



DESCRIÇÃO, MONTAGEM E FUNCIONAMENTO DE UM PROTÓTIPO DE AMORTECEDOR ATIVO PIEZOELÉTRICO

Rafael Luís Teixeira

Universidade Federal de Uberlândia – Faculdade de Engenharia Mecânica - Campus Santa Mônica, Uberlândia-MG.
rafael@mecanica.ufu.br

Francisco Paulo Lépure Neto

flepore@mecanica.ufu.br

José Francisco Ribeiro

jribeiro@mecanica.ufu.br

Resumo: A intenção desse trabalho é deixar registrada a descrição de montagem e funcionamento do protótipo de um amortecedor ativo desenvolvido no laboratório de sistemas mecânicos da FEMEC. O subsistema hidráulico e de controle são apresentados assim como um detalhamento do funcionamento do amortecedor possibilitando e facilitando o entendimento de uma futura pesquisa que puder ser realizada com dispositivo projetado.

Palavras-chave: amortecedor ativo, atuador piezoelétrico e controle de vibrações.

1. OS SUBSISTEMAS DO AMORTECEDOR CONSTRUÍDO

O amortecedor possui basicamente três subsistemas que serão descritos separadamente e que foram assim divididos:

- Subsistema hidráulico: é o subsistema do amortecedor que gera a força amortecedora. Ele é composto de dois foles metálicos flexíveis, de uma válvula restringente, de molas de ajuste, rolamentos, eixos, parafusos, etc.
- Subsistema de controle: é o subsistema que torna o amortecedor semi-ativo. Ele é constituído de um atuador linear piezoelétrico que ajusta o posicionamento de uma válvula. A cada posição que essa válvula assume, um determinado tamanho de orifício é gerado, facilitando ou não a passagem de fluido. Por essa razão esse amortecedor semi-ativo pode também ser chamado de amortecedor de orifício variável.
- Subsistema de alimentação: é o subsistema responsável pelo preenchimento do amortecedor com fluido, no caso, óleo lubrificante. É composto por válvulas de esfera, tubos flexíveis, um reservatório de alimentação e um outro desaerador, uma bomba de vácuo e um sensor de pressão estática.

Para entendimento de cada um desses subsistemas, considere a numeração do desenho de conjunto em corte apresentado na Figura 1.1 onde a maioria das peças é mostrada.

1.1 O subsistema hidráulico

O subsistema hidráulico possui um elemento mecânico que é o fole metálico flexível que foi adotado no intuito de substituir a concepção dos amortecedores comuns a pistão. A Figura 1.2 mostra uma foto do fole metálico flexível e o seu desenho cotado para se ter uma noção dimensional dos flanges, um cego e outro com furo passante, que fazem a união dos foles com as demais peças do amortecedor projetado.

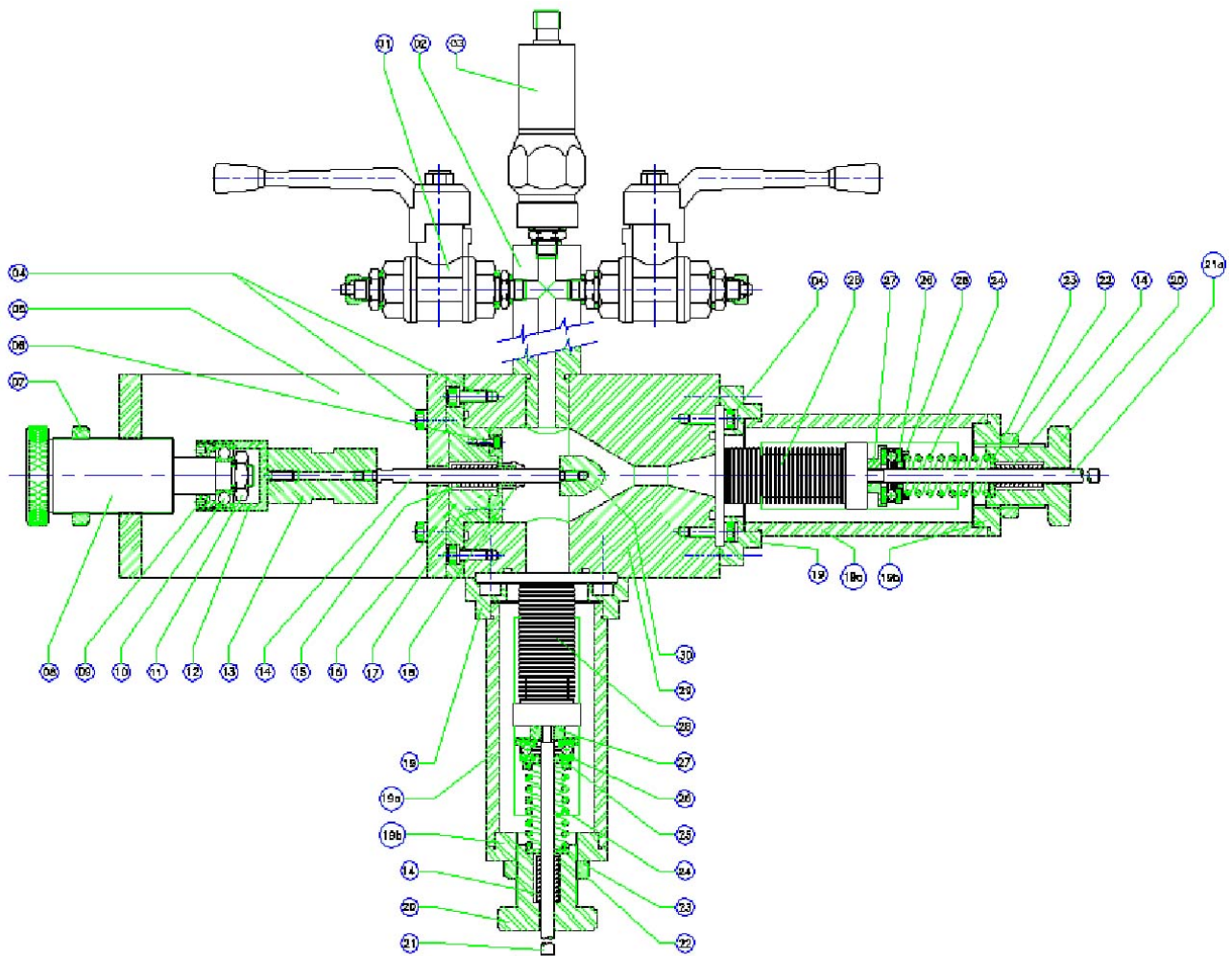


Figura 1.1: Desenho de conjunto em corte do amortecedor ativo.

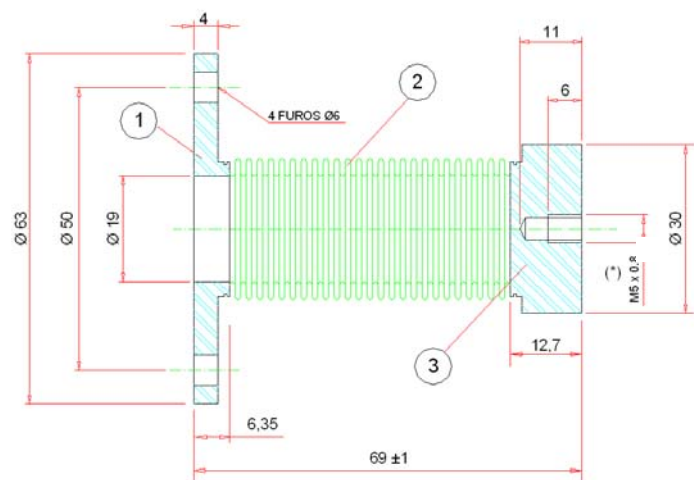


Figura 1.2: O fole metálico flexível utilizado.

Para escolha do fole foi seguido um memorial de cálculo, equações 1.1 a 1.4, proposto pelo fabricante onde são necessários alguns dados que estão apresentados na Tabela 1.1. Foram adotados esses dados de projeto tal que possibilitasse ensaios com a instrumentação disponível no laboratório.

Tabela 1.1: Valores adotados para as variáveis de projeto do fole metálico flexível.

Diâmetro Externo [mm]	<i>DE</i>	25.4
Diâmetro Interno [mm]	<i>DI</i>	18.8
Espessura da parede [mm]	<i>EP</i>	0.127
Número de convoluções	<i>NC</i>	25

$$P_{PASCAL} = 8,618.10^9 \left[\frac{EP^2}{(DE - DI - EP)^2} \right] = 3,3 MPa \quad (1.1)$$

$$\delta_{compressão} = 0.0254.NC. \left[\frac{(DE - DI - EP)^2}{EP} \right] = 8,26 \text{ mm} \quad (1.2)$$

$$\delta_{tração} = 0,75.\delta_{compressão} = 6,19 \text{ mm} \quad (1.3)$$

$$S_{efetiva} = 126,613.(DE - DI)^2 = 383,3 \text{ mm}^2 \quad (1.4)$$

A força máxima amortecedora capaz de ser suportada pelo amortecedor é a máxima pressão (Equação 1.1) que o fole suporta multiplicada pela sua área efetiva (Equação 1.4), que resulta em 1270,2 N. Os deslocamentos máximos que o protótipo poderá atingir são distintos quanto à compressão e à tração, conforme mostra as Equações 1.2 e 1.3, respectivamente.

Voltando à Figura 1.1, com ênfase nos foles, percebe-se que eles possuem peças idênticas que os fixam na estrutura do amortecedor, fato esse intencional. É por essa razão que a numeração das peças da Figura 1.1 são iguais.

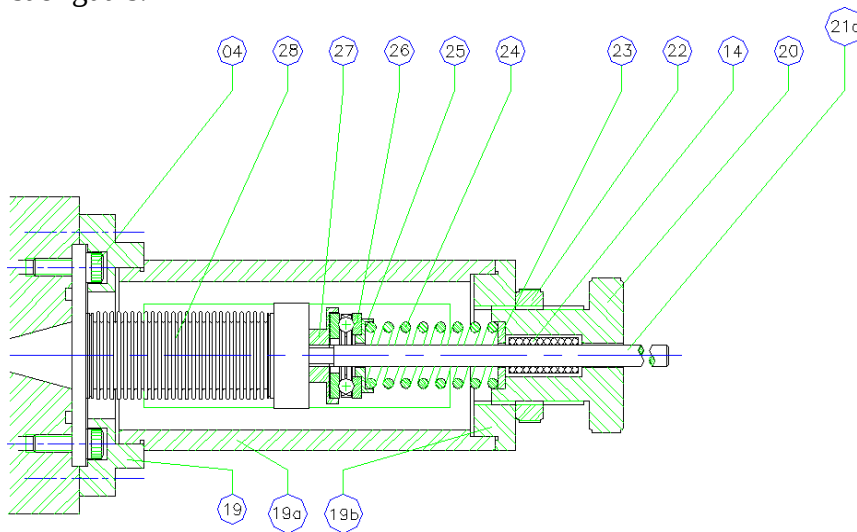


Figura 1.3: Peças de fixação do fole à estrutura do amortecedor.

Na Figura 1.3 é mostrada essa parte do amortecedor que foi ampliada para melhor entendimento. As peças de número 19, 19a e 19b resultam em uma peça só, após processos de soldagem e usinagem, esta mostrada à direita superior da Figura 1.4. Nessa mesma figura é apresentada uma montagem no canto esquerdo superior esquerdo e também as demais peças constituintes.

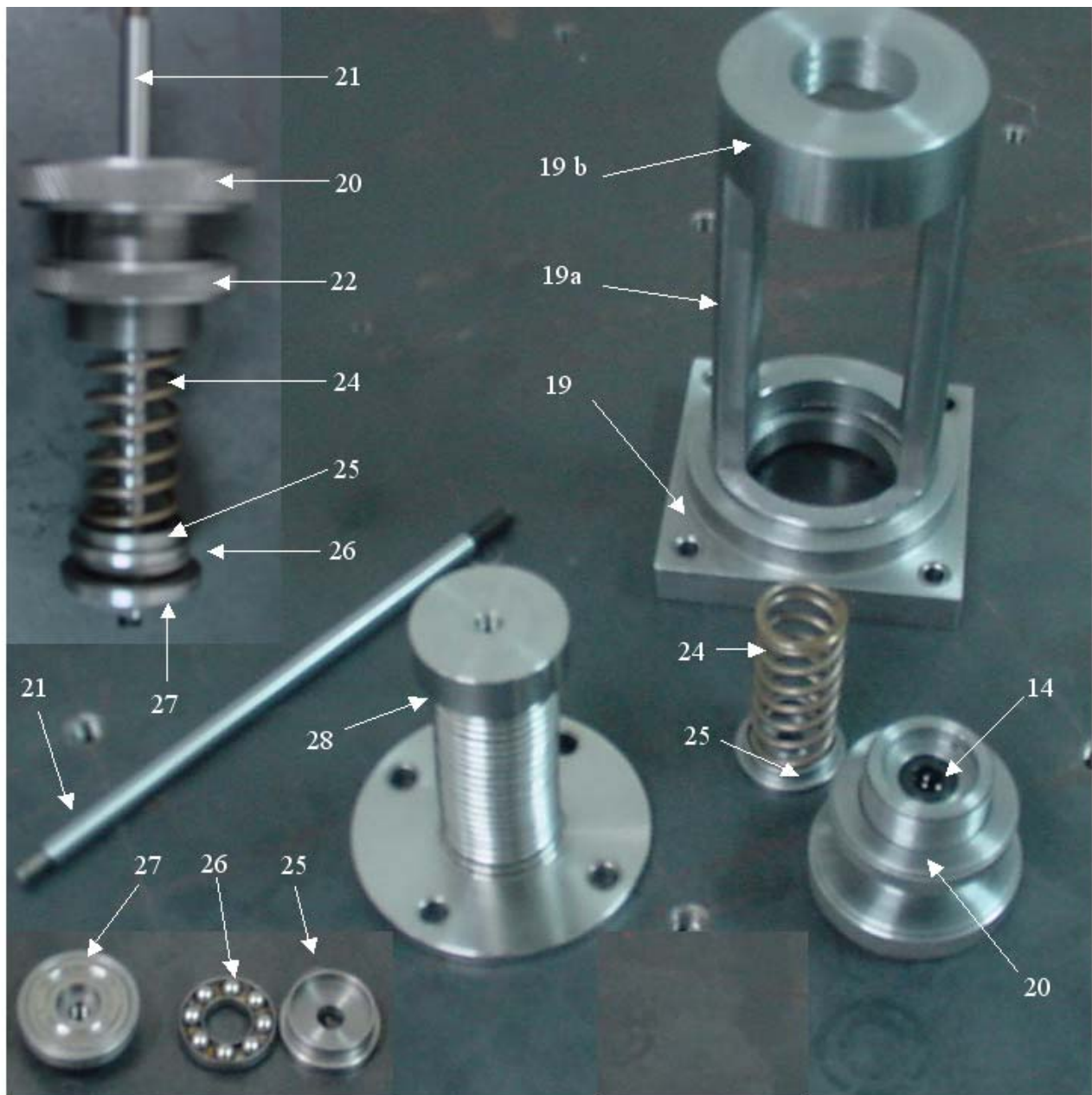


Figura 1.4: Foto de algumas peças de montagem dos foles.

Na Figura 1.5 são mostradas as pré-montagens do conjunto mostrado na Figura 1.4. Inicialmente rosqueia o assento (peça 27) do rolamento radial de esferas (peça 26) no eixo (peça 21). Esse conjunto eixo-assento (peças 27 e 21) é roscado no fole metálico flexível (peça 28). Então, coloca-se o rolamento axial no seu assento e depois a peça 25 que interliga o rolamento à mola helicoidal (peça 24). Nesse conjunto mostrado na Figura 4.4 à esquerda, é colocada a peça 19ab. O eixo é encaixado no rolamento axial montado com pequena interferência no parafuso de ajuste de pressão (peça 20) que é parafusado na peça 19ab com sua contra-porca (peça 22).



Figura 1.5: Montagens preliminares dos suportes dos foles.

A Figura 1.6 apresenta uma ampliação da região interna compreendida pela válvula. No projeto dessa região teve que se tomar muito cuidado no que se refere à vedação do sistema. Para união dos flanges dos foles com a sede da válvula (peça 29) utilizou-se anel elástico de vedação (o'ring). Já para haste da válvula (peça 14) foi utilizado um retentor labial (peça 18) uma vez que a haste se movimenta axialmente para posicionar o obturador da válvula (peça 30). O suporte (peça 17) do retentor labial também tem a função de batente do rolamento axial linear (peça 15). Esse rolamento garante o movimento axial da haste da válvula e seu suporte (peça 16) funciona como uma tampa traseira e é montado na peça 29 através de parafusos allen, utilizando-se, também, na interface um anel elástico de vedação.

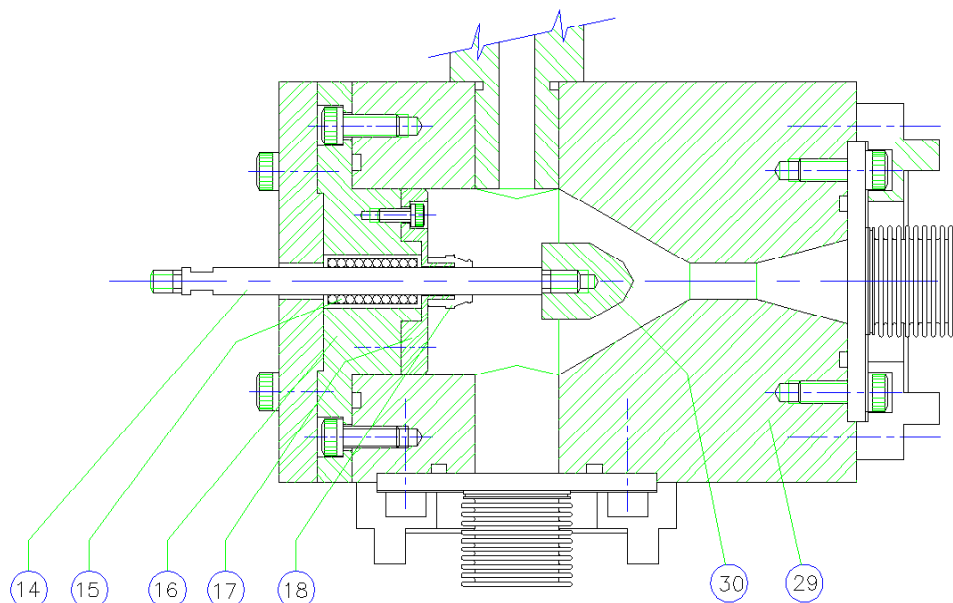


Figura 1.6: Detalhamento do corpo da válvula e sua sede.

A Figura 1.7 mostra à esquerda a cavidade cônica da sede da válvula (peça 29). Essa peça foi a única fabricada utilizando um centro de usinagem por controle numérico. A indicação na figura mostra o o'ring alocado em sua ranhura. À direita dessa figura é mostrado o obturador da válvula (peça 30) fixo à sua haste (peça 14).

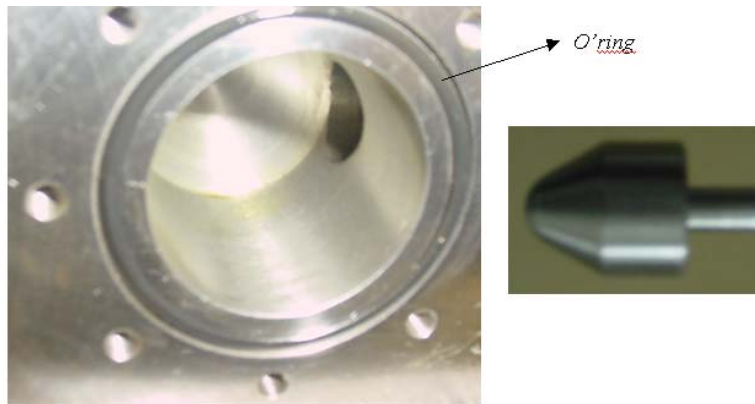


Figura 1.7: Sede cônica da válvula (à esquerda) e o obturador/haste da válvula (à direita).

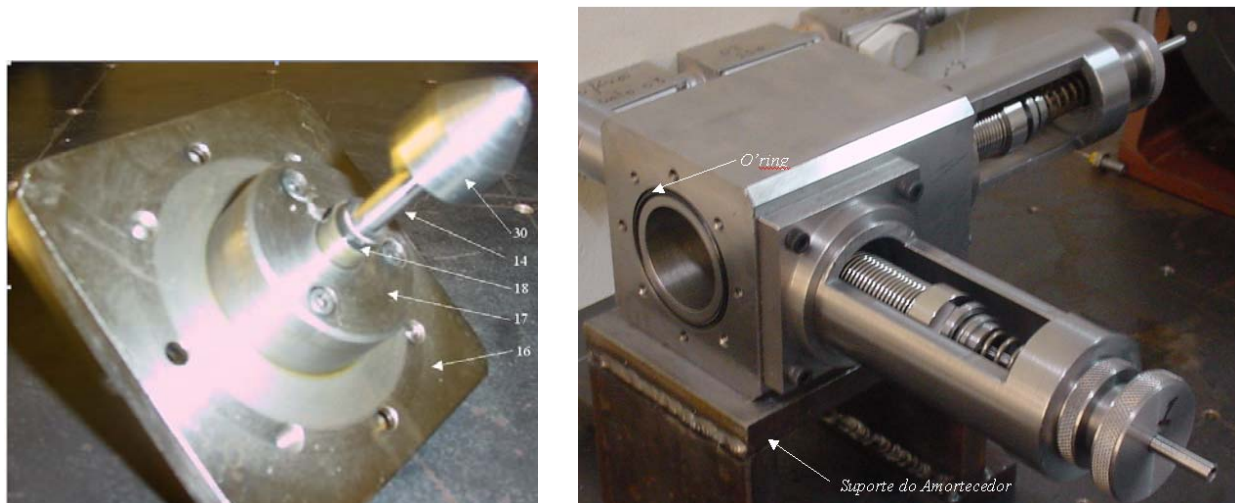


Figura 1.8: Detalhe do retentor labial montado com a haste da válvula transpassando-o (à esquerda) e montagem intermediária dos foles na estrutura do amortecedor (à direita)

A Figura 1.8, à direita, apresenta o retentor labial (peça 18) montado no seu suporte (peça 17) com a haste e obturador da válvula transpassando-o. Nessa mesma Figura 1.8 são mostrados os foles montados nas suas estruturas que por sua vez estão fixadas na sede da válvula, restando apenas a montagem do conjunto apresentado na Figura 1.8 à esquerda. O amortecedor é montado em um suporte para que seu ponto de operação coincida com a altura do excitador mecânico (shaker).

1.2 O subsistema de controle

O subsistema de controle, cuja estrutura mecânica está apresentado na Figura 1.9 possibilita duas configurações, quais sejam:

- **Passiva:** é a configuração na qual o obturador da válvula é posicionado de forma manual. Esse posicionamento é feito por intermédio de um parafuso cujo passo é de 0.75 mm por volta (peça 08). A peça 13 é apenas para preencher o espaço a ser ocupado pelo atuador piezoelétrico. Percebe-se na Figura 1.9 que o parafuso posicionador (peça 08) possui uma ponta de eixo que esta montada sob pressão na pista interna do rolamento radial de esferas (peça 10). À pista externa desse rolamento é montado, também sob ajuste forçado, na peça 12. O objetivo desse subconjunto é transformar o movimento rotativo do parafuso em movimento de translação do obturador da válvula.
- **Ativa:** é configuração na qual a peça 13 é substituída pelo atuador piezoelétrico, conforme mostrado na Figura 1.9. O atuador piezoelétrico, modelo APA 500L (www.cedrat.com) e seu amplificador estão apresentados na Figura 1.10

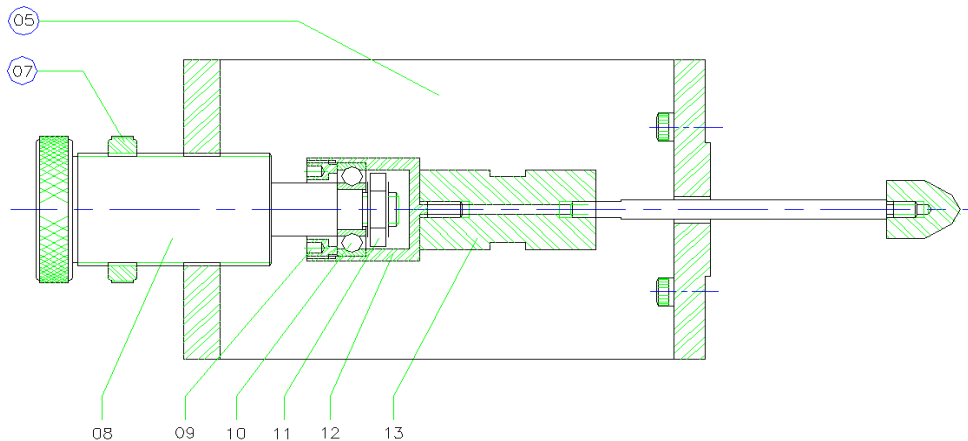


Figura 1.9: Estrutura mecânica do subsistema de controle do obturador da válvula.

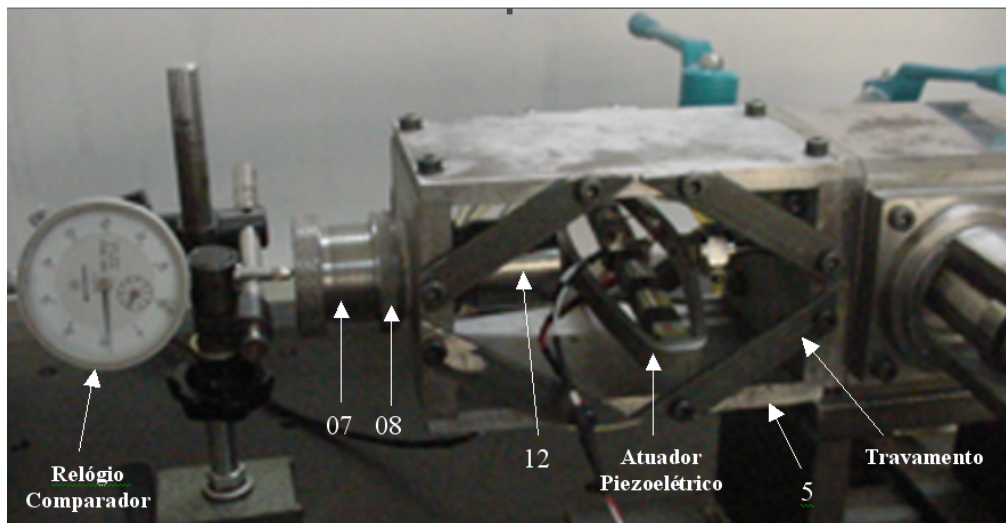


Figura 1.10: Suporte de fixação do atuador piezoelétrico.

Observa-se na Figura 1.10, onde é apresentada a montagem do amortecedor na sua versão semi-ativa na qual o atuador piezoelétrico substitui a peça 13, indicada na Figura 1.9. Para que se tenha o conhecimento da posição do obturador da válvula utilizou-se um relógio comparador montado em uma base magnética.

Nesse trabalho não será descrita a operação do sistema de controle que faz uso do amplificador e atuador piezoelétrico, mostrados na Figura 1.11. Esse sistema em malha fecha apresenta ainda uma parte de sensoriamento e um computador com placas de aquisições. Salienta-se que é necessário o curso das disciplinas de instrumentação, eletrônica e controle digital para entendimento desse sub-sistema. O amplificador foi projetado na Faculdade de Engenharia Elétrica da UFU.

O travamento indicado na Figura 1.10 foi necessário uma vez que foi verificado experimentalmente em ensaios preliminares que o pórtico (peça 05), possuía uma frequência natural na ordem de 90 Hz, isto é, quando o amortecedor era submetido a excitações perto dessa frequência o pórtico auto-excitava e conseqüentemente o obturador da válvula. Assim, foi feito um modelo representativo desse pórtico em elementos finitos (ANSYS 8.0) e verificou-se que quando instalados as travas, o pórtico passava a ter uma frequência natural acima de 150 Hz. Daí instalou-se os travamentos da peça 5.

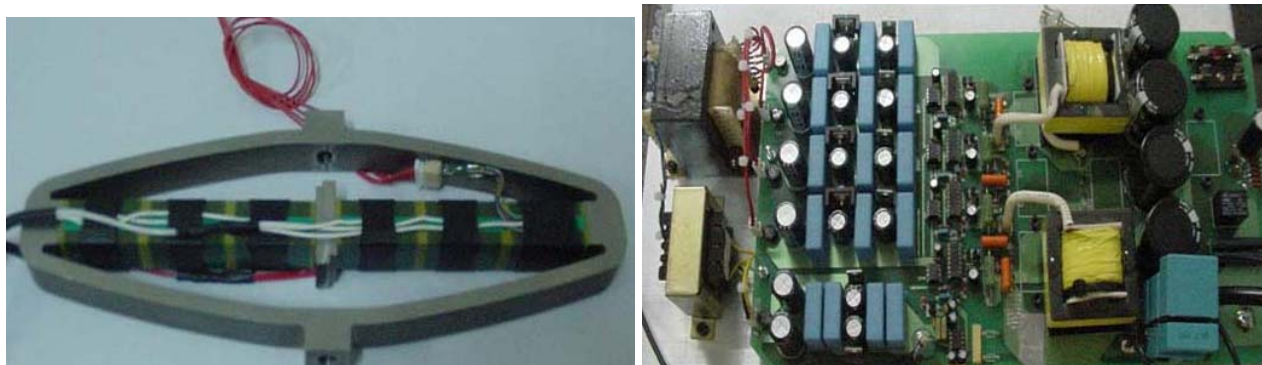


Figura 1.11: Atuador piezoelétrico APA 500L (à esquerda) e seu amplificador de alimentação.

1.3 O subsistema de alimentação

A presença de bolhas de ar no sistema interno hidráulico afeta efetivamente o rendimento do sistema, pois o ar é compressível enquanto espera-se que o sistema esteja completamente preenchido com óleo hidráulico tornando o sistema incompressível. Kitching et al. (1998) relatam que, tipicamente, o óleo hidráulico contém de 8 a 9 % de ar dissolvido e que a utilização de óleo de baixa viscosidade elimina o excesso de ar suspenso.

Assim foi desenvolvido o subsistema para preenchimento de óleo hidráulico no interior do amortecedor. O diagrama esquemático do sistema está apresentado na Figura 1.12, à esquerda, e o seu funcionamento é descrito nas seguintes etapas:

Etapa 1: Inicialmente o reservatório desaerador, que é vedado, está vazio, a válvula A está fechada e a válvula B aberta;

Etapa 2: Aciona-se a bomba de vácuo e gera-se, desta forma, uma pressão baixa. Após alguns segundos fecha-se a válvula B e abre-se a válvula A. Logo, o óleo contido no reservatório de alimentação irá escoar direto para o interior do amortecedor;

Etapa 3: Percebendo que estabilizou o nível do reservatório de alimentação, ou seja, não há mais alimentação de óleo no interior do amortecedor, então fecha-se a válvula A, abre-se a válvula B e aciona-se novamente a bomba de vácuo e, nesse momento, um pouco de óleo fluirá para o reservatório desaerador.

Etapa 4: Novamente, fecha-se a válvula B, abre-se a válvula A e o óleo do reservatório de alimentação irá escoar direto para o interior do amortecedor;

Etapa 5: Repita as etapas 3 e 4 até que se perceba que nos tubos flexíveis transparentes não há mais a presença de bolha. Deve-se tomar cuidado quanto ao nível do reservatório desaerador. Caso ele encha, não se atingindo o preenchimento total de óleo no amortecedor, é necessário esvazia-lo para evitar que o fluido atinja a bomba de vácuo, evitando qualquer dano à bomba.

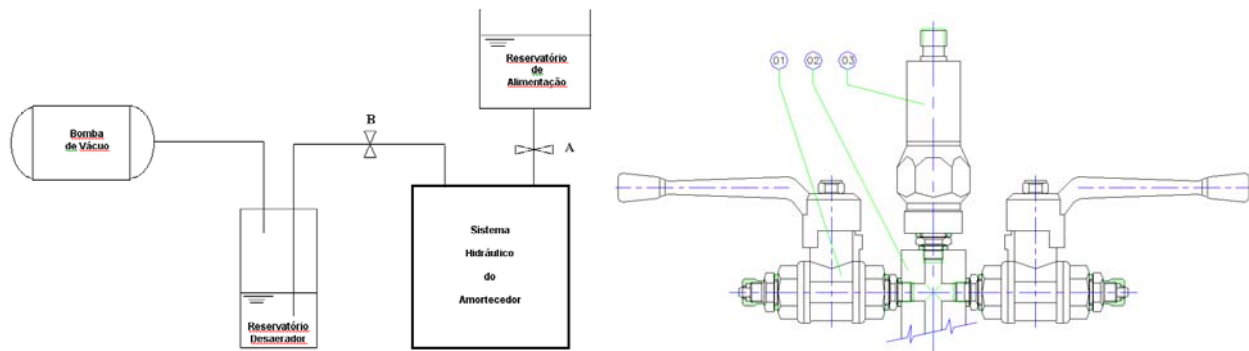


Figura 1.12: Desenho esquemático do subsistema de alimentação do amortecedor (à esquerda) e desenho das válvulas e do sensor de pressão estática (à direita).

Conforme Figura 1.12 à direita, o amortecedor possui as válvulas FESTO A e B (peça 01) e o sensor de pressão estática (peça 03) são unidos à peça 02 por niples de união da FESTO. Optou-se por válvulas da FESTO devido ao fato delas trabalharem com ar, e desta forma, como não vazava ar por consequência não vazará o óleo. Na Figura 1.13 é apresentado o sistema de alimentação do amortecedor com óleo.

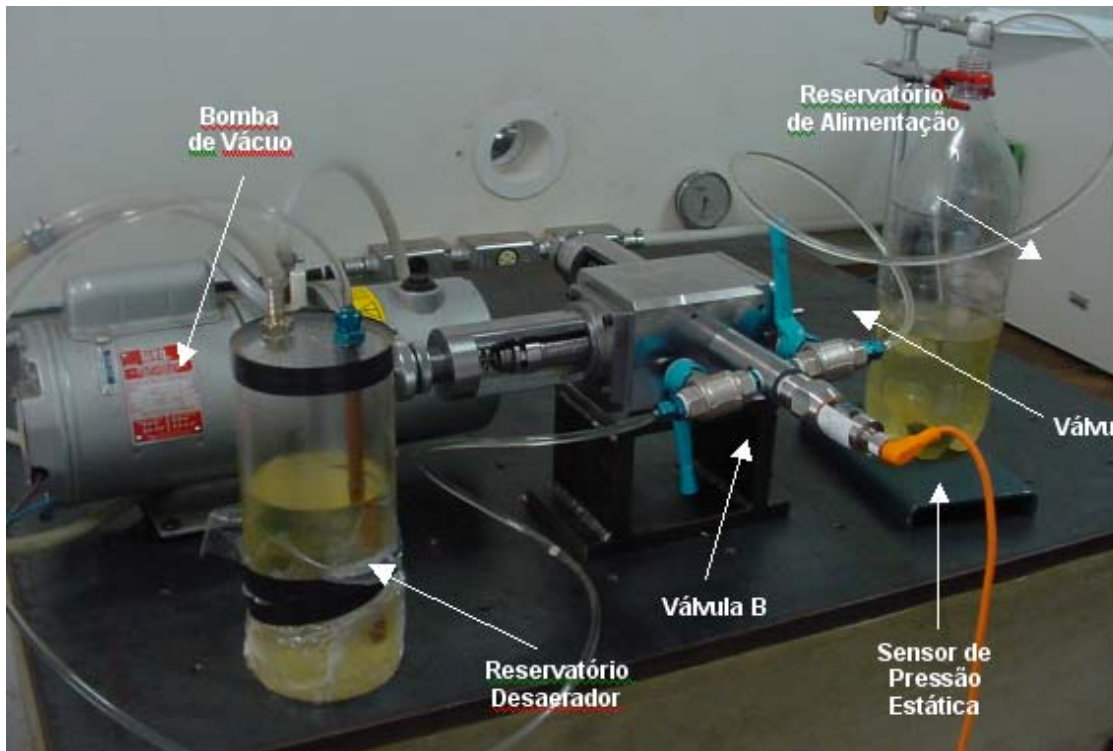


Figura 1.13: Montagem do subsistema de alimentação do amortecedor com óleo lubrificante.

O trabalho finaliza indicando os seis trabalhos já publicados sobre o amortecedor ativo até o momento, quais sejam: Teixeira et. al (2005), Teixeira et. al (2004), Teixeira et. al (2003a), Teixeira et. al (2003 b), Teixeira e Lépure (2002).

2. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro obtido pelas agências de fomento CAPES, CNPq e FAPEMIG.

3. REFERÊNCIAS

- Kitching, K.J., Cole, K.J., Cebon, D., 1998, “ Performance of a semi-active damper for heavy vehicles”, submitted to ASME Journal of Dynamic System Measurement and Control, June.
- Teixeira, R.L., Lépure, F.P., Ribeiro, J.F., 2005, “The Behavior of an Active Damper”, XI International Symposium of Dynamic Mechanical Problems - DINAME 2004 - Ouro-Preto, MG, Brasil. Data: Março 2005.
- Teixeira, R.L., Lépure, F.P., Ribeiro, J.F., 2004, “ Comportamento dinâmico de um amortecedor ativo ”, XIV Simpósio do Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica – POSMEC 2004 –UFU – Uberlândia (MG) . Data: Dezembro de 2004.
- Teixeira, R.L., Lépure, F. P., Ribeiro, J.F., 2003a, “Active Damper System Design and Control – Part A and B”, COBEM 2003: 17º Congresso Internacional de Engenharia Mecânica – São Paulo – Brasil.
- Teixeira, R.L., Lépure, F.P., Ribeiro, J.F., 2003b, “Simulação Dinâmica de um Amortecedor Ativo” - II Congresso Temático de Dinâmica, Controle e Aplicações - DINCOM 2003 – ITA -São José dos Campos, SP, Brasil. Data 18 a 22 de agosto de 2003. ISBN 85-86883-15-8.
- Teixeira, R.L. , Lépure, F.P., 2002, “ Projeto de uma Válvula Amortecedora utilizando a Técnica dos Elementos Finitos” , XII Simpósio do Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica – POSMEC 2002 –UFU – Uberlândia (MG). Data: Novembro de 2002.

4. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo exposto nesse trabalho.

DESCRIPTION, ASSEMBLY AND OPERATION OF PIEZOELECTRIC ACTIVE DAMPER PROTOTYPE

Rafael Luís Teixeira

Universidade Federal de Uberlândia – Faculdade de Engenharia Mecânica - Campus Santa Mônica, Uberlândia-MG.
rafael@mecanica.ufu.br

Francisco Paulo Lépure Neto

flepore@mecanica.ufu.br

José Francisco Ribeiro

jribeiro@mecanica.ufu.br

Abstract: *The intention of this work is to leave registered the description, assembly and operation of the active damper prototype developed at the laboratory of mechanical systems of FEMEC. The hydraulic and control subsystems are presented as well as the detail of the operation of the active damper. This work turn possible the understanding of the prototype for future research to be accomplished with this device.*

Keywords: *Active Damper, Piezoelectric Actuator and Vibrations Control.*