

RICARDO SPITZER

APARATO PARA TESTE DE VÁLVULAS ALÍVIO DE PRESSÃO DE AERONAVES

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Mecânica da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Engenheiro Mecânico.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Perondi

Porto Alegre
2004



Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Escola de Engenharia
Departamento de Engenharia Mecânica

APARATO PARA TESTE DE VÁLVULAS ALÍVIO DE PRESSÃO DE AERONAVES

RICARDO SPITZER

**ESTA MONOGRAFIA FOI JULGADA ADEQUADA COMO PARTE DOS
REQUISITOS PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE
ENGENHEIRO MECÂNICO
APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELA BANCA EXAMINADORA DO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

Prof. Flávio José Lorini
Coordenador do Curso de Engenharia Mecânica

Prof. Dr. Ivan Guerra Machado
UFRGS / DEMEC

Prof. Dr. Guido Gabelini
UFRGS / DEMEC

Prof. Dr. Sílvia Souza
UFRGS / DEMEC

Porto Alegre
2004

*“É melhor tentar e falhar,
que preocupar-se e ver a vida passar.
É melhor tentar, ainda que em vão,
que sentar-se fazendo nada até o final.
Eu prefiro na chuva caminhar,
que em dias tristes em casa me esconder.
Prefiro ser feliz, embora louco,
que em conformidade viver”.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha família por estar ao meu lado, seja nos momentos de grande alegria ou nos momentos de grande dificuldade.

Agradeço ao meu orientador, Prof. Dr. Eduardo Perondi por toda a atenção e apoio prestado para a elaboração deste trabalho.

A VEM S.A. pela oportunidade de aprendizado e colaboração para a realização do referido trabalho de diplomação.

A Universidade Federal do Rio Grande do Sul, pela minha formação pública e gratuita.

SPITZER, RICARDO, **Aparato para Teste de Válvulas Alívio de Pressão.** 2004. 28f. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

RESUMO

O presente trabalho consiste do projeto de um aparato de teste para as válvulas alívio de pressão. Estas válvulas fazem parte do sistema de pressurização de aviões, desempenhando o papel de compensar a pressão devido à altura de 10600 metros, bombeando ar para dentro da aeronave e fazendo a contínua renovação do ar interno. O caso de um acionamento, é imprescindível que elas cumpram o seu papel de válvulas de segurança, tem-se assim a necessidade de que essas válvulas sejam testadas e examinadas para encontrar possíveis falhas de operação ainda em solo, não propiciando riscos aos ocupantes da aeronave. O aparato de testes consiste basicamente de uma câmara de pressão na qual será acopladas as válvulas a serem avaliadas e a instrumentação necessária às análises.

PALAVRAS-CHAVE: Válvulas Alívio de Pressão, Câmara de Pressão, Linha de Suprimento, Instrumentação.

SPITZER, RICARDO, **Apparatus for Test of Relief Valves**. 2004. 28s. Monograph (Conclusion Report of the Mechanic Engineering Course) – Mechanic Engineering Department, Rio Grande do Sul Federal University, Porto Alegre, 2004.

ABSTRACT

The present report consists of the project of an apparatus of test for the relief valves. These valves are part of the system of pressurization of airplanes, playing the paper to compensate the pressure due to height of 10600 meters, being pumped air for inside of the aircraft and making the continuous renewal of internal air. The case of a drive, is essential that they fulfill its paper of safety valves, has thus the necessity of that these valves are tested and examined to still find possible imperfections of operation in ground, not propitiating risks to the occupants of the aircraft. The apparatus of tests consists basically of a pressure chamber in which will be connected the valves to be evaluated and the necessary instrumentation to the analyses.

KEY-WORDS: Safety Valves, Pressure Chamber, Suppliment Line, Instrumentation.

SUMÁRIO

RESUMO	5
ABSTRACT	6
1. INTRODUÇÃO	8
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	8
2.1 IMPORTÂNCIA DO PROJETO	8
2.2 VÁLVULAS ALÍVIO DE PRESSÃO	8
2.3 CÂMARA DE PRESSÃO	10
2.4 PROCEDIMENTO PARA HOMOLOGAÇÃO DO PROJETO	10
2.5 TESTES A SEREM EXECUTADOS	11
2.5.1 <i>Teste de Pressão de Prova</i>	11
2.5.2 <i>Teste da Pressão Estática</i>	12
2.5.3 <i>Teste de Ajuste de ΔP</i>	12
2.5.4 <i>Teste de Vazão Mássica</i>	12
2.5.4 <i>Teste de Vazamento</i>	13
2.5.6 <i>Teste do Ponto de Abertura</i>	13
3. DESENVOLVIMENTO	13
3.1 CÂMARA DE PRESSÃO	13
3.2 LINHA DE SUPRIMENTO E INSTRUMENTAÇÃO	15
3.2.1 <i>Elementos Pneumáticos do Sistema</i>	16
3.3 ESTUDO DOS COMPONENTES PNEUMÁTICOS E DA TUBULAÇÃO	17
3.3.1 <i>Análise do Diâmetro da Tubulação</i>	18
4. RESULTADOS E ANÁLISES	18
4.1 PROCEDIMENTOS E COMPROVAÇÃO DA VIABILIDADE DE EXECUÇÃO DOS TESTES	18
4.1.1 <i>Teste de Pressão de Prova</i>	19
4.1.2 <i>Teste da Pressão Estática</i>	20
4.1.3 <i>Teste de ajuste de ΔP</i>	20
4.1.4 <i>Teste de Vazão Mássica</i>	21
4.1.5 <i>Teste de Vazamento</i>	21
4.1.6 <i>Teste do Ponto de Abertura</i>	22
5. CONCLUSÕES	22
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	23
ANEXO I: VÁLVULAS ALÍVIO DE PRESSÃO DO PROJETO	24
ANEXO II: FOTOS DE VÁLVULAS ALÍVIO DE PRESSÃO	27

1. INTRODUÇÃO

O presente trabalho tem como objetivo o desenvolvimento de um aparato dedicado a testes de válvulas de alívio de pressão utilizadas no sistema de segurança de aeronaves. Trata-se de uma câmara de pressão na qual será acoplado um dispositivo de fixação para as válvulas a serem avaliadas e a instrumentação necessária aos testes, em conjunto com uma linha de suprimento que tem a função de oferecer os limites de pressão necessários.

No setor de aviação comercial, o principal material de referência disponível para consulta e análise inicial de condições consiste dos manuais editados pelas próprias empresas que fabricam os componentes. São informações de acesso restrito e protegidas por leis de propriedade intelectual invioláveis. Os fabricantes de cada válvulas sugerem que seja construída uma câmara para cada válvula a ser testada. Porém, como todas elas devem passar, pela mesma bateria de testes, a fabricação de um equipamento de teste para cada válvula tornaria o projeto muito oneroso, além de necessitar de muito espaço físico. Optou-se assim pelo projeto de uma única máquina que possa executar todos os testes necessários.

O objetivo é projetar este sistema que seja de fácil execução e operação, para que possa ser manejado por uma pessoa apenas.

O aparato de testes não deve ser influenciado por temperaturas dentro do intervalo de -54°C a 74°C , que corresponde aos limites para o funcionamento das válvulas sem incorrer no risco de danificá-las.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 IMPORTÂNCIA DO PROJETO

Para minimizar os efeitos da altitude, a maioria das aeronaves comerciais é pressurizada com a introdução de ar atmosférico na cabine através de um compressor.

A atmosfera é composta por uma mistura de gases, principalmente de nitrogênio (78%) e oxigênio (21%), que permanece constante até cerca de 25.000 metros (75.500 pés). Acima de 4.000 metros (12.100 pés) começa a ocorrer uma queda brusca destes valores, o que vem a prejudicar progressivamente as funções fisiológicas humanas. A redução da pressão atmosférica a baixa a umidade, podendo produzir hipoxia e expansão dos gases corporais, que levam afecções diversas ao coração, pulmão, cabeça, olhos, ouvido, nariz, garganta, sistema neurológico, gastrointestinal e situações obstétricas.

A pressurização de cabine reduz, mas não elimina os efeitos da altitude e seu estabelecimento é realizado gradualmente. Essa pressurização, entretanto, não atinge os valores do nível do mar, mas um diferencial de $5,933 \cdot 10^4$ Pa. À medida que a altitude aumenta, a pressão atmosférica diminui de $1,013 \cdot 10^5$ Pa (nível do mar) para $2,346 \cdot 10^4$ Pa a 10.600 metros, que é o nível operacional usual das aeronaves comerciais. Nessa situação, o compressor da cabine acrescenta um diferencial de $5,933 \cdot 10^4$ Pa aos $2,346 \cdot 10^4$ Pa já existentes, de forma que a pressão total perfaz $8,279 \cdot 10^4$ Pa, que é a pressão atmosférica aproximada de uma altitude de 1.515 metros (chamada de pressão de cabine), em que a pressão parcial de oxigênio cai para cerca de $1,066 \cdot 10^4$ Pa.

2.2 VÁLVULAS ALÍVIO DE PRESSÃO

A função das válvulas de alívio de pressão é de realizarem o papel de válvulas de segurança quando por algum motivo a pressão interna da aeronave ultrapassar um limite de pressão estabelecido. Essas válvulas funcionam da seguinte maneira:

O ar entra pela válvula através do sensor da cabine com filtro (Fig. 1), e a pressão atmosférica é detectada através da membrana de calibração. Quando a pressão interna da aeronave aumenta, a pressão de referência da válvula também aumenta, e ao atingir um determinado valor o cabeçote móvel desloca-se para baixo fazendo com que o ar seja liberado para a atmosfera.

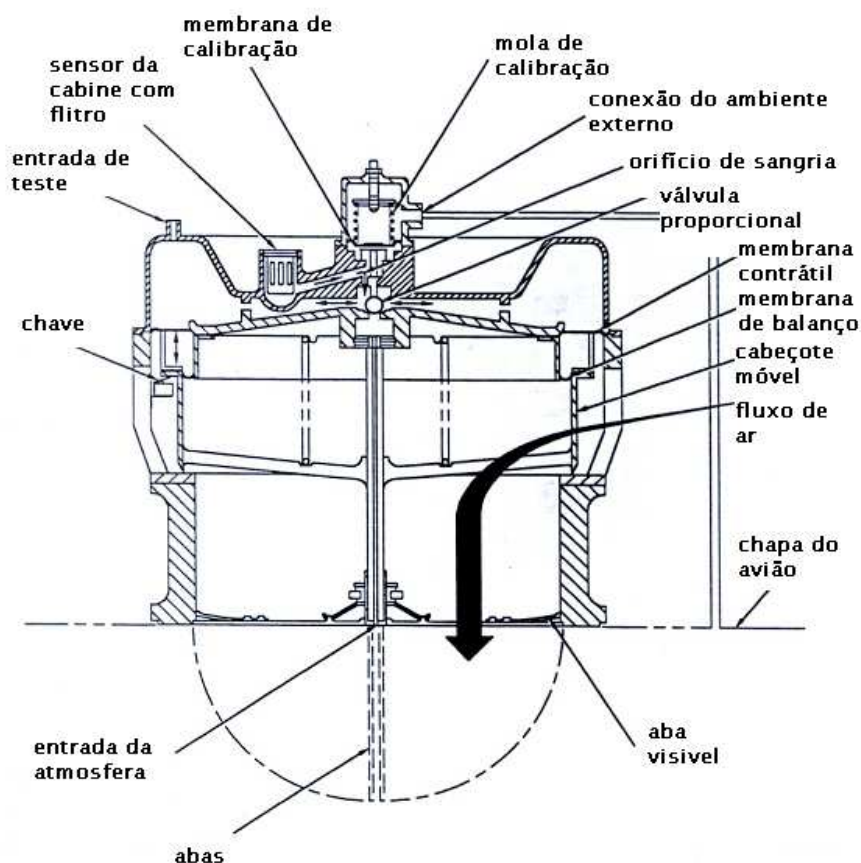


Figura 1 - Ilustração em Corte da Válvula Alívio de Pressão da aeronave DC-10.

Na parte superior da válvula encontra-se a mola de calibração que é responsável pela regulação do ponto de acionamento da válvula. A mola é ajustada através de um parafuso regulador que possui a função de pressionar ou aliviar a tensão na mola. Quanto maior a tensão aplicada na mola, menor será a pressão necessária para o acionamento da válvula.

A chave tem a função de deixar a válvula operante ou não, ela é utilizada na manutenção e é de acionamento mecânico. Enquanto isso as abas possuem duas funções, a de não permissão de entrada d'água na aeronave se por ventura ocorrer uma aterrissagem forçada e a de efeito visual. Caso ocorra um acionamento da válvula o piloto é informado através de um dispositivo luminoso no painel da cabine que indica que houve um aumento da pressão em seguida de uma recaída da pressão (acionamento das válvulas). Com o acionamento da válvulas as abas ficam expostas e são fácil visualização no meio externo de que de algo de errado aconteceu no sistema de pressurização da aeronave. É interessante ressaltar que o fluxo de ar através de válvula possui somente um sentido, a da maior pressão para a menor, ou seja, de dentro para fora da aeronave.

A entrada de teste é utilizada na manutenção das válvulas onde é conectado um manômetro, sendo que a membrana contrátil e a membrana de balanço atuam juntas no

acionamento e no reposicionamento do sistema. Já a conexão do ambiente externo faz a ligação do ambiente externo com o sistema de calibração. A válvula proporcional faz a distribuição do ar em cima do cabeçote móvel.

As aeronaves possuem em sua estrutura duas válvulas alívio de pressão, não contrariando a regra de que praticamente todos os componentes possuem um equivalente de reserva.

2.3 CÂMARA DE PRESSAO

Será utilizada uma câmara de pressão (Fig. 4) atualmente desativada já existente na empresa. Para isso é necessário realizar uma recuperação da superfície interna da câmara, pois está danificada devido ao tempo em desuso. O projeto do aparato de testes deve, portanto, valer-se desta estrutura para fornecer as condições necessárias aos ensaios.

A câmara possui um volume de $4,248 \text{ m}^3$ e deve ser utilizada para suportar $0,119 \text{ MPa}$ para pressão e $-0,062 \text{ MPa}$ para vácuo, com uma variação de vazão mássica de $7,557 \cdot 10^{-4} \text{ Kg/s}$ a $7,557 \cdot 10^{-1} \text{ Kg/s}$. O volume mínimo requerido de acordo com as especificações dos manuais das válvulas é de $2,832 \text{ m}^3$ e máximo $4,814 \text{ m}^3$. Portanto, a câmara se encaixa nos requisitos dos fabricantes, sendo viável a sua utilização no projeto.



Figura 2 – Câmara de Pressão disponível na empresa

2.4 PROCEDIMENTO PARA HOMOLOGAÇÃO DO PROJETO

Por motivos relacionados à propriedade intelectual, as informações de todos os parâmetros, assim como quais normas foram usadas para reger os projetos propostos pelos fabricantes para os testes necessários especificados, não estão acessíveis publicamente.

O procedimento usualmente adotado por parte das empresas que realizam a manutenção das aeronaves, é de utilização das informações fornecidas pelos manuais dos fabricantes das válvulas unicamente como um parâmetro inicial para o desenvolvimento de seus projetos próprios. Ou seja, a empresa que desenvolve o novo projeto, alternativo ao sugerido pelo fabricante, deve especificar as normas que pretende seguir.

A confirmação de compatibilidade dos testes que neste trabalho é realizada, procede da seguinte forma:

1. Teste do componente, no caso, válvulas alívio de pressão de cabine, no novo aparato de testes desenvolvido.
2. Envio, do mesmo componente testado na empresa, para o seu fabricante, que irá testá-lo no aparato de teste por ele desenvolvido e relatado no manual que serviu como base para o desenvolvimento do novo projeto.
3. Comparação dos resultados obtidos, após de corrigidos por curvas que levam em consideração parâmetros como condições de temperatura, pressão e umidade dos dois locais de teste. Se identificada a compatibilidade de respostas dos sistemas, este passa a ser homologado por órgãos responsáveis pela regulamentação da aviação comercial (FAA- *Federal Aviation Administration*), como teste substituto ou alternativo ao teste primeiramente sugerido pelo fabricante do componente.

A FAA especifica que no caso da avaliação destas válvulas devem ser realizados os seguintes testes:

- Teste de Pressão de Prova;
- Teste da Pressão Estática;
- Teste de ajuste de ΔP ;
- Teste de Vazão Mássica;
- Teste de Vazamento;
- Teste do Ponto de Abertura.

Atualmente, esses testes são efetuados por terceiros, daí surge a necessidade de a empresa de buscar permissão para a realização dos mesmos.

2.5 TESTES A SEREM EXECUTADOS

2.5.1 Teste de Pressão de Prova

Este teste tem como propósito determinar o comportamento da válvula quando submetida a uma pressão extrema por um determinado período de tempo. Neste caso, a válvula é ajustada abrindo o sensor da cabine e o sensor do ambiente externo para a câmara (Fig.1), de modo que a válvula mantenha a estanqueidade mesmo a altas pressões. A pressão de prova usualmente varia de 2,5 a 4 vezes a máxima pressão de trabalho admissível para a válvula. A unidade de teste (válvula ensaiada) deve ser instalada internamente na câmara.

Aplicação na Situação Real: Caso ocorra uma repentina elevação da pressão interna da aeronave a válvula deverá entrar em funcionamento reduzindo a pressão a níveis toleráveis.

Referência: *Component Maintenance Manual:* 21-32-66. 2002

2.5.2 Teste da Pressão Estática

Este teste consiste em verificar se o sistema da pressão estática da unidade de teste está devidamente calibrado, esta pressão é tomada através da conexão para o ambiente externo.

Para este teste a unidade de teste é instalada do lado externo da câmara de pressão com as abas posicionadas internamente. A conexão do ambiente externo da unidade de teste na câmara é ligada através de um encanamento ou tubo. É aplicado vácuo na câmara para simular as condições da válvula.

Aplicação na Situação Real: Um rompimento ou um entupimento da conexão ao ambiente externo ou um mau funcionamento da membrana de calibração pode resultar na desregulagem do sistema de abertura da válvula, resultando em problemas relacionados à pressão imposta aos ocupantes da aeronave. Caso haja um rompimento da conexão com ambiente externo, a pressão no ponto de abertura da válvula aumenta, retardando a abertura da mesma.

Referência: *Component Maintenance Manual:* 21-32-04. 2001

2.5.3 Teste de Ajuste de ΔP

Este teste tem como finalidade correlacionar a variação de pressão na câmara com a variação de pressão sentida pela válvula. A maneira prática de realizar isto é verificando se após o acionamento da válvula, ela retorna a sua posição original. Neste caso, a válvula deve ser instalada internamente à câmara.

Aplicação na Situação Real: Com uma variação de pressão interna da aeronave, a válvula de alívio deve reagir proporcionalmente a essa variação, ou seja, na escala 1:1. Se essa proporção não for respeitada, a abertura da válvula pode ocorrer em uma situação não estabelecido pela norma.

Referência: *Component Maintenance Manual:* 21-32-66. 2002

2.5.4 Teste de Vazão Mássica

Este teste tem como finalidade determinar a vazão mássica através da unidade de teste decorrente de uma determinada pressão aplicada na câmara (no caso essa pressão um pouco acima do limite de abertura da válvula). A unidade de teste deve ser instalada internamente na câmara.

Aplicação na Situação Real: Verificação se a vazão disponibilizada é suficiente para permitir a retomada da pressão original em tempo suficiente para que não resulte em problemas de saúde aos ocupantes da aeronave em função da pressão.

Referência: *Component Maintenance Manual:* 21-32-66. 2002

2.5.4 Teste de Vazamento

Este teste baseia-se em saber a vazão mássica (Kg/s) através da unidade de teste em função de um determinado vácuo aplicado na câmara. A unidade de teste é instalada externamente na câmara, mas inversamente a sua posição padrão de instalação nas aeronaves, ou seja, com as abas posicionados internamente à câmara e o restante da válvula do lado externo da câmara. É importante ressaltar que esta disposição não contraria o sentido de fluxo de ar que atravessa a unidade de teste.

Aplicação na Situação Real: Uma pressão elevada mantida por um período de tempo significativo pode resultar em problemas de saúde nos ocupantes da aeronave (tonturas, problemas de visão, audição, entre outros). Este teste verifica a taxa de exaustão da aeronave ao ambiente externo. Esse fluxo não pode ser nem muito elevado nem muito baixo para ser possível a retomada de pressão em um tempo operacional.

Referência: *Component Maintenance Manual: 21-32-66. 2002*

2.5.6 Teste do Ponto de Abertura

Este teste é utilizado para verificar se o ponto de abertura (ponto de alívio da unidade de teste) está devidamente calibrado. A unidade de teste deve ser instalada na sua posição normal de funcionamento.

Aplicação na Situação Real: Uma abertura da válvula que venha a ocorrer a uma pressão diferente do estabelecido pelas normas pode resultar em sérios problemas de saúde aos ocupantes da aeronave. Uma abertura precipita ocasiona um aumento do fluxo do ar do ambiente interno para a atmosfera, resultando em uma queda da pressão interna. No caso oposto, uma abertura da válvula a uma pressão acima da estabelecida ocasiona um aumento excessivo da pressão interna da aeronave. É importante ressaltar também a possibilidade de a válvula perder a referência de calibração com o passar do tempo de uso devido a trepidação e vibrações que ocorrem na fuselagem.

Referência: *Component Maintenance Manual: 21-34-00. 2004*

3. DESENVOLVIMENTO

3.1 CÂMARA DE PRESSÃO

Os fabricantes sugerem um volume mínimo de câmara de pressão para poder simular as condições internas das partes pressurizadas das aeronaves. A câmara em questão é feita de aço SAE 1045 (Fig. 3) e será alimentada por uma linha de suprimento que forneça uma vazão mássica de ar variando de $7,557 \cdot 10^{-4}$ a $7,557 \cdot 10^{-1}$ Kg/s. Para o caso de aplicação de vácuo na câmara, surge o problema da flambagem. Esse problema é sanado através uma grade existente no meio da câmara com função estrutural.

O grande problema para a realização do projeto é se por ventura a câmara não suportar às pressões exigidas. Com esse objetivo existe a necessidade de se saber a espessura mínima de parede através de cálculos de vaso de pressão.



Figura 3 – Ilustração da Câmara de Pressão

Utilizando a maior pressão em módulo, com $P=118589,8$ Pa e $\sigma_{esc}=200$ Mpa para aço de baixo carbono com coeficiente de segurança (η) igual a 3 a tensão de trabalho através da equação (1) é:

$$\sigma = \frac{\sigma_{esc}}{\eta} = 66,7 \text{ Mpa} \quad (1)$$

Para reservatório esférico a tensão é obtida pela equação (2).

$$\sigma = \frac{Pr}{2t} \quad (2)$$

E para reservatório cilíndrico através da equação (3).

$$\sigma = \frac{Pr}{t} \quad (3)$$

Será utilizado a equação que formar uma maior espessura de parede exigida, no caso para reservatório cilíndrico que é uma aproximação da região intermediária da câmara com $r=1$ m. Fazendo o cálculo da espessura da parede utilizando a equação (4):

$$t = \frac{Pr}{\sigma} = 1,778 \cdot 10^{-3} \text{ m} \quad (4)$$

Pela norma ANSI, $t_{\min}=0,005$ m, ou seja, como a espessura calculada é menor que 0,005m, usa-se a espessura de 0,005m. Finalmente a espessura da parede da câmara que é 0,031064 é maior que 0,005m, aprovando a utilização da câmara no projeto.

3.2 LINHA DE SUPRIMENTO E INSTRUMENTAÇÃO

Para o monitoramento dos ensaios deverão ser instalados na câmara alguns elementos de monitoramento e controle dos parâmetros exigidos no teste, tais como:

1. Válvula de segurança;
2. Válvula de bloqueio;
3. Válvula de controle direcional;
4. Regulador de pressão;
5. Controlador de fluxo;
6. Manômetro;
7. Medidor de fluxo;
8. Válvula manual;
9. Compressor;
10. Gerador de Vácuo.

Com o auxílio da computação através da simulação do circuito pneumático, foi obtido a seguinte representação de sistema (Fig. 4).

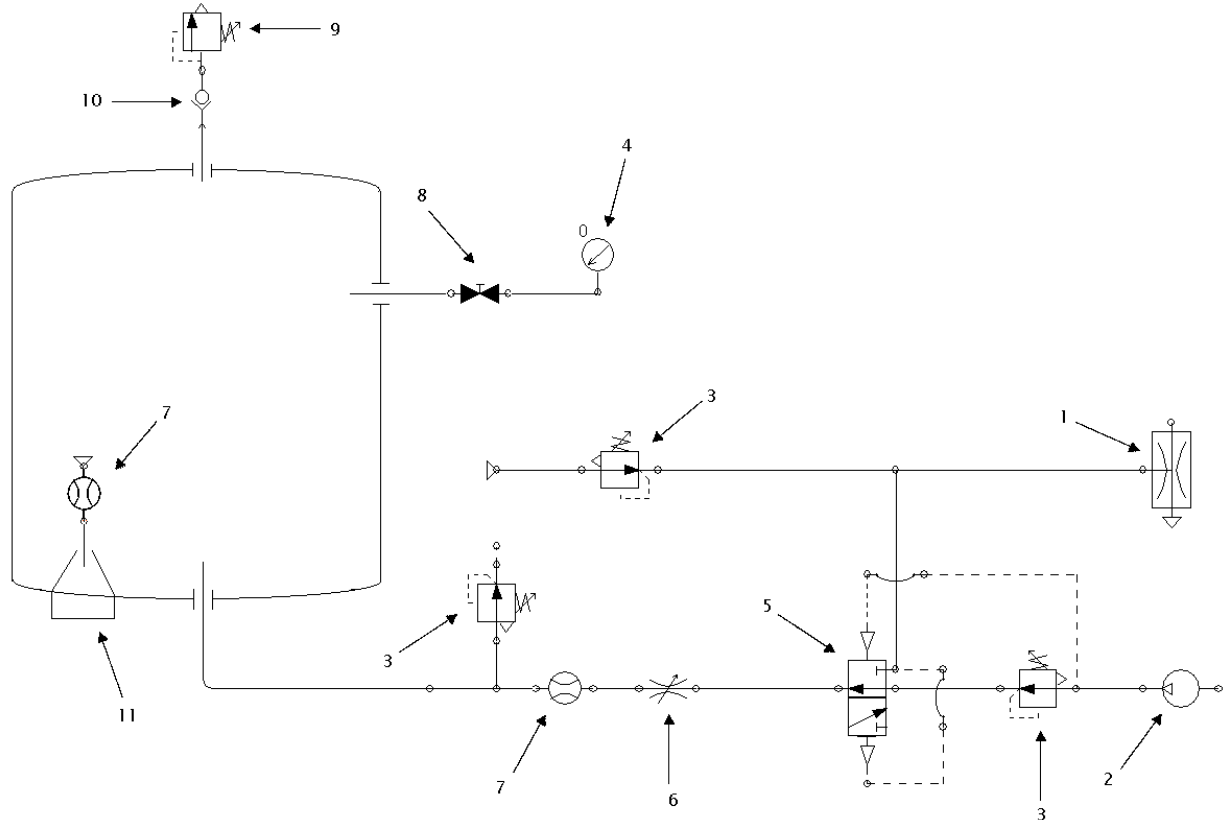


Figura 4 – Ilustração da Linha de Suprimento e Instrumentação, 1- Gerador de Vácuo, 2- Compressor, 3- Controlador de Fluxo, 4- Manômetro, 5- Válvula de Controle Direcional, 6- Controlador de Fluxo, 7- Medidor de Fluxo, 8- Válvula Manual, 9- Válvula de Segurança, 10- Válvula de Bloqueio, 11- Válvula a ser testada.

Pode ser visto pelo esquema acima que o gerador de vácuo opera por efeito venturi. A técnica consiste em fazer fluir ar comprimido por um tubo no qual um giclê, montado em seu interior, provoca um estrangulamento à passagem do ar. O ar que flui pelo tubo, ao encontrar a restrição tem sua velocidade aumentada devido à passagem estreita.

Assim, com o aumento da vazão do ar comprimido no estrangulamento ocorre uma sensível queda de pressão na região. Um orifício externo, construído estrategicamente na região restringida do tubo, sofre então uma depressão provocada pela passagem do ar comprimido pelo estrangulamento. Isso significa que teremos um vácuo parcial dentro do orifício que, ligado à atmosfera, fará com que o ar atmosférico, cuja pressão é maior, penetre no orifício em direção à grande massa de ar que flui pela restrição.

3.2.1 Elementos Pneumáticos do Sistema

Os elementos pneumáticos do sistema são descritos abaixo e possuem intervalos de pressão e vazão com os dados retirados através de levantamento realizado dos equipamentos necessários para cada válvula a ser testada.

Válvula de segurança:

A válvula de segurança para pressão especificada deve ser do tipo com calibração manual posicionada em cima da câmara, por praticidade de operação. A válvula deve ser calibrada de modo que quando a câmara atingisse uma pressão de $1,241 \cdot 10^5$ Pa, esta fosse acionada, possibilitando a evacuação da câmara de modo rápido e seguro. A escolha por uma válvula de segurança com atuação para pressão se deve ao fato da maior responsabilidade com a pressão $1,186 \cdot 10^5$ Pa em relação ao vácuo $-6,205 \cdot 10^5$ Pa.

Válvula de Bloqueio:

A válvula de bloqueio tem como função possibilitar a passagem do fluido em apenas uma direção, sendo necessário o seu emprego na montante da válvula de segurança, para que em caso de vácuo na câmara, não venham a ocorrer danificações na válvula.

Válvula de Controle Direcional:

Deve ser utilizada uma válvula controle direcional, normalmente aberta, de 3 vias e 2 posições, com piloto pneumático, cumprindo as exigências dos testes. O uso de um sistema semi-automático através de piloto pneumático possibilita um acionamento tanto para vácuo como para pressão na válvula em função das duas posições (aberta ou fechada) e das 3 vias (via para vácuo, para pressão e de saída).

Reguladores de Pressão:

Devem ser empregados 3 reguladores de pressão, um para regular a pressão na câmara, outro para regular o vácuo na câmara, através de um sistema de *By-Pass*, e um terceiro regulador de pressão com a função de uma válvula de segurança, possibilitando ao operador seu manuseio para diminuir a pressão na câmara quando necessário. Pelas exigências dos testes, é recomendado reguladores de pressão com regulagem de 0 a $3,447 \cdot 10^5$ Pa.

Controlador de Fluxo:

Tem-se a necessidade de uma vazão controlada, tanto para pressão como para vácuo para a realização dos testes. Um controlador de fluxo com garganta variável é indicado em função do seu baixo custo e boa aplicabilidade com variações de 0 a $7,557 \cdot 10^{-1}$ Kg/s.

Manômetro:

Para monitorar a pressão da câmara é necessário utilizar um manômetro 0 a $2,068 \cdot 10^5$ Pa $\pm 0.25\%$.

Medidor de Vazão:

Um medidor de vazão tipo rotâmetro é o indicado, tendo em vista o fator econômico.

Válvula Manual:

Essa válvula tem como função permitir ou não a passagem do fluido em uma, ou duas direções. Como todo instrumento de medição necessita de um aparato de bloqueio na sua entrada foi escolhido uma Válvula Manual normalmente aberta para exercer essa função.

Compressor:

A empresa já dispõe de um compressor para o projeto com capacidade de prover uma vazão mássica de ar de $1,511 \cdot 10^{-1}$ Kg/s e uma pressão de $1,379 \cdot 10^5$ Pa.

Gerador de Vácuo:

Em virtude do alto custo de uma bomba de vácuo de $1,016 \cdot 10^5$ Pa e com vazão de $7,557 \cdot 10^{-1}$ Kg/s torna-se conveniente a utilização de um gerador de vácuo por efeito Venturi.

3.3 ESTUDO DOS COMPONENTES PNEUMÁTICOS E DA TUBULAÇÃO

Os manuais das válvulas a serem testadas utilizam nos testes o sistema inglês de unidades, ou seja, é referenciado a vazão de ar através da vazão mássica em função da pressão de trabalho. Para se ter uma estimativa do tamanho dos componentes pneumáticos, é necessário fazer a transformação da vazão mássica para a vazão volumétrica em litros por minuto.

O fluido de trabalho é o ar e por conveniência o foi suposto como gás perfeito, com a constante dos gases $R=8314,66$ J/(KmolK) e a massa molar do ar $M_a= 28,97$ Kg/Kmol.

Utilizando $t=23^\circ\text{C}$ como temperatura ambiente, pode ser calculada a massa específica do ar através da equação (5).

$$\rho = \frac{M_a P}{R(t + 273,15)} = \frac{28,97 P}{8314,66(23 + 273,15)} = 1,1765 \cdot 10^{-5} P \quad (5)$$

Fazendo a transformação da vazão mássica para a volumétrica por meio da equação (6), tem-se:

$$Q = v q_m = 60000 \frac{q_m}{\rho} \left[\frac{l}{\text{min}} \right] \quad (6)$$

Onde, q_m = vazão mássica e Q = vazão volumétrica.

Compressor:

Foi feito um levantamento dos compressores exigidos para cada válvula como já foi dito e obteve-se uma pressão $P=1,379 \cdot 10^5$ Pa. Usando a equação (5) sabe-se que a massa

específica é $\rho=1,62239\text{Kg/m}^3$ para essa pressão. Fazendo o cálculo utilizando a equação (6) para a vazão volumétrica com $q_m=1,51197.10^{-1}\text{ Kg/s}$, tem-se:

$$Q = 5591,63 \text{ l/min}$$

Fonte de vácuo:

Mesmo levantamento foi feito para fonte de vácuo e constatou-se a necessidade de uma que forneça uma pressão $P=1,016.10^5\text{ Pa}$. Com a equação (5), tem $\rho=1,1953\text{ Kg/m}^3$ e fazendo o cálculo com a equação (6) para a vazão volumétrica com $q_m=7,557.10^{-1}\text{ Kg/s}$, tem-se:

$$Q = 37932,8 \text{ l/min}$$

Medidor de Fluxo:

Para o medidor de fluxo com uma pressão $P=1,3789.10^5\text{ Pa}$ e usando a equação (5) obtém $\rho=1,622\text{ Kg/m}^3$. Sabendo que o intervalo de vazão mássica através do levantamento feito é:

$$q_m=(7,557.10^{-4} \text{ a } 7,557.10^{-1} \pm 3,779.10^{-4}) \text{ Kg/s}$$

E fazendo-se o cálculo com a equação (6) para a vazão volumétrica tem-se:

$$Q=(27,954\text{l a } 27954 \pm 13,977) \text{ l/min}$$

Controlador de Fluxo:

Para a pressão de $P=1,3789.10^5\text{ Pa}$, que é a pressão máxima do sistema e usando a equação (5) para gases perfeitos, sabe-se que $\rho=1,622\text{Kg/m}^3$. Sendo que o intervalo da vazão mássica q_m é de 0 a $7,557.10^{-1}\text{Kg/s}$.

E fazendo-se o cálculo com a equação (2) para a vazão volumétrica tem-se:

$$Q=0 \text{ a } 27954\text{l/min}$$

3.3.1 Análise do Diâmetro da Tubulação

O fabricante sugere um diâmetro mínimo de $2,7051 \times 10^{-1}\text{ m}$ para a linha de suprimento. Esse valor de diâmetro pode ser explicado pela necessidade de se ter uma retomada rápida da pressão, ou seja, de se ter uma alta vazão de ar do meio interno para o externo da aeronave em função da grande quantidade de ar existente nela.

Fazendo o cálculo com a equação (7) da velocidade do ar para a maior vazão em módulo ($Q=40\text{m}^3/\text{min}=0,666\text{m}^3/\text{s}$), com $A=5,7472.10^{-2}\text{ m}^2$, tem-se:

$$V = \frac{Q}{A} = 11,588\text{m/s} \quad (7)$$

Demonstrando que não é uma velocidade elevada de ar na tubulação.

4. RESULTADOS E ANÁLISES

4.1 PROCEDIMENTOS E COMPROVAÇÃO DA VIABILIDADE DE EXECUÇÃO DOS TESTES

Será feito uma comprovação de cada teste a ser executado no circuito projetado. Para facilitar a comprovação foi referenciado os componentes pneumáticos de modo simplificado, conforme figura abaixo:

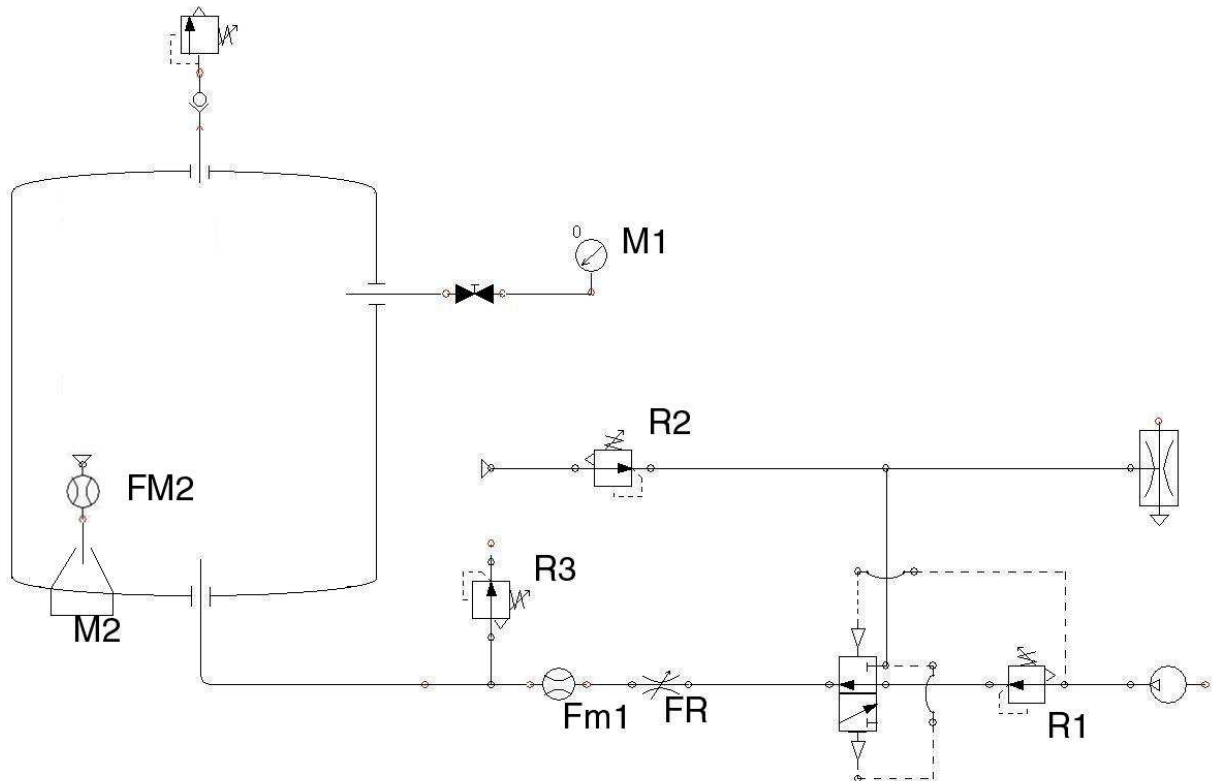


Figura 5 – Ilustração da Linha de Suprimento e Instrumentação para comprovação da viabilidade de execução dos testes.

4.1.1 Teste de Pressão de Prova

Posiciona-se a unidade de teste na sua posição normal de funcionamento. Fecha-se o R_3 (Fig. 5) e regula-se o R_1 para uma pressão exigida, assim como o FR para um fluxo exigido. Ao atingir a pressão de interesse desliga-se o compressor e controla-se a pressão no M_1 por um determinado período de tempo, sendo que esta deve permanecer constante. Transcorrido o tempo, aciona-se o R_3 para ventilar a câmara.

Exemplo de teste de pressão de prova:

Com a unidade de teste instalada na câmara, devem ser posicionados na válvula o sensor da cabine e o sensor do ambiente externo no modo aberto para a câmara, obtendo-se assim a condição de estanqueidade. Este teste está de acordo com o esquema do circuito pneumático apresentado na Fig. 5.

Abre-se válvula V_1 e fecha-se a válvula V_2 e mantém-se o regulador de pressão R_1 a uma pressão de $1,186 \cdot 10^5$ Pa, com uma razão menor que $3,447 \cdot 10^2$ Pa/s.

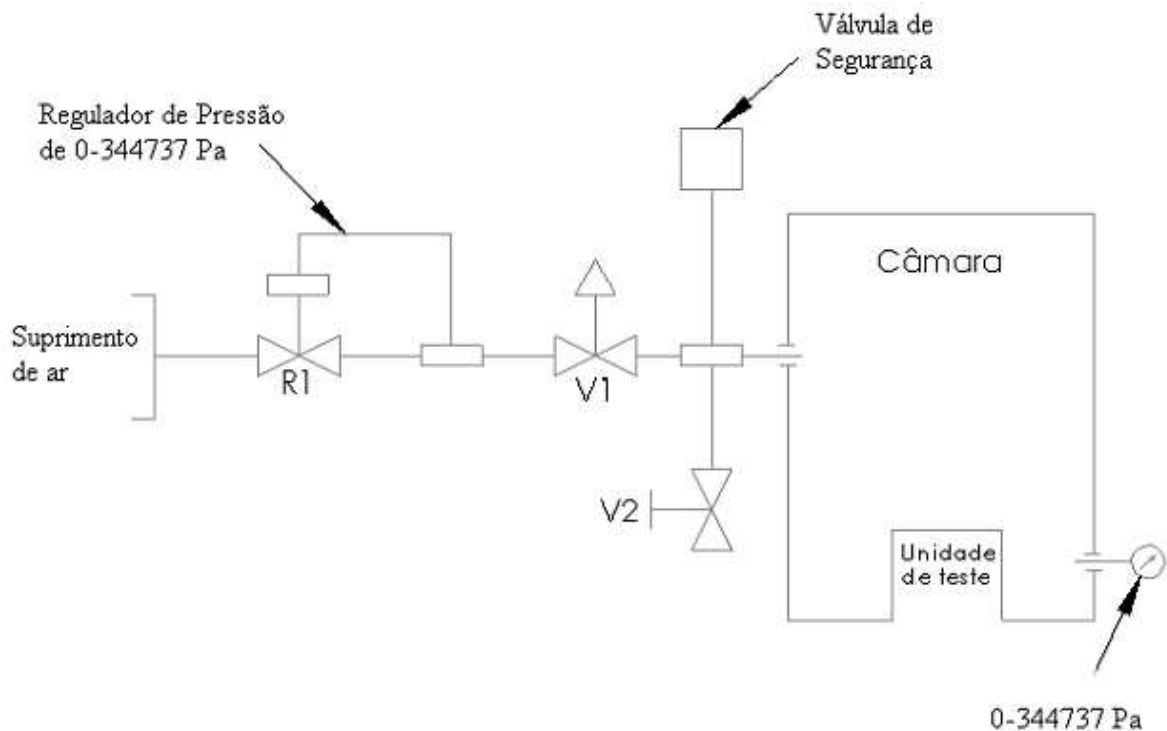


Figura 5: Ilustração de aparato sugerido pelo fabricante para a válvula alívio de pressão da aeronave DC-10.

Com essa pressão de $1,186 \cdot 10^5$ a leitura do manômetro deve permanecer constante por 5 min. Deve-se ajustar o regulador de pressão para 0 Pa e fechar a válvula V_1 e abrir a válvula V_2 para ventilar a câmara exaurindo para o ambiente. Após isso, é feita a remoção da unidade de teste da câmara.

4.1.2 Teste da Pressão Estática

Instala-se a unidade de teste na câmara com as abas posicionadas internamente e acopla-se a conexão do ambiente externo à câmara. Ajusta-se o R_2 a uma posição intermediária e fecha-se o R_3 . Feito isso liga-se o gerador de vácuo e observa-se no M_1 até que o vácuo atinja um valor específico para o teste. Attingido esse valor desliga-se o gerador e fecha-se o R_2 . A leitura no M_1 deve permanecer constante por um determinado tempo. Abre-se o R_3 para ventilar a câmara.

Exemplo de Teste da Pressão Estática:

Aplica-se vácuo a $6,773 \cdot 10^4$ Pa com a válvula direcional aberta. Após a estabilização da pressão, deve-se fechar a válvula direcional. O elemento de teste será aprovado se a leitura no manômetro deve permanecer constante no vácuo por 1 minuto.

4.1.3 Teste de ajuste de ΔP

1. Instala-se a unidade de teste no modo normal de funcionamento.
2. Fecha-se o R_3 e liga-se o compressor de modo que a pressão atinja um valor requerido superior do ponto de abertura da válvula. Regula-se o FR para um fluxo exigido e mantém-se essa condição.

3. Faz-se a leitura no M_1 e M_2 .
4. Regula-se o FR com um valor exigido de vazão, sendo que esse valor deve ser menor do que o do fluxo do passo 2.
5. Faz-se a leitura no M_1 . O resultado não pode ser menor que o valor lido em 2 subtraindo um valor específico para cada teste.
6. Lê-se o fluxo em M_2 . Esse valor deve ser menor que um determinado valor para o teste.
7. Desliga-se o compressor e abre-se o R_3 para ventilar a câmara.

Exemplo Teste de Ajuste de ΔP

A unidade de teste deve estar posicionada a 45° com relação à gravidade.

1. A vazão mássica de ar deve ser ajustada para $3,779.10^{-2} \pm 1,511.10^{-3}$ Kg/s e mante-la esse fluxo até o manômetro da câmara (M_1) indicar $6,075.10^4$ a $6,099.10^4$ Pa.
2. A leitura do manômetro M_2 (manômetro da unidade de teste) deve então ser realizada.
3. Nesta situação, a unidade de teste fica ajustada na ΔP_2 . A vazão de ar deverá ser reduzida até atingir $1,742.10^3 \pm 2,448.10^1$ Pa no manômetro M_2 . Esse valor de pressão deve ser menor que o valor lido em 2.
4. A leitura no M_1 não deve ser menor de $6,773.10^2$ Pa com relação ao valor lido em 1.
5. Nesse processo a vazão mássica de ar através da válvula deve ser menor que $2,267.10^{-2}$ Kg/s.

4.1.4 Teste de Vazão Mássica

Instala-se a unidade de teste no modo normal de funcionamento. Fecha-se o R_3 e regula-se o R_1 e o FR para os valores de pressão e vazão respectivamente, exigidos para o teste. É feito o acompanhamento da pressão no M_1 . Uma vez atingido o valor de pressão exigido desliga-se o compressor e observa-se o fluxo no FM_2 , sendo que esse não pode ultrapassar um determinado valor normalizado de acordo com a válvula testada. Abre-se o R_3 para ventilar a câmara.

Exemplo de teste de Vazão Mássica:

O regulador de vazão deve ser ajustado para $4,912.10^{-1} \pm 1,511.10^{-2}$ Kg/s. Essas condições devem ser mantidas até estabilizar a uma pressão menor ou igual a $6,109.10^4$ Pa no M_1 , que é um pouco acima do ponto de abertura da válvula ($6,102.10^4$ Pa). A vazão através da unidade de teste não deve ser maior que $5,29.10^{-2}$ Kg/s.

4.1.5 Teste de Vazamento

Instala-se a unidade de teste na câmara com as abas posicionadas internamente e acopla-se a conexão do ambiente externo à câmara. Feito isso, ajusta-se o R_2 para uma posição intermediária e liga-se o gerador de vácuo. A câmara é exaurida até o M_1 atingir um valor para vácuo exigido para o teste. O R_2 deve ser monitorado para que não ultrapasse esse valor de pressão para o vácuo. Atingido esse valor desliga-se o gerador e fecha-se o R_2 . Faz-se a leitura no FM_2 e observa-se o valor de modo que não seja superior ao requerido pelo teste.

Exemplo1 do Teste de Vazamento:

A câmara deve ser exaurida até o manômetro M_1 indicar $5,913.10^4 - 5,987.10^4$ Pa. Nesta situação, o vazamento através da unidade de teste não deve exceder $3,779.10^{-3}$ Kg/s.

Exemplo2 do Teste de Vazamento:

A câmara deve ser evacuada até que o manômetro M_2 indique $5.910.10^4$ a $5.985.10^4$ Pa. O vazamento através da unidade de teste deve ser menor $3,779.10^{-3}$ Kg/s.

4.1.6 Teste do Ponto de Abertura

Instala-se a unidade de teste no modo normal de funcionamento. Fecha-se o R_3 e ajusta-se o R_1 para a pressão do teste e o FR para a vazão exigida. Em seguida liga-se o compressor. Observa-se no FM para que o fluxo de ar não exceda um valor requerido e aguarda-se até que ocorra o acionamento da unidade de teste, observando no M_1 a pressão correspondente. Finalmente, desliga-se o compressor e ajusta-se o R_3 para ventilar a câmara.

Exemplo do Teste do Ponto de Abertura:

Aumentar a pressão da câmara com um fluxo que não exceda $2,822.10^2$ Pa/s. O alívio da pressão, no caso a abertura da válvula (unidade de teste), não deve exceder o valor de referência, $6,400.10^4$ Pa.

5. CONCLUSÕES

Neste trabalho foi desenvolvido um aparato para testar válvulas alívio de pressão de aeronaves. Foi projetado um circuito pneumático para a linha de suprimento de forma que um conjunto de 6 diferentes categorias de ensaios possam ser realizados.

Durante o desenvolvimento do projeto foi possível constatar a necessidade de uma contínua evolução da configuração do sistema. Foram também encontradas limitações que dificultaram a sua concretização, dentre as quais se destaca a dificuldade de encontrar no mercado os componentes necessários, tendo em vista as especificações exigidas pelos testes a que deveriam atender.

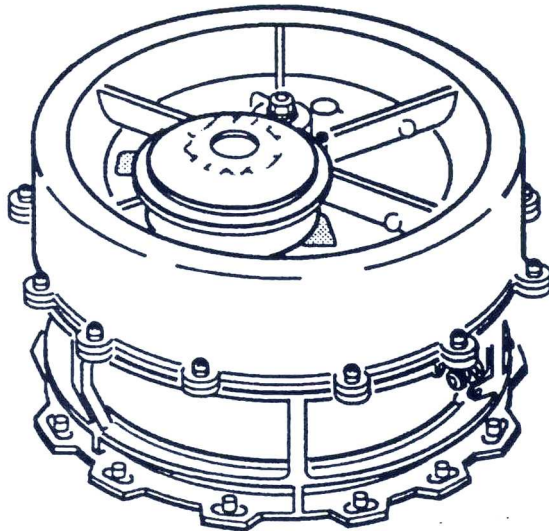
Futuros trabalhos deverão envolver o contato com fornecedores visando especificar e comprar os componentes além de executar as instalações e realizar testes de funcionamento do sistema.

Conforme a constatação das possibilidades da empresa em disponibilizar o equipamento e os recursos para a elaboração do projeto, identifica-se que este trabalho constituiu uma importante oportunidade para o aprimoramento dos conhecimentos técnicos e científicos adquiridos ao longo do curso de Engenharia Mecânica.

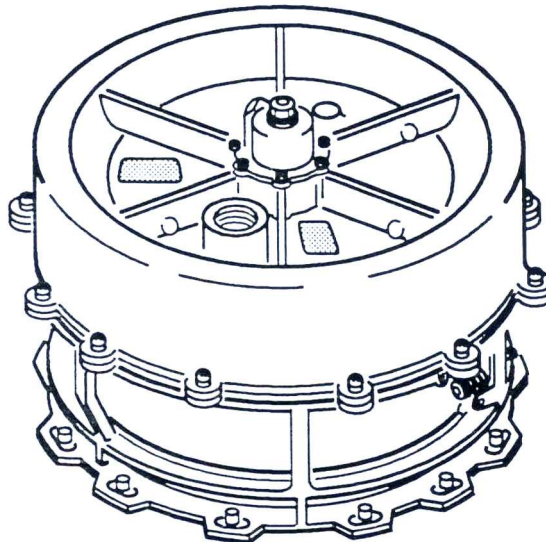
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BELLOWS, Schrader. **Válvulas Pneumáticas e Simbologia dos Componentes**. Schrader. 107p
- Catálogo Ferramentas Gerais**. Porto Alegre: ICO Comercial S.A, 1997. 2128p
- FAMIC TECHNOLOGIES INC. **Automation Studio for Paker**. Disponível em: <http://www.parker.com/training/autstud/demo/demo.htm>. Acesso em 16 outubro 2004
- FOX, R. W., Mc Donald, A. T. **Introdução à Mecânica dos Fluidos**. 5ª Edição. Rio de Janeiro: LTC, 2001
- GARRET, International Inc. **Component Maintenance Manual**: 21-31-03. 1999
- HAMILTON SUNDSTRAND, International Inc. **Component Maintenance Manual**: 21-34-00. 2004
- HONEYWEEL, International Inc. **Component Maintenance Manual**: 21-32-01. 2001
21-32-04. 2001
21-32-48. 1998
21-32-66. 2002
21-32-88. 2000
- J PINCHES, Michael; J CALLEAR, Brian. **Power Pneumatics**. Prentice Hall, 1996
- KENNETH G. Budinski; MICHAEL K. Budinski. **Engineering Materials: Properties and Selection**. Prentice Hall, 2001
- LUNDGREN, Johan. **Airliners.net**. Disponível em: <http://www.airliners.net>. Acesso em: 11 outubro 2004
- RUSSEL, B. John. **Química Geral**. São Paulo: McGraw-Hill, 1982. 897p
- THE BOEING COMPANY. **MyBoeingFleet**. Disponível em: <http://www.myboeingfleet.com>. Acesso em 29 setembro 2004
- VAN WYLEN, G. J.; SONNTAG, R. E.; BORGNAKKE, C. **Fundamentos da Termodinâmica**. 5ª Edição. São Paulo: Edgard Blücher, 1998

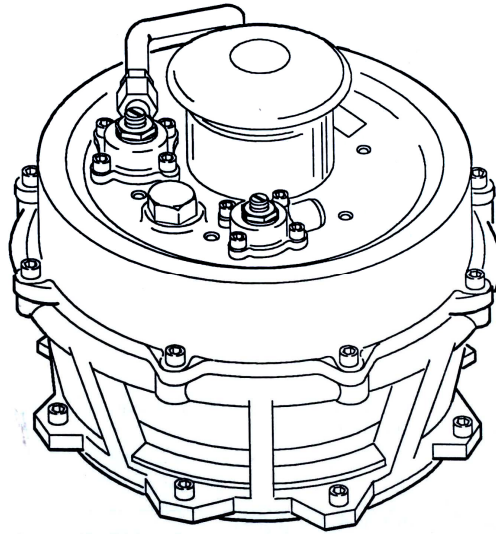
ANEXO I: VÁLVULAS ALÍVIO DE PRESSÃO DO PROJETO



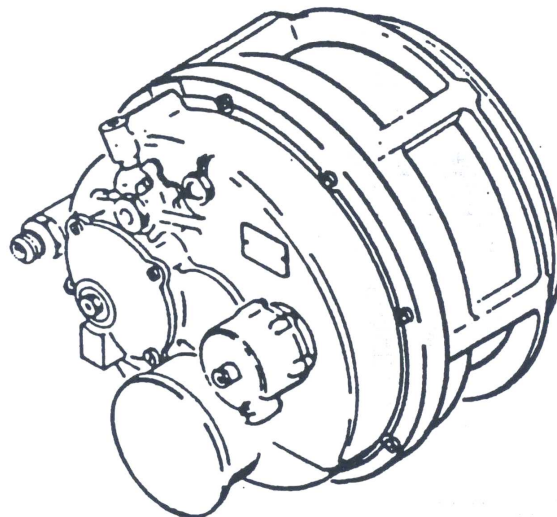
Válvula Alívio de Pressão utilizada nas aeronaves DC-10 e MD-11



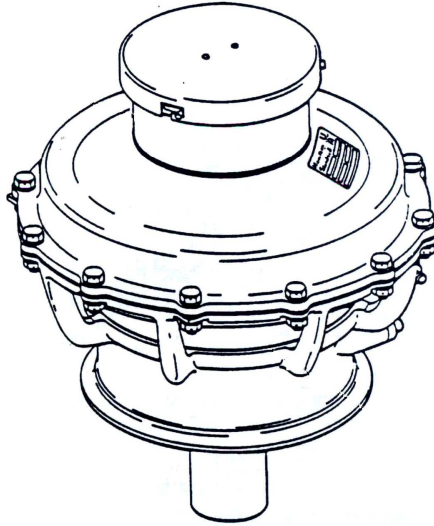
Válvula Alívio de Pressão utilizada na aeronave DC-10



**Válvula Alívio de Pressão utilizada nas
aeronaves B-757 e B-767**



**Válvula Alívio de Pressão
utilizada na aeronave B-727**



**Válvula Alívio de Pressão utilizada
nas aeronaves B-727 e B-737**

ANEXO II: FOTOS DE VÁLVULAS ALÍVIO DE PRESSÃO

**Válvula Alívio de Pressão das
aeronaves B-727 e B-737**



**Válvula de Alívio de Pressão das
aeronaves DC-10 e MD-11**