

2301553

TRABALHO DE FORMATURA

ENSAIO DE VENTILADORES

- 1987 -

ALUNO: NICOLAU CHICANI NETO

ORIENTADOR: PROF. JOSÉ ROBERTO SIMÕES MOREIRA

DEDICATÓRIA E AGRADECIMENTOS

Aos Mestres:

Em particular ao professor José Roberto Simões Moreira, meu orientador, que tem sido um luzeiro para me guiar no caminho do Conhecimento.

Aos Técnicos:

Pela ajuda na solução de problemas e na realização das tarefas

SUMÁRIO

TRABALHO SOBRE ENSAIO DE VENTILADORES CONSTANDO DE:

Simbologia

Introdução

Projeto da Seção de Ensaio

Conclusão

Bibliografia

Anexos

Aplicação: Ensaio de ventilador no Laboratório de Máquinas
Térmicas

ÍNDICE

- 1. Simbologia**
- 2. Introdução**
- 3. Fundamentos**
 - 3.1. Teoria sobre Ventiladores**
 - 3.2. Medição do Torque de Motor**
 - 3.3. Variação e Medição da Vazão**
- 4. Projeto da Sessão de Ensaio:**
 - 4.1. Equipamentos**
 - 4.2. Instrumentos**
 - 4.3. Sessão de Ensaio**
- 5. Conclusão**
- 6. Bibliografia**
- 7. Anexos**

SIMBOLOGIA

E	módulo de elasticidade de Young
g	aceleração da gravidade local
h	espessura da chapa
H	carga manométrica
I	momento de inércia
\dot{m}	fluxo de massa
M	momento fletor
n	rotação
P	potência
p(est)	pressão estática
p din	pressão dinâmica
p t	pressão total
Δp	perda de carga
q	fluxo de calor pelo volume de controle
Q	vazão
R	raio
S	área da seção transversal
T	torque
V a	velocidade absoluta
Vt	velocidade tangencial
Vax	velocidade axial
V	tensão na fonte
w	velocidade angular
α	angulo do ventilador axial
γ	peso específico
ϵ	deformação
$\bar{\epsilon}$	deformação média total
σ	tensão normal
η	rendimento do ventilador
η_c	rendimento da transmissão por correia
ψ	ângulo de fase

2. INTRODUÇÃO

O objetivo deste trabalho é o projeto e construção de um dispositivo para o ensaio de ventiladores, com a finalidade de levantar as curvas características de ventiladores, quais sejam, traçar os seguintes principais gráficos:

- pressão total estática e dinâmica em função da vazão
 $(p_t \times Q \quad p_{est} \times Q \quad p_{dim} \times Q)$
- potência fornecida em função da vazão ($P \times Q$)
- eficiência total em função da vazão ($\eta \times Q$)
- rotação específica em função da vazão ($C_n \times Q$)

Para realizar o ensaio de ventiladores o dispositivo deve estar equipado de tal modo que possam ser mensuradas as seguintes grandezas: variação e medição da vazão, medição da potência fornecida pelo ventilador e variações ao fluido e variações de pressão do fluido ao longo da sessão de ensaio. Nesse sentido, o trabalho está dividido nas seguintes partes:

- definição do ventilador quanto ao tipo e características;
- determinação do tipo de instrumento de medição e vazão;
- determinação do tipo de instrumento de medição do torque do motor;
- definição da configuração do dispositivo de ensaio.

Este dispositivo será adaptado de um equipamento disponível no Laboratório de Máquinas Térmicas da Escola Politécnica: como resultado adicional traduzimos parcialmente a norma de ensaio de ventiladores da ASHRAE/AMCA - "Laboratory Methods of Testing Fans for Rating" cuja tradução se encontra no anexo A.

A seguir apresentamos um resumo da teoria de ventiladores e método de ensaio. Definimos e selecionamos os instrumentos de medição necessários.

3. FUNDAMENTOS

3.1. TEORIA SOBRE VENTILADORES

Dentro do escopo do trabalho cabe uma introdução à Teoria de Ventiladores.

Um ventilador é uma máquina que desloca o meio gasoso com um grau de elevação de pressão de até 1,15, onde o grau de elevação de pressão é a relação entre a pressão de saída e a pressão de entrada do ventilador considerado, de acordo com referência bibliográfica[7].

Quando o grau de elevação de pressão for superior a 1,15, temos o caso de compressores.

Quando a pressão na entrada for menor do que a atmosférica e a pressão na saída for igual à atmosférica, então temos grau de elevação menor que 1 e a máquina é uma bomba de vácuo, conforme referência bibliográfica[8].

Começamos com ventiladores centrífugos, também conhecidos por ventiladores radiais. Seguimos principalmente a teoria desenvolvida no Manual de Ventiladores da Buffalo Forge Company [1].

Ventiladores centrífugos de várias configurações fazem parte do grupo de máquinas de fluxo usadas para transferir energia para um fluido escoando.

Ventiladores centrífugos são similares à bombas centrífugas e compressores centrífugos em vários aspectos. A diferença principal entre estes dois últimos tipos de máquinas é que bombas tratam com líquidos, que são praticamente incompreensíveis. Já os compressores tratam com gases. Sob tais condições é que uma sensível mudança na densidade acontece, ou seja, o fluido sofre um processo de compressão.

Em ventiladores também há fluxo de gases mas a mudança na densidade é em geral muito pequena para mudar a compreensibilidade dos mesmos.

O fluxo através de ventiladores centrífugos é predominantemente radial e facilmente diferenciado do fluxo axial de um ventilador com tal configuração.

3.1.1. - TRANSFERÊNCIA DE ENERGIA EM UM VENTILADOR CENTRÍFUGO

No rotor de qualquer máquina de fluxo as componentes axiais, radiais e tangenciais das forças das partículas de fluido no rotor estão associadas com o empuxo axial, o empuxo radial e o torque respectivamente.

A quantidade de energia transferida na unidade de tempo, ou potência (P), para um fluxo de massa gasosa constante é o produto do torque e da velocidade angular (w):

$$P = m w (R_2 V_2 \text{tang} - R_1 V_1 \text{tang}) = \\ = m (U_2 V_2 \text{tang} - U_1 V_1 \text{tang}) \quad \text{--- (1)}$$

Vide figura 0

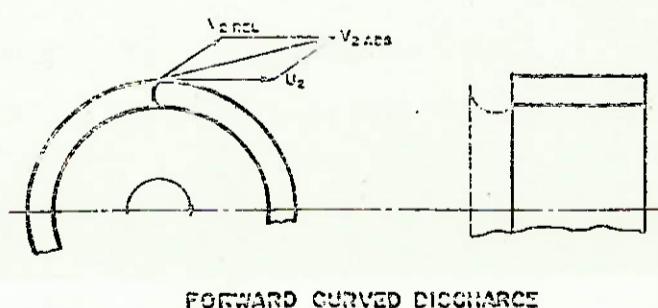
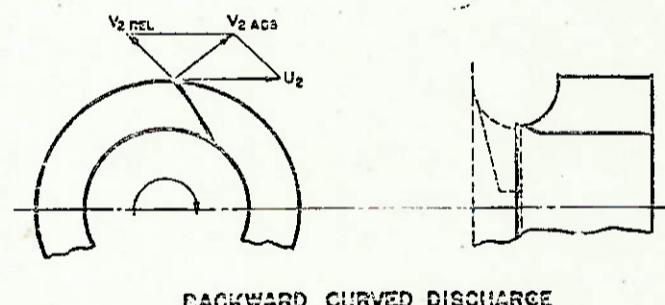
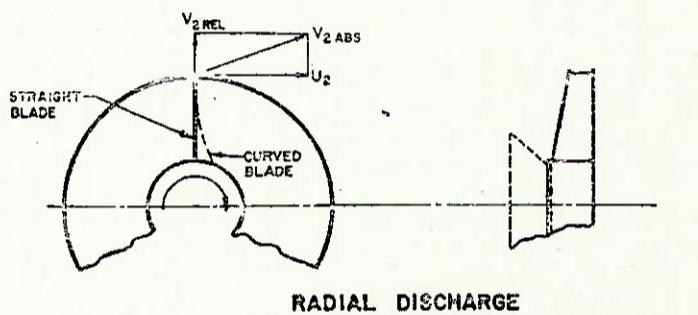


Figura 0 - Configuração das pás e diagramas de velocidades

O produto do raio (R) pela velocidade tangencial (V_{tang}) é chamado turbilhão ou vórtice do fluido.

O produto da velocidade angular pelo raio (R) é a chamada velocidade linear do rotor (U).

A velocidade tangencial do fluido e a velocidade radial do fluido podem ser somadas vetorialmente para se obter a velocidade absoluta do fluido, composição vetorial no plano radial (V_{abs}). Desta forma, subtraindo a velocidade linear do rotor da velocidade absoluta do fluido, podemos obter a velocidade relativa do fluido no plano radial (V_{rel}).

A energia líquida transferida por unidade de massa do fluido, chamada carga de Euler (HE) fica:

$$\begin{aligned} HE &= w (R_2 V_{2tang} - R_1 V_{1tang}) = \\ &= \frac{1}{2} [(V_{2abs}^2 - V_{1abs}^2) + (V_2^2 - V_1^2) + (V_{2rel}^2 - V_{1rel}^2)] -- (2) \end{aligned}$$

Existem portanto três termos de variação da carga manométrica: o primeiro termo representa a mudança na pressão dinâmica, enquanto o segundo e o terceiro termos representam a mudança de pressão estática.

As duas equações anteriores são importantes para analisar mudanças no projeto e os efeitos de diferentes condições de operação numa máquina ideal. A convenção de sinais empregados neste caso é: valor positivo de P representa que a potência dever ser transmitida para o fluido gasoso ou que a carga manométrica é desenvolvida pelo rotor.

A transferência de energia só pode acontecer via hélice. A transformação de energia envolvida na conversão de velocidade para car

ga manométrica estática não deve ser confundida com o processo de transferência de energia.

A análise de certas condições de fluxo limites podem ser úteis no entendimento no processo de transferência de energia. Para o caso limite onde o fluxo é puramente radial a velocidade tangencial é nula e tanto a potência líquida transferida e a carga manométrica desenvolvida no fluido devem ser zero.

Outra situação limite é a de fluxo nulo, ou seja, fluxo de massa $\dot{m} = 0$, que ocorre quando a velocidade relativa na entrada ou na saída do ventilador, é zero. A carga desenvolvida teoricamente por um rotor com fluxo nulo será o dobro da carga devido à mudança das forças centrífugas isoladas. Parte da energia cinética é transformada, não em energia de pressão, mas em energia interna, resultante do atrito do fluido, o que produz aumento de temperatura, ao invés de aumento de pressão estática.

A densidade não aparece em lugar algum na expressão da carga manométrica teórica. A carga manométrica que uma hélice vai desenvolver independe da densidade.

Cada tipo de ventilador utiliza, em diferentes proporções, os vários meios de desenvolver a carga manométrica. Em ventiladores de fluxo axial o fluxo teórico das partículas, para determinado raio, é tal que $U_2 = U_1$ (velocidades linear do rotor na entrada índice 1 e saída índice 2 são iguais) e não há efeito centrífugo.

Os vários tipos de ventiladores centrífugos são caracterizados por diferentes ângulos de inclinação de suas pás, de tal forma que varia a proporção de carga manométrica desenvolvida devido aos efeitos centrífugos.

Ventiladores com pás curvadas para frente produzem menores cargas manométricas devido à efeitos centrífugos. Por outro lado os ventiladores com pás inclinadas para trás imprimem cargas manométricas maiores.

Ventiladores de fluxo ortogonal empregam tomada e saída de ar no mesmo raio o que faz com que os efeitos positivos e negativos centrífugos se cancellem.

A variação do ângulo de inclinação das pás do ventilador centrífugo pode ser observada nos diagramas da figura (1). Nela encontramos respectivamente: pá curvada para frente, radial e pá curvada para trás e os diagramas mostram a potência P transmitida ao fluido em função da vazão (Q) e a carga manométrica (H) em função da vazão (Q).

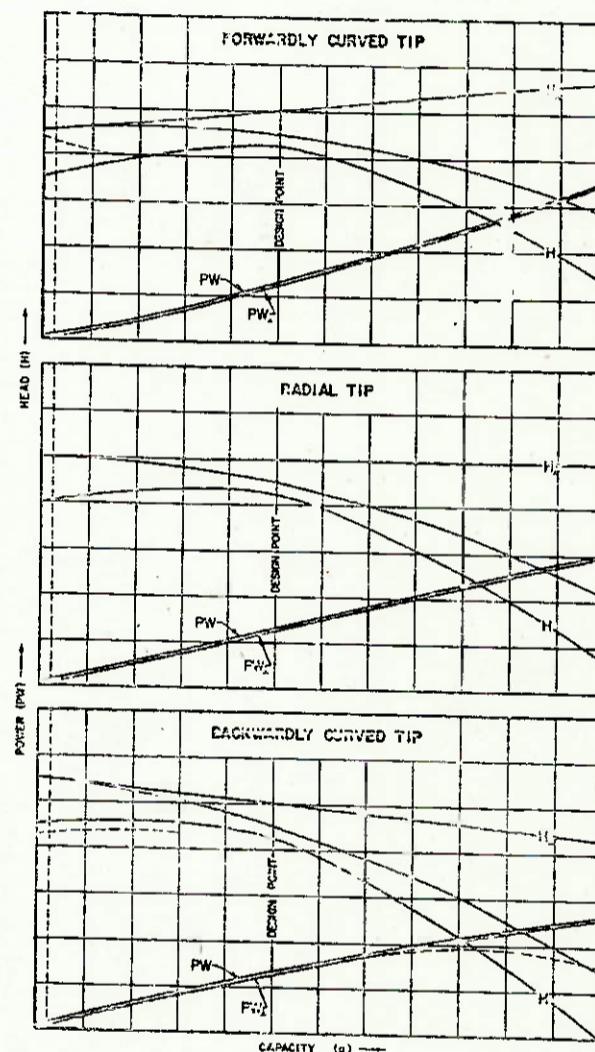


Figura 1 - Curvas características de ventiladores centrífugos

As curvas características de um ventilador são potência versus vazão ($P \times Q$), carga manométrica (H), ou pressão total (p_t), versus (Q) vazão e rendimento versus vazão (Q). Tais diagramas estão mostrados na figura (2).

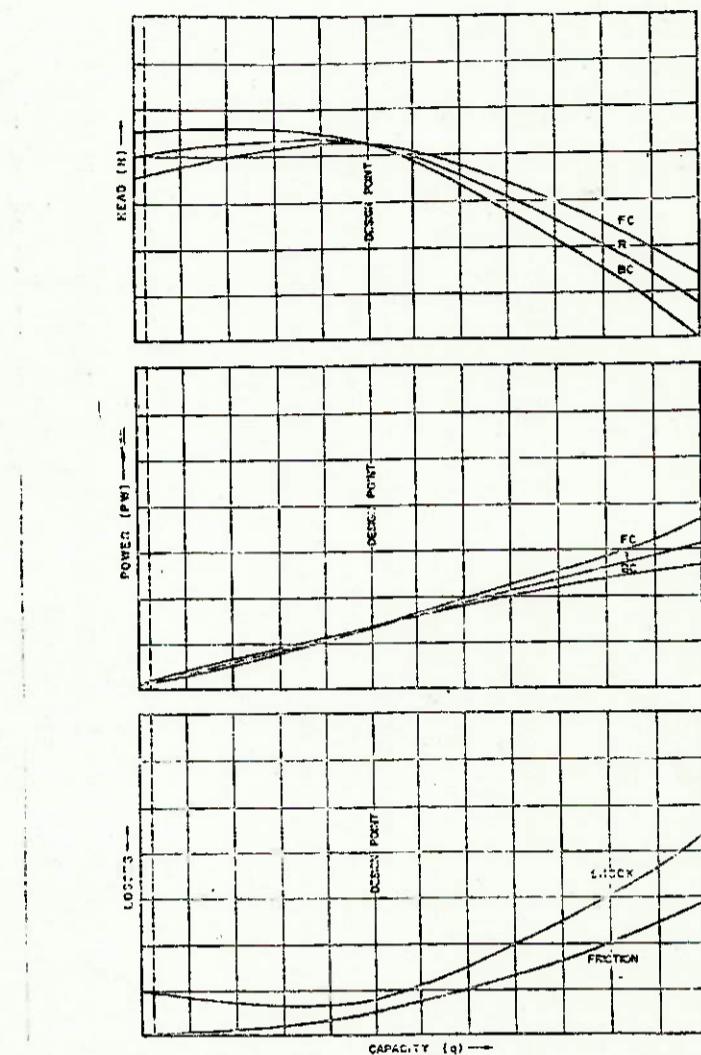


Fig.2 - Curvas características para Ventiladores centrífugos

3.1.2. VENTILADORES DE FLUXO AXIAL

A direção do fluxo gasoso num ventilador axial é paralela ao eixo principal de rotação. Francamente, não deveria haver componente de velocidade na direção radial. No entanto, observa-se um componente tangencial quando energia é transferida da hélice ao fluido devido a sua geometria.

A figura (3) mostra como é a configuração e nomenclatura das velocidades absoluta, relativa e linear com os diagramas vetoriais pertinentes (triângulo de velocidades).

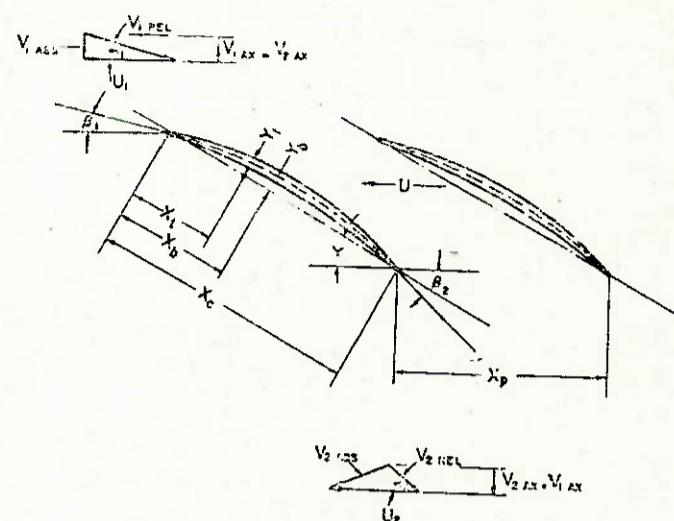


Fig.3 - Diagrama de velocidades de ventiladores axiais

Transferência de Energia de um Ventilador de Fluxo Axial

Assim como no ventilador centrífugo as componentes axial e tangencial das forças das partículas do fluido no rotor produzem empuxo axial e torque, respectivamente. Não havendo velocidade radial, não há força radial e, portanto, não há empuxo radial.

A equação de transferência de energia, ou a potência envolvida na produção de torque, sem componentes radiais fica:

$$\begin{aligned} PE &= m wR (V_2 \text{tang} - V_1 \text{tang}) = \\ &= m wR V_{\text{ax}} (\cot \alpha_1 - \cot \alpha_2) \quad \text{--- (3)} \end{aligned}$$

A expressão anterior fornece a potência transmitida para um fluido escoando num particular raio (R). Como temos diferentes porções do fluido escoando em diferentes raios, a variação do fluxo de massa (m) e a variação da parcela de velocidade tangencial ... ($V_2 \text{tang} - V_1 \text{tang}$) devem ser levadas em consideração. Os ângulos

do fluido (α_1 e α_2) (índice 1 perto do eixo, índice 2 longe do eixo rotor) podem variar com o raio. A velocidade angular e a velocidade axial podem ser assumidas como constantes. O produto (wR), velocidade angular pelo raio, é a velocidade linear no rotor (U).

A transferência de energia líquida por unidade de massa de fluido, ou a carga manométrica, total de Euler (HE) para um fluxo axial é:

$$\begin{aligned} HE &= wR (V_2 \text{ tang} - V_1 \text{ tang}) = \\ &= \frac{V_2^2 \text{ abs} - V_1^2 \text{ abs}}{2} + \frac{V_2^2 \text{ rel} - V_1^2 \text{ rel}}{2} \quad \text{--- (2)} \end{aligned}$$

Para ventiladores axiais também se costuma levantar curvas características. Tempos, pois, figura (4) para designar as curvas comumente levantadas, pertinentes.

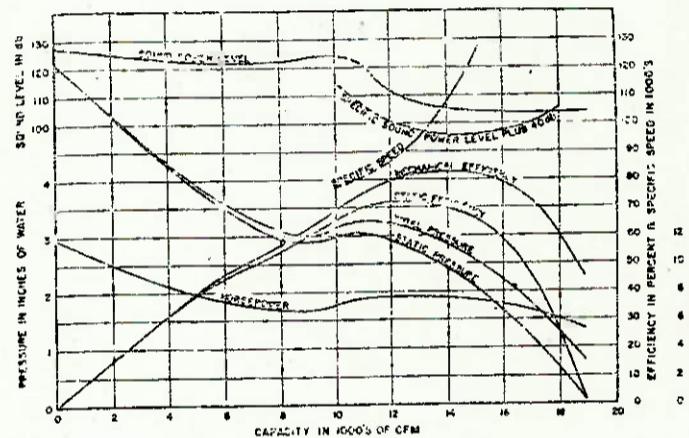


Fig. 4 - Curvas características de ventiladores axiais

3.2. MEDAÇÃO DO TORQUE DO MOTOR

O trabalho consta de: - escolha do tipo de medidor de torque levando em conta o espaço disponível, a montagem existente e os recursos disponíveis, seguindo especificações. Para o ensaio de ventiladores precisamos de um dispositivo para medir diretamente o torque fornecido pelo motor ao eixo do rotor, a fim de obtermos a potência fornecida. Um método usado para medir essa grandeza é o produto da tensão elétrica eficaz aplicada pela corrente elétrica vezes o cosseno do ângulo de fase ψ

$$N_{motor} = \sqrt{3} V I \cos \psi \quad ----- (4)$$

Por esse método medimos a potência elétrica fornecida pelo motor. Como esse equipamento não transfere toda essa potência ao ventilador, há erros de avaliação associados. Trata-se de um método de medição indireta. O método que utilizaremos nesse trabalho consiste em medir diretamente o torque fornecido pelo motor elétrico ao sistema de transmissão que movimenta o ventilador. Considere o esquema ilustrado na Figura (5).

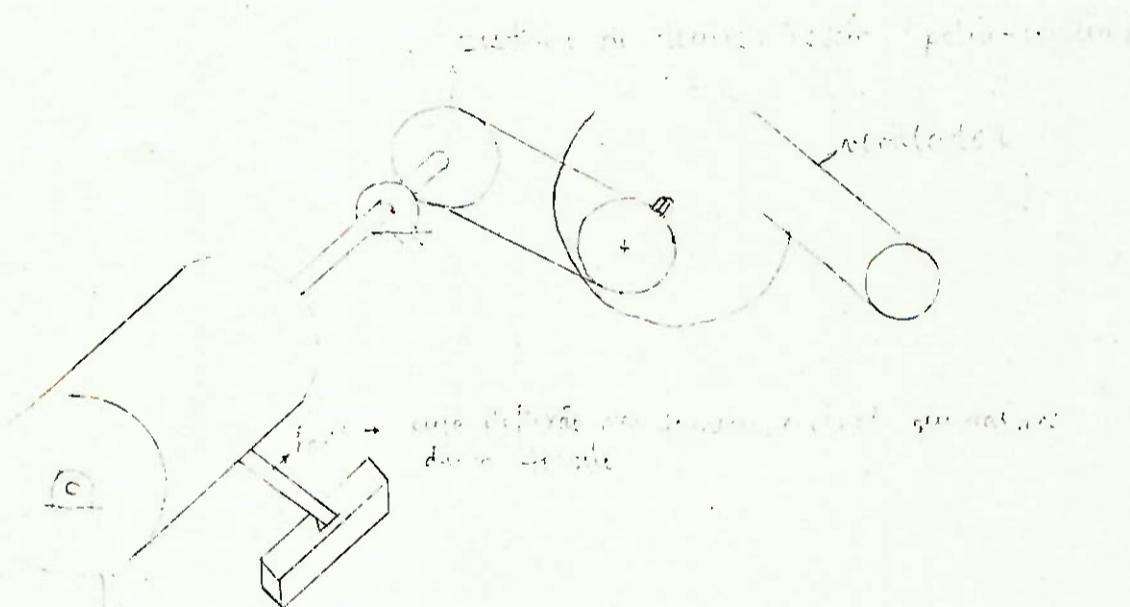


Fig. 5 - Esquema do sistema de medição do torque

Tendo em vista que o eixo está em movimento e queremos um sinal elétrico, é mais fácil medir o torque no suporte do motor (carcaça) que se encontra em repouso. Um outro método para a medição do torque no eixo baseia-se instrumentar o eixo com extensômetros elétricos e com o auxílio de um sistema de escovas, obter-se-ia os sinais elétricos. Tal método implica na necessidade de um porta-escovas e um eixo revestido de materiais especiais.

A literatura consultada não recomenda esse sistema no nosso caso, devido ao baixo nível de sinal elétrico e ao sistema de transmissão. A forma pela qual vai se medir o torque é via reação da carcaça, conforme esquema da figura (5). Para medição de torque se utilizam basicamente de todos os recursos que se prestam para medir forças, neste caso:

- extensômetros elétricos ("strain gages");
- cristais piezoelétricos;
- células de carga - deficiência baixo sinal;
- balança;
- dinamômetro de mola.

Os extensômetros elétricos possuem mais vantagens que os demais sistemas de medição. Eles podem ser usados em conjunto com amplificadores operacionais comuns, o que facilita o uso.

Ficou decidido o uso de extensômetros elétricos fixados adequadamente sobre a haste (figura 5).

Estes relacionam as deformações com a mudança de sua resistência elétrica. Dessa forma pode-se medir as deformações resultantes dos esforços de tração e compressão, que estão relacionados respectivamente com as variações da resistência elétrica dos extensômetros.

Portanto, devemos estabelecer uma configuração tal, que os extensômetros elétricos fiquem em locais onde se sabe qual a relação tensão-deformação versus torque aplicado. Uma maneira simples consiste

em montar o motor de tal forma que sua carcaça possa girar em torno do eixo sendo o seu torque resistido por um apoio simples junto à haste que está solidária com a carcaça (figura 5).

Na configuração apresentada (figuras 5 e 7), esta haste, que na verdade é uma célula de carga, de material tipo aço-mola, está sujeita a flexão.

Da Resistência dos Materiais podemos obter diagramas de esforços e determinar as regiões adequadas para se fixar os extensômetros, vide ítem.

Este tipo de medidor atende às seguintes características:

- ligando os extensômetros elétricos em configuração conveniente, produz-se um sinal, diretamente proporcional ao torque.
- possibilitar a medição de torque em ambos os sentidos de rotação.
- poder efetuar a medição de torque com o ensaio em andamento.
- poder desprezar as perdas internas do motor.

A medição elétrica via extensômetros elétricos

A configuração a ser utilizada será a de ponte de Wheatstone para o extensômetro. Temos que ligando quatro extensômetros na configuração de ponte de Wheatstone temos que:

$$\frac{\Delta V}{V} = - \frac{\Delta R_1}{4R_1} + \frac{\Delta R_2}{4R_2} - \frac{\Delta R_3}{4R_3} + \frac{\Delta R_4}{4R_4}; \quad R_i: \text{resistências --- (5)}$$

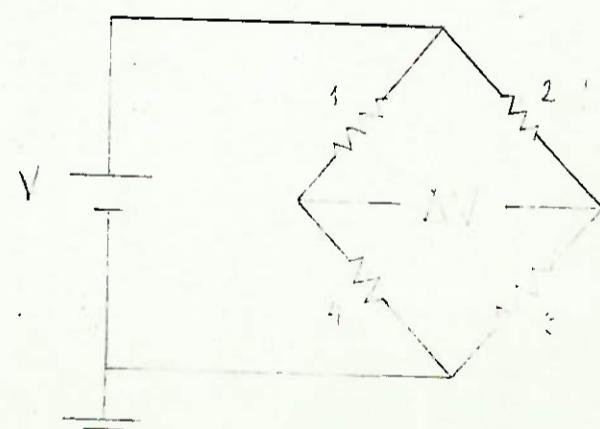


Fig.8 - Ponte de Wheatstone

Analisando a expressão:

$$\frac{\Delta V}{V} = \frac{1}{4} \left(-\frac{\Delta R_1}{R_1} + \frac{\Delta R_2}{R_2} - \frac{\Delta R_3}{R_0} + \frac{\Delta R_4}{R_0} \right)$$

e sabendo que: a variação da resistência elétrica dos extensômetros obedecem à relação (6) $\frac{\Delta R_1}{R_1} = K \xi_1$ ---- (6)

vem: $\Delta V = \frac{K}{4} (-\xi_1 + \xi_2 - \xi_3 + \xi_4) : V = K \cdot \bar{\xi} \cdot V$ ---- (7)

Onde K = constante do extensômetro ou "gage factor".

Analisando a expressão anterior, vemos que:

- variações de mesmo sinal somam-se; variações de sinais opostos subtraem-se para braços opostos;
- variações do mesmo sinal subtraem-se; variações de sinais opostos somam-se para braço adjacentes.

As variações de temperatura que são compensadas como dito e escrito anteriormente só podem ser variação simultânea e idêntica nas temperaturas dos quatro extensômetros, pois não alteram as condições de equilíbrio da ponte de Wheatstone.

3.3. VARIAÇÃO E MEDIÇÃO DE VAZÃO

Para mudarmos a vazão do fluido do dispositivo de ensaio, um entre os seguintes métodos convencionais pode ser utilizado, quais sejam:

- placa de orifício;
- bocal;
- tubo de Pitot;
- rotâmetros;
- velômetros.

Em nosso presente caso, usaremos tubo de Pitot pelas seguintes razões: pelo fato de já termos no Laboratório a sessão de teste, não se poderia optar pelas alternativas:

- 1) placa de orifício, excessiva perda de carga que introduziria no sistema;
- 2) bocal, pelas suas dificuldades construtivas;
- 3) rotâmetros e velômetros também não seriam adequados.

Pelo fato de já se ter tubo de Pitot na Escola ele representa uma solução rápida, simples e com resultados razoáveis dentro do escopo desse trabalho.

Com o tubo de Pitot se levanta o perfil de velocidades da seção transversal do duto do ensaio. Dessa forma, a vazão pode ser calculada.

Deve-se observar atentamente a medição feita pelo tubo de Pitot para que não se tenha erros de posicionamento do mesmo para se estabelecer a velocidade média da seção.

Se houver erro de posicionamento a velocidade que será obtida não será igual à velocidade do plano radial e consequentemente levará-se a um perfil com erros. Esse equipamento permite uma inclina-

ção de até 15° entre a tomada de previsão e a direção principal do escoamento.

Para as condições de ensaio, o regime do escoamento é turbulento e que na tomada de pressão do tubo de Pitot, o perfil de velocidades está plenamente desenvolvido, condição necessária para se efetuar as medidas.

O tubo de Pitot mede a pressão estática e a pressão total, então ao se falar em velocidade, na verdade estabelece-se que como a energia se conserva e aplicando a equação da energia:

$$\frac{1}{2}q_2 + \frac{p_1}{2q} + \frac{v_1^2}{2q} + z_1 = \frac{1}{2}q_2 + \frac{p_2}{2q} + \frac{v_2^2}{2q} + z_2 + \Delta p \quad \text{--- (8)}$$

que simplificando já que não há troca de calor, nem trabalho realizado ou cedido e as cotas são as mesmas (mesmo plano), eq. Bernoulli fica:

$$\frac{p_1}{2q} + \frac{v_1^2}{2q} = \frac{p_2}{2q} + \frac{v_2^2}{2q} + \Delta p$$

Os diversos tipos de pressão (total, dinâmica e estática) podem ser medidos conectando-se as tomadas de pressão do tubo de Pitot corretamente.

Vide figura (9) próxima folha

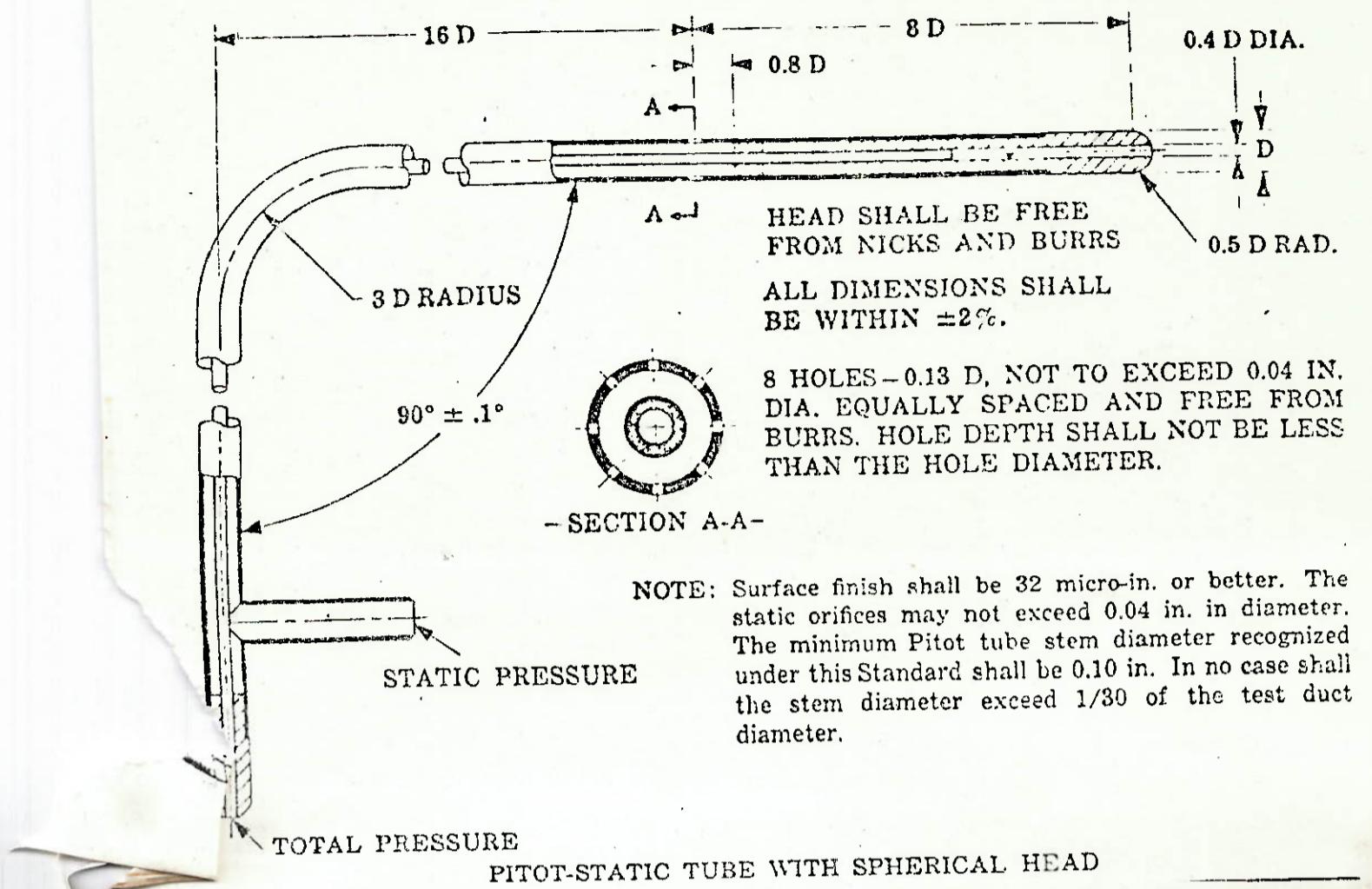


Fig. 9 - Esquema de tubo de Pitot

Variação de Vazão

Para a realização do ensaio e levantamento das curvas do ventilador (curvas características) é necessário que se varie a vazão através do duto de ensaio.

A variação da vazão é feita através de um dispositivo variador de vazão a ser colocado na saída da sessão de ensaio depois do ventilador.

O variador de vazão, utilizado nesse caso, é o de formato cônico correndo sobre colunas guias à medida que se aproxima ou se afasta o cone da saída do duto se diminui ou se aumenta a vazão proporcionalmente, respectivamente.

Observação: para se garantir o estabelecimento do perfil turbulento do escoamento são utilizados normalmente orientadores do fluxo na forma de rede ou tela com determinada profundidade, obviamente seguindo às especificações de norma, neste caso ASHRAE 51-73-AMCA 240-74.

Estes orientadores ou "straighteners" são colocados em posição tal que numa distância de 3,5 vezes o diâmetro interno do tubo de entrada de ar e mais 5 vezes o diâmetro interno o perfil já está estabelecido e pode-se efetuar as medições então (ASHRAE 51-73) via tubo de Pitot.

4. PROJETO DE SESSÃO DE ENSAIO

4.1. EQUIPAMENTOS

No Laboratório de Máquinas Térmicas fizemos um dispositivo de ensaio de um ventilador centrífugo ou radial. Já existia o tal ventilador numa dada configuração e o que fizemos consistiu em efetuar as mudanças necessárias para reaproveitar o dispositivo seguindo as normas de ensaio, referidas na bibliografia [4].

O dispositivo no estado inicial possuía o duto de saída do fluxo gassoso na vertical e mudamos tal configuração para horizontal, operação que foi feita por ligação soldada. Desta forma, pode-se levantar as curvas características do ventilador. Com o duto de saída na horizontal podemos servir-nos de dispositivo cônico acoplado ao fim do duto, correndo por sobre guias. Isto permite que possamos ter desde vazão nula - "shut off" - até vazão total -"free delivery", conforme se define na norma ASHRAE-AMCA [4].

O dispositivo no estado final consta de: ventilador centrífugo acionado por motor elétrico de 1/2 CV monofásico, possuindo transmissão por correia para 3 relações de transmissão com 3 diâmetros diferentes em cada polia.

O ventilador é acoplado a um mancal que por sua vez é acoplado à polia.

A entrada do ventilador é acoplada ao duto de entrada onde são feitas as tomadas de pressão. O conjunto do dispositivo está disposto fisicamente numa mesa de madeira.

O projeto da sessão de ensaio teve como características principais e os equipamentos seguintes:

- o fato de já haver uma instalação no laboratório que podia e foi reaproveitada,
- o projeto de um medidor de torque, com o eixo do motor sendo ampliado e com mancais de rolamentos sendo acoplados às extremidades do eixo de forma a podermos medir a reação da carcaça do motor, figura (10), pela haste instrumentada.
- a verificação através de norma se as dimensões e especificações do ensaio estavam compatíveis com a norma ASHRAE 51-73 - AMCA - 210-74 e verificou-se que o ensaio estava de acordo com as normas à nível de dimensões, especificações e configuração do ensaio de ventiladores para se levantar suas curvas características. Anexa está a norma da ASHRAE-AMCA sobre Métodos de Ensaios com o objetivo de estabelecer as características que o ventilador proporciona.
- realizamos a fixação do motor bi-apoiado sobre dispositivo à base de cantoneiras de forma a medirmos a potência fornecida pelo motor ao fluido. As cantoneiras (de estantes) foram cortadas e foram feitos cortes e chanfros para gerar o ângulo de 90° entre os lados e depois soldou-se a estrutura nesse ângulo.

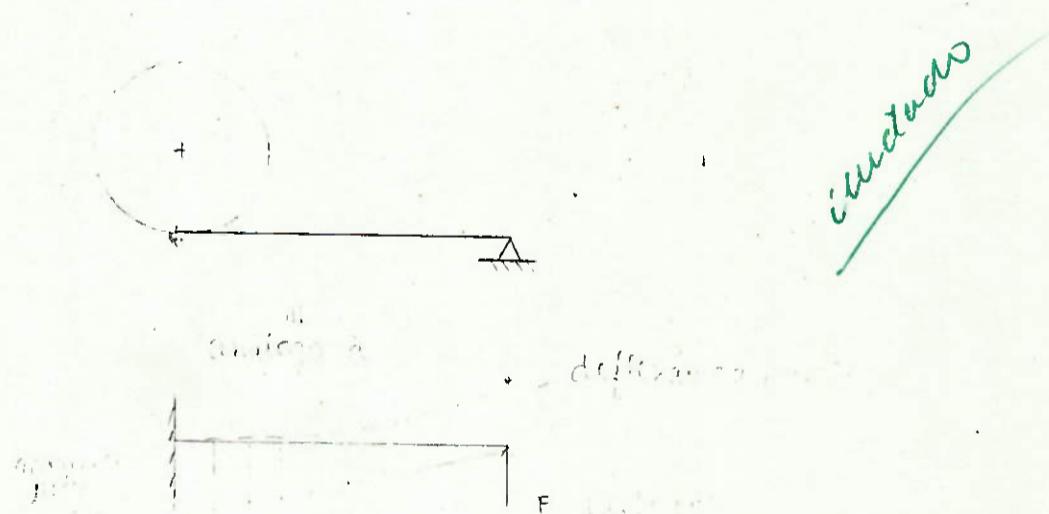


Fig. 10 - Fixação da haste instrumentada no motor
(modelo de barra engastada)

4.2. INSTRUMENTOS

Neste item cabem os cálculos de Resistência dos Materiais e da fórmula de variação da tensão no strain-gage, nosso principal instrumento.

Da resistência dos materiais, temos:

$$\sigma = \frac{M}{I} \cdot \frac{h}{2} \quad \text{--- (10)}$$

para a configuração da barra fixa à carcaça, dizemos engastada:

$$M = T$$

$$\text{fica} \quad \sigma = \frac{T h}{I 2}$$

Temos, também da relação potência é igual ao produto de torque pela velocidade angular:

$$P = \frac{T \cdot n}{7,16 \times 10^5} \quad \text{--- (11)}$$

P - [CV] ~ [HP]

T - [Kgf mm]

n - [rpm]

Da lei de Hooke

$$\sigma = \epsilon E$$

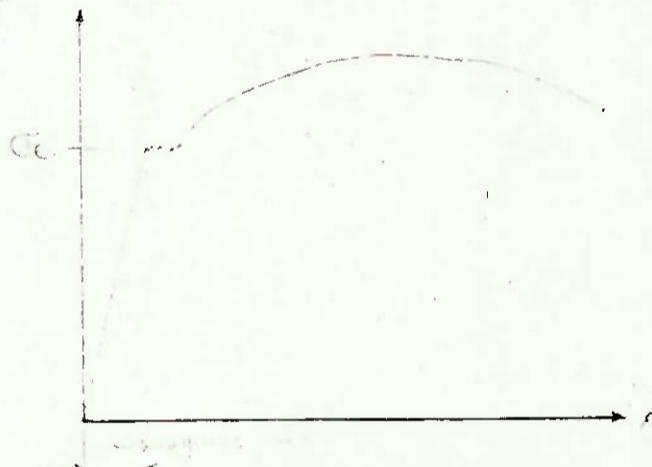


Fig. 11 - Diagrama Tensão x Deformação - Lei de Hooke

Da fórmula de Strain-gage

$$\frac{\Delta V}{V} = K$$

Então teremos:

$$\sigma = \frac{E \Delta V}{K V} \quad (\text{para facilitar o entendimento mudou-se a notação})$$

$$\sigma = \frac{E \Delta V}{K V} \quad \text{--- (13)}$$

como

$$\sigma = \frac{T h}{I 2} \quad (\text{anterior})$$

temos pela igualdade

$$\frac{T h}{I 2} = \frac{E \Delta V}{K V}$$

$$\Delta V = \frac{T \cdot h \cdot K \cdot V}{I \cdot 2 \cdot E} \quad \text{--- (14)}$$

e substituindo $T = \frac{7,16 \times 10^5 P}{n}$

$$\Delta V = \frac{7,16 \times 10^5 P K V h}{n I 2 E} \quad \text{e} \quad I = \frac{bh^3}{12}$$

$$\Delta V = \frac{7,16 \times 10^5 P K V h}{n \frac{bh^3}{12} E}$$

$$\Delta V = \frac{4,3 \times 10^6 P K V}{n b h^2 E}$$

Com os valores:

$$K = 2.06$$

$$V = 5V \quad b = 15 \text{ mm}$$

$$h = 2 \text{ mm}$$

$$\Delta V \approx 0,005 \text{ V}$$

$$E = 21.000 \text{ Kgf/mm}^2 \text{ (POPOV)}$$

$$= 5 \text{ mV}$$

$$P = 1/3 \text{ CV} \approx 1/2 \text{ HP}$$

$$n = 3450 \text{ rpm}$$

$$\bar{\epsilon} = \frac{0,005}{5 \cdot 2,06} = 0,0005, \text{ onde } \bar{\epsilon} = \frac{\sum |\epsilon_i|}{4}$$

deformação total média

$$\sigma = 0,0005 \times 21.000$$

$$\sigma = 10,19 \text{ Kgf/mm}^2$$

$$\sigma_e = 40 \text{ Kgf/mm}^2$$

$\sigma < \sigma_e$, portanto no caso em que trabalhamos com o torque máximo σ encontrado é menor que que $\sigma_{\text{elasticidade}}$, portanto dentro das condições restritivas impostas.

Ao usarmos strain gage vamos usar um amplificador operacional para emitir e amplificar o sinal a ser medido em multímetro.

Para medirmos as pressões podemos usar tubos de Pitot ou manômetros diferenciais de preferência inclinados para se ter maior precisão de leitura.

COM manômetros diferenciais se mede pressão estática e total e deve-se respeitar as condições de norma de posicionamento para tomada de pressão.

Existe no laboratório manômetro diferencial sendo esta a alternativa mais plausível.

Precisa-se medir a velocidade de rotação do eixo do ventilador, pois as curvas são para uma dada rotação m.

4.3. SESSÃO DE ENSAIO

O ensaio consiste em se levantar as curvas características

$$\left(\begin{array}{l} P \times Q, \quad P_{t} \times Q, \quad \eta \times Q \\ \downarrow \\ \text{pot\^encia fornecida} \end{array} \right) \left(\begin{array}{l} \text{press\~ao total} \\ \text{man\^ometro diferencial} \end{array} \right) \rightarrow \text{(rendimento)}$$

em função da vazão de um ventilador radial ou centrífugo.

Liga-se o motor.

Efetua-se a leitura da rotação n (rpm) para a relação de transmissão das polias.

Lê-se a pressão total e estática do fluido escoando no duto.

Pelo sistema de medição elétrico temos a potência fornecida pelo motor.

Tendo as pressões, calculo velocidade média da seção e portanto a vazão.

Tendo a vazão e a pressão total calculo a potência do ventilador.

Dividindo-se a potência do ventilador pela potência do motor x o rendimento transmissão por correia tenho a eficiência ou o rendimento do ventilador:

$$\eta = \frac{Q \cdot P_t}{\eta_c P_{medido}}$$

η_c = rendimento de transmissão
por correia

Deve-se então traçar os gráficos das curvas características, citadas anteriormente para dada rotação.

5. CONCLUSÃO

Como foi observado através deste trabalho pude verificar a importânc*ia* de segmentos da Á*rea* de Engenharia Mecânica como: - Ensaios de Ventiladores, objetivo principal do trabalho; - processos de fabricação e usinagem dos dispositivos necessários ao ensaio, com a utilização das oficinas com auxílio e orientação do professor Simões e o auxílio dos técnicos das Oficinas, sem o auxílio destes nada teria sido possível; - Instrumentação para os dispositivos de medição de torque, pressões e vazão.

6- BIBLIOGRAFIA

- [1] - "FAN ENGINEERING"
Buffalo Forge Company
- [2] - COOK, NATAN H.
RABINOWICZ, ERNEST
"Physical Measurment and Analysis"
Addison-Wesley Publishing Company
- [3] - "STRAIN GAGE INSTRUCTION MANUAL"
KYOWA ELECTRONIC INSTRUMENTS CO., LTD.
- [4] - ASHRAE
STANDARD-51-73
AMCA
STANDARD 210-74
"Laboratory Methods of Testing Fans for Rating"
- [5] - Catálogos de Rolamentos MERINCO S.A.
Mancais Rolmax
- [6] - Popov, Egor P.
"Introdução à Mecânica dos Sólidos"
- [7] - Cherkasski, V.M.
Bombas, Ventiladores, Compressores
Editorial MIR - Moscou
- [8] - Silva, Remy Benedicto
Compressores, Bombas de Vácuo e Ar Comprimido
Grêmio Politécnico
- [9] - Doebelin, Ernest O.
Measurement Systems
Aplication and Design
International Student Edition

*Melhor
Bibliografia*

Métodos de Laboratório para testar ventiladores para objetivos de taxas: ranting.

1. Objetivo: det. em laboratório de performance em termos de: vazão de taxa, pressão, potência, densidade do ar, velocidade de rotação, rendimento para estabelecimento de taxas de variação (prov. através de gráficos) ou garantia.

Não é objetivo aqui nesse standard especificar os procedimentos dos testes para serem usados para projetos, produção ou testes de campo.

2. Âmbito - campo de atuação

Este standard pode ser usado como base para testar ventiladores, sopradores, exaustores, compressores, ou outro dispositivo de movimentação de ar, quando o ar é usado como o gás do teste.

Ventiladores de circulação tais como ventiladores de teto e ventiladores de mesa não estão no âmbito deste teste (ou melhor normalização). Compressores com estágio de refrigeração não estão no âmbito desse standard. Máquinas de deslocamento positivo não estão no âmbito desse standard.

Os interesses para um teste com objetivos de garantia (observação, verificação) podem concordar em exceções com este standard escrevendo prioritariamente seguindo o teste. Contudo, somente testes que não violarem qualquer pré-requisito mandatório deste standard poderão ser designados como testes conduzido de acordo com este standard.

3. Unidades de Medida

- 3.1. Sistema de unidades: unidades costumeiras americanas são usadas nesse standard. Valores serão baseados no Bureau Nacional de Standards, valores que por sua vez são baseados nos valores fundamentais do Bureau Internacional de Pesos e Medidas. O Sistema Internacional de Unidades (Le Système International d'Unités) não

foi empregado no teste, mas apêndice A prove fatores de conversão e coeficiente para SI e outras unidades métricas.

3.2. Unidades Básicas: A unidade de comprimento será pé (ft) ou polegada (in). A unidade de massa é a libra massa (lbf). A unidade de tempo é minuto (min) ou segundo (s). A unidade de temperatura é grau Fahrenheit (F) ou grau Rankine ($^{\circ}$ R). A unidade de força é a libra (lb).

3.3. Taxa de Vazão e Velocidade

A unidade da taxa de vazão é o pé cúbico por minuto (cfm). A unidade de velocidade é pé por minuto (fpm).

3.5. Potência, Energia e Torque: a unidade de potência é o cavalo a vapor (hp) ou o watt (W). Neste standard, o último é somente usado para medidas de potência elétrica.. A unidade de energia é o pé-libra (ftlb). A unidade de torque é a libra polegada (lbin).

3.6. Rendimento: rendimentos são expressos numa base por unidade. Valores percentuais podem ser obtidos multiplicando por 100.

3.7. Rotação: a unidade de velocidade de rotação é revoluções por minuto (rpm).

3.8. Propriedades do gás: A unidade de densidade é a libra massa por pé cúbico (lbm/ft^3). A unidade de viscosidade é a libra massa por pé-segundo ($\text{lbm}/\text{pé s}$). A unidade da constante do gás é o pé libra por libra massa grau Rankini ($\text{ftlb}/\text{lbm R}$).

3.9. Grupos Adimensionais: vários adimensionais aparecem no texto. Qualquer sistema consistente de unidade pode ser empregado para avaliar estas quantidades a menos de um fator numérico seja incluído, nesse caso unidades devem ser especificadas.

3.10. Constantes Físicas: O valor de aceleração da gravidade padrão será considerado 32,1740 ft/s² ao nível do mar numa latitude 45°. A densidade da água destilada na pressão de saturação deve ser 62,3205 lbm/ft³ a 68F. A densidade do mercúrio na pressão de saturação será tomada 848,714 lbm/ft³ a 32F. Os pesos específicos (lb/ft³) destes fluidos no vácuo sob gravidade padrão são numericamente iguais a suas densidades nas temperaturas correspondentes.

4. Símbolos e Subscrições

5. Definições

5.1. Ventiladores: um ventilador é um dispositivo para mover ar que utiliza um rotor acionado por potência. Um ventilador deve ter pelo menos uma abertura de entrada e uma abertura de saída. As aberturas podem ou não ter elementos para correção para trabalho com dutos. Um ventilador poder ter aparelhos os quais afetam a performance. É necessário estabelecer-se quais aparelhos devem ser considerados parte do ventilador para objetivo de testes.

5.1.2. Área de saída do ventilador é a área interior bruta medida nos planos de abertura de saída. Para ventiladores de teto, a área deve ser considerada a área de saída bruta do rotor para tipos centrífugos ou a área bruta do rotor para tipos axiais.

5.1.3. Área de entrada do ventilador: é a área interna bruta medida nos planos de conexões. Para entradas convergentes sem elementos de conexão, a área de entrada deve ser onde um plano, perpendicular a corrente de ar, primeiro encontrar a boca do sino ou cone.

5.2. Psicrometria

5.2.1. Temperatura de Bulbo-seco: é a temperatura do ar medida por um sensor de temperatura seca (termômetro de bulbo seco).

5.2.2. Temperatura de Bulbo-úmido: é a temperatura medida por um sensor de temperatura coberto com chumaço umidificador com água e exposto ao ar, em movimento. Quando aproximadamente medido, é uma boa aproximação da temperatura de saturação adiabática.

5.2.3. Depressão de bulbo úmido: é a diferença entre as temperaturas de bulbo seco e bulbo úmido no mesmo local.

5.2.4. Temperatura Total: é a temperatura que existe em virtude das energias interna e cinética do ar. Se o ar está em repouso, a temperatura total irá igualar a temperatura estática.

5.2.5. Temperatura Estática: é a temperatura que existe em virtude somente da energia interna do ar. Se uma porção da energia interna for convertida em energia cinética, a temperatura estática decrescerá correspondentemente.

5.2.6. Densidade do ar: é a massa por unidade de volume de ar.

5.2.7. Ar standard: Ar padrão é ar com densidade de 0,075 lbm/ft³, uma razão de calores específicos de * 1400 (vc ou cp), uma viscosidade de $1,222 \times 10^{-5}$ lbm/fts e uma pressão absoluta de 408,0 in wg. Ar a 68F, 50% de umidade relativa e 29,92 in Hg tem essas propriedades aproximadamente.

5.3. Pressão e Carga

5.3.1. Pressão: é força por unidade de área. Isto corresponde a energia por unidade de volume de fluido.

5.3.2. Pressão absoluta: é o valor quando a pressão de referência é o zero absoluto. É sempre positiva.

5.3.3. Pressão barométrica: é a pressão absoluta exercida pela atmosfera.

5.3.4. Pressão padrão: é o valor de uma pressão quando a pressão de referência é a pressão barométrica no ponto de medida. Pode ser negativa ou positiva.

5.3.5. Pressão velocidade: é aquela porção da pressão do ar que existe em virtude da taxa de movimento somente. É sempre positiva.

5.3.6. Pressão Estática: é aquela porção da pressão do ar que existe em virtude do grau de compressão somente. Poder ser negativa ou positiva.

5.3.7. Pressão Total: é a pressão do ar que existe em virtude do grau (taxa) de compressão e/ou a taxa de movimento. É a soma algébrica da pressão velocidade e da pressão estática num ponto. Então, se o ar está em repouso, a pressão total vai igualar a pressão estática.

5.3.8. Perda de Pressão: é a mudança na pressão total devido à atrito e turbulência.

5.3.9. Carga manométrica: é a energia útil por unidade de massa de fluido adicionada pelo ventilador. Cargas correspondentes às pressões: total, velocidade e estática podem ser usadas, mas não são empregadas neste standard.

5.4. Variáveis de Performance do Ventilador:

5.4.1. Densidade do ar do ventilador é a densidade do ar correspondente à pressão total e temperatura total na entrada do ventilador.

5.4.2. Taxa de Vazão do Ventilador: é a taxa de vazão volumétrica na densidade do ar do ventilador.

5.4.3. Pressão Total do ventilador: é a diferença entre a pressão total na saída do ventilador e a pressão total na entrada do ventilador.

5.4.4. Pressão velocidade do ventilador: é a pressão correspondente à velocidade média na saída do ventilador.

5.4.5. Pressão estática do ventilador: é a diferença entre a pressão total do ventilador e a pressão velocidade do ventilador. Portanto, pressão estática do ventilador é a diferença entre a pressão estática na saída do ventilador e a pressão total na entrada do ventilador.

5.4.6. Rotação do ventilador: é a velocidade de rotação do rotor. Se o ventilador tiver mais do que um rotor, rotações do ventilador serão as velocidades de rotação de cada rotor.

5.4.7. Coeficiente de Compressibilidade: é um fator termodinâmico que deve ser aplicado para determinar o rendimento total do ventilador a partir da taxa de vazão, pressão total e potência de entrada do ventilador. Este coeficiente é deduzido no apêndice B. Pode ser considerado a (taxa) razão da taxa de vazão no meio pelo ventilador pela taxa de vazão na densidade do ar do ventilador. É também a razão entre pressão total do ventilador que seria desenvolvida como um fluido incompressível e a pressão total do ventilador que é desenvolvida com um fluido compressível.

5.4.8. Potência de saída do ventilador: é a potência útil transmitida (entregue) ao ar. Isto é proporcional ao produto da taxa de vazão do ventilador e pressão total do ventilador e coeficiente de compressibilidade.

5.4.9. Potência de entrada do ventilador: é a potência requerida para acionar o ventilador e quaisquer elementos no trem de açãoamento que são considerados partes do ventilador.

5.4.10. Rendimento total do ventilador: é a razão entre potência de saída e potência de entrada do ventilador.

5.4.11. Rendimento Estático do ventilador: é o rendimento total do ventilador multiplicado pela razão entre pressão estática e pressão total do ventilador.

5.4.12. Carga Manométrica total do ventilador: é proporcional à pressão total do ventilador vezes o fator (coeficiente) de compressibilidade dividida pela densidade do ar do ventilador.

5.4.13. Carga Velocidade (Dinâmica) do ventilador: é proporcional à pressão velocidade do ventilador dividida pela densidade do ar do ventilador.

5.4.14. Carga Estática do ventilador: é a diferença entre a carga manométrica total do ventilador e carga manométrica velocidade (dinâmica) do ventilador.

5.5. Miscelânea:

5.5.1. Ponto de Operação: é a posição relativa na curva característica do ventilador correspondente a uma taxa de vazão particular. É controlado durante um teste através da ajustagem da posição de um dispositivo variador da vazão, através da mudança de bocais de vazão ou características do (s) ventilador (es) auxiliar (es), ou por qualquer combinação destes.

5.5.2. Passagem livre (Free Delivery): é o ponto de operação onde a pressão estática do ventilador é zero.

5.5.3. Passagem fechada (Shut off): é o ponto de operação onde a taxa de vazão do ventilador é zero.

5.5.4. Determinação: Uma determinação é um conjunto completo de medidas para um particular ponto de operação de um ventilador. As medidas devem ser suficientes para determinar todas as variáveis de performance do ventilador definidas no item 5.4.

5.5.5. Teste: é uma série de determinação para vários pontos de operação de um ventilador.

5.5.6. Fator de Energia: é a razão entre a energia cinética total do fluxo e a energia cinética correspondente para a velocidade média.

6. Instrumentos e Métodos de Medida

6.1. Precisão: as especificações para instrumentos e métodos de medida que se seguem incluem requisitos de precisão. Os requisitos especificados correspondem a dois desvios-padrões e são baseados numa distribuição normal considerada dos erros envolvidos. Os procedimentos de calibração que são especificados devem ser empregados para minimizar erros sistemáticos. Erros randômicos (aleatórios) podem ser estabelecidos somente a partir de amostra estatística adequada. Assume-se que os dados de calibração sejam acumulados nos vários instrumentos ao invés de sua seleção para uso num teste particular. Os erros de instrumentos devem ser tais que dois desvios padrões dos dados acumulados em relação à média não excedam os valores especificados.

6.2. Pressão: a pressão total num ponto deve ser medida num indicador, tal como um manômetro, com um terminal aberto para a atmosfera e o outro terminal conectado com um sensor de pressão total, tal como um tubo de pressão total ou a entrada (orifício) estática de tubo de Pitot estático. A pressão velocidade (dinâmica) num ponto pode ser medida em um indicador, tal como um manômetro, com um terminal conectado para um sensor de pressão total, tal como a entrada de impacto de tubo de Pitot estático, e outro terminal conectado para o sensor de pressão estática, tal como a entrada estática do mesmo tubo de pitot estático. A pressão diferencial entre esses pontos deve ser medida em um indicador, tal como um manômetro, com um terminal conectado ao sensor a montante, tal como uma entrada de pressão-estática e a outra abertura conectada ao sensor a jusante, tal como uma entrada de pressão estática.

6.2.1. Manômetros e outros Instrumentos indicadores de Pressão: pressão deve ser medida em manômetros do tipo coluna líquida usando tubos inclinados ou verticais ou outros instrumentos que provêm um erro máximo de 1% da máxima leitura observada ou 0,005 in wg qualquer que o maior.

6.2.1.1. Calibração: cada instrumento indicador de pressão deve ser calibrado em ambos os fins de escala e ao menos nove pontos intermediários igualmente espaçados de acordo com o seguinte:

- (1) Quando a pressão a ser indicada cair na faixa de 0 a 10 in wg (), calibração deve ser em relação a um indicador de gancho imerso em água do tipo micrometro ou um micromanômetro de precisão.
- (2) Quando a pressão a ser indicada for maior do que 10 in wg (), calibração deve ser em relação a um indicador de gancho (), imerso em água do tipo micrômetro, um micromanômetro de precisão

ou um tubo em U (formato) contendo água.

6.2.1.2. Média: desde que as vazões e as pressões produzidas por um ventilador nunca são estritamente permanentes, a pressão indicada em qualquer instrumento irá flutuar com o tempo. Para se obter uma

leitura verdadeira, os instrumentos devem ser amortecidos ou deve-se fazer uma média das leituras de uma maneira conveniente. A média pode algumas vezes ser obtida mentalmente, em particular quando as flutuações forem pequenas e regulares. Vários pontos ou gravação contínua para se obter a média podem ser obtidos com instrumentos e analizadores projetados para este objetivo.

6.2.1.3. Correções: Leituras de manômetros podem ser corrigidas para qualquer diferença no peso específico do fluido do indicador em relação ao padrão, qualquer diferença no efeito de equilíbrio da coluna de gás em relação ao padrão, ou qualquer mudança no comprimento da escala graduada devido a temperatura. Contudo, correções podem ser omitidas para temperaturas entre 58 (and) e 78 graus, latitudes entre 30° e 60° e elevações até 5.000 pés.

6.2.2. Tubos de Pitot - estáticos: A pressão total ou a pressão estática em um ponto pode ser medida com um tubo de Pitot - estático com as proporções mostradas na figura 1. Um ou ambos os sinais de pressão podem ser transmitidas para um manômetro ou outro indicador. Se ambos os sinais de pressão são transmitidos ao mesmo indicador, a diferença deve ser considerada a pressão velocidade ou dinâmica na (ponto) abertura no ponto de impacto.

6.2.2.1. Calibração: Tubos-estáticos de Pitot tendo proporções mostradas na figura 1 são considerados instrumentos primários e não precisam ser calibrados desde que sejam mantidos na condição especificada.

6.2.2.2. Tamanho: O tubo estático de Pitot deve ter tamanho suficiente e resistência para suportar a forças devido a pressão exercidas sobre ele. O diâmetro externo do tubo não deve exceder 1/30 do diâmetro do duto exceto quando o comprimento da haste suporte excede 24 x o diametro do tubo.

A haste pode ser progressivamente aumentada ao longo desta distância. O diametro mínimo do tubo encontrado é 0,10 in.

6.2.2.3. Suporte: suporte rígido deve ser providenciado para manter eixo do tubo de Pitot estático paralelo ao eixo do duto com variação de 1° e nas posições mostradas na figura 3 com 0,05 in 0,25% do diametro do duto de variação, o qual for maior. "Straighteness" - alisadores do fluxo são especificados para que as linhas de fluxo sejam aproximadamente paralelas ao eixo do duto.

6.2.3. Tubo de Pressão Estática: a pressão estática num ponto pode ser medida com um tubo de pressão U das proporções mostradas na figura 2. O sinal de pressão pode então ser transmitidas para um indicador.

6.2.3.1. Calibração: tubos de pressão tendo as proporções mostradas na figura 2 são considerados instrumentos primários e não precisam ser calibrados contanto que sejam mantidos nas condições especificadas. Todas as precauções devem ser tomadas para assegurar que a velocidade do ar não afete a medida da pressão.

6.2.3.2. Média: um tubo de pressão individual é sensível só à pressão na vizinhança imediata do buraco. Para se obter uma média, ao menos tubos idênticos devem ser postos de forma múltipla em um anel piezometrico. Cada anel deve ter uma área interna ao menos quatro vezes cada tubo de Pitot área.

6.2.3.3. Anéis Piezométricos: são especificados para tubos de bocais a montante e a jazante e para medidas em câmaras e saída do duto a menos que o Pitot transversal seja especificado. Planos de medidas deve ser localizados como mostrados na figura para disposição apropriada.

6.2.4. Tubos de pressão total: a pressão total numa câmara de entrada pode ser medida como um tubo estacionário de proporções mostradas na figura 2. O sinal de pressão pode ser transmitido para um indicador. O tubo (pode) deve ficar na direção do fluxo de ar e a saída aberta deve ser suave e livre de rebarbas.

6.2.4.1. Calibração: tubos de pressão total com a descrição acima são considerados instrumentos primários e não precisam ser calibrados se mantidos nas condições especificadas.

6.2.4.2. Média: O tubo de pressão total é sensível somente à pressão na vizinhança imediata do fim aberto. Contudo, desde que a velocidade numa câmara de entrada pode ser considerada uniforme devido aos meios de disposição que forem empregados, uma única medida será representativa da pressão média da câmara.

6.2.4.3. Posição: Tubos de pressão total são especificados para camadas de entrada (ou na entrada). Posição deve ser como mostrada na figura para disposição apropriada.

6.2.5. Outros sistemas de medida de pressão: sistemas de medidas de pressão consistindo de indicadores e sensores que não sejam manômetros e tubos de Pitot estáticos, todos de pressão estática, ou tubos de pressão total podem ser usados se o erro combinado

do sistema incluindo transdutores o erro combinado para uma combinação apropriada de manômetros e tubos estáticos de Pitot tubos de pressão estática, ou tubos de pressão total. Para sistemas usados para determinar pressão do ventilador a contribuição do erro combinado na medição de pressão não deve exceder aquela correspondente a 1% da leitura da máxima pressão estática observada ou pressão total durante o teste (tolerância indicada), mais 1% da leitura real (tolerância média). Para sistemas usados para determinar taxa de fluxo do ventilador o erro combinado não deve exceder o correspondente a 1% da leitura da máxima pressão velocidade observada ou da leitura da pressão diferencial durante um teste (tolerância indicada) mais 1% da leitura real (tolerância média).

6.3. Taxa de Vazão: taxa de vazão deve ser calculada ou de medidas da pressão velocidade obtidas por um Pitot transversal ou de medidas do diferencial de pressão através de um bocal de vazão.

6.3.1. Passagem do Pilot: taxa de vazão pode ser calculada através pressões velocidade obtidas pela passagem de um duto com um tubo de Pitot estático para qualquer ponto de operação desde passagem livre até nenhuma passagem (de ar) desde que a velocidade média correspondente à taxa de vazão na passagem livre de ar na rotação do teste seja ao menos 2400 fpm.

6.3.1.1. Estações: O número e posições das estações de medida em cada diâmetro e o número de diâmetros deve ser como especificado na figura 3.

6.3.1.2. Média: As estações mostradas na figura 3 são localizadas em cada diâmetro de acordo com regra linear log [12]. A média aritmética das medidas individuais de velocidade feitas nestas estações será a velocidade média através da seção de medidas para uma larga variedade de perfis [13].

6.3.2. Bocais: Taxa de vazão pode ser calculada pelo diferencial de pressão medido através de um bocal de vazão ou banco de bocais para qualquer ponto de operação desde passagem livre até nenhuma passagem (de ar) desde que a velocidade média na descarga do bocal correspondente à taxa de vazão na passagem livre na rotação do teste seja ao menos 2800 fpm [11].

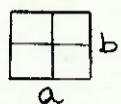
6.3.2.1. Tamanho: O bocal ou bocais deve ser conforme a figura 4. Bocais podem ser de qualquer tamanho conveniente. Contudo, quando um duto é conectado à entrada de um bocal, a taxa entre diâmetro de garganta de bocal e o diâmetro de entrada do duto não deve exceder 0,525.

6.3.2.2. Calibração: O bocal padrão é considerado um instrumento primário e não precisam ser calibrados se mantidos nas condições especificadas. Coeficientes (confiáveis) foram estabelecidos para dimensões de garganta $L = 0,5D$ e $L = 0,6D$ mostrados na figura 4 [14]. Dimensão de garganta $L = 0,6D$ é recomendado para construções novas.

7. Equipamentos e Montagens:

- 7.1. Dutos: Um duto pode ser incorporado a um dispositivo laboratorial para prover uma estação de medição ou para simular as condições que o ventilador deve encontrar em serviço ou ambos.

A dimensão D na montagem do teste é o diâmetro interno de uma seção-transversal circular do duto ou o equivalente diâmetro de uma seção transversal retangular de um duto com dimensões transversais internas a e b onde $D = \sqrt{4ab/\pi}$.



- 7.1.1. Dutos medidores de vazão: Dutos com estação de medição para determinação da vazão devem ser lisos e ter seção transversal circular uniforme. Pitots transversais devem ser pelo menos 10 diâmetros distante do plano transversal, localizado entre 10 ϕ 8,5 e 8,75 diâmetros do fim do duto. Tais dutos podem ser upstream end vir como duto de entrada ou de saída também para providenciar uma estação de medida. Dutos conectados depois de um bocal de (fluxo) vazão devem ser entre 6,5 e 6,75 diâmetros de compr. quando usados somente para prover uma estação de medida ou entre 9,5 e 9,75 diâmetros de compr.

de largura
quando usados como um duto de saída também.

- 7.1.2. Dutos Medição de Pressão: Dutos com estações para medição de pressão devem ser lisos e podem ter seção transversal circular uniforme ou retangular. Dutos de saída com anéis piezométricos devem estar pelo menos 10 diâmetros distante do plano piezométrico localizado entre 8,5 e 8,75 diâmetros do fim do tubo.

- 7.1.3. Dutos curtos:não usados

- 7.1.4. Pedaços de Transformação: Não usados

7.1.5. Área do Duto: Dutos de saída usados para prover estações de medida não devem ser 5,0% maior ou menor do que a área de saída do ventilador. Dutos de entrada não devem ser mais do que 12,5% maior nem 7,5% menor do que área de saída do ventilador.

7.1.6. Circunferência: A porção de um Pitot transversal com meio duto de diâmetro de ambos os lados do plano de medida devem ser redondos com 0,5% do diâmetro do duto. O restante do duto deve ser redondo com 1% do diâmetro duto. A área do plano de medida deve ser determinado da média de quatro diâmetros medidos a incrementos de 45° .

7.1.7. Suavizadores

Alisadores do fluxo

straighteners devem ser usados em todos os dutos que provêm estações de medidas.

Os straighteners devem ficar 5 e 5,25 diâmetros dutos antes.

figura 6. diâmetro $D \rightarrow$ diâmetro interno de seção circular
e $D = \sqrt{4 ab/\pi}$

a largura de cada ramo do straightener deve ser $0,005 D$.
(não deve exceder esta medida)

7.1.8., 2.0, 2.1, 2.2 não usados.

7.2.3. Meios de Determinação de Vazão: para câmaras.

7.2.4. Bocaíns múltiplos.

7.3. Demanda Variável e Sistemas de Exaustão.

Meios de variar o ponto de operação devem ser providenciados no dispositivo do laboratório.

7.3.1. Variadores da passagem de ar (vazão) Throtteing Devices:

Podem ser usados para controlar o ponto de operação do ventilador. Tais dispositivos devem ser colocados no fim do duto ou câmara e devem ser simétricos em relação ao eixo do duto ou câmara.

7.3.2. Ventiladores auxiliares:

podem ser usados para ajudar a controlar a (vazão) o ponto de operação do ventilador de teste. Eles devem ser projetados para produzir pressão suficiente na vazão desejada para superar perdas ocorridas na montagem do teste.

Ajustadores de fluxo como amortecedores, pitch control, ou velocidade controlada pode ser necessário vent. aux. não podem pulsar durante o teste.

7.4. Montagens:

7.4.1. Vazamentos:

os dutos, câmaras e outros equipamentos devem ser projetados para suportar pressão e outras forças a serem encontradas.

Todas as junções devem ser justas o suficiente para não afetar as medidas mais do que 0,5% do erro permitido pelo instrumento.

7.4.2. Simulação:

a montagem do teste deve ser capaz de duplicar ou simular a cond. entrada e a cond. saída do ventilador para as quais o ventilador está sendo testado. A razão para isto é que o rendimento performance de um ventilador pode ser influenciado pelas condições de entrada e saída.

A simulação das cond. de entrada e saída resultantes de qualquer coisa que não seja dutos lisos ou sem dutos conectados ao ventilador está fora do interesse deste teste e teste Standard . Contudo, qualquer dispositivo ou aparato que é considerado parte do ventilador deve estar no lugar durante o teste.

Se o aparato é montado na entrada ou saída do ventilador, a entrada ou saída do aparato deve ser considerada com entrada ou saída do ventilador.

7.4.3. Guia de Seleção: o seguinte pode ser usado como um guia para a seleção de uma montagem apropriada.

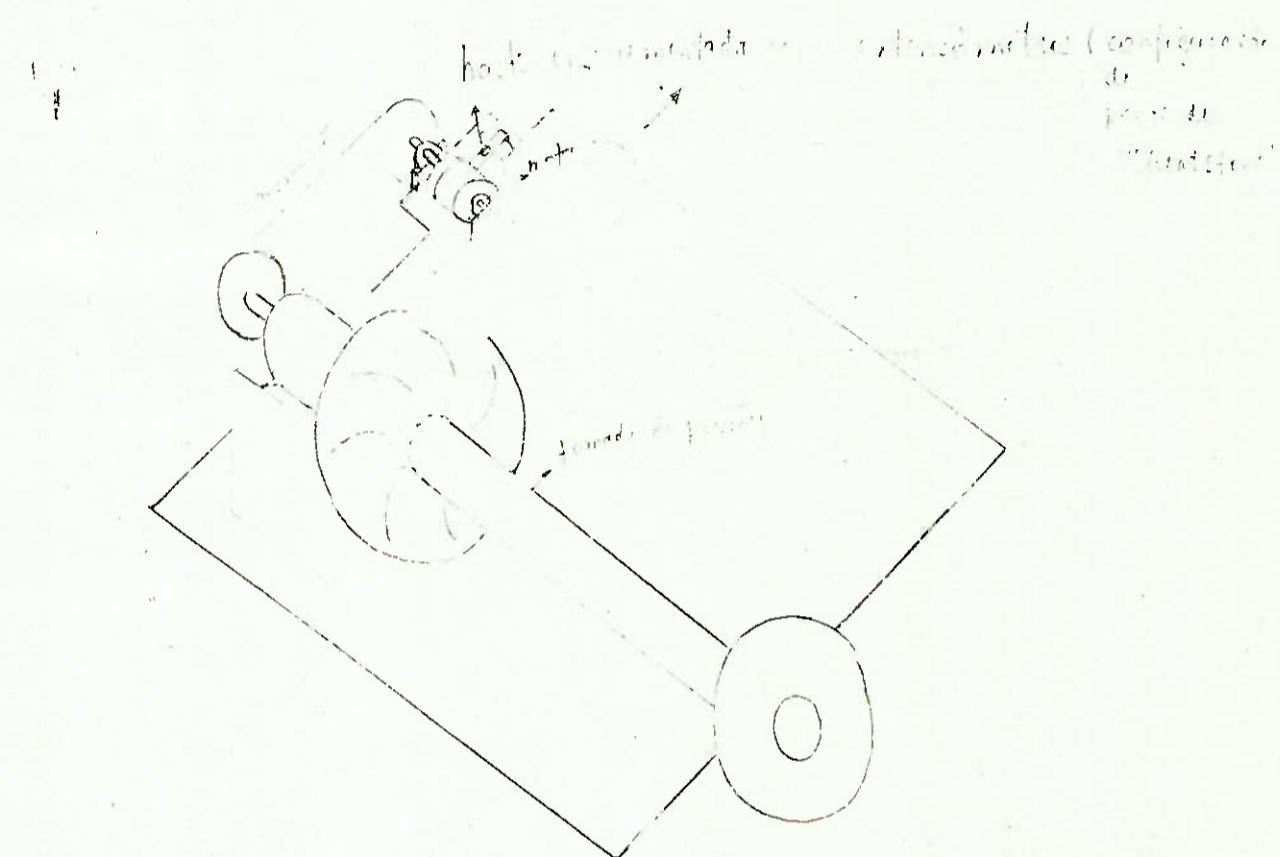


FIGURA 7

Esquema da configuração do ensaio.

8. Observações e Condução do Teste
observâncias.

8.1 Requerimentos Gerais dos Testes:

8.1.1. Determinações (nº de pontos)

O número de determinações necessárias para estabelecer (a performance) ou melhor o rendimento do ventilador no escopo entre shut off -até- free delivery sem vazão vazão máxima vai depender das formas das várias curvas características. Planos devem ser feitos para variar a abertura de um dispositivo variador da vazão de um jeito que os pontos (determinações) do teste sejam bem espaçados.

Para suaves características, ao menos oito determinações devem ser feitas. Determinações ou pontos adicionais podem ser necessárias para definir curvas que não sejam suaves.

Quando rendimento de um ponto de operação somente , é requerido, pelo menos três determinações devem ser feitas para definir uma pequena curva que inclui este ponto.

8.1.2. Equilíbrio: condições de equilíbrio devem ser estabelecidas antes de cada determinação (tomada de um ponto). Para testar o equilíbrio, observações devem ser tentadas até que leitura firmes ou melhor consistentes sejam feitas. Faixas de emissão de ar sobre as quais equilíbrio não pode ser estabelecido devem ser gravadas ou anotadas.

8.1.3. Estabilidade: qualquer(qualsquer) ponto (s) de performance (rendimento) bi-estável (taxas de vazão para as quais duas pressões diferentes podem ser medidas) deve(m) ser relatado(s). Quando for resultado de histerese o(s) ponto(s) deve(m) ser identificado(s) como diminuindo a vazão ou aumentando a vazão.

8.2. Dados a serem anotados.

8.2.1. Unidade do teste.