

## AUTO CENTRAGEM DA PLACA DE RETENÇÃO DE UMA MÁQUINA DE PISTÕES AXIAIS TIPO SWASHPLATE

**Glauco José Rodrigues de Azevedo<sup>1</sup>, João Zangrandi Filho<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Universidade Federal de Itajubá/Mecânica, Av. BPS, 1303 – Itajubá-MG,  
azevedoglauco@unifei.edu.br

<sup>2</sup>Universidade Estadual Paulista FEG-UNESP/ Mecânica, Av. Dr. Ariberto Pereira da Cunha, 333 –  
Guaratinguetá-SP, joaozan@feg.unesp.br

**Resumo-** A proposta deste trabalho é comprovar, por intermédio de equações, a auto centragem da placa de retenção de uma máquina de pistões axiais tipo swashplate. O desenvolvimento destas equações é de fundamental importância para determinar o valor adequado do diâmetro do furo da placa, evitando assim um travamento na máquina (provocado pelo sub-dimensionamento do furo da placa de retenção) ou uma perda na eficiência do equipamento (neste caso, provocado pela folga excessiva entre os mancais e os furos da referida placa). Para esse estudo foi analisado várias posições de funcionamento da placa de retenção, e por intermédio das equações desenvolvidas verificou-se que o valor da distância entre o centro furo da placa e o centro da cabeça do pistão se manteve constante. Com isso, concluímos o mancal sempre tangenciará o furo da placa, provocando assim a auto centragem da placa de retenção.

**Palavras-chave:** swashplate, placa de retenção, bomba hidráulica.

**Área do Conhecimento:** Engenharia mecânica

### Introdução

Este tipo de máquina é constituído por um bloco de cilindros rotativos igualmente distribuídos sobre sua circunferência, onde estão localizados os pistões. Estes pistões se movimentam devido ao deslizamento dos mancais sob um plano inclinado. O eixo da máquina está ligado a um tambor através da parte estriada fazendo com que ambos girem com a mesma velocidade angular. A cada meia volta do eixo de rotação, o pistão se deslocará axialmente dentro do tambor, completando, metade do ciclo de seu movimento alternativo.

A Figura 1 mostra o desenho deste tipo de máquina, onde o plano de deslizamento para os mancais dos pistões é inclinado em relação ao eixo de rotação e recebe o nome de placa swashplate. Quando o pistão se encontra deslocado mais internamente dentro do tambor, ele estará no chamado ponto morto interno (*PMI*), e quando ele se encontrar no ponto máximo fora do tambor, diz-se que o pistão está no ponto morto externo (*PME*). Esta duas posições dão origem a um plano chamado plano dos pontos mortos ou plano  $\beta$  (ZANGRANDI, 1993).

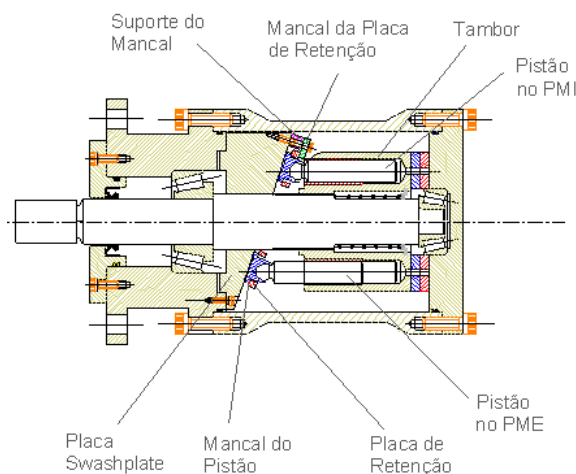


Figura 1 - Desenho de uma máquina Swashplate.

Através de uma investigação experimental foi observado que o mancal tangencia o furo da placa na direção radial externa quando o pistão se encontra em um dos pontos mortos. Se girarmos o eixo da máquina em  $90^\circ$ , a partir do PME ou PMI, a tangência passa a ocorrer na parte interna do furo da placa, conforme mostra as Figuras 2 e 3, provocando com isso a auto centragem desta placa.

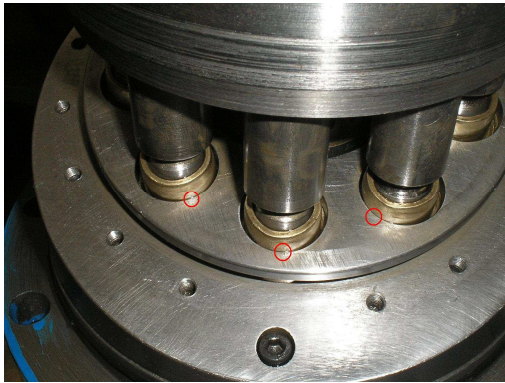


Figura 2 - Foto mostrando os pontos de tangência entre o mancal e o furo da placa de retenção.

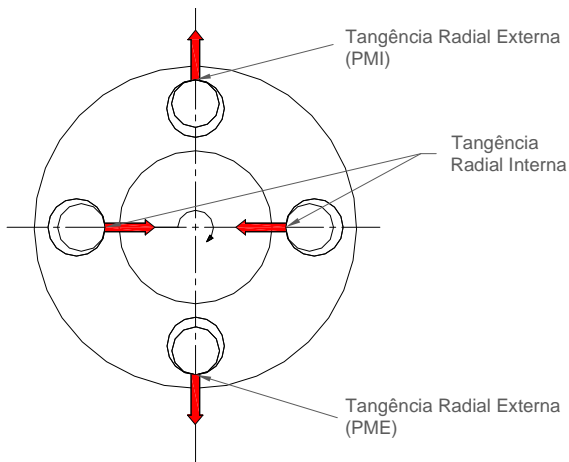


Figura 3 - Desenho mostrando os pontos de tangência entre o mancal e o furo da placa de retenção.

Para entender o que acontece com os mancais do pistão e a placa de retenção pode-se analisar o lugar geométrico dos centros dos mancais para qualquer valor de  $\alpha$ , em relação ao plano da placa de deslizamento.

Quando o ângulo de inclinação da placa swashplate ( $\alpha$ ) é zero, a trajetória descrita pelos mancais sobre a pista de deslizamento é uma circunferência, como mostrado na Figura 4.

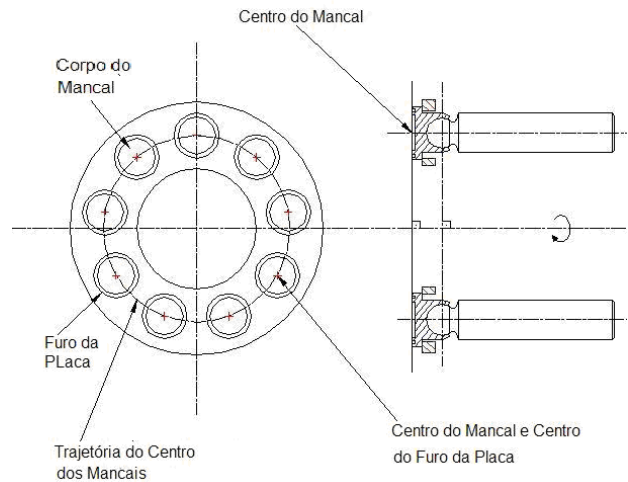


Figura 4 - Posição relativa entre o corpo do mancal e os furos da placa de retenção para  $\alpha = 0$ .

Por outro lado, se a placa swashplate estiver inclinada de um determinado ângulo  $\alpha$ , o lugar geométrico do centro dos mancais, isto é, a trajetória descrita por estes pontos, passa a ser uma elipse. Podemos observar na Figura 4 que o centro do furo da placa e centro do corpo do mancal coincidem, porém quando a placa swashplate se inclina, esses centros passam a se localizar em pontos diferentes, conforme mostrado na Figura 5.

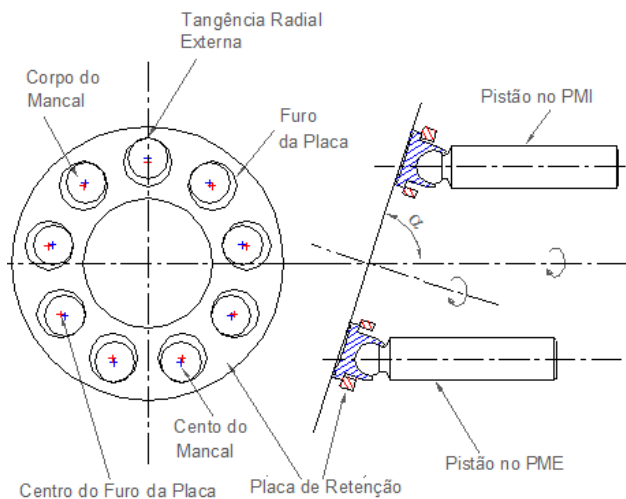


Figura 5 - Posição relativa entre o corpo do mancal e os furos da placa de retenção para  $\alpha \neq 0$ .

**Objetivo**

Comprovar matematicamente a auto centragem da placa de retenção. Esta hipótese está baseada na análise dos valores assumidos pela distância entre o furo da placa e o centro da cabeça dos pistões.

**Metodologia**

Para avaliar a auto centragem da placa de retenção pelos mancais, analisaremos a posição da placa para  $\alpha = 0$  e  $\alpha \neq 0$ . Na posição zero grau, os mancais tangenciam os furos da placa exatamente na direção radial interna do furo, ficando claro que a placa está centrada, pois todos os mancais tangenciam os furos da placa de retenção internamente. Por outro lado, se a placa swashplate é inclinada de um ângulo  $\alpha \neq 0$ , os mancais tangenciam internamente os furos da placa de retenção na direção radial, sempre que os mancais passarem pela posição intermediária entre os pontos mortos, e tangenciam o furo da placa de retenção na direção radial externa sempre que os mancais passarem pelos pontos mortos (PMI ou PME). Os mancais que estiverem nas posições intermediárias também estarão entre posição de tangência interna e externa dos furos da placa de retenção, como mostra a Figura 5. Com isso, podemos verificar que a trajetória descrita pelos centros dos mancais quando  $\alpha=0$  é uma circunferência e quando a placa de retenção está inclinada de um determinado ângulo  $\alpha$ , a trajetória descrita passa a ser uma elipse, conforme indica a Figura 6.

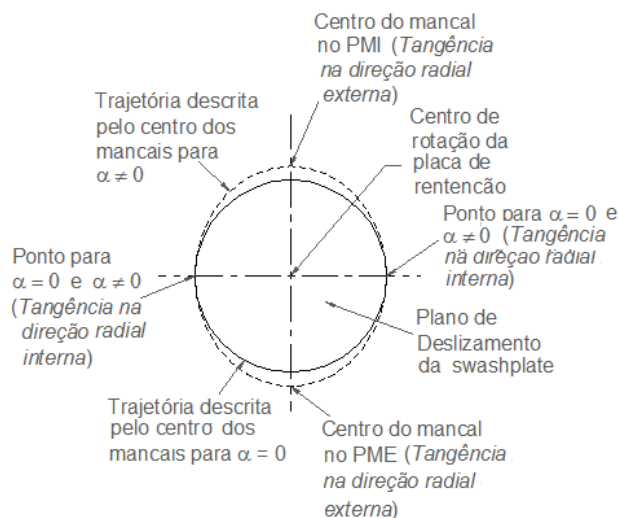


Figura 6 - Trajetória descrita pelo centro dos mancais no plano de deslizamento da swashplate

Observando uma marca de referência colocada no furo da placa, verifica-se que o corpo do

cilindro tangencia o furo em uma volta completa quando o eixo da máquina girar meia volta.

Para definir o valor do diâmetro dos furos da placa de retenção deve ser feita uma análise do movimento descrito pelo centro do mancal. A posição dos centros dos mancais no plano de deslizamento, é o problema principal.

**Resultados e Discussão**

Para determinar o lugar geométrico do centro do mancal devemos primeiramente determinar a distância do centro da cabeça esférica, em uma posição definida, até o centro de giro da swashplate ( $h_e$ ), como mostrado nas Figura 7 e 8.

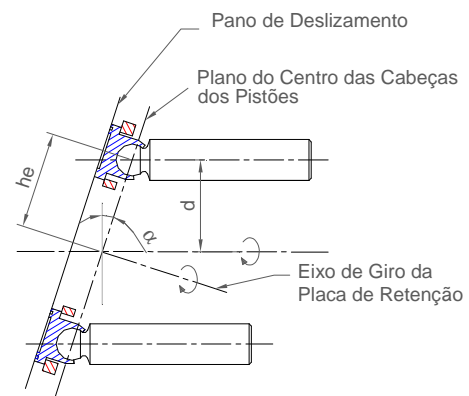


Figura 7 – Vista lateral da posição do centro da cabeça do pistão

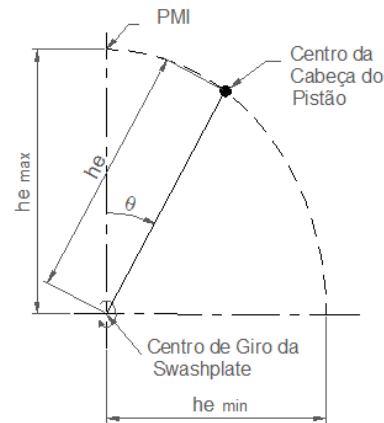


Figura 8 – Vista frontal da posição do centro da cabeça do pistão

O valor de  $h_e$  é dado pela seguinte expressão:

$$h_e = \sqrt{d^2 + (d \cos \theta \operatorname{tg} \alpha)^2}$$

Como mostrado na Figura 8,  $h_e$  têm valores máximo e mínimo. O máximo valor de  $h_e$ , é dado

quando o pistão está no ponto morto interno ( $\theta = 0^\circ$ ) ou no ponto morto externo ( $\theta = 180^\circ$ ), e é dado por:

$$h_{e \max} = \sqrt{d^2 + (d \operatorname{tg} \alpha)^2}$$

O valor mínimo de  $h_e$  é assumido quando o pistão está a  $90^\circ$  ou  $270^\circ$  após o ponto morto interno (PMI).

$$h_{e \min} = d$$

O número de pistões que determina a quantidade de furos contido na placa. Dentro desses furos ficam alojados os mancais dos pistões. Dessa forma a placa de retenção gira junto com os mancais em volta do eixo de rotação da placa, conforme mostra a Figura 9. Para determinar do diâmetro dos furos da placa e da circunferência do centro dos furos é preciso, primeiramente, conhecer o diâmetro do corpo do mancal e a folga entre o furo da placa e o corpo do mancal do pistão.

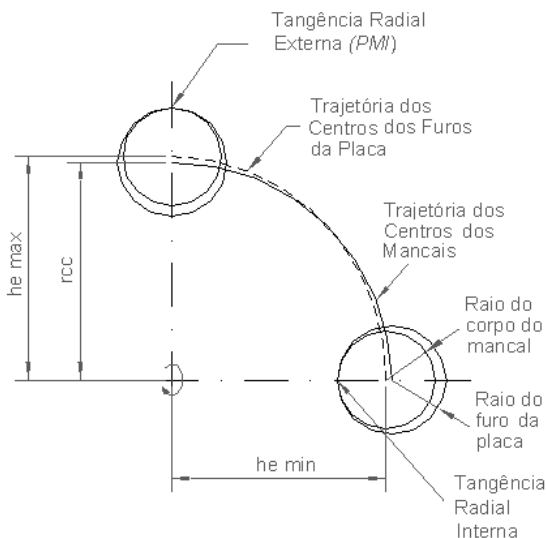


Figura 9 - Tangência interna e externa do corpo do mancal

Adotando o valor o valor do raio da circunferência dos furos da placa de retenção ( $r_{cc}$ ) como a média entre os valores de  $h_{e \min}$  e  $h_{e \max}$ , temos:

$$r_{cc} = \frac{h_{e \min} + h_{e \max}}{2}$$

Para provar que o corpo do pistão tangencia o furo da placa, contornando internamente é preciso comparar o deslocamento, ou do eixo do pistão ou do eixo de rotação ( $\theta$ ), com o correspondente deslocamento do centro do mancal no plano de deslizamento ( $\theta_e$ ), conforme mostra a Figura 10.

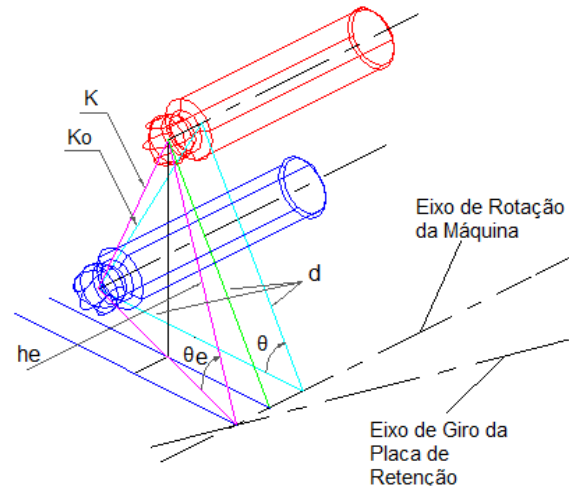


Figura 10 - Definição de  $\theta$  e  $\theta_e$

Da Figura 10 obtém-se:

$$k_o = 2 \left( d \operatorname{sen} \frac{\theta}{2} \right)$$

e

$$\theta_e = \operatorname{arc} \cos \left( \frac{k^2 - (h_{e \max})^2 - (he)^2}{-2(h_{e \max})(he)} \right)$$

Segundo Zangrandi (1993), a distância entre os centros das cabeças esféricas ( $k$ ) de dois pistões separados pelos ângulos  $\theta_{ei}$  e  $\theta_{ef}$  é dado por:

$$k = \sqrt{(k_o)^2 + ((d \cos \theta_{ef} \operatorname{tg} \alpha) - (d \cos \theta_{ei} \operatorname{tg} \alpha))^2}$$

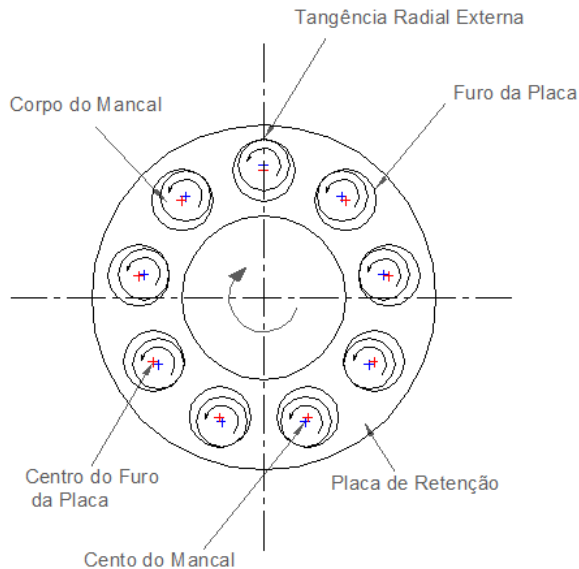
O corpo do mancal tem um movimento relativo ao furo, completando uma volta dentro deste furo para meia volta de giro do eixo da placa. Desta forma, o corpo do mancal tangencia o furo internamente quando  $\theta = 0^\circ$ , ou seja, no PMI.

Com o movimento do rotor no sentido horário o ponto de tangência se desloca no sentido anti-

horário. Para  $\theta = 90^\circ$  o ponto de tangência está na direção radial interna e para  $\theta = 180^\circ$  o ponto de tangência retorna à direção radial externa (Figura 11).

O valor da distância entre o centro do furo da placa e o centro da cabeça do pistão ( $t$ ) é dado por:

$$t = \sqrt{(he)^2 + (rcc)^2 - 2 (he) (rcc) \cos (\theta - \theta_e)}$$



A auto centragem da placa de retenção pode ser comprovada pela simples análise dos valores assumidos por  $t$ , para cada valor de  $\theta$ . Vamos aplicar a teoria desenvolvida em um exemplo prático e verificar o resultado. A máquina a ser analisada apresenta as seguintes características:

- Raio de giro do Pistão ( $d$ ) = 60 mm
- Ângulo de giro da Swashplate ( $\alpha$ ) =  $18^\circ$
- Número de Pistões ( $Z$ ) = 9

Utilizando as expressões desenvolvidas neste estudo, determinamos os seguintes parâmetros representados na Tabela 1. Considerando o deslocamento angular do eixo de rotação variando de  $0^\circ$  a  $90^\circ$ , temos:

Figura 11 - Posição Relativa entre Corpo do Mancal e os Furos da Placa de Retenção

O centro do furo da placa caminha sobre uma circunferência cujo raio é  $rcc$  e o centro do mancal caminha sobre uma curva correspondente ao lugar geométrico do centro do mancal (Figura 12). Quando  $\theta_e = 90^\circ$ , o centro do mancal está a uma distância  $d$  do centro da figura.

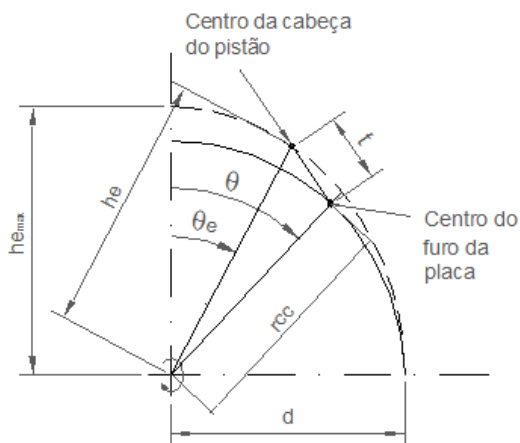


Figura 12 - Distância entre o centro do furo da placa e o centro da cabeça do pistão

Tabela 1 – Resultado dos parâmetros calculados da máquina analisada.

$\theta$	$\alpha$	d	he	he <sub>max</sub>	rcc	k <sub>o</sub>	k	$\theta_e$	t
0°	18°	60	63,088	63,088	61,544	0,000	0,000	0,000	1,544
10°	18°	60	62,997	63,088	61,544	10,459	10,463	9,520°	1,544
20°	18°	60	62,734	63,088	61,544	20,838	20,871	19,094°	1,544
30°	18°	60	62,330	63,088	61,544	31,058	31,168	28,771°	1,544
40°	18°	60	61,831	63,088	61,544	41,042	41,295	38,591°	1,544
50°	18°	60	61,295	63,088	61,544	50,714	51,190	48,579°	1,544
60°	18°	60	60,787	63,088	61,544	60,000	60,787	58,740°	1,544
70°	18°	60	60,369	63,088	61,544	68,829	70,014	69,058°	1,544
80°	18°	60	60,095	63,088	61,544	77,135	78,799	79,497°	1,544
90°	18°	60	60	63,088	61,544	84,853	87,064	90,000°	1,544

Podemos verificar facilmente, através do exemplo, a constância dos valores assumidos por  $t$ , para qualquer posição do pistão, o que implica que o corpo do mancal sempre tangencia o furo da placa de retenção. Como isso conclui-se que ao usarmos o valor do raio da circunferência dos furos da placa de retenção ( $r_{cc}$ ) como a média entre os valores de  $he_{min}$  e  $he_{max}$ , o mancal sempre tangenciará o furo da placa. Rotacionando o eixo da máquina em 180° o novo ponto de tangência estará localizada no lado oposto do furo da placa, conforme mostrado na Figura 3, provocando assim a auto centragem da placa de retenção.

### Conclusão

Um modelo matemático foi elaborado para verificar auto centragem da placa de retenção de uma Máquina de Pistões Axiais Tipo Swashplate.

O valor da distância entre o centro do furo da placa e o centro da cabeça do pistão ( $t$ ) é de fundamental importância para determinarmos o valor correto do furo da placa de retenção, ou seja, quando desejamos que a folga entre o mancal do pistão e o furo da placa de retenção seja nula, isto é, que o furo e o mancal se tangenciem, o valor do raio do furo da placa deve ser o valor do raio do corpo do mancal adicionado do valor de  $t$ .

### Referências

- ZANGRANDI, J.F. Um Método para Projeto de Máquina de Pistões Axiais tipo Swashplate. 1993. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia Mecânica de Guaratinguetá - UNESP