refrigerante):

Es el método empleado para la dispersión del calor, dado que, al circular entre los cilindros por las celdas dispuestas en el bloque y la culata, llamadas cámaras de agua, recoge el calor y va a dirigirse al radiador, disponiéndola para volver nuevamente al bloque y a las camas de agua y circular entre los cilindros.

Elementos fundamentales para la refrigeración por liquido**:**

- Radiador
- Electroventilador
- Bomba de agua
- Termostato

1.5 Sistemas De Admisión Del MRW

El proceso de admisión se logra a través del movimiento del rotor triangular abriendo y cerrando los puertos de admisión y escape, según donde se encuentre dicho motor, permite u obstruye el paso de combustible.

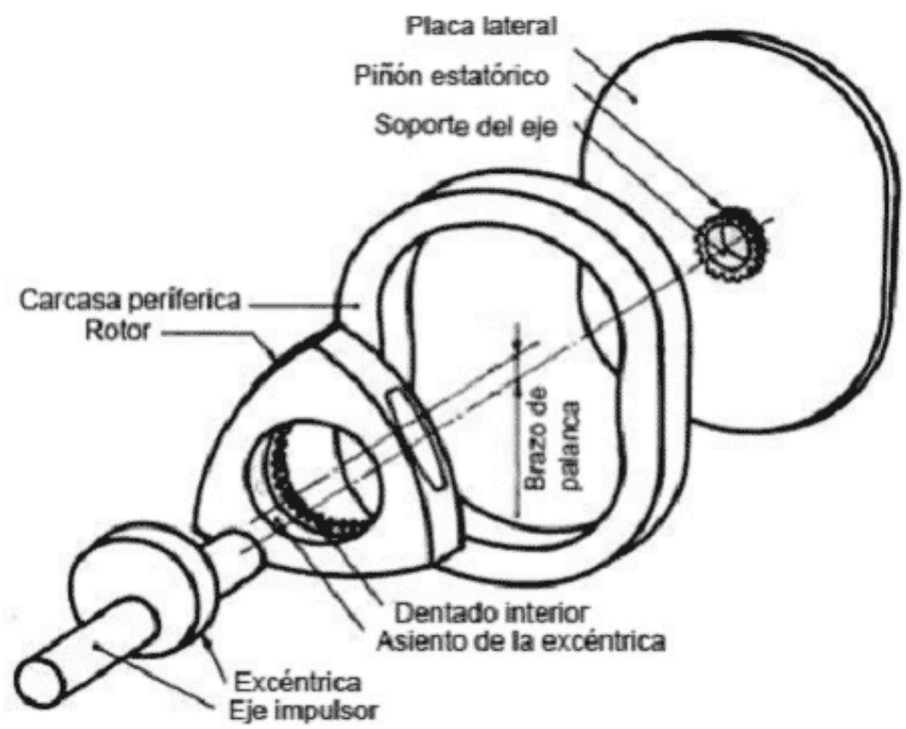


Figura 1 - Despiece del MRW
Fuente: https://www.mundodelmotor.net/motor-wankel/

Existen dos caminos por los cuales se puede realizar la inyección de combustible, este puede hacerse de manera frontal, por las “placas laterales” divisoras de rotor, denominado, “Side port”, o también de manera lateral, denominada “peripheral port” es decir, por la “carcasa periférica “del motor.

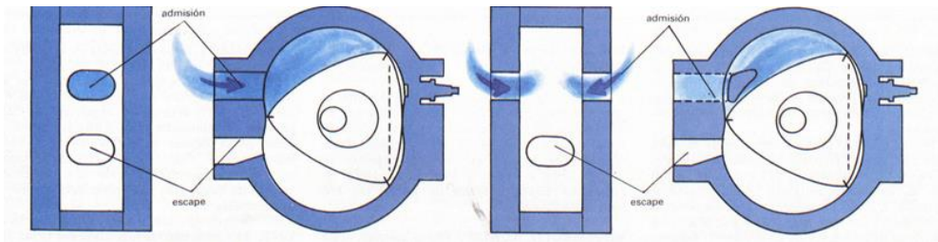


Figura 2 - Posición de las lumbreras de admisión
Fuente: https://diccionario.motorgiga.com/diccionario/wankel-motor-definicion-significado/gmx-niv15-con195967.htm

Si bien, no existe un camino o forma de inyección que se diga, sea mejor que la otra, se puede observar que estas, tienen aplicaciones totalmente diferentes

- Peripheral port

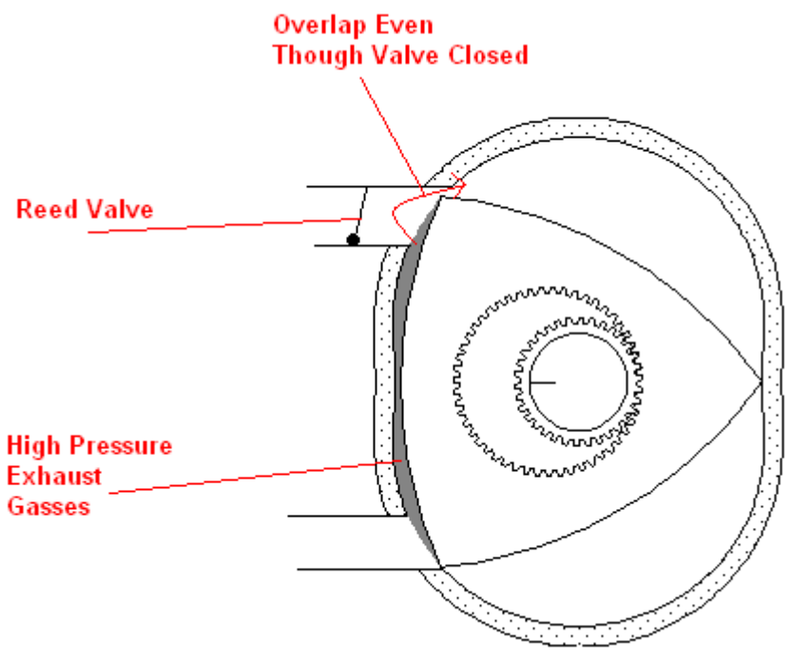


Figura 3 - Vista frontal MRW puertos periféricos
Fuente: https://www.aaroncake.net/forum/topic.asp?TOPIC_ID=8678

Fue la primera forma de admisión, y se usa, principalmente, cuando es requerida una inyección abrasiva y agresiva, este tipo de admisión, fue la del reconocido Mazda 787b, ganador de la competencia de Le Mans.

- Side port

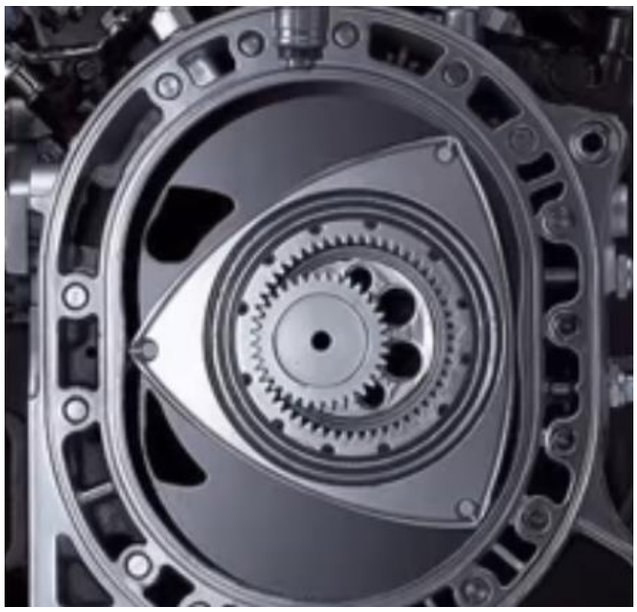


Figura 4 – MRW Vista real en corte
Fuente: https://www.youtube.com/watch?v=ZoU7sPd_Id0&t=776s

Este tipo de paso permite un flujo mucho más controlado de mezcla y de manera no tan agresiva, existen distintos tipos de Side port, según la aplicación que se busque, y esto se logra haciendo un dibujo distinto en la placa lateral.

- Stock port

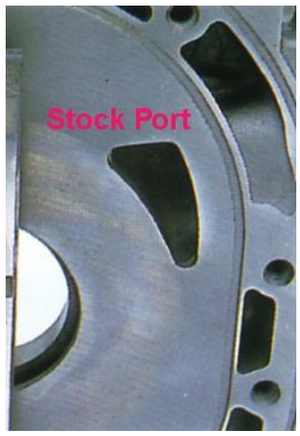


Figura 5 - Stock port
Fuente: http://fc3spro.com/TECH/PORT/porting.html

Diseño de admisión por defecto o de fábrica.

- Street port

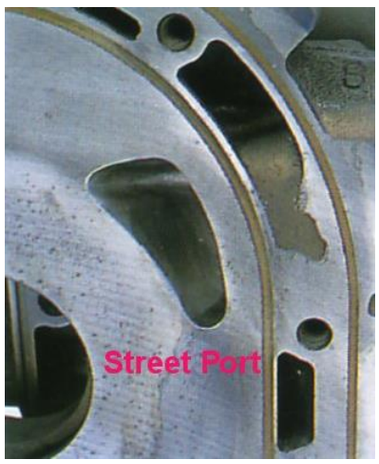


Figura 6 - Street port
Fuente: http://fc3spro.com/TECH/PORT/porting.html

Consiste en alargar el diseño de fábrica, para lograr un flujo un poco más agresivo, pero manteniéndose controlado

- Bridge port

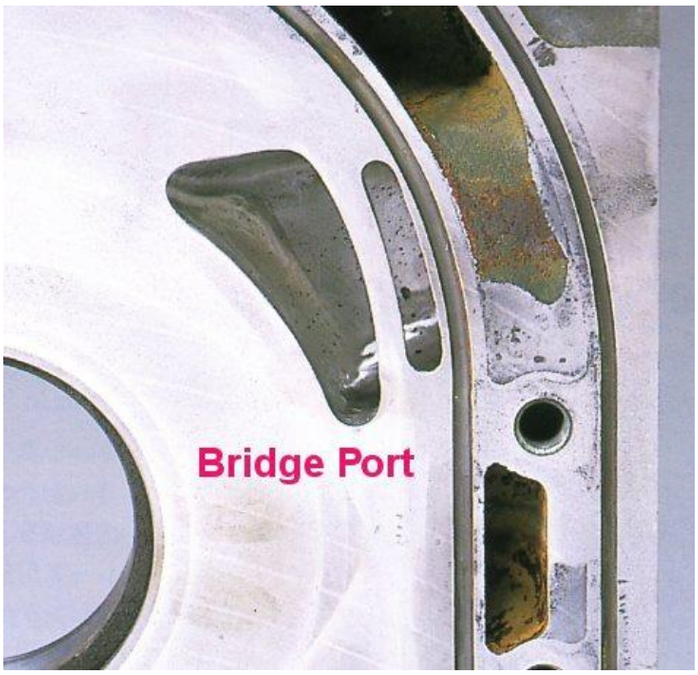


Figura 7 - Bridge port
Fuente: http://fc3spro.com/TECH/PORT/porting.html

Es un Street port, con una pequeña ceja, la cual sirve, para aumentar la agresividad del flujo, pero esta ceja ayuda a mantenerlo controlado, sin turbulencias, además al pasar el rotor por ese sector, entra en juego el sello, el cual, al pasar por ahí, estropearía la ignición, es por ello que se deja esta ceja, o puente.

CAPÍTULO 2: PROPONER EL REDISEÑO DEL MOTOR ROTATIVO WANKEL A PARTIR DE FACTORES DE MEJORA EVALUADOS

2.1 Realización O Elaboración De Un Análisis En Términos De Ventajas Y Desventajas De La Tecnología Actual Del Motor Rotativo Wankel

2.1.1 Ventajas

- alta potencia

Con dos rotores cuya capacidad juntos, consta de 1300 cc, el Mazda rx8 rinde 280 cv, alzándose sobre los 265 cv y casi 3000 cc del bmw 130. Es decir, con una menor cilindrada se consigue una mayor potencia.

	Mazda RX-7
Peso	1043 kg (2299 lb) (FB) 1360 kg (2998 lb) (FC) 1270 kg (2800 lb) (FD)
	Planta motriz
Motor	Wankel de 2 rotores de 1146 a 1308 cm³ (1,1 a 1,3 litros)
Potencia	105 a 280 CV (104 a 276 HP) (77 a 206 kW)

Figura 8 - Características Mazda rx7
Fuente: https://es.wikipedia.org/wiki/Mazda_RX-7

El BMW 130i Automático (2006-2007) tiene un motor gasolina de 2996cc con 6 cilindros ubicados en línea que alcanza una potencia máxima de 265CV a 6600rpm y par máximo de 315Nm a 2500-4000rpm.

Marca	**BMW**
Velocidad máxima	250 km/h
Cilindrada	2996 cc
Potencia máxima	265 cv

Figura 9 - Ficha técnica BMW 130i
Fuente: https://motorgiga.com/bmw/1-series/130i-5p5/2007/precio-ficha-tecnica

- Diseño minimalista

M.R.W. (despiece)

Figura 10 - Desarme MRW
Fuente: https://www.actualidadmotor.com/ventajas-y-desventajas-del-motor-wankel/

Motor 4 rotores despiece

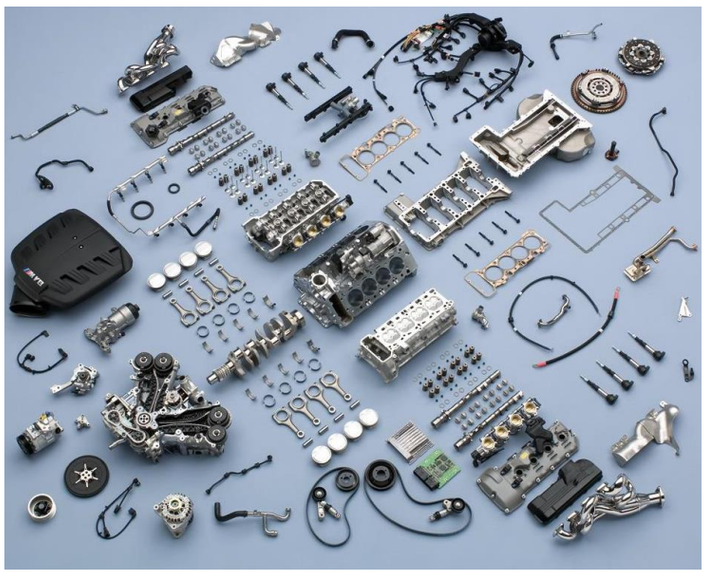


Figura 11 - Desarme motor v8
Fuente: https://frenomotor.com/opinion/gobiernos-downsizing-motores

- fácil diagnóstico de falla ante poca cantidad de piezas móviles.

Figura 12 - Tiempos en el MRW
Fuente: https://www.actualidadmotor.com/ventajas-y-desventajas-del-motor-wankel/

El motor Wankel tiene menos piezas móviles que un motor convencional, tan solo 4 piezas; bloque, el rotor, árbol motor y sistema de refrigeración y engrase, por eso en principio son más fiables.

- Mejor calidad de caudal de combustible (flujo continuo) en comparación a un motor de cuatro a seis cilindros, dado a la falta de válvulas y sus obstrucciones.

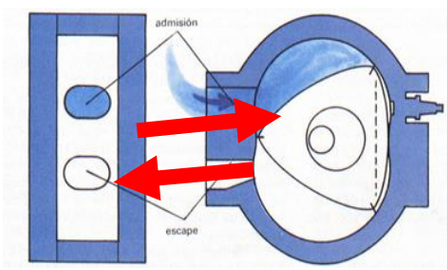


Figura 13 – Flujo en MRW
Fuente: https://diccionario.motorgiga.com/diccionario/wankel-motor-definicion-significado/gmx-niv15-con195967.htm

Para facilitar la combustión, mejorando la turbulencia y obteniendo, por tanto, una mayor elasticidad de funcionamiento, se practican unos huecos en las caras del rotor de manera que quede concentrada una mayor cantidad de mezcla en las proximidades de la bujía y con el fin de que la cámara de combustión posea una forma más regular.

La alimentación se produce por el paso abierto de las lumbreras en el rotor, permitiendo este el paso al no hacer contacto con las lumbreras, desconociendo así oposiciones de al flujo, como resortes.

- no hay limitaciones de revoluciones por resortes de válvulas.

En motores de competición los resortes de válvulas son piezas cruciales para que el motor mantenga su sincronismo a máximas revoluciones. La fabricación de estos componentes lleva un largo trabajo de investigación previa. Pues este motor posee una inyección directa dado el paso del combustible al no interrumpirse el paso por el rotor.

El desplazamiento total de la válvula para abrir el conducto ("alzada") se consigue en el momento y tiempo oportunos mediante una excéntrica o leva que gira impulsada por el cigüeñal. La leva transmite el movimiento alternativo a la válvula por varios mecanismos diferentes según donde este ubicado el árbol de levas. Ante esta relación de velocidad de revolución y el tiempo de paso y cierre de la válvula, se dice que se limita la revolución según el tiempo que demora el muelle de válvula en llegar a su longitud máxima y mínima.

- liviano y pequeño en comparación a un motor común.

dado que hay menos piezas dentro del motor, el peso total es menor en comparación con los motores convencionales.

debido al menor número de piezas que forman el motor en comparación con los de pistones y dado que generalmente se construyen motores de dos o tres rotores de 600 cc o 700 cc cada uno, ayuda a conseguir un menor peso final del motor.

- menor desgaste en el rotor ya que se mueve tres veces más lento

En su interior se encuentra el rotor (que sería el equivalente a los pistones), con forma triangular, el cual tiene tallado en su interior unos dientes de engranaje, además del eje motor, en cuyo extremo hay otro engranaje tres veces más pequeño que el del rotor. De esta forma se consigue que el rotor se mueva excéntrico al eje motor (que está situado en el centro del estator), y que, por cada vuelta del estator, eje motor de tres vueltas.

dado que los rotores giran a 1/3 de la velocidad del eje y al tocar el estátor, las piezas principales del motor se mueven más lentamente que las de un motor convencional, aumentando la fiabilidad.

Una vez resueltos los problemas iniciales para la elección de los materiales más adecuados, los segmentos siempre están en movimiento respecto a las partes fijas, no hay puntos muertos como en los motores alternativos. Precisamente los mayores desgastes se producen en esos puntos muertos, donde al no haber velocidad relativa de una pieza respecto a otra no hay lubricación.

- baja cantidad de vibraciones, dado a la inexistencia de pistones

Todos los componentes están equilibrados internamente con contrapesos giratorios para suprimir cualquier vibración y contribuir a la suavidad de la marcha. También favorecen una entrega de potencia más suave. En general las vibraciones son mínimas porque las inercias dentro del motor son muy pequeñas, y como dijimos, hasta el cigüeñal tiene un solo centro.

Dado que las inercias internas del motor son muy pequeñas (no hay bielas, ni volante de inercia, ni recorrido de pistones, ni movimiento), solo se producen pequeñas vibraciones en la excéntrica.

- alta durabilidad ante alta exigencia

Mazda logró algo increíble, ganar las 24 Horas de Le Mans con un auto de motor rotativo.

Hasta la fecha, es el único coche japonés en hacerse con una victoria en Le Mans en la categoría más alta. Parte de ese éxito, la confiabilidad y durabilidad que presentó su motor rotativo.

Terminada la carrera se realizó una evaluación a dicho motor, dado como resultado que se encontraba en perfectas condiciones y no necesitaba ajustes o mantenimiento

- potencia uniforme ya que los cuatro tiempos son simultáneos a la rotación

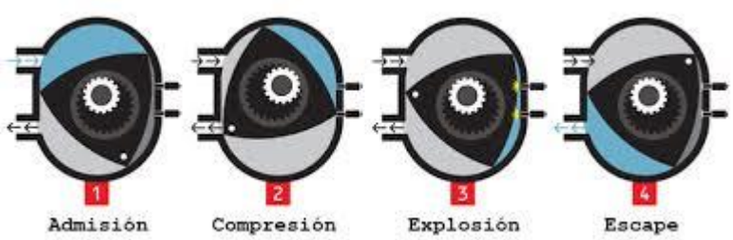


Figura 14 - Tiempos en el MRW
Fuente: http://kevinsaavedraalfonso.blogspot.com/2019/09/fisica.html

2.1.2 Inconvenientes

- Temperaturas dispares (distintas dilataciones térmicas)

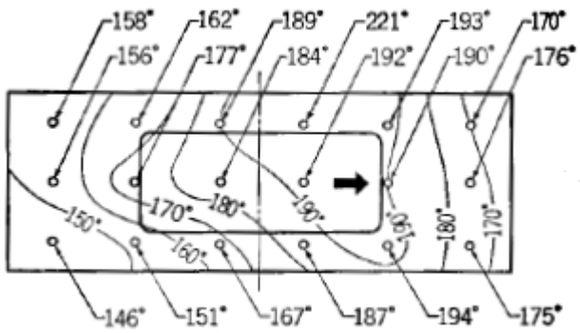


Figura 15 - Distribución de temperaturas en la superficie del rotor MRW
Fuente: https://sites.google.com/site/mvwankel/refrigeracion

La imagen gráfica la distribución de temperatura en la superficie del rotor.

- Vibraciones dispares

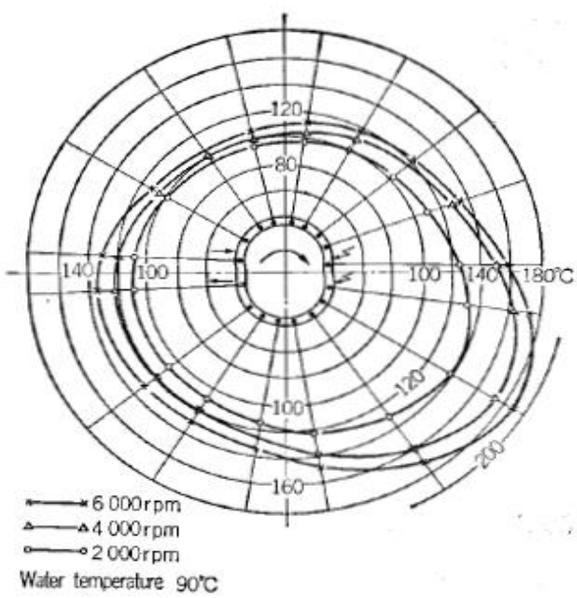


Figura 16 - Distribución de vibraciones en MRW
Fuente: https://docplayer.es/75277135-Conceptos-basicos-de-vibracion-parte-iii-jose-antonio-gonzalez-moreno-febrero-del-2013.html

La imagen gráfica la distribución de las vibraciones en la superficie interna de la carcasa

- Utilización de lubricante mineral únicamente

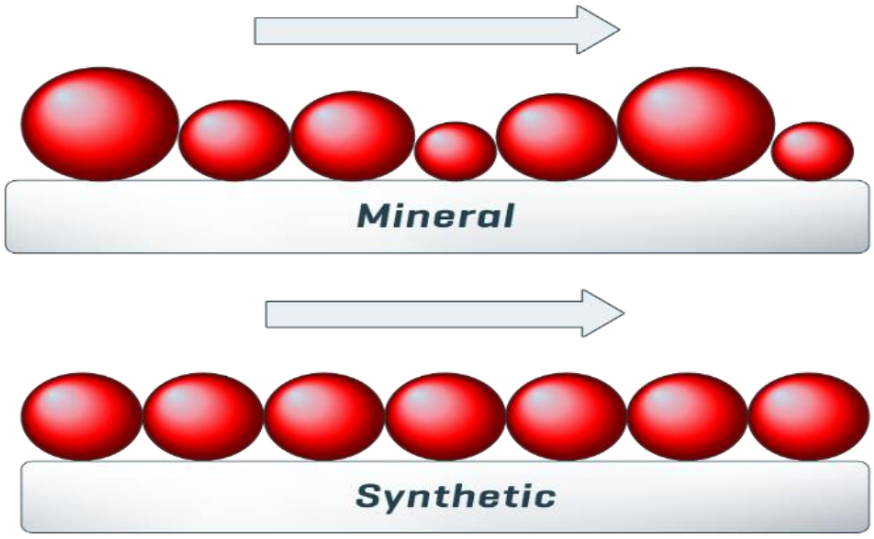


Figura 17 - Comparación estructural de lubricante mineral y sintético
Fuente: https://armorlubricants.com/blog/10-helpful-guidelines-for-purchasing-automotive-lubricants/

Debido a que el motor rotativo wankel utiliza una bomba OMP (bomba dosificadora de aceite) para la lubricación de sellos y mejor sellado de la cámara no puede utilizar ningún otro tipo de aceite que no sea aceite mineral.

- Baja cantidad de chispa en la ignición dado a la longitud de la cámara de combustión.

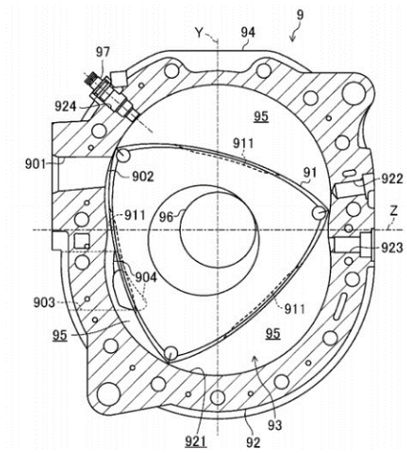


Figura 18 - Vista frontal plano MRW
Fuente: https://forococheselectricos.com/2017/04/mazda-coche-electrico-motor-rotativo-extensor-autonomia.html

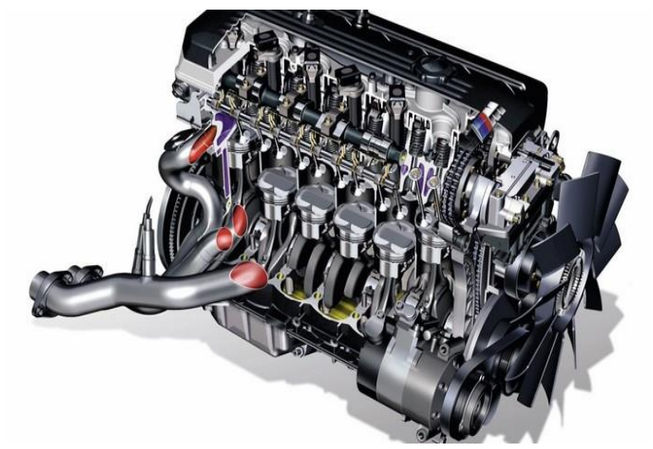


Figura 19 - Motor bmw S54
Fuente: https://blogdebmw.com/los-mejores-motores-bmw-de-todos-los-tiempos-una-vision-alternativa/

Debido al diseño compacto del motor rotativo solo se incorporó una bujía que será la responsable de entregar la chispa para el proceso de ignición lo cual es bastante bajo para la cantidad de combustible inyectado y para una cámara de combustión de esas dimensiones. A diferencia de otros motores de similares características como los son los motores 6 en línea que poseen una bujía por cilindro es decir 6 en total.

- Alta quema de aceite en el combustible dado a los sellos ápex y su necesidad de estar lubricados.

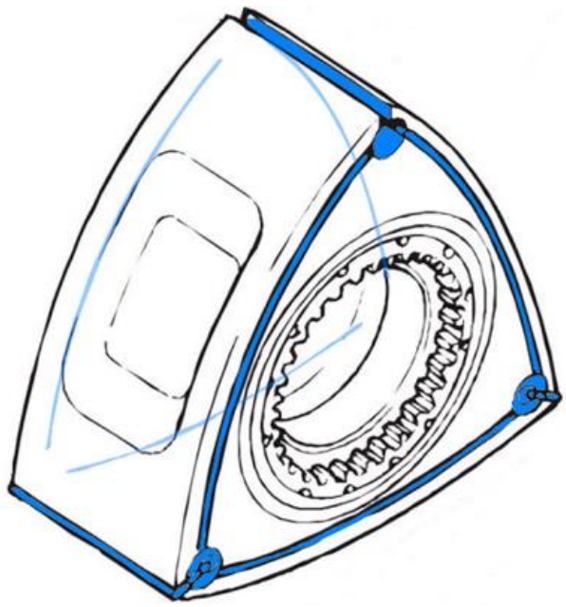


Figura 20 - Sistema de sellado cámara de combustión
Fuente: https://www.renesisessentialparts.com/es/noticias/el-sistema-de-lubricacion-del-motor-rotativo-renesis-del-mazda-rx-8.htm

- Debido a la forma del rotor este posee sellos de tipo ápex en sus vértices, pero el gran problema de estos sellos es la falta de lubricación ya que no se pueden lubricar de forma particular sin interferir en la combustión, es por esto que se incorporó la bomba OMP que incorpora aceite mineral dentro de la cámara de combustión.

- Se reduce la eficiencia ya que se filtra combustible quemado por las lumbreras (admisión y escape).

  - Debido al diseño del motor rotativo wankel, al incorporar lubricante en la cámara de combustión, ocurre que la cantidad de chispa proporcionada por una bujía no es suficiente para quemar todo el combustible, por otra parte, el aceite mineral no está diseñado para quemarse, es por eso que dejan residuos los cuales se pueden filtrar por las lumbreras provocando perdida de eficiencia de la bujía y la excesiva contaminación en la zona de escape.

- Altos indicadores de emisiones

- Debido a la quema de aceite en la cámara de combustión y la falta de chispa que no logra quemar por completo la cantidad de combustible inyectado, la cantidad de emisiones contaminantes aumenta considerablemente en comparación a motores de similares características que no deben lidiar con estos problemas.

Figura 21 - Ignición MRW
Fuente: https://www.youtube.com/watch?v=josJhz8VS8A

2.2 Identificación De Los Factores De Mejora Del M.R.W.

Los principales factores de mejora ordenados según criticidad son los siguientes:

- Baja cantidad de chispa en la cámara de combustión
- Índices de contaminantes
- Sistema de lubricación.
- lubricantes de baja calidad
- Erradicar la utilización de aceite mineral

2.3 Evaluación Técnica De Modificación Del M.R.W. Considerando Los Factores De Mejora Identificados.

- Para aumentar la cantidad de chispa en la cámara de combustión y así evitar pre-detonaciones, incorporaremos una bujía extra ya que pese a su diseño minimalista sin problemas podremos incorporar una bujía mas así obtendremos el doble de chispa garantizando la quema total del combustible inyectado,
- Para combatir los altos índices de contaminantes provocados principalmente por la quema de aceite mineral, incorporaremos otro tipo de sellos que no necesiten tanta lubricación, además de la incorporar catalíticos de alto rendimiento disminuiría considerablemente los gases al controlar las emisiones, neutralizando los gases contaminantes del motor.
- Al incorporar técnica premix lograríamos eliminar la bomba OMP (bomba dosificadora de aceite) que cumple la función de incorporar aceite a la cámara de combustión para así lubricar los sellos ápex. esta técnica consiste en mezclar el combustible con aceite premix el cual está diseñado para ser combustionado a diferencia del aceite mineral.
- Como indicamos en el punto anterior, al eliminar la bomba OMP e introducir el lubricante en el combustible, ya no necesitaremos utilizar aceite mineral para cumplir esta función y de esta forma podremos optar por lubricantes de mejor calidad como lo es el aceite full sintético.
- Al extraer la bomba OMP, y querer incorporar la técnica premix, se necesita, dado a la técnica, mezclar el combustible y aceite previo, lo cual, conlleva la inyección de combustible con aceita pasando por la bomba de inyección. Es por ello que se elimina la bomba de inyección, para incorporar una bomba específica para le técnica premix.

2.4 Propuesta De Rediseño Del M.R.W.

- Incorporar otro tipo de sellos que requieran menor lubricación
- Aplicar nuevos catalíticos que disminuyan la actual contaminación del motor.
- Utilizar la técnica premix para la incorporación del lubricante en el combustible.
- Eliminar la bomba OMP para así incorporar un mejor lubricante de motor.
- Eliminar la bomba de inyección.
- Incorporar bomba Premix

CAPITULO 3: EVALUAR ECONÓMICAMENTE EL REDISEÑO Y LA OPERACIÓN DEL MOTOR ROTATIVO WANKEL

3.1 Cotizar Motor Standard (Sin Modificaciones)

Encontrar este tipo de motores en venta no es muy complejo, debido a que fue muy masivo en sus años de comercialización, pero cada vez fueron más las personas que tuvieron problemas con este tipo de motores debido a la falta de mantenimiento por lo cual se volvió poco confiable y sus usuarios optaron por reemplazarlos por otro motor compatible y de mayor confiabilidad. Son muchas las importadoras que trabajan este motor el cual tiene un valor comercial que fluctúa entre $1.200.000 y $2.200.000

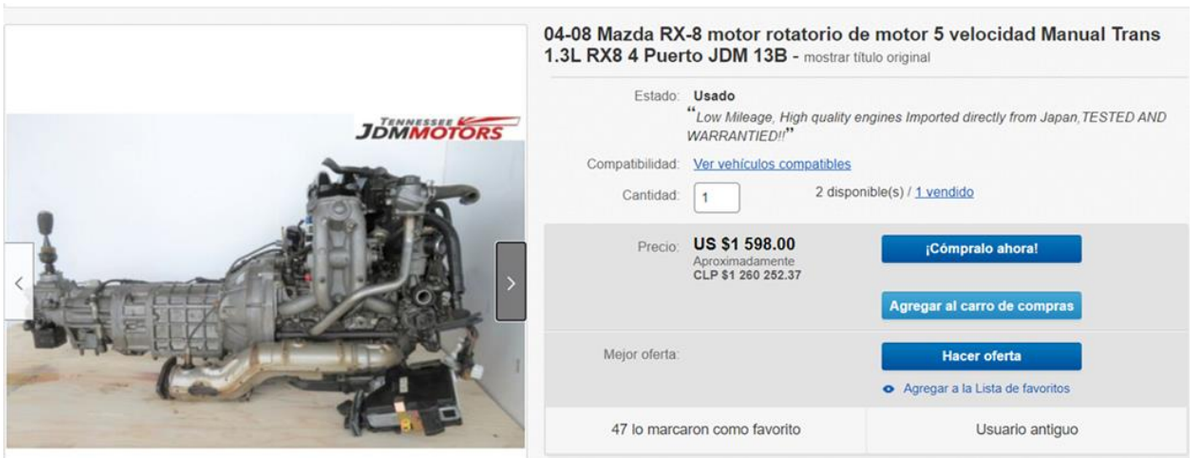


Figura 22 - Cotización MRW rx8 4 puertos 5 velocidades
Fuente: https://www.ebay.com/

Figura 23 - Cotización MRW rx8 6 puertos 6 velocidades
Fuente: https://www.ebay.com/

3.2 Verificar Compatibilidad De Repuestos Y Accesorios.

Debido al principio de funcionamiento de este motor y presentar un diseño minimalista no hay ningún motor que se le parezca por lo cual no podremos optar a la compatibilidad de repuestos con otros modelos o marcas, pero posterior al rediseño podremos optar a incorporar accesorios para lo cual existen múltiples marcas y mucha variedad en accesorios y aditivos para este motor.

3.3 Rediseño De Componentes

- Solucionar la falta de lubricación en los sellos ápex
- Solucionar la alta emisión de contaminantes que no permiten la aplicación de este motor ante las actuales normas de contaminantes.
- Controlar las altas temperaturas de trabajo.
- Lograr un equilibrio de temperaturas o acercarse a ello.
- Eliminar perdidas o filtraciones por las lumbreras.

3.4 Cotizar Modificaciones Y Refacciones.

Figura 24 - Cotización convertidor catalítico odb2 con orificio para sensor o2
Fuente: https://guefer.cl/producto/convertidor-catalitico-magnaflow-99356hm/

Figura 25 - Cotización enfriador de aceite Mazda mx5 nd 2.0 L
Fuente: https://shop.redline360.com/products/mishimoto-oil-cooler-mazda-mx5-miata-2-oil-2016-thermostatic-or-non-thermostatic

Figura 26 - Cotización sistema de eliminación bomba OMP
Fuente: www.banzai-racing.com/store/product115.html

Figura 27 - Cotización plug inyector de aceite
Fuente: www.banzai-racing.com/store/product11505.html

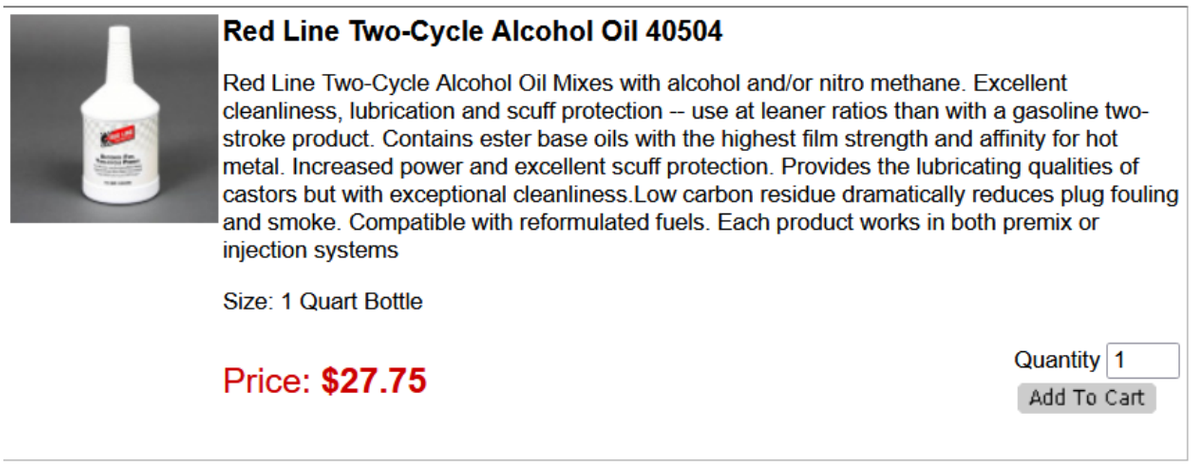


Figura 28 - Cotización aceite náutico
Fuente: www.banzai-racing.com/store/FC_oil_pump.elimination.html

Figura 29 - Cotización radiador yonaka Mazda rx8 2004 – 2008
Fuente: https://shop.redline360.com/products/yonaka-radiator-mazda-rx8-manual-2004-2008-aluminum-w-fan-shroud

Figura 30 – Bomba Premix
Fuente: https://www.amazon.com/-/es/combustible-conversi%C3%B3n-5007422-Johnson-Evinrude/dp/B07WTB442R

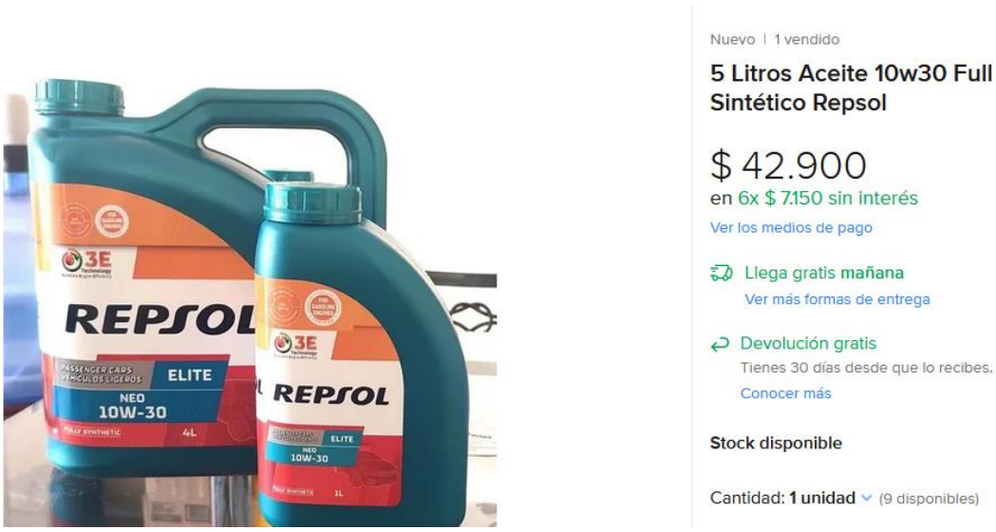


Figura 31 – Aceite 10w30 full sintético
Fuente: https://articulo.mercadolibre.cl/MLC-975109554-5-litros-aceite-10w30-full-sintetico-repsol-_JM#position=8&search_layout=stack&type=item&tracking_id=634391f3-8bfc-4bbb-a282-e3c1be291930

3.5 Cotización De Mano De Obra

Cantidad	unidad	descripción	Precio unitario	Total I.V.A.
1	servicio	- Servicio de desensamble y diagnostico motor - Inspección de: ✓ Carcasas ✓ piezas dentadas ✓ rodamientos ✓ sistema de lubricación. ✓ Acoples - Verificación de límites y tolerancias establecidas por el fabricante - Instalación de refacciones: ✓ Radiador, ✓ enfriador de aceite ✓ carcasa con doble bujía ✓ kit eliminación bomba OMP ✓ catalítico alto rendimiento - ensamble y puesta en servicio - evaluación condiciones de trabajo ✓ tolerancias ✓ temperaturas ✓ vibraciones ✓ emisiones - Informe de situación actual del motor	$1.564.498	$1.861.753

(performance, 2021)

3.6 Puesta En Marcha Y Su Metodología

1) Verificación dosis de aceite según gasolina
2) Verificación paso de gasolina
3) Verificación paso corriente de arranque
4) Carga de combustible
5) Carga de aceite
6) Contacto o Arranque
7) Mantener funcionamiento durante 5 minutos (realizar mediciones)
8) Acelerar a potencia media durante 30 segundos (realizar mediciones)
9) Mantener funcionamiento en reposo durante 1 minuto (realizar mediciones)
10) Acelerar a máxima potencia durante 10 segundos (realizar mediciones)
11) Apagar motor
12) Repetir y tomar medidas nuevamente, un total de 3 veces.

3.7 Metodología De Verificación De Parámetros

Hecho en un dinamómetro.

Principalmente se requiere la medición de PPM de carbono y dióxido de carbono. Esto en las distintas potencias ya sea de aceleración o de velocidad lineal, antes y después de estás, y a su vez, con el motor antes y después de modificar.

Es por ello que se solicita el procedimiento de puesta en marcha con el motor antes y después de modificar, y las mediciones correspondientes a los siguientes puntos, una vez culminado el tiempo que se indica:

7) Funcionamiento estacionario durante 5 minutos

8) Acelerar a potencia media durante 30 segundos

9) Funcionamiento estacionario durante 1 minuto

10) Acelerar a máxima potencia durante 10 segundos

Una vez tomados los valores se repite el proceso dos veces más. Posterior a las modificaciones, es decir, con el motor ya rediseñado, se vuelve a hacer el proceso de puesta en marcha.

3.8 Comparativa De Parámetros.

Se tendrán 3 valores para cada uno de los siguientes puntos:

7) Funcionamiento estacionario durante 5 minutos

8) Acelerar a potencia media durante 30 segundos

9) Funcionamiento estacionario durante 1 minuto

10) Acelerar a máxima potencia durante 10 segundos

3.9 Evaluación De Parámetros

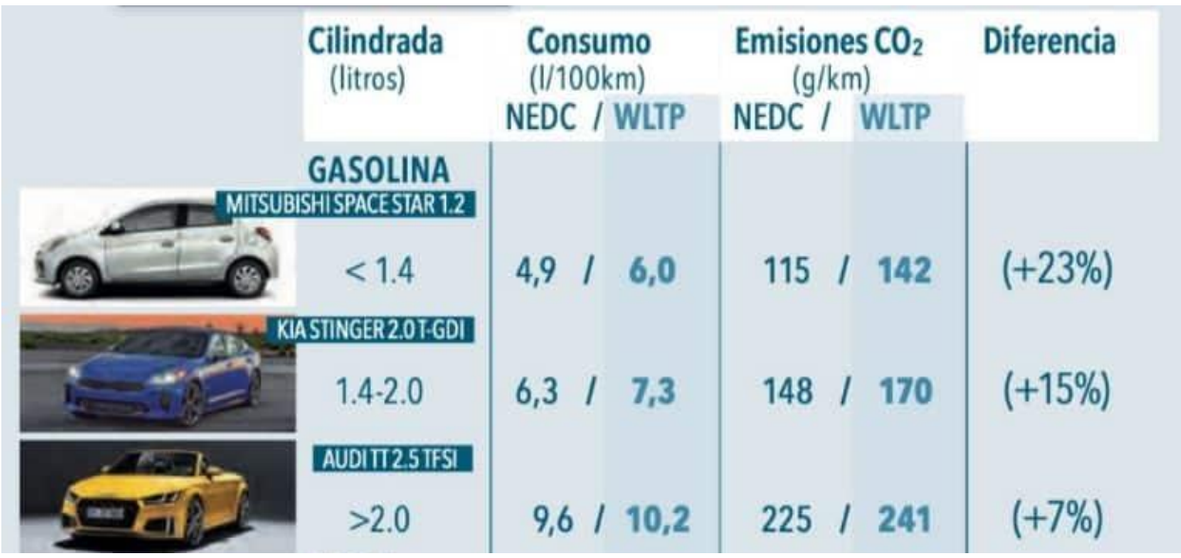
El anterior procedimiento se evalúa antes y después, para ello se calculará una media entre los 3 valores obtenidos.

Comparar el promedio de estos 4 momentos críticos de funcionamiento, antes y después.

Los valores de emisiones de CO2 esperados son los siguientes.

Para el Mazda RX-7 FD3S año 1993, según el histograma realizado por Spritmonitor, se espera un valor de “367 g/km “ (beubi, 2009), por lo que el valor esperado para el ensayo en dinamómetro realizado antes de la modificación debería tener una tendencia a la aproximación de este valor en un margen de más o menos 20 g/km, es decir, entre 347 g/km y 387 g/km.

El valor esperado para el ensayo realizado después de la modificación es desconocido, pero, tomaremos como referencia de valor mínimo 241 g/km, esto según “autonoción”, en su artículo, “¿Cuánto subirá el precio de los coches nuevos en enero de 2021? ¿A qué se debe este incremento?”, mencionando el valor máximo del vehículo Audi TT 2.5 TFSI



	Cilindrada (litros)	Consumo (l/100km) NEDC / WLTP	Emisiones CO_2 (g/km) NEDC / WLTP	Diferencia
GASOLINA				
MITSUBISHI SPACE STAR 1.2	< 1.4	4,9 / 6,0	115 / 142	(+23%)
KIA STINGER 2.0 T-GDI	1.4-2.0	6,3 / 7,3	148 / 170	(+15%)
AUDI TT 2.5 TFSI	>2.0	9,6 / 10,2	225 / 241	(+7%)

Figura 32 - Comparativa cilindrada, consumo, emisiones
Fuente: https://www.autonocion.com/cuanto-subiran-los-coches-de-precio-en-enero-de-2021/

Teniendo como referencia estos valores, podemos aclarar, que las emisiones de CO2 esperadas después de la modificación, deben de tener un valor mayor o igual a 241 g/km, y menor a 347 g/km (límite inferior de estimación del ensayo pre-modificación).

3.10 Valorización De Gastos

Valores referenciales:

- Motor rotativo Wankel
  $ 2.200.000 CLP
- Convertidor catalítico ODBII con orificio para sensor O2
  $ 179.000 CLP
- Sistema de refrigeración Mishimoto Mazda RX5 Miata ND 2.0 L 2016-2019
  $ 473.000 CLP
- Kit de eliminación de la bomba OMP S5
  $ 32.350 CLP
- Plug de tapón de puerto de inyección de aceite
  $ 7.890 CLP
- Aceite de alcohol náutico Redline para dos ciclos 40504
  $ 23.000 CLP

- Aceite 10W-30 full sintético 4 l

  $ 42.900 CLP
- Radiador Yonaka Mazda RX8 2004 – 2008 de aluminio con cubierta para ventilador

  $ 197.000 CLP
- Bomba de combustible con salida para VRO (Premix)

  $ 217.000 CLP

Total, repuestos y accesorios: $ 3.372.140 CLP

- Mano de obra

  $ 1.861.753 CLP

En conclusión, el valor estimativo total del proyecto consta de un coste de $ 5.233.893 CLP.

CAPITULO 4: PROPUESTAS DE SOLUCIÓN

4.1 Solucionar La Falta De Lubricación En Los Sellos Ápex

Para solucionar la falta de lubricación de los sellos utilizaremos sellos ápex de material carbono grafito los cuales tienen como principal característica ser auto lubricantes. Para garantizar aún más su durabilidad la carcasa del rotor esta estará recubierta superficialmente por un material anti desgaste.

Las principales características del material utilizado en los sellos son las siguientes:

4.1.1 Excelente Auto Lubricación

El carbono tiene propiedades auto lubricantes debido a su estructura cristalina en capas, por lo que es adecuado para usar en ambientes con alta temperatura y en aplicaciones en las que se evitan los fluidos y lubricantes. En particular, su coeficiente de fricción en una condición sin lubricación es bajo en comparación con otros materiales, lo que hace difícil que se produzca la adhesión.

4.1.2 Excelente Durabilidad Térmica

Prácticamente no hay cambios en la fuerza mecánica y en las propiedades de deslizamiento debido al calor.

4.1.3 Excelente Resistencia Química

El carbono posee una alta resistencia a la corrosión química. Por lo cual posee una excelente resistencia a agentes químicos y altas temperaturas, en comparación con los materiales en general es por esto que se utiliza en una amplia variedad de aplicaciones.

4.1.4 Resistencia Al Choque Térmico

El coeficiente de expansión térmica muy bajo y tiene buena conductividad térmica, incluso durante los cambios rápidos de temperatura.

4.2 Solucionar La Alta Emisión De Contaminantes Que No Permiten La Aplicación De Este Motor Ante Las Actuales Normas De Contaminantes.

Para lograr disminuir las altas emisiones de CO2 generadas por este motor eliminaremos la bomba OMP la cual tiene como función principal inyectar aceite desde el cárter a la cámara de combustión con la finalidad de lubricar los sellos del rotor, lo cual indirectamente genera la combustión del aceite mineral el cual no está diseñado para cumplir esta función, por lo tanto, no se combustiona completamente dejando residuos en las lumbreras y generando mayores emisiones contaminantes al exterior. Esto lo solucionaremos eliminando la bomba OMP y sellando sus respectivos puertos, para dar paso a la técnica premix utilizada principalmente en embarcaciones marítimas que consiste en agregar aceite premix directamente en el combustible a diferencia de lo establecido originalmente en donde se utilizaba el mismo lubricante del motor lo cual condicionaba a utilizar solo aceite mineral y a estar constantemente rellanando aceite. Además de disminuir las emisiones, al incorporar aceite premix que está diseñado para lubricar los sellos y ser combustionado correctamente, este emite considerablemente menor cantidad de CO2 a diferencia del aceite mineral que no está diseñado para cumplir estas funciones. La cantidad de aceite a mezclar con el combustible está sujeta a una tabla la cual hace una comparación entre un uso moderado de este motor y un uso de alto rendimiento en donde se necesitará mayor lubricación.

USO DE ALTO RENDIMIENTO

Reccomended ratios

IMPERIAL			METRIC	
OIL (oz)	Fuel (gallons)		OIL (ml)	FUEL (liters)
1	1		7.82	1
13.4	13	391	400	50
10.8	10	312.8	320	40
8	8	234.6	240	30
5.4	5	156.4	160	20
2.7	2.6	78.2	80	10

USO NORMAL / MODERADO

Idemitsu's reccomended ratios

IMPERIAL			METRIC	
OIL (oz)	Fuel (gallons)		OIL (ml)	FUEL (liters)
0.5	1		3.91	1
6.7	13	195.5	200	50
5.4	10	156.4	160	40
4	8	117.3	120	30
2.7	5	78.2	80	20
1.35	2.6	39.1	40	10

Figura 33 - Comparativa rendimiento uso normal y alto
Fuente: https://wwww.youtube.com/watch?v=mGHdn0aKhxQ

4.2.1 Beneficios De Utilizar Premix

- Mezcla especial de aceites base que evita la generación de carbonilla al quemarse, y los problemas derivados de la acumulación de ésta.

- Aditivos especiales detergentes-dispersantes que mantienen los inyectores limpios libres de mantenimiento.

- Proporciona una lubricación adicional a los sellos de la cámara de combustión alargando su vida y mejorando la eficiencia del motor.

- Aditivos especiales que permiten un mejor sellado de la cámara de combustión, generando más potencia y eficiencia.

Por otra parte, para reducir aún más las emisiones contaminantes incorporaremos convertidores catalíticos de alto rendimiento cuya función es reducir y controlar los gases tóxicos producidos en la combustión, tales como el monóxido de carbono (CO), los hidrocarburos (HC), y el óxido de nitrógeno (NOX). el convertidor separa los átomos de nitrógeno y oxígeno para eliminar por completo el NOX. Posteriormente, elimina los hidrocarburos y el monóxido de carbono, oxidando los contaminantes con los átomos de oxígeno previamente separados. A este proceso se le denomina “catalización de oxidación”, cuyo resultado generará dióxido de carbono (CO2), que es el gas menos dañino para la salud.

Figura 34 – Catalizador
Fuente: https://www.autofacil.es/tecnica/catalizador-o-convertidor-catalitico/194645.html

4.3 Controlar Las Altas Temperaturas De Trabajo.

Al eliminar la bomba OMP y erradicar el uso exclusivo de aceite mineral para la lubricación del motor y sellos internos del rotor podremos utilizar lubricantes de mucho mejor calidad para uso exclusivo de la lubricación del motor, como lo son los aceites full sintéticos que nos otorgan los siguientes beneficios.

- Mayor resistencia a la temperatura. Los aceites sintéticos pueden manejar, temperaturas mayores de funcionamiento en forma segura, sin deteriorarse.
- Operan en condiciones extremas donde un aceite mineral está limitado.
- Mejor desempeño en temperaturas bajas, haciendo más fácil el arranque en frío. Los aceites sintéticos fluyen con mayor libertad a temperaturas extremadamente bajas (-30 °/- 40° C)
- Mejor protección del motor. Como el aceite de motor recorre todo el motor, las partes que funcionan a velocidades altas someten a algunos de los aditivos a esfuerzos de corte fluidificando el aceite. Los aceites de motor totalmente sintéticos resisten el esfuerzo de corte bajo cargas pesadas, mejor que los aceites convencionales. Esto ayuda al aceite sintético de motor a conservar su grado de viscosidad, con lo que brindan una mejor protección para el motor y soportan condiciones de funcionamiento más extremas.
- Menor consumo de aceite. Los aceites de motor sintéticos presentan menos evaporación que los aceites de motor convencionales. Un buen aceite sintético perderá solamente un cuatro por ciento de su peso si funciona a 400 grados durante seis horas, comparado con la pérdida de un 30% de un aceite convencional basado en hidrocarburos.
- Motores más limpios. Los aceites sintéticos no se degradan ni sedimentan tan rápidamente como los aceites comunes basados en minerales por ende no se acumulan sedimentos en el motor de manera tan rápida y se conserva la eficacia de la lubricación.

Debido a las altas temperaturas de trabajo de este motor, originalmente se le incorporo un radiador o enfriador de aceite el cual va conectado justo antes del filtro de aceite del motor, y tiene la función de hacer circular el lubricante por las distintas celdas de este, para que al momento de ingresar al filtro de aceite y ser recirculado este se encuentre a una temperatura optima evitando perdidas de viscosidad y dilataciones térmicas fuera de lo normal. como modificamos el sistema de lubricación al incorporar lubricante sintético de mejor calidad que el original en el sistema, optaremos por la incorporación de un radiador de aceite de 18 filas a diferencia del original que era tan solo de 12 filas. Mediante este enfriador de aceite con mayor número de celdas nos aseguraremos de mantener

una temperatura y presión de aceite estable y lograr una viscosidad adecuada que permita una buena lubricación de las partes móviles, manteniendo las propiedades brindadas por el lubricante.

Figura 35 – Radiador
Fuente: https://partsroketa.com/product/atv-02-250cc-radiator/

Figura 36 - Sistema enfriador de aceite Mazda mx5
Fuente: https://mossmiata.com/oil-cooler-by-mishimoto

4.4 Lograr Un Equilibrio De Temperaturas O Acercarse A Ello.

Incorporar como material estructural principal de la cámara de combustión, aleación de aluminio y silicio, seguido, entre el estator y la cámara de combustión, por una capa de aleación férrica de cobre, utilizando las altas propiedades de conducción térmica de este último material.

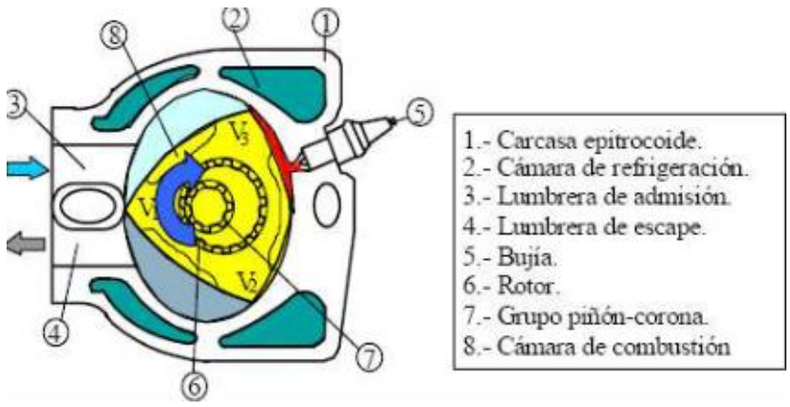


Figura 37 - Partes del MRW
Fuente: https://repositorio.uide.edu.ec/bitstream/37000/202/1/T-UIDE.0174.pdf

En conjunto con lo anterior mencionado, y para reforzar el equilibrio térmico entre zonas, se sugiere aumentar el volumen de la cámara de refrigeración en la sección de ignición, manteniendo el volumen de refrigerante de la zona de admisión.

A su misma vez, y considerando que los rotores van en pares (para la anulación de las fuerzas producidas por la revolución), se seleccionaran las zonas de admisión y escape de los rotores de manera inversa. Es decir, si el rotor A, posee la admisión por la parte superior, el rotor B, tendrá dicha admisión por la parte inferior, invierto entre rotores la zona de admisión y escape, produciendo equilibrio térmico por convección (entre metales) y por radiación (sistema termodinámico cerrado).

4.5 Disminuir El Consumo De Combustible Provocado Por Las Pérdidas O Filtraciones De Las Lumbreras.

Dada la longitud de la zona de combustión, la chispa generada por la bujía no es suficiente, para lograr una incineración correcta de todo el combustible, produciendo sedimentos de la mezcla volátil, que son arrastrados por el rotor, nuevamente, hasta la zona de admisión.

Otra razón por la que la mezcla no logra hacer una buena combustión es que el aceite incorporado para la lubricación, en la zona del proceso del rotor, tapa la bujía, ayudando a una mala ignición, que, como ya se mencionó, produce una mala ignición en la zona de combustión.

Es por ello, que, como primera modificación, se incorporará, otra bujía en la zona de ignición, para lograr abarcar, con una buena explosión, la larga zona de ignición, produciéndose así una explosión mucho más homogénea.

Se reemplazará el aceite de lubricación usado, por aceite de dos tiempos, el cual, si está diseñado para ser quemado, el cual no afectará la ignición de la chispa, y, a su vez, evitará dejar residuos que pasen de la zona de escape a la zona de admisión.

CONCLUSIÓN

La propuesta de rediseño del motor rotativo Wankel fue sin duda una tarea muy compleja y gratificante ya que se lograron cumplir todos los objetivos propuestos a solucionar, lo cual sin duda viene a mejorar radicalmente el funcionamiento original de este motor. Solucionamos la falta de lubricación en los sellos ápex remplazándolos por sellos de carbono que poseen la particularidad de requerir casi una nula lubricación, además de esto se elimino la bomba OMP y se introdujo lubricante pre-mix directamente en el combustible el cual está diseñado para ser combustionado generando niveles de contaminación mínimos en relación al aceite mineral, Con esto último lograremos disminuir considerablemente las emisión de partículas contaminantes, además con la incorporación de una bujía auxiliar que disparara a distinto tiempo que la bujía principal nos aseguraremos que la ignición de la mezcla sea total, ya que con una sola bujía no se lograba combustionar la totalidad de la mezcla lo que se traduce en mayor cantidad de hidrocarburos no combustionados además incorporamos un catalítico de alto rendimiento que cumplirá la función de control y reducción de los gases nocivos expulsados por el motor. Por otra parte, logramos disminuir las altas temperaturas de trabajo. Incorporando un radiador de alto rendimiento con tres electroventiladores y además un enfriador de aceite. Con estas modificaciones sin duda la temperatura del motor disminuirá considerablemente. Estas son solo algunas de las modificaciones realizadas en este proyecto de modificación del motor rotativo Wankel que ya no deberá lidiar con gran parte de los problemas que ocasionaron su obsolescencia. Si bien su mantenimiento no deberá ser tan seguido como en un comienzo, continuará siendo más complejo y recurrente que el de un motor convencional, por lo cual descartamos su uso en el área industrial. pero no así en área automotriz en donde estas mejoras y modificaciones sin duda nos permitirá aumentar drásticamente la confiabilidad de este extraordinario motor y de esta forma motivar a que no se pierda el concepto del motor rotativo Wankel. Aprovechando al máximo el potencial que este motor nos pueda entregar.

BIBLIOGRAFÍA

beubi. (24 de Mayo de 2009). *Spritmonitor*. Obtenido de https://www.spritmonitor.de/es/detalle/310680.html

Bocanegra, E. (15 de Noviembre de 2018). *Autonoción*. Obtenido de El Motor Rotativo o Wankel: Detalles, aceite y mucho más: https://www.autonocion.com/motores-rotativos-wankel/

Donarie, D. L. (s.f.). *Actualidad Motor*. Obtenido de Motor Wankel: qué es, cómo funciona, partes, ventajas y desventajas: https://www.actualidadmotor.com/ventajas-y-desventajas-del-motor-wankel/

Gobierno de Chile. (1991). D.S 211. En M. d. Transportes, *Normas sobre emisiones de vehículos motorizados livianos.*

Manero, A. P. (2016). *Estudio, diseño y análisis de motor Wankel* . Barcelona, España: Universitat Politècnica de Catalunya.

Pascal, J. D. (s.f.). *motor.es*. Obtenido de ¿Qué es el motor Wankel? : https://www.motor.es/que-es/motor-wankel

performance, R. g. (16 de Octubre de 2021). Cotización mano de obra. (A. Campos, Entrevistador)

pistón, B. y. (s.f.). *TODO SOBRE EL MOTOR WANKEL ROTATIVO, Parte 1 | Charla Técnica*. Obtenido de YouTube: https://www.youtube.com/watch?v=ZoU7sPd_Id0

Pistón, B. y. (s.f.). *TODO SOBRE EL MOTOR WANKEL ROTATIVO, Parte 2 | Charla Técnica*. Obtenido de YouTube: https://www.youtube.com/watch?v=86uWhvHs2Z8

Wikipedia. (23 de Septiembre de 2019). *Felix Wankel*. Obtenido de https://es.wikipedia.org/wiki/Felix_Wankel

Wikipedia. (30 de Diciembre de 2021). *Motor Wankel*. Obtenido de https://es.wikipedia.org/wiki/Motor_Wankel