



ETEC JORGE STREET

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DO CURSO TÉCNICO EM
MANUTENÇÃO AUTOMOTIVA**

DIDATIC WANKEL

**Edson Luís Freitas Gutierrez
Eduardo Henrique Oliveira Rossi
Francisco Wilson da Silva Júnior
Gustavo Alves da Silva Luz
Raphael Luiz Passarelli Alves
Renan Barbieri
Rick Souza Rodrigues**

**Professor Orientador:
Milton Alexandre Rhein Merizio**

**São Caetano do Sul / SP
2018**

DIDATIC WANKEL

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como pré-requisito para
obtenção do Diploma de Técnico em
Manutenção Automotiva.

**São Caetano do Sul / SP
2018**

Resumo

O projeto DIDATIC WANKEL tem por principal objetivo facilitar o aprendizado deste tipo de motor, que é brevemente comentado em curso e raramente ou quase nunca é visto pelos alunos. Reproduzido em escala, e construído em sua maior parte pelo processo de impressão 3D por acrilonitrilo-butadieno-estireno (ABS) que é um copolímero obtido em laboratório pela combinação de acrilonitrila, butadieno e estireno, como complementação, um sistema de Leds e um motor elétrico são instalados para que o projeto possa ser usado em aula.

Palavras-chave: (Wankel, Impressão 3D, Leds).

Abstract

The Project DIDATIC WANKEL has the main objective to facilitate the learning of this type of motor, which is briefly commented on in progress and rarely or rarely is seen by students. Reproduced in scale, and mostly constructed by the acrylonitrile-butadiene-styrene (ABS) printing process which is a copolymer obtained in the laboratory by the combination of acrylonitrile, butadiene and styrene, as a complement, a system of LEDs and a motor are installed so that the project can be used in class.

Keywords: (Wankel, Impressão 3D, Leds)

Lista de figuras

Figura 1 - Felix Wankel, engenheiro alemão.....	17
Figura 2 - Motor Wankel desenvolvido pela Mazda.....	18
Figura 3 - Componentes (Rotor).....	20
Figura 4 - Câmara de combustão.....	20
Figura 5 - Componentes (Eixo de Transmissão).....	21
Figura 6 - Fases do Motor Wankel	22
Figura 7 - Fase de Admissão	22
Figura 8 - Fase de Compressão.....	22
Figura 9 - Fase de Ignição.....	23
Figura 10 - Fase de Escape	23
Figura 11 - Croqui do projeto.....	25
Figura 12 - Processo de soldagem da bancada.....	25
Figura 13 - Bancada finalizada.....	26
Figura 14 - Motor elétrico	26
Figura 15 - Esquema elétrico do eletromotor	27
Figura 16 - Esquema Elétrico Iluminação.....	27
Figura 17 - Impressão 3D.....	28
Figura 18 - Processo Impressão 3D.....	28
Figura 19 - Rotor do Projeto.....	29
Figura 20 - Eixo de Transmissão do Projeto	29
Figura 21 - Processo de Impressão 3D.....	29
Figura 22 - Engrenagem do Projeto	30
Figura 23 - Processo de Impressão 3D.....	30
Figura 24 - Acrílico do Projeto	31
Figura 25 - Adaptação do Eixo de Transmissão.....	32

Sumário

DIDATIC WANKEL	8
RESUMO.....	10
ABSTRACT	11
LISTA DE FIGURAS	12
SUMÁRIO.....	13
INTRODUÇÃO	15
DEFINIÇÃO DO PROJETO.....	16
• KART AUTOSSUFICIENTE	16
• MINI CARRO COM MOTOR A COMBUSTÃO INTERNA.....	16
• MOTOR WANKEL DIDÁTICO.....	16
FELIX WANKEL	17
HISTÓRIA DO MOTOR ROTATIVO	18
• CONSTRUÇÃO DO MOTOR WANKEL	20
<i>Rotor</i>	20
<i>Câmara</i>	20
<i>Eixo de transmissão (Virabrequim)</i>	20
• FUNCIONAMENTO DO MOTOR WANKEL.....	21
<i>Os quatro tempos do motor Wankel</i>	21
Admissão	22
Compressão.....	22
Ignição	23
Escape	23
<i>Sobre-alimentação</i>	23
Admissão de Porta Standard	23
Admissão de Porta Média	24
Admissão de Porta Extensa	24
Admissão Dupla.....	24
Admissão de Porta “J” ou “Monster”	24
Admissão de Porta Lateral.....	24
PROJETO DIDATIC WANKEL	25
• BANCADA DE APOIO.....	25
• ELÉTRICA	26
<i>Motor elétrico</i>	26
<i>Iluminação</i>	27
• IMPRESSÃO 3D.....	27
<i>Estrutura</i>	28
<i>Rotor</i>	28
<i>Virabrequim</i>	29
<i>Engrenagem do rotor</i>	30
<i>Suporte para o acrílico</i>	31
<i>Quantidade de material</i>	31
•	32
•	32
•	32
•	32
•	32
•	32
• MONTAGEM DO MOTOR.....	32

FINANÇAS	32
CRONOGRAMA.....	33
• CRONOGRAMA INICIAL	34
• CRONOGRAMA REAL	34
<i>FMEA</i>	34
CONCLUSÃO.....	35

Introdução

Com o passar dos anos a indústria automotiva percebeu que conforto, economia e segurança entregues diretamente ao cliente, agregavam valor a sua mercadoria, sejam estes em uma simples ferramenta, ou a mais complexa e desenvolvida máquina. Um dos maiores, se não o maior avanço na indústria automotiva foi no desenvolvimento de motores de combustão interna, que por sua vez estão ficando cada vez menores, porém entregando uma potência que pode se chamar de absurda se comparados com motores de mesma proporção á décadas atrás. Tendo em vista que o curso de manutenção automotiva da etec jorge street tem como “motores de combustão interna” uma matéria fundamental e crucial para a formação de um profissional, faz-se necessário com que o conhecimento sobre estes seja amplo, porém muito bem detalhado, o entendimento de seu funcionamento é um fator que facilita e direciona o profissional no momento em que sua manutenção é necessária, esta matéria também tem por objetivo habilitar profissionais para realizar a manutenção destes motores, seguindo as normas técnicas, ambientais, de qualidade, de saúde e segurança no trabalho e especificações do fabricante. Dentre os mais diversos tipos de motores de combustão interna, encontra-se o wankel, que diferentemente dos demais, funciona de forma rotativa, fazendo com que seja um motor com grande rendimento mesmo que com uma capacidade física consideravelmente pequena, baseando-se nisto o projeto wankel didatic tem por principal objetivo facilitar o aprendizado deste tipo de motor, que é brevemente comentado em curso e raramente ou quase nunca é visto pelos alunos. Reproduzido em escala, e construído em sua maior parte pelo processo de impressão 3d por acrilonitrilo-butadieno-estireno (abs) que é um copolímero obtido em laboratório pela combinação de acrilonitrila, butadieno e estireno, como complementação, um sistema de leds e um motor elétrico é instalado para que o projeto possa ser usado em aula.

Definição do projeto

No início do 2º semestre o grupo ainda não tinha sido formado, nem tampouco a ideia de projeto definida.

Após serem definidos os membros do grupo, na época dez, sendo estes: Antônio, Eduardo, Edson, Francisco, Gustavo, Renan, Rick e Wesley. O grupo começou a pesquisar ideias de projetos, algumas foram descartadas pelo alto preço, e outras pela sua complexidade e falta de tempo para execução. Os projetos pensados foram os listados abaixo:

- **Kart Autossuficiente**

Tratava-se da ideia de desenvolver um sistema de propulsão autossustentável aplicados em um veículo de kart, onde seriam utilizados alternadores e baterias para que o próprio pudesse se auto carregar enquanto se movimentava, a ideia foi adquirida pelo grupo, porém por sua complexidade de conhecimento em eletricidade, eletrônica e eletroeletrônica, pela falta de tempo no cronograma, e pelo seu custo elevado, visto que dois integrantes do grupo saíram (Antônio e Wesley), decidiu-se por abortar esta ideia.

- **Mini carro com motor a combustão interna**

A segunda ideia a ser levantada foi a de adaptar um motor de combustão interna á dois tempos (mesmo motor utilizado em muitos modelos de motos) á um chassi já existente na escola, fazendo-se assim com que o chassi pudesse ser utilizado. Após analisar a ideia o grupo a descartou pois esta se tratava de uma ideia basicamente de adaptação, onde os integrantes do grupo não teriam a possibilidade de mudanças drásticas, visto que o chassi já estava construído e o motor não podia ser alterado.

- **Motor Wankel didático**

Após analisar um projeto deste já existente, notou-se que o mesmo não era eficaz para o desenvolvimento em aula, já que seu rotor era travado e não rodava. O grupo trouxe junto com esta ideia o objetivo de melhorar este trabalho, fazendo com que o mesmo tivesse seu movimento automático, uma iluminação individual para que cada fase pudesse ser explicada dentro do projeto e que também fosse um projeto fácil de utilizar em aula, optamos então pela escolha do Motor Wankel didático como projeto para nosso trabalho de conclusão de curso.

Felix Wankel



Figura 1 - Felix Wankel, engenheiro alemão.

Felix Wankel, (nascido em 13 de agosto de 1902, Lahr, Ger. - morreu em 9 de outubro de 1988, Lindau, W.Ger.), Engenheiro alemão e inventor do motor rotativo Wankel. O motor Wankel é radicalmente diferente em sua estrutura dos motores convencionais a pistão alternativo. Ao invés de se ter os tradicionais pistões que sobem e descem em cilindros, o motor Wankel tem um rotor em órbita triangular que gira em uma câmara fechada. Cada quarto de volta do rotor completa uma expansão ou uma compressão dos gases dentro da câmara, permitindo que as quatro funções características de todos os motores de combustão interna - admissão, compressão, expansão e exaustão - sejam realizadas durante uma volta do rotor. As únicas partes móveis são o rotor e o eixo de saída. Em teoria, as vantagens deste projeto incluem seu peso, a utilização de poucas partes móveis, compactação, baixo custo inicial, menos reparos necessários e desempenho relativamente suave.

Wankel nunca obteve um diploma de engenharia ou adquiriu uma carteira de motorista. Filho de um funcionário florestal na região da Floresta Negra no sul da Alemanha, ele cresceu em circunstâncias difíceis depois que seu pai foi morto na Primeira Guerra Mundial. Quando jovem, estava convencido de que poderia projetar um prático motor rotativo (o conceito era bem conhecido, mas geralmente considerado impraticável), montou uma pequena empresa de engenharia em Heidelberg enquanto se financiava com outros empregos, como a venda de livros. Ele foi brevemente um membro do Partido Nazista antes de subir ao poder. Durante o período nazista e a Segunda Guerra Mundial, ele morou em Lindau, no Lago Constance (perto da fronteira com a Suíça), onde trabalhou em projetos para vedações, válvulas rotativas não convencionais e motores rotativos para motores de automóveis e aviões. Em vários momentos, trabalhou para as empresas automobilísticas Daimler-Benz e BMW, bem como para a força aérea alemã.

No final da guerra, a oficina da Wankel foi desativada pelas autoridades aliadas, e em 1951 ele começou a trabalhar em Lindau com o departamento de pesquisa de um fabricante de motores, a NSU Motorenwerk AG. Ele completou seu primeiro projeto de um motor rotativo para a NSU em 1954, e unidades de protótipos foram testadas em 1957 e 1958. Em 1961, a Mazda contratou a NSU para produzir e desenvolver o motor Wankel no Japão. Os carros Mazda com motor rotativo foram introduzidos no mercado japonês na década de 1960 e no mercado americano em

1971. Wankel estabeleceu uma série de seus próprios estabelecimentos de pesquisa em Lindau, onde continuou trabalhando sob contratos para várias empresas sobre os problemas fundamentais e futuras aplicações do motor rotativo.

Wankel recebeu várias honrarias de sociedades de engenharia na Alemanha e no exterior e, em 1969, recebeu um doutorado honorário da Universidade Técnica de Munique. Comprometido toda a sua vida com o anti vivisseccionismo, Wankel fundou, em 1972, o Prêmio Anual de Pesquisa em Bem-Estar Animal Felix Wankel, anual ou semestral, para artigos e projetos relacionados ao bem-estar animal e à cessação da experimentação em animais vivos

História do Motor rotativo

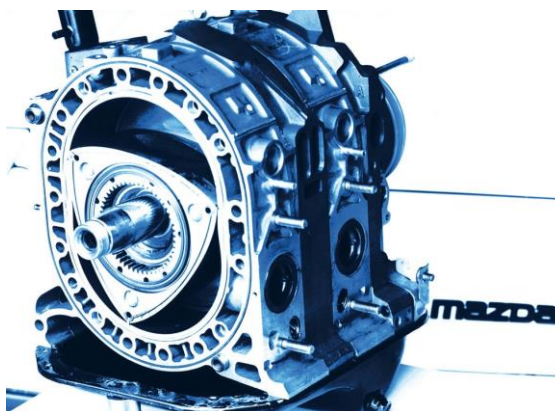


Figura 2 - Motor Wankel desenvolvido pela Mazda

O motor á combustão interna é uma das maiores invenções criadas pelo homem, sua aplicação vai desde a área automobilística até a aeronáutica.

O primeiro motor a combustão interna foi construído pelo mecânico alemão Lenoir, em 1860, e tinha a potência de 1 cv, trabalhando com gás de iluminação. Em 1861, Otto e Langen, baseando-se na máquina de Lenoir, construíram um motor que comprimia a mistura de ar e gás de iluminação, com ignição feita por uma centelha elétrica. Em 1862, o engenheiro francês Beau de Rochas publicou estudos teóricos e estabeleceu alguns princípios termodinâmicos baseado no motor de Otto. Este por sua vez, baseado no estudo de Rochas, desenvolveu um motor: o motor de ciclo Otto apresentado em 1872. Estes motores usavam como combustível o gás de carvão ou o gasogênio, com ignição feita por centelha elétrica. Em 1889, fez-se a primeira aplicação do motor de ciclo Otto em veículos, utilizando-se como combustível a gasolina.

Dentre os motores a combustão interna, um se destaca pelo seu incrível rendimento e formato no mínimo diferente quanto comparado aos demais, esse é o motor de Wankel, que se caracteriza por ser um motor com pistão rotativo e não alternativo como nos mais tradicionais.

Desenvolvido em 1954 pelo engenheiro mecânico alemão Felix Heinrich Wankel. O motor rotativo é uma alternativa ao clássico motor a pistão, este motor usa um rotor excêntrico desenvolvido para converter diretamente a energia liberada

pelos gases em um movimento rotatório. Enquanto no sistema “pistão-cilindro”, o movimento linear do pistão é usado para converter em movimento rotatório do virabrequim. Basicamente, de uma maneira simples, o rotor gira em caixas moldadas em um formato de oito.

A principal motivação de Wankel para este projeto foi de criar um motor que não tivesse as fortes vibrações de um motor de movimentos alternativos.

Entretanto, apesar de seu motor funcionar muito bem, só entraria com a aplicação em automóveis depois que o engenheiro da NSU, Hanns Dieter Paschke, o reformulasse dois anos depois, a fim de torná-lo mais barato para a produção em massa.

Devido a isso, todos os motores rotativos encontrados em carros são baseados no design de Paschke, chamado “KKM 57P”, em vez de “DKM54” de Wankel.

Ao contrário da crença popular, não foi a NSU ou a Mazda que implementaram um motor rotativo sob o capô de um carro, foi a tcheca Skoda.

Um projeto não apresentado de nome 1000 MB foi equipado com motores rotativos de rotor único no início dos anos 1960 e usado para fins experimentais.

Os carros nunca foram vendidos aos clientes e, após o término dos experimentos a maioria destes modelos tchecos foram descartados.

O Wankel Spider, fabricado pelo fabricante de automóveis alemão NSU (mais tarde tornou-se parte da Audi), foi o primeiro carro de produção a ser equipado com um motor rotativo.

O conversível de dois lugares leve de 700 kg carregava um motor rotativo de rotor único de 497,5cm³ na traseira, fornecendo 50 cv a 6000 RPM (os clientes podiam escolher um “pacote esportivo” para 65 cv).

Para contrabalançar o peso dos motores, o tanque de combustível e o radiador foram levados à frente do veículo, deixando dois minúsculos compartimentos de bagagem.

O motor era potente o suficiente para fazer com que o carro atingisse seus 155 km/h, o que não era uma má velocidade máxima para a época.

2.375 carros foram fabricados, estima-se que cerca de dois terços destes ainda estejam em atividade.

- **Construção do motor Wankel**

Rotor

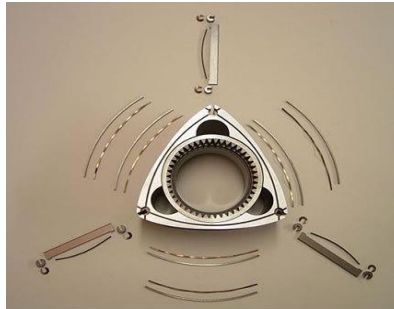


Figura 3 - Componentes (Rotor)

O rotor tem três faces convexas, cada uma das quais age como um pistão. Cada face do rotor possui um bolsão, o que aumenta o deslocamento do motor, permitindo mais espaço para a mistura ar / combustível.

No ápice de cada face há uma lâmina de metal que forma uma vedação para o exterior da câmara de combustão. Há também anéis de metal em cada lado do rotor que selam os lados da câmara de combustão.

O rotor tem um conjunto de dentes de engrenagem internos cortados no centro de um lado. Esses dentes se encaixam com uma engrenagem que é fixada na carcaça. Esse acoplamento de engrenagem determina o caminho e a direção que o rotor passa através da câmara

Câmara



Figura 4 - Câmara de combustão

A câmara tem uma forma quase oval. A forma da câmara de combustão é projetada de forma que as três pontas do rotor permaneçam sempre em contato com a parede da câmara, formando três volumes de gás vedados.

Cada parte da caixa é dedicada a um tempo do ciclo.

Eixo de transmissão (Virabrequim)

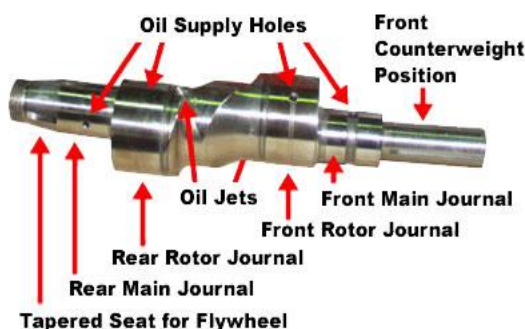


Figura 5 - Componentes (Eixo de Transmissão)

O eixo de acionamento central, também chamado de eixo excêntrico ou E-shaft, passa pelo centro do rotor e é suportado por rolamentos. O rotor gira em torno de um lóbulos de deslocamento (manivela) no eixo e faz revoluções orbitais ao redor do eixo central. O giro do rotor é causado por uma engrenagem estacionária fixada ao alojamento lateral em que a engrenagem no rotor é conduzida. Veda os cantos da vedação do rotor contra a periferia da caixa, dividindo-a em três câmaras de combustão em movimento. Engrenagens fixas montadas em cada lado do invólucro engatam com engrenagens de anel conectadas ao rotor para garantir a orientação adequada à medida que o rotor se move.

O eixo de saída tem lóbulos redondos montados excêntricamente, o que significa que eles estão deslocados da linha central do eixo. Cada rotor se encaixa em um desses lóbulos. O lóbulos age como o virabrequim de um motor a pistão. Conforme o rotor segue seu caminho ao redor do alojamento, ele empurra os lóbulos. Como os lóbulos são montados excêntricos ao eixo de saída, a força que o rotor aplica aos lóbulos cria torque no eixo, fazendo com que ele gire.

Um motor rotativo é montado em camadas. Cada camada é, na verdade, um invólucro do rotor de formato oval. Refrigerante flui através de passagens em torno de todas as peças. As duas camadas finais contêm as vedações e rolamentos para o eixo de saída. Eles também selam nas duas seções da caixa que contêm os rotores. As superfícies internas dessas peças são muito suaves, o que ajuda as vedações do rotor a realizarem seu trabalho. Uma porta de entrada está localizada em cada uma dessas peças finais.

- **Funcionamento do motor Wankel**

O funcionamento deste baseia-se no ciclo de Otto, constituído de admissão, compressão, ignição e escape. O que o difere dos demais é sua construção, que utiliza um rotor excêntrico para fazer a compressão destes gases. Diferentemente dos motores a pistão-cilindro, no Wankel não é necessária a utilização de válvulas, já que a própria rotação do rotor controlar a quantidade de ar admitido, sua admissão é feita por janelas em sua lateral.

Os quatro tempos do motor Wankel

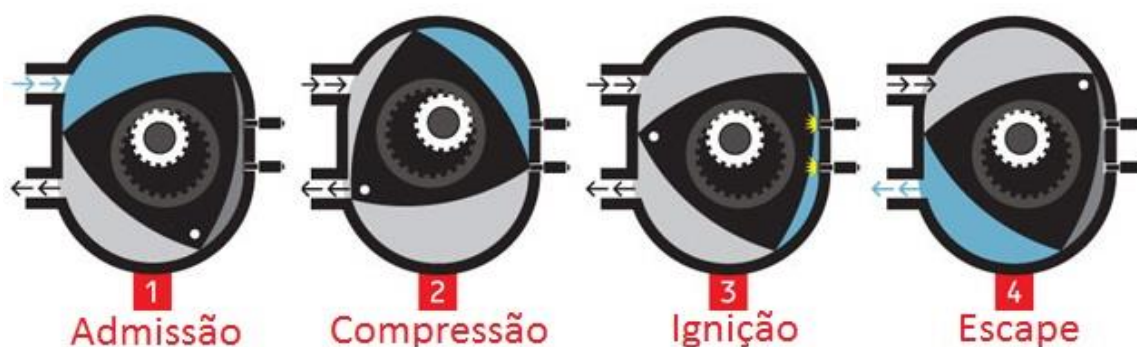


Figura 6 - Fases do Motor Wankel

Admissão

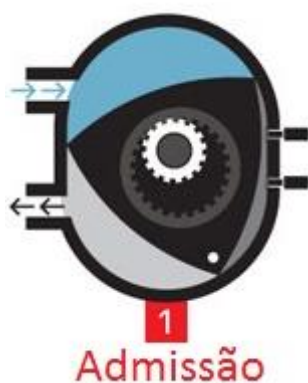


Figura 7 - Fase de Admissão

Quando uma ponta do rotor passa pela porta de entrada, a mistura nova começa a entrar na primeira câmara. A porta de entrada injeta a mistura combustível-ar até o segundo ápice atingir a porta de entrada e a fecha-la. No momento, a mistura ar-combustível é selada na primeira câmara e está á caminho de sua compressão.

Compressão

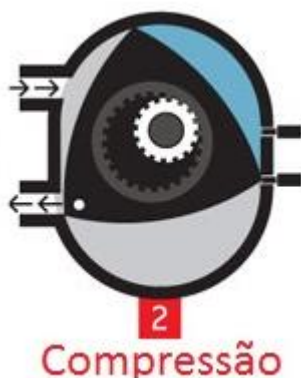


Figura 8 - Fase de Compressão

A câmara um (entre a primeira e a segunda ponta do rotor) contendo a mistura ar-combustível é comprimida devido ao formato do motor, com a continuação de sua rotação, essa mistura é levada á segunda câmara, onde estão localizadas as velas de ignição e acontecerá neste momento o terceiro ciclo do motor, a combustão.

Enquanto isso acontece, uma nova mistura começa a ser admitida pela ponta anterior do rotor.

Ignição

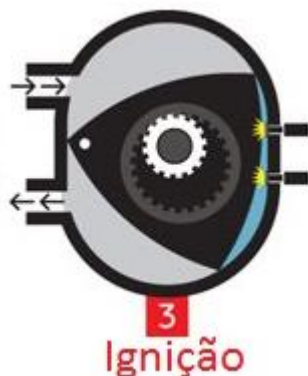


Figura 9 - Fase de Ignição

Quando a vela de ignição emite sua centelha, a mistura altamente comprimida expande-se de forma explosiva. A pressão de expansão empurra o rotor em seu sentido de rotação, fazendo com que assim o motor gere energia mecânica, que será conseqüentemente transmitido á transmissão, que por sua vez irá direciona-la as rodas, fazendo com que o veículo tenha movimento.

Escape

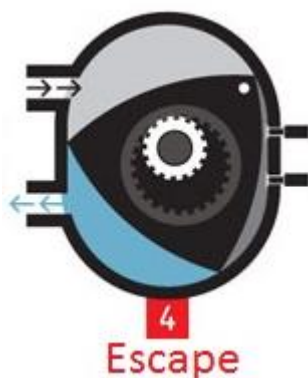


Figura 10 - Fase de Escape

À medida que a combustão impulsiona o rotor em seu sentido de giro, esta ponta do motor arrasta os gases queimados para fora do motor, por uma porta de saída, semelhante a de admissão. Enquanto esta ponta está descarregando os gases queimados da combustão, as demais já estão em processo de admissão e compressão, ambas simultaneamente. Esta é a grande vantagem deste motor - os quatro tempos ocorrem simultaneamente em quatro tempos, diferentemente do motor de pistão, o motor Wankel, produz energia em um fluxo contínuo.

Sobre-alimentação

Admissão de Porta Standard

Providencia ao motor um melhor consumo e no caso de este alimentar um veículo, uma condução espectável de um motor de por volta dos 130 cv. Esta admissão é sujeita a modificações podendo chegar a aumentar a potência do motor até cerca dos 180 cv. É também a partir desta admissão que se chega à média, extensa e dupla.

Admissão de Porta Média

A porta média é o primeiro passo para a máxima sobre alimentação do motor, conhecida por rotary porting

Esta admissão tem uma área ligeiramente maior que a standard e consegue uma potência de cerca de 200 cv. Tem a seu favor a capacidade de provisionar uma condução suave e boa para estrada numa situação de dia-a-dia com o único ponto negativo de ter um aumento ligeiro no consumo

Admissão de Porta Extensa

Esta admissão é apenas uma versão alongada da de porta média e tem uma área maior. Normalmente com esta modificação nota-se uma diferença, ainda que pequena, do motor em marcha lenta e uma perda de binário significável abaixo das 4.000 rpm. É uma escolha popular entre quem não quer arriscar os problemas de porta dupla. Há um aumento de potência para cerca dos 220 CV, porém, mais uma vez aumenta-se o consumo e barulho. É necessário modificar o sistema de alimentação e de escape para poder utilizar-se de todo o potencial desta admissão, bem como as que seguem abaixo.

Admissão Dupla

Esta utiliza uma sobancelha ao lado da porta modificada existente e provoca uma instabilidade das RPM da marcha lenta, muito mais do que na porta extensa. Consegue-se um aumento enorme de potência relativamente aos sistemas anteriores, com um pico de 260 a 280 CV na ordem das 8.000 RPM. A Redline do motor aumenta significativamente, o que também providencia ao veículo uma potência incrível. Isto torna o veículo instável e difícil de conduzir, com consumos altos e um barulho tremendo.

Admissão de Porta “J” ou “Monster”

É a versão maior possível para uma admissão convencional num motor rotativo. A sobancelha neste caso torna-se numa porta de igual tamanho à original tendo neste caso duas portas extensas. Espera-se uma potência de cerca de 300cv, mas o tempo de vida de um motor com esta admissão ronda os seis meses a um ano (5000a 10.000 km). Torna o veículo extremamente difícil de conduzir e necessita de um sistema de escape especial que resulta bastante literalmente no que se considera poluição sonora

Admissão de Porta Lateral

É uma alternativa ao corte da Housing do motor rotativo. Este método de admissão pega numa porta grande circular e insere-a lateralmente conseguindo chegar a potências

da ordem dos 300 CV nas 8.000 RPM. Aumenta imensamente o consumo do motor e reduz de igual modo o seu tempo de vida. É, no entanto, uma alternativa muito cara.

Projeto Didatic Wankel

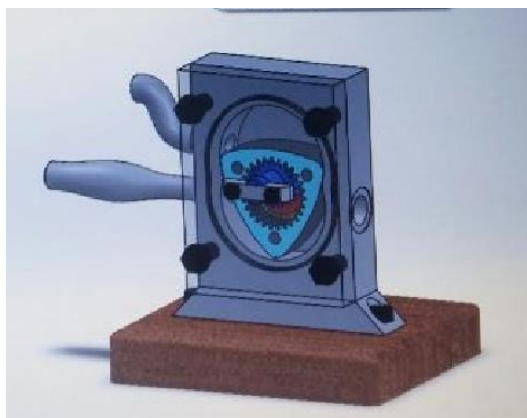


Figura 11 - Croqui do projeto

- **Bancada de apoio**

A construção da bancada de apoio ocorreu nas primeiras semanas de aula, a estrutura base foi bancada de aço utilizada em outro projeto já apresentado. O desenvolvimento da bancada foi de grande valia para os integrantes do grupo, pois fez-se necessário que fosse utilizados processos manuais, como o de limar, lixar, serra e soldar.

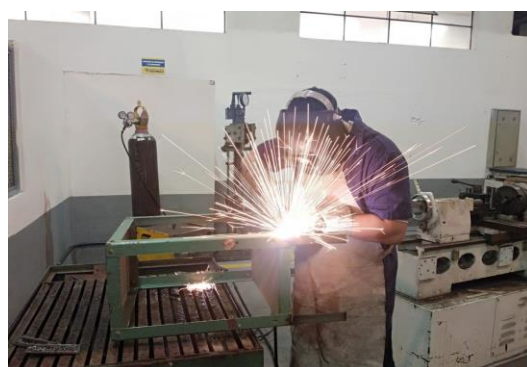


Figura 12 - Processo de soldagem da bancada

Após o processo de adaptação da bancada antiga para as atuais necessidades do grupo, foi necessário a colocação de uma tábua de madeira para esconder as antigas imperfeições da bancada, provavelmente causadas por pancadas e batidas de martelo, por fim, também foi preciso que se envelopasse esta tábua com papel contact preto, por fim com um TNT preto em volta da bancada toda.



Figura 13 - Bancada finalizada

- **Elétrica**

Pelo fato do projeto ter por objetivo didático, fez-se necessário que este fosse também de fácil manuseio e funcionamento simples, tomou-se então por decisão, automatizar o sistema de rotação do motor e instalar uma iluminação para que todos os processos necessários numa combustão fossem apresentados facilmente, decidiu-se então instalar uma iluminação independente para cada ciclo do motor e anexo disto um motor elétrico que tracione o rotor dentro da câmara, simulando o real funcionamento do motor rotativo.

Motor elétrico

De acordo com a necessidade do projeto, o motor elétrico escolhido foi um motor de 350 W/ 127 V, o mesmo utilizado em liquidificadores de pequeno porte, este que por contato direto com o virabrequim traciona o rotor dentro da câmara, atingindo o principal objetivo do grupo, que é automatizar a maneira como este funciona.

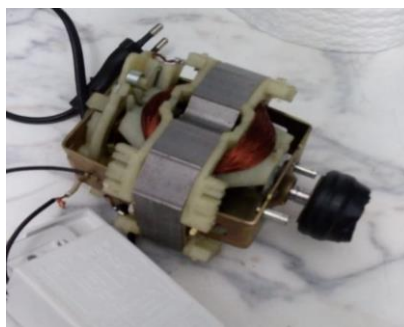


Figura 14 - Motor elétrico

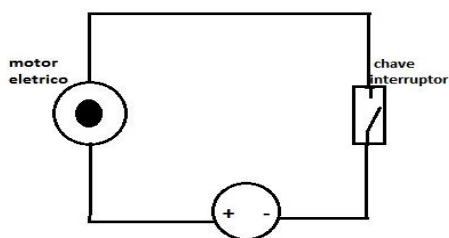


Figura 15 - Esquema elétrico do eletromotor

Iluminação

O sistema de iluminação é constituído por um circuito de leds ligados em série, com tensão proveniente de uma bateria externa de 9V, foram utilizados quatro leds, um para cada fase do motor. Para as fases de admissão e compressão foram escolhidos respectivamente as cores azul e cinza. Para a combustão, a cor escolhida foi a vermelha e finalmente para o escapamento dos gases utilizou-se de led de cor verde.

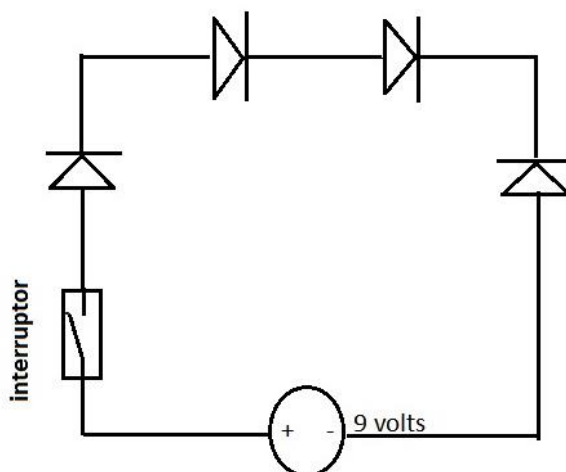


Figura 16 - Esquema Elétrico Iluminação

- **Impressão 3D**

O processo de impressão foi desenvolvido pela empresa Engiprinters, localizada na região do Bom Retiro em São Paulo, o material utilizado foi o ABS premium, um copolímero. Todas as peças foram impressas em uma impressora GT-MAX modelo CoreA3-v2 com o processo FDM.

A impressão foi dividida em 5 peças principais, sendo estas nomeadas como: estrutura, rotor, virabrequim, suporte para o acrílico e a engrenagem do rotor. No total foram utilizadas 47h06min de trabalho pela máquina para a impressão completa de todas as peças.

Estrutura



Figura 17 - Impressão 3D

Base para o projeto, a peça “Estrutura” foi o nome dado ao bloco do motor, local aonde vai alojado o rotor e onde estão localizadas as janelas de admissão da mistura ar-combustível e a de escapamento. Esta peça ficou identificada pela cor cinza ardósia, por ser a maior do projeto necessitou de atenção especial, pois caso está fosse feita em impressão com o processo de 100% de preenchimento acabaria ficando com um valor acima do estipulado pelo grupo, desta forma foi preciso alterar o projeto inicial e redimensiona-lo para a nossa aplicação.

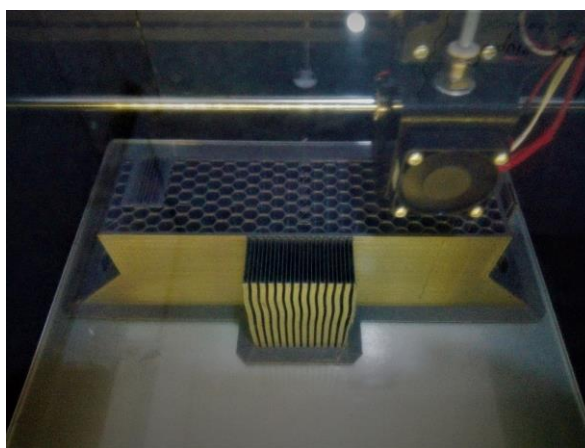


Figura 18 - Processo Impressão 3D

Rotor

O rotor é o grande destaque do projeto, impresso na cor azul ele tem como objetivo substituir o convencional pistão existente nos motores alternativos, é uma peça de grande complexidade ao ser impressa, pois os ângulos desta devem estar precisamente corretos para que não haja travamento do motor nem tampouco tenha folga entre a parede da câmara de combustão e esta.

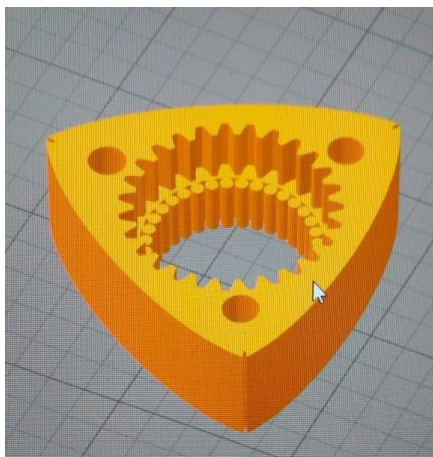


Figura 19 - Rotor do Projeto

Virabrequim

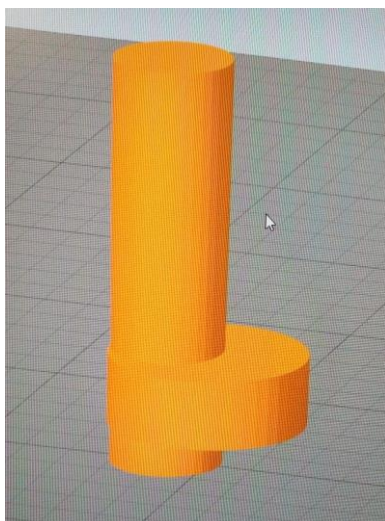


Figura 20 - Eixo de Transmissão do Projeto

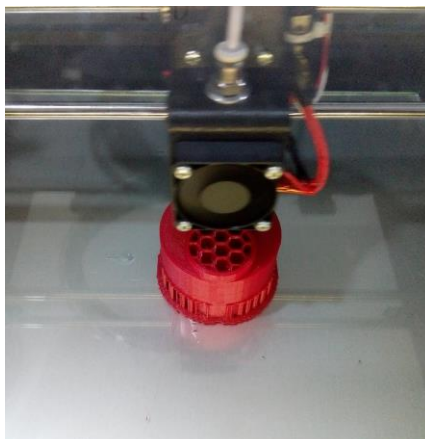


Figura 21 - Processo de Impressão 3D

O virabrequim é uma peça cilíndrica de três diâmetros diferentes, sendo o maior deste com centro descentralizado para que possa ser fixado na estrutura e mesmo assim acompanhar o rotor girando. A função principal do rotor é transmitir os

movimentos contínuos do motor elétrico para o rotor dentro da câmara de combustão, após a impressão notou-se que esta peça ficava com folga excessiva em seu apoio na estrutura, fez-se necessário então que fosse instalada uma bucha de plástico, assim conferindo aos dois elementos com uma folga menor, porém ainda possibilitando a execução suas funções perfeitamente. A cor escolhida para esta foi a cor vermelha.

Engrenagem do rotor



Figura 22 - Engrenagem do Projeto

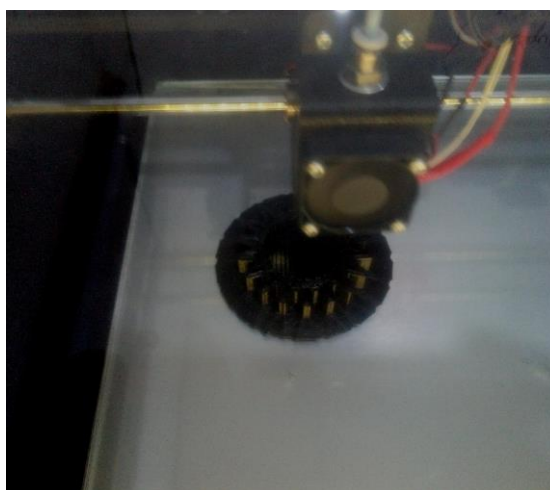


Figura 23 - Processo de Impressão 3D

Responsável por fazer a transmissão do movimento do rotor para o virabrequim esta é outra peça de difícil complexidade, seus dentes devem ser precisos e bem acabados para que não haja travamento no momento de transmissão do movimento ao virabrequim. Pela necessidade deste melhor acabamento, foi necessário que após a impressão esta fosse lixada para melhorar sua superfície, já que a impressão deixa muitas imperfeições na parte externa da peça. A cor selecionada para esta foi a cor preta

Suporte para o acrílico

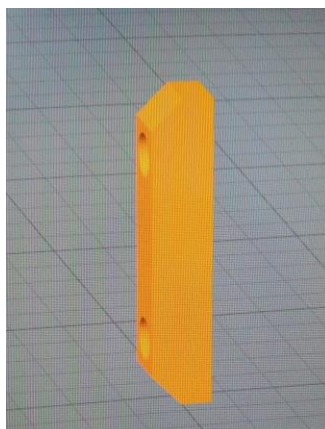


Figura 24 - Acrílico do Projeto

Esta peça foi impressa unicamente e exclusivamente utilizada para que seja feita uma base de acrílico frente ao projeto, para que esse possa ser visualizada facilmente, porém não haja um contato físico com as partes móveis do projeto, a fim de estender a vida útil deste. A cor empregada nesta peça foi a cor amarela. Entretanto o projeto em mãos o grupo notou que a distância do acrílico com a aplicação desta peça seria muito maior que o imaginado, portanto com ela não seria possível evitar o contato direto com as peças móveis, acabou-se optando pela remoção desta.

Quantidade de material

1401,07 g de material foram gastos para todo o processo de impressão, a quantidade de material gasto em cada peça individualmente pode ser visto na tabela abaixo.

Peça Impressa	Tempo de Impressão (h)	Comprimento consumido (m)	Peso consumido (g)	Diâmetro do filamento (mm)
Estrutura	35h	434,86	1116,75	1,75
Rotor	6h40m	60,69	155,86	1,75
Virabrequim	3h 24m	28,56	73,34	1,75
Suporte para o acrílico	2h	16,38	42,07	1,75
Engrenagem do rotor	0h42m	5,33	13,68	1,75

-
-
-
-
-
- **Montagem do motor**

Com a impressão das peças concluídas e estas em mãos o processo de montagem do motor mostrou que seriam necessárias adaptações ainda, para que o objetivo do grupo fosse alcançado com sucesso, exemplos disto foram as buchas instaladas entre a estrutura e o virabrequim. Nossa segunda adaptação foi na engrenagem do motor, que precisou ser serrada após a remoção do suporte para o acrílico, como mostra a imagem a seguir.



Figura 25 - Adaptação do Eixo de Transmissão

Finanças

Financeiramente o objetivo principal do grupo foi de o projeto inteiro ter um custo abaixo dos R\$ 1.000,00 (Um mil reais), nota-se através da seguinte tabela que o objetivo do grupo foi atingido.

ORÇAMENTO			
Material	Quantidade	Preço Unitário	TOTAL
Cantoneira 1 pol. 1/2	5	R\$ 2,00	R\$ 10,00
Rodízios	4	R\$ 4,39	R\$ 17,56
Lixa	3	R\$ 3,33	R\$ 10,00
Papel Contact	1	R\$ 7,00	R\$ 7,00
Tecido para envelopamento	1	R\$ 37,00	R\$ 37,00
Acrílico	1	R\$ 70,00	R\$ 70,00
Led	4	R\$ 1,00	R\$ 4,00
Impressão 3D Wankel didatic	1	R\$ 700,00	R\$ 700,00
Luva e Adesivo	1	R\$ 20,28	R\$ 20,28
Dimmer e Bucha	1	R\$ 26,59	R\$ 26,59
Impressão banner	1	R\$ 65,00	R\$ 65,00
Impressão da monografia	1	R\$ 25,00	R\$ 25,00
Transformador	1	DOAÇÃO	DOAÇÃO
Caixa Steck	1	DOAÇÃO	DOAÇÃO
Eletromotor	1	DOAÇÃO	DOAÇÃO
Motor Elétrico	1	DOAÇÃO	DOAÇÃO
TOTAL		R\$	982,43

Cronograma

O cronograma inicial do projeto sofreu alterações, principalmente ao fato do curto prazo e da necessidade de adaptação do projeto, pode-se conferir abaixo o cronograma inicial, ou seja, o que foi estabelecido pelo grupo antes do início do projeto e o cronograma real, que mostra o real desenvolvimento do projeto.

- **Cronograma inicial**

TAREFAS	2017 - 2º Semestre					2018 - 1º Semestre				
	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN
Apresentação dos possíveis projetos	X	X								
Debate sobre possibilidade de tais projetos		X	X							
Definição da ideia principal			X							
Pesquisa sobre o assunto e cogitação de tipos de desenvolvimento				X						
Apresentação do projeto aos professores orientadores					X					
Definição e escolha de materiais					X					
Busca e pesquisa de materiais e preços						X				
Construção da bancada							X			
Construção da sistema com arduino							X	X		
Montagem do projeto								X		
Alterações finais e ou necessárias								X		
Entrega da monografia finalizada e revisada									X	
Filmagem do vídeo de apresentação									X	
Apresentação do projeto à banca avaliadora									X	
EXCUTE										X

- **Cronograma real**

TAREFAS	2017 - 2º Semestre					2018 - 1º Semestre				
	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN
Apresentação dos possíveis projetos	X	X								
Debate sobre possibilidade de tais projetos		X	X							
Definição da ideia principal			X							
Pesquisa sobre o assunto e cogitação de tipos de desenvolvimento				X						
Apresentação do projeto aos professores orientadores					X					
Definição e escolha de materiais					X					
Busca e pesquisa de materiais e preços						X	X			
Construção da bancada							X			
Construção da sistema com arduino						CANCELADO				
Montagem do projeto									X	X
Alterações finais e ou necessárias										X
Entrega da monografia finalizada e revisada										X
Filmagem do vídeo de apresentação										X
Apresentação do projeto à banca avaliadora										X
EXCUTE										X

FMEA

Etec Jorge Street		FMEA - Análise do Modo e Efeito de Falha					Data:		07/06/2018		
Local:	São Caetano do Sul	Curso:	Manutenção automotiva		Equipamento:			Wankel Didatic			
Componentes	Função	Possíveis Falhas			Controle Atual	Índices			NPR	Ações Preventivas	
		Modo(s)	Efeito(s)	Causa(s)		F	G	D		Recomendada	Adotada
Rotor	Girar através do eixo de transmissão	Travamento	Quebra da engrenagem ou travamento do rotor	Empenamento da peça ou mal dimensionamento	Motor com Rotação controlada	2	5	2	20	Fazer análise da Rotação do motor	Rotação do eletromotor controlada
Eixo de Transmissão	Transmitir a rotação do eletromotor ao rotor	Folga excessiva	Vibração no sistema	Desgate do eixo	Eixo standard	2	5	8	80	Verificar especificação e dimensionamento do mancal.	Aplicação do eixo standard
Câmara de combustão	Sustentar os componentes do motor	Rompimento da junção química	Quebra dos componentes	Queda ou contato com produtos químicos	Fixação do motor na bancada e manter longe de produtos corrosivos	1	10	10	100	Conferir o aperto dos parafusos de fixação	Aplicação do torque correto
Eletromotor	Tracionar o virabrequim	Queima ou mal contato	Não funcionamento do motor	Corrente alta ou rompimento do circuito	Etiqueta de identificação para 127V	6	10	2	120	Manter o interruptor em OFF quando for ligar o sistema	Etiqueta de identificação 127V
Leds	Identificar as fases do motor	Não funcionamento dos leds	Impossibilidade de identificação das fases	Rompimento do circuito	Isolamento do circuito	1	4	2	8	Não há	Não há

Conclusão

Pode-se concluir com este trabalho que o projeto DIDATIC WANKEL mostra-se eficiente para desenvolvimento de aulas teóricas sobre motores de combustão interna, utilizando este em aula pode-se apresentar de maneira simples e fácil cada uma das quatro fases do motor individualmente explicando o completo processo de combustão no ciclo de Nikolaus Otto, constituído por quatro tempos. O sistema de iluminação facilita a interpretação de leigos e a explicação dos professores sobre o tema.

Em consonância disto pode-se afirmar que este projeto também apresenta aos alunos um tipo de motor que raramente, ou quase nunca é visto por brasileiros em geral.

Sua aplicação não fixa unicamente e somente. Com a aplicação deste motor em aula os alunos tem acesso a um material didático simples e de fácil acesso, visto que este motor é de grande complexidade e restrito acesso á informações (principalmente se pesquisado em língua nacional).

Referências

<https://www.google.com.br/search?q=motor+rotativo>
<https://www.google.com.br/search?q=motor+rotativo>
<https://www.britannica.com/biography/Felix-Wankel>
<https://www.carthrottle.com/post/w3roj27/>
<https://www.flatout.com.br/como-funciona-o-motor-wankel/>
<https://auto.howstuffworks.com/rotary-engine1.htm>
<https://auto.howstuffworks.com/rotary-engine4.htm>
<http://autoetecnica.band.uol.com.br/tecnica-motor-wankel-e-a-teoria-da-rotatividade/>
[http://www.academia.edu/15849724/Engenharia Mec%C3%A2nica -
_Motor Rotativo Wankel](http://www.academia.edu/15849724/Engenharia_Mec%C3%A2nica_-_Motor_Rotativo_Wankel)
<https://auto.howstuffworks.com/rotary-engine5.htm>
<http://autoetecnica.band.uol.com.br/tecnica-motor-wankel-e-a-teoria-da-rotatividade/>
<https://www.carrobonito.com/2015/04/13/o-que-e-o-motor-wankel/>
<https://kbb.sapo.pt/detalhes-noticia/motor-wankel-como-funciona/?ID=1008>
<http://mechstuff.com/how-does-a-wankel-engine-work/>
<https://www.google.com.br/search?q=projeto+motor+rotativo>
<http://www.google.com.br/search?q=quatro+tempos+do+motor+wankel>
[http://4.bp.blogspot.com/_eu2TRM7oZR4/S-
ihHC9RBRI/AAAAAAAAAWA/gMdSjV21kco/s1600/34.jpg](http://4.bp.blogspot.com/_eu2TRM7oZR4/S-ihHC9RBRI/AAAAAAAAAWA/gMdSjV21kco/s1600/34.jpg)
http://s3.amazonaws.com/magoo/ABAAAAP_oAF-6.jpg
<http://www.ridelust.com/wp-content/uploads/wankel-inside-kart-engine.jpg>
[https://www.razaoautomovel.com/wp-content/uploads/2015/10/why-mazda-decided-
to-cancel-the-rx-8-successor-goodbye-wankel-engine_21.jpg](https://www.razaoautomovel.com/wp-content/uploads/2015/10/why-mazda-decided-to-cancel-the-rx-8-successor-goodbye-wankel-engine_21.jpg)
<http://edgarmec.blogspot.com.br/p/motor-wankel.html>