

MOTOR SWING: PROJETO DE NOVO MECANISMO PARA MOTORES A COMBUSTÃO INTERNA

Lucas Arantes Rodrigues, Faculdade Pitágoras de Uberlândia, lucasar@hotmail.com

Fernando Costa Malheiros, Universidade Federal de Uberlândia, fernandomalheiros@gmail.com

Resumo: Este trabalho propõe teoricamente um novo mecanismo para aplicação em motores de combustão interna. Seguindo as tendências de motores com menos cilindros, mais compactos, que possuam boa potência e baixo consumo de combustível aproveitando cada vez mais o potencial energético presente nos combustíveis. Como se trata de uma proposta de inovação o foco do trabalho, de maneira geral, é apresentar a ideia, como será o funcionamento do mecanismo e os parâmetros gerais do projeto. O novo mecanismo proposto tenta aproveitar melhor a energia fornecida no momento da combustão, ele dispõe de dois virabrequins que se interligam através de engrenagens e de um sistema de pistão com um eixo central que o fixe limitando seus movimentos de modo que seu movimento continue sendo alternado, mas oscilando como uma gangorra, balanço, daí surgiu o nome do mecanismo: Motor Swing. Este trabalho é apenas o início de uma longa jornada que envolve o projeto e fabricação de um motor.

Palavras-chave: Motores, Combustão, Mecanismo, Inovação, Motor Swing.

1. INTRODUÇÃO

A maioria dos veículos utilizados no Brasil e no mundo são movidos a motores de combustão interna. Apesar dos crescentes investimentos em veículos híbridos, veículos elétricos e outros projetos que visam reduzir ou não mais utilizar MCI's (Motores de combustão interna) ainda existem especialistas e engenheiros que acreditam que os MCI's têm muito a evoluir e que temos tecnologia para fazer motores menores, mais potentes, confiáveis e que principalmente tenham um menor consumo de combustível. Este novo conceito de produzir motores já é realidade no setor automobilístico e é conhecido como *Downsizing*, termo originado do inglês que significa redução de tamanho.

Grandes aliados ao futuro dos motores a combustão são a oferta de combustíveis renováveis como o Etanol e o Biodiesel. Nosso país é pioneiro nos dois combustíveis, apesar de somente o etanol ser amplamente comercializado. O biodiesel 100% ainda não está presente nos postos de combustíveis, ele apenas é acrescentado em pequena porção no óleo Diesel convencional.

Analisando os diversos mecanismos de motores a combustão interna é possível notar que todos os projetos buscam converter a energia química presente nos combustíveis em energia mecânica, quase sempre na forma de movimento alternado que se transforma em movimento rotativo e, assim, impulsionar os veículos. Em grande parte dos motores os principais mecanismos utilizados são basicamente os mesmos: válvulas, cilindros, pistões, bielas e árvore de manivela (Também conhecida como virabrequim).

Apesar dos grandes avanços nos projetos e construções dos motores a combustão interna eles ainda não conseguem ter uma eficiência satisfatória. Motores que utilizam etanol e gasolina (conhecidos como *flex*) têm uma eficiência em torno de 22 a 30% e motores que utilizam óleo diesel têm em torno de 30 a 35% de eficiência (Penido Filho, 1983).

Portanto, o desafio foi tentar projetar um mecanismo que consiga aproveitar melhor o potencial energético fornecido pelos combustíveis no momento da combustão. Esta pesquisa foi em busca de uma nova dinâmica do motor utilizando mecanismos semelhantes aos motores convencionais, mas dispostos de uma maneira que talvez consigam converter de modo mais eficaz o movimento alternado, feito pelo pistão, em movimento rotativo, executado pelo virabrequim.

Este novo projeto de motor partiu da ideia de fazer com que o pistão tenha um eixo central que o fixe limitando seus movimentos de modo que seu movimento continue sendo alternado, mas oscilando como uma gangorra, balanço, daí surgiu o nome do mecanismo: Motor Swing, o termo *Swing* originado do inglês significa balanço, oscilação, movimento de vai-e-vem.

Esse movimento alternado do pistão, similar a uma gangorra, será impulsionado através de duas câmaras de combustão independentes, de modo que enquanto uma extremidade do pistão se encontra no PMS (Ponto morto superior) o outro extremo do pistão se encontra no PMI (Ponto morto inferior). Desse modo o pistão aproveita a energia da combustão das duas câmaras.

O pistão em estudo tem duas bielas para transformar o seu movimento alternado em movimento circular. As bielas se cruzam, sem tocarem uma na outra, e têm virabrequins separados (Um virabrequim para cada biela), mas de modo que foram interligados para juntos realizarem a propulsão do motor.

Um virabrequim gira no sentido horário, denominado de virabrequim principal, e outro virabrequim, chamado de virabrequim secundário, gira no sentido anti-horário. Como o virabrequim secundário é ligado ao virabrequim principal diretamente, por meio de um par de engrenagens, ambos fornecem propulsão no sentido horário fazendo que o

movimento circular resultante no virabrequim principal seja seu próprio movimento mais a soma do movimento do virabrequim secundário.

Seu diferencial em relação aos demais mecanismos se dá por meio do sistema de duplo virabrequim girando em sentido opostos, isso teoricamente reduz a vibração do motor e fornece mais eficientemente torque ao veículo. Outro ponto importante é o sistema dos cilindros, apesar de ser um motor com configuração bicilíndrica, os dois cilindros partilham um único pistão de modo que conseguem aproveitar a energia gerada na combustão de cada cilindro. Ou seja, os cilindros possuem câmaras de combustão individuais, mas como um único pistão se movimenta nos dois cilindros ele aproveita a força gerada na combustão das duas câmaras.

Se o projeto for promissor ele pode ser o próximo passo para a evolução dos motores dos veículos. O mecanismo tem grande aplicabilidade, pode ser utilizado em motores de automóveis, principal aplicação, motocicletas e até mesmo motores de caminhões e máquinas pesadas, utilizando o sistema de ignição espontânea (Motor Diesel) e com dimensões maiores para atender as condições de trabalho dessas máquinas de grande porte.

Nos próximos capítulos deste trabalho será possível um melhor entendimento deste novo sistema, pois será exposto o esboço básico do projeto, definição de parâmetros dimensionais do motor e modelamento do mecanismo no *software* de projetos mecânicos SolidWorks®.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. Principais Componentes de um MCI

Um motor a combustão interna (MCI) é uma máquina térmica que converte a energia química fornecida por um combustível em energia mecânica que realiza trabalho para movimentar um eixo ou sistema de transmissão que por sua vez pode impulsionar um automóvel, motocicleta, barco, avião, gerador de energia ou qualquer máquina do gênero. Segundo Martins (2006), o motor de combustão interna aproveita o aumento de pressão resultante da combustão da mistura ar-combustível para imprimir um movimento de rotação ao veio motor.

Um MCI é composto de diversas partes, mas o princípio do mecanismo tem como componentes essenciais: cilindro, pistão, biela e virabrequim (Cambota).

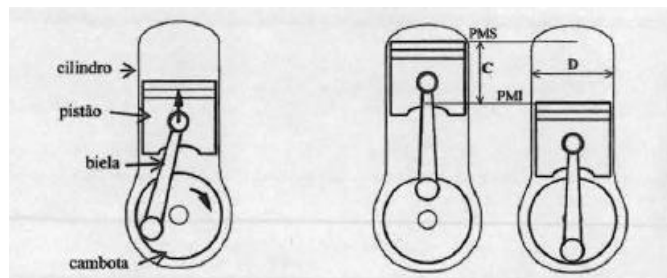


Figura 1: Principais componentes de um MCI e Curso do pistão (Martins, 2006)

O pistão é o órgão do motor que recebe diretamente o impulso da combustão dos gases e o transmite a biela. (Penido Filho, 1983). O cilindro e o pistão de um motor são componentes que têm contato direto um com outro, o cilindro é uma peça fixa onde o pistão se desloca em um movimento alternado que varia entre um ponto máximo e um ponto mínimo. Esses pontos são descritos como Ponto Morto Superior (PMS) e Ponto Morto Inferior (PMI). O PMS é o ponto mais alto que o pistão pode alcançar e o ponto mais baixo é o PMI, essa variação é chamada de curso do pistão. Veja na Fig. (1).

A árvore de manivela também conhecida com os nomes de eixo motor, virabrequim e eixo de manivela, é o órgão que transforma o movimento alternativo do pistão em movimento rotativo (Penido Filho, 1983). O virabrequim é um componente que é conhecido por denominações diferentes, na bibliografia de Martins também é chamado de cambota. A biela por sua vez é o componente responsável por ligar o pistão ao virabrequim.

Além das partes mostradas acima um MCI também possui, entre seus principais componentes, válvulas e árvore de comando de válvulas (Eixo de comando de válvulas) que são partes móveis que ficam localizadas no cabeçote do motor, o cabeçote por sua vez fica acoplado na parte superior do cilindro. Mas como estes componentes não serão estudados neste trabalho não existe a necessidade de expor suas características e funções.

2.2. Funcionamento de um MCI

Os motores de combustão interna operam em ciclos, e existem basicamente duas classificações de motores em relação aos ciclos: os motores dois tempos que completam um ciclo a cada 360° (1 volta) executada pelo virabrequim e os motores quatro tempos que completam um ciclo a cada 720° (2 voltas) executada pelo virabrequim. O mecanismo em estudo será de quatro tempos, pois é o método mais utilizado atualmente devido principalmente a menores índices de emissão de poluentes expelidos na descarga quando comparado com o motor dois tempos.

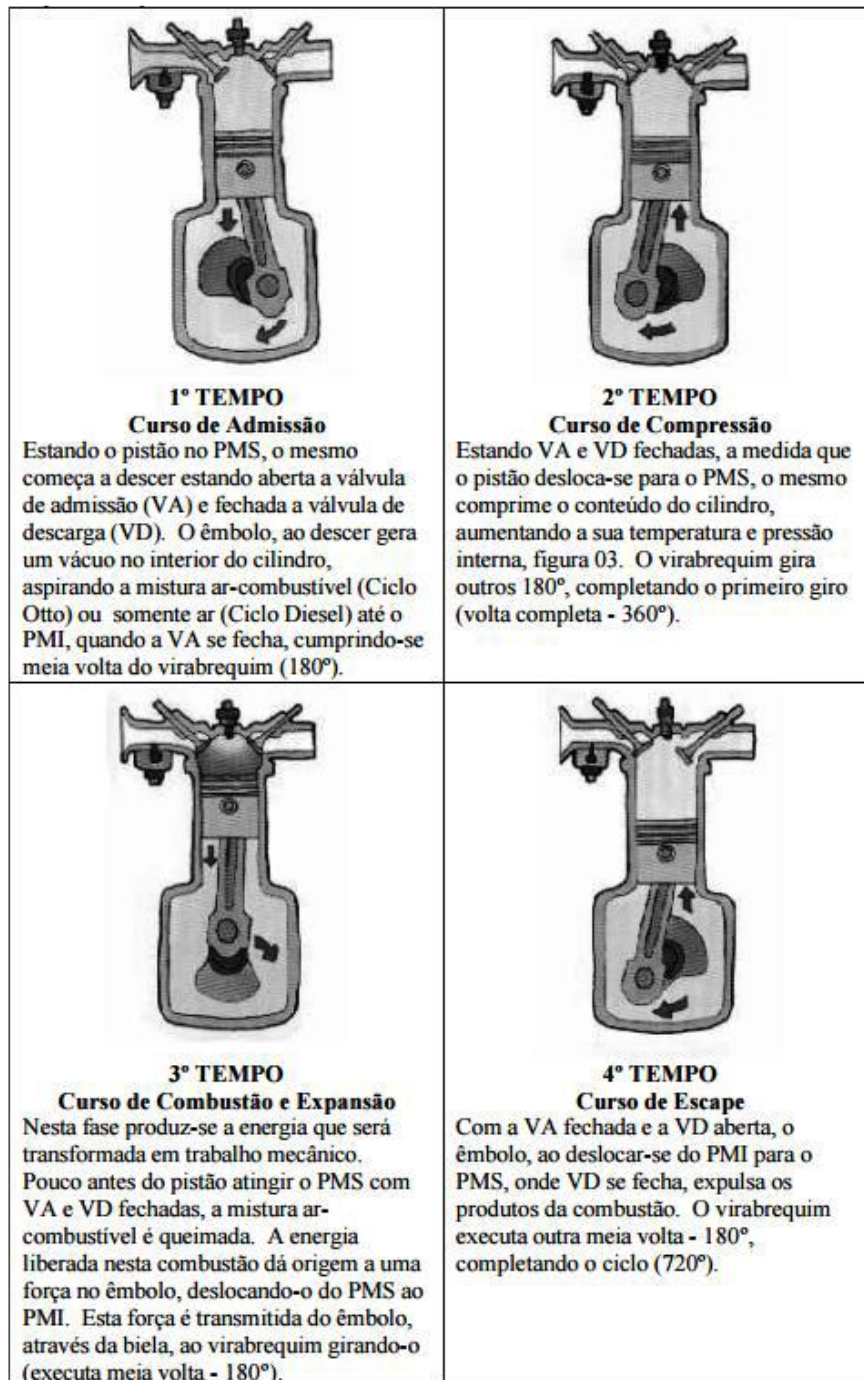


Figura 2: Os quatro tempos de um MCI (UFRJ, 2005)

Na Figura (2) é explicada cada etapa detalhada de um motor 4 tempos, o êmbolo no qual a imagem se refere é o pistão. Analisando o funcionamento deste motor é possível compreender que apenas o 3º tempo, o tempo de combustão, é ativo, ou seja, é o único momento do ciclo em que uma força literalmente empurra o pistão. Os demais ciclos são passivos e acontecem devido à inércia.

3. ESBOÇO INICIAL

Como se trata de um projeto inovador o primeiro passo foi imaginar o mecanismo, após idealizar o mecanismo, criar o primeiro esboço no papel e a partir daí iniciar a construção do primeiro protótipo virtual em três dimensões, com o auxílio do *software* de projetos mecânicos SolidWorks®. Lembrando que esse primeiro protótipo foi apenas para transformar as ideias em algo mais didático, para análise e desenvolvimento do mecanismo, portanto a geometria das peças é pouco sofisticada.

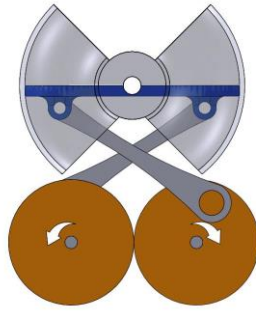


Figura 3: Motor Swing – Esboço Inicial

Na Figura (3) a peça representada pela cor azul representa o pistão, que executa um movimento alternado similar a uma gangorra, com dois cilindros no formato curvo (partes de uma circunferência) que permitem que o mesmo pistão partilhe de duas câmaras de combustão. As bielas se cruzam, mas estão em planos diferentes por isso não se tocam. As engrenagens, representadas pelos círculos de cor marrom, irão interligar os virabrequins e as setas nelas indicam seus sentidos de rotação.

4. DIMENSIONAMENTO DO MECANISMO

4.1. Parâmetros Gerais

Antes de definir os primeiros parâmetros para o projeto foi necessário escolher uma aplicação específica para o projeto do motor. O mecanismo será dimensionado para aplicação automotiva, mais especificamente para equipar os carros populares urbanos, tendo parâmetros de referência pautados nos carros como o modelo HB20, da fabricante Hyundai, e o modelo UP da Volkswagen. Ambos possuem motor de 1000 cilindradas (1.0 Litro), três cilindros e são a aplicação mais direta e recente do *Downsizing* em nosso país.

4.2. Cilindros

Quando o pistão desce desde PMS até PMI ele "varre" um volume correspondente a um cilindro cuja base é a sua seção e a altura é o curso do pistão, chamado volume varrido ou cilindrada. A soma dos volumes varridos de todos os cilindros dá-se o nome de cilindrada do motor. (Martins, 2006).

$$V = \frac{\pi \times d^2}{4} \times C \times n \quad (1)$$

Onde:

V = Cilindrada do motor / Volume varrido total (cm³)

d = Diâmetro do cilindro (cm)

C = Curso do pistão (cm)

n = Número de cilindros do motor

$$\therefore V = \frac{\pi \times 8,6^2}{4} \times 8,6 \times 2 = 999 \text{ cm}^3 \cong 1000 \text{ cm}^3 = 1 \text{ l}$$

O curso do pistão de um cilindro comum é a distância entre o PMS e o PMI, que é um comprimento retilíneo. Mas como o cilindro do Motor Swing é parte de uma circunferência, o método para definir o curso do pistão e seu ponto máximo e mínimo de deslocamento foi o seguinte:

O perímetro dos cilindros é o perímetro de um círculo:

$$P = \pi \times D = \pi \times 16,6 = 52,15 \text{ cm} \quad (2)$$

Onde:

D = Distância entre centro dos cilindros (cm)

Ângulo do curso do pistão no cilindro (α):

$$\alpha = \frac{360 \times C}{P} = \frac{360 \times 8,6}{52,15} = 59,367^\circ \quad (3)$$

Onde:

C = Curso do pistão (cm)
P = Perímetro dos cilindros (cm)

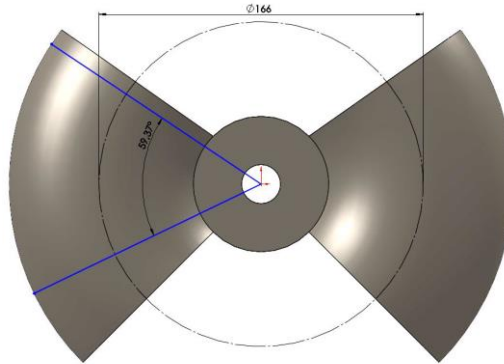


Figura 4: Motor Swing – Cilindros

A Figura (4) mostra a distância entre centro dos cilindros (166 mm) e o ângulo do curso do pistão no cilindro (59,37°), delimitado pelo PMS e PMI.

4.3. Biela

Para encontrar a solicitação a compressão da biela é necessário calcular a pressão de combustão que depende da taxa de compressão do motor, posteriormente calcular a força de combustão que depende da pressão de combustão e da área da superfície do pistão. E finalmente utilizamos a tensão de escoamento do material utilizado, podendo assim estimar uma tensão de compressão e descobrir qual deverá ser a menor área, a área mínima, da seção da perna da biela, para que ela não apresente falhas durante o funcionamento do motor.

A pressão de combustão (P_{comb}) pode ser calculada pela seguinte equação (Penido Filho, 1983):

$$P_{comb} = 7 \times \rho - 3 \quad (4)$$

Onde:

ρ = Taxa de compressão

$$\therefore P_{comb} = 7 \times 12 - 3 = 81 \text{ kgf/cm}^2$$

A força de combustão (F_{comb}) pode ser calculada pela seguinte equação (Penido Filho, 1983):

$$F_{comb} = P_{comb} \times A \quad (5)$$

Onde:

A = Área do pistão (cm^2)

$$\therefore F_{comb} = 81 \times \frac{\pi \times 8,6^2}{4} = 4705,13 \text{ kgf}$$

A tensão de compressão (T_c) pode ser calculada pela seguinte equação (Penido Filho, 1983):

$$T_c = \frac{T_s}{S} \quad (6)$$

Onde:

T_s = Tensão de escoamento, para o aço SAE 1042 $T_s = 52 \text{ Kg/mm}^2$ (Penido Filho, 1983).

S = Coeficiente de segurança ($S > 1,8$)

$$\therefore T_c = \frac{52}{2} = 26 \text{ kgf/mm}^2$$

A área mínima da perna da biela (a_{min}) deve ser (Penido Filho, 1983):

$$a_{min} = \frac{F_{comb}}{T_c} = \frac{4705,13}{26} = 180,97 \text{ mm}^2 \quad (7)$$

Também é possível encontrar a solicitação a tração da biela, que no fim também trará um valor mínimo que a menor seção da perna da biela deve ter para suportar os esforços durante o funcionamento do motor. Sabendo que a força de tração é máxima quando o pistão está no PMS, pode-se utilizar a equação abaixo (Penido Filho, 1983):

$$F_T = \frac{PTA \times W^2 \times R \times (1 + \lambda)}{g} \quad (8)$$

Onde:

PTA = Peso total da parte alternativa da biela (Kg)

$$W = \frac{2\pi \times rpm}{60} = \frac{2\pi \times 9000}{60} = 942,48 \text{ rad/s} \quad (W = \text{Velocidade angular})$$

R = Raio do virabrequim (m)

$$\lambda = \frac{R}{L} = \frac{43 \text{ mm}}{200 \text{ mm}} = 0,215 \quad (L = \text{Comprimento da biela, aproximado})$$

g = Aceleração da gravidade (m/s^2)

$$\therefore F_T = \frac{1 \times 942,48^2 \times (43 \times 10^{-3}) \times (1 + 0,215)}{9,81} = 4730,64 \text{ kgf}$$

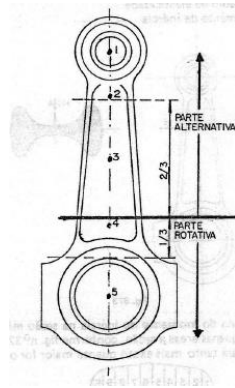


Figura 5: Partes da Biela (Penido Filho, 1983)

Na Figura (5) é apresentada a divisão da biela, entre parte alternativa e parte rotativa. O PTA, que é o peso total da parte alternativa da biela, compreende o peso da parte alternativa da biela mais os demais componentes acima da biela, como pistão, anéis do pistão e pino do pistão. O valor do PTA aplicado na equação a seguir foi estimado, aproximado, já que essa ainda é a fase de criação do projeto. O peso real só será possível conhecer após a escolha final da geometria das peças, seleção dos metais e fabricação dos componentes.

Após ter encontrado a força de tração (F_T), o próximo passo é calcular a tensão de tração (T_T) pela seguinte equação (Penido Filho, 1983):

$$T_T = \frac{T_S}{S} \quad (9)$$

Onde:

T_S = Tensão de escoamento, para o aço SAE 1042 $T_S = 52 \text{ kgf/mm}^2$ (Penido Filho, 1983).

S = Coeficiente de segurança ($S > 1,8$)

$$\therefore T_T = \frac{52}{2} = 26 \text{ kgf/mm}^2$$

A área mínima da perna da biela ($a_{\min}$) deve ser (Penido Filho, 1983):

$$a_{\min} = \frac{F_T}{T_C} = \frac{4730,64}{26} = 181,95 \text{ mm}^2 \quad (10)$$

Portanto, após determinar as forças envolvidas na compressão e tração da biela é possível concluir que são forças bem parecidas em grandezas, módulo, mas se diferem no sentido e instante em que atuam. A força de compressão é máxima no momento da combustão e a força de tração é máxima no momento em que o pistão está no ponto morto superior, já que a biela segura o pistão impedindo que ele continue seu movimento de ascensão.

Com esses cálculos foi possível determinar a área mínima que a seção da biela deve ter, algo maior que 182 mm^2 , para que consiga suportar os esforços de tração e compressão, que se alternam durante o funcionamento do motor.

5. FUNCIONAMENTO DO MOTOR SWING

A modelagem atual do Motor Swing foi idealizada para operar seguindo os quatro tempos do Ciclo Otto.

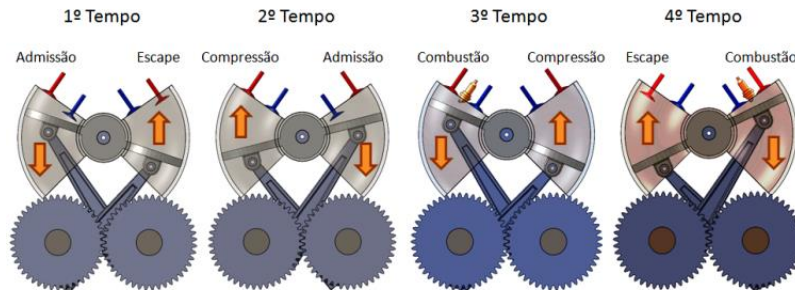


Figura 6: Os 4 Tempos do Motor Swing

Na Figura (6) é possível compreender como se dá a dinâmica deste mecanismo. Em azul temos representado as válvulas de admissão e em vermelho as válvulas de escape.

No primeiro tempo a válvula de admissão do cilindro esquerdo se abre e o pistão desce aspirando a mistura ar-combustível. No cilindro direito a válvula de escape se abre e o pistão sobe expulsando os gases resultantes da combustão.

Já no Segundo tempo, as válvulas do cilindro esquerdo permanecem fechadas e o pistão sobe realizando a compressão da mistura. No cilindro direito a válvula de admissão se abre e o pistão desce aspirando a mistura ar-combustível.

Durante o terceiro tempo, a vela de ignição do cilindro esquerdo libera centelha que inflama a mistura e realiza a combustão, empurrando o pistão para baixo. No cilindro da direita as válvulas permanecem fechadas e o pistão sobe realizando a compressão da mistura.

No quarto tempo a válvula de escape do cilindro esquerdo se abre, para a liberação dos gases resultantes da combustão e o pistão sobe auxiliando nessa expulsão. No cilindro direito a vela de ignição libera centelha que inflama a mistura e realiza a combustão, empurrando o pistão para baixo. E novamente se inicia o primeiro tempo dando continuidade ao ciclo do Motor Swing.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como se trata de uma proposta de projeto de inovação o principal objetivo deste trabalho foi apresentar a ideia, mostrar uma nova abordagem da dinâmica do motor. Os resultados apresentados ainda demandam mais tempo para análises, pois este trabalho é apenas um início de um longo estudo que envolve o projeto de um motor a combustão interna.

A principal dificuldade encontrada foi a escassez de bibliografias com a temática de motores focada na área de projeto. Essa falta de embasamento teórico especializado se deve em grande parte ao mercado automobilístico, mais precisamente as grandes montadoras, que retém grande parte do conhecimento tecnológico de desenvolvimento de novos projetos como forma de sempre tentarem estar à frente de companhias automobilísticas concorrentes.

Para que este projeto não fique limitado a este trabalho será necessário continuar os estudos do mecanismo, mas será preciso apoio intelectual, físico e financeiro. Intelectual com a aquisição de novas fontes de pesquisa que envolva a temática, físico com o apoio de um laboratório com *softwares* de análise de elementos finitos, para refinar a geometria do sistema e chegar ao desenho final das peças e por fim o apoio financeiro para a construção do mecanismo, no mínimo de maneira simplificada, para conhecermos realmente o desempenho e viabilidade do Motor Swing.

7. REFERÊNCIAS

- Martins, J. "Motores de combustão interna" 2. Ed. Porto: Publindústria, 2006.
- Penido Filho, P. "Os motores a combustão interna: para curso de máquinas térmicas, engenheiros, técnicos e mecânicos em geral que se interessam por motores". 1. Ed. Belo Horizonte: Lemi, 1983.
- UFRJ, Universidade Federal do Rio de Janeiro. "Máquinas Térmicas: Apostila de motores de combustão interna". 1. Ed. Rio de Janeiro: UFRJ, 2005.

8. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.