

SAA0167

Princípios de Aviônica e Navegação

Instrumentos de Voo Anemométricos

Prof. Dr. Jorge Henrique Bidinotto

jhbidi@sc.usp.br

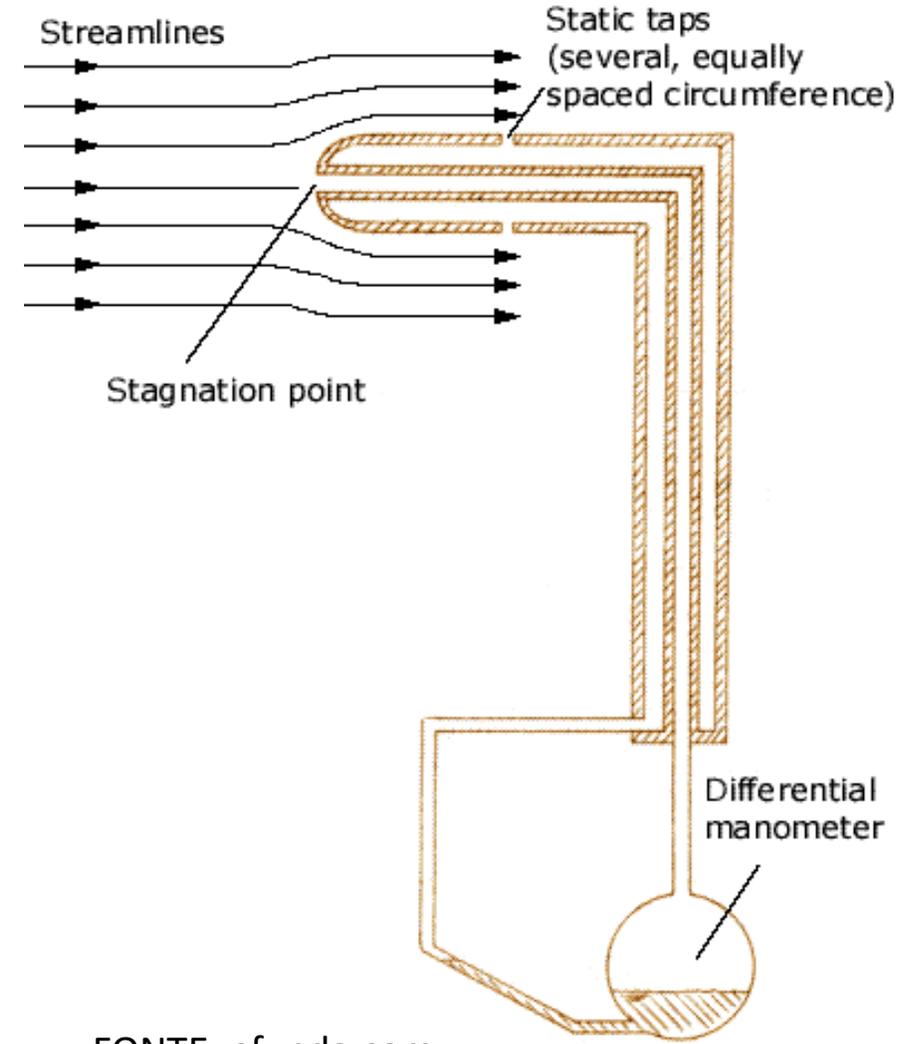
- **Sistema Pitot – Estática**
- **Instrumentos Baseados em Pitot – Estática**
- **Instrumentos de Indicação de Atitude**
- **Posição dos Sensores**
- **Correção de Velocidade**
- **Indicadores Digitais**

- **Sistema Pitot – Estática**
- Instrumentos Baseados em Pitot – Estática
- Instrumentos de Indicação de Atitude
- Posição dos Sensores
- Correção de Velocidade
- Indicadores Digitais

- É o sistema mais largamente empregado na atualidade.
- Integrado pelos seguintes componentes:
 - Tubo de Pitot – sensor de pressão total;
 - Tomada estática – sensor de pressão estática, seja esta montada no próprio Pitot (Pitot-estático) ou separadamente;
 - Linhas pneumáticas - transmitir as pressões sentidas pelo Pitot e pela tomada estática;
- Recebeu este nome em homenagem a Henri Pitot (1732).
- Mede a velocidade de escoamento de um fluido convertendo a energia cinética em energia potencial no ponto de estagnação localizado na ponta do tubo

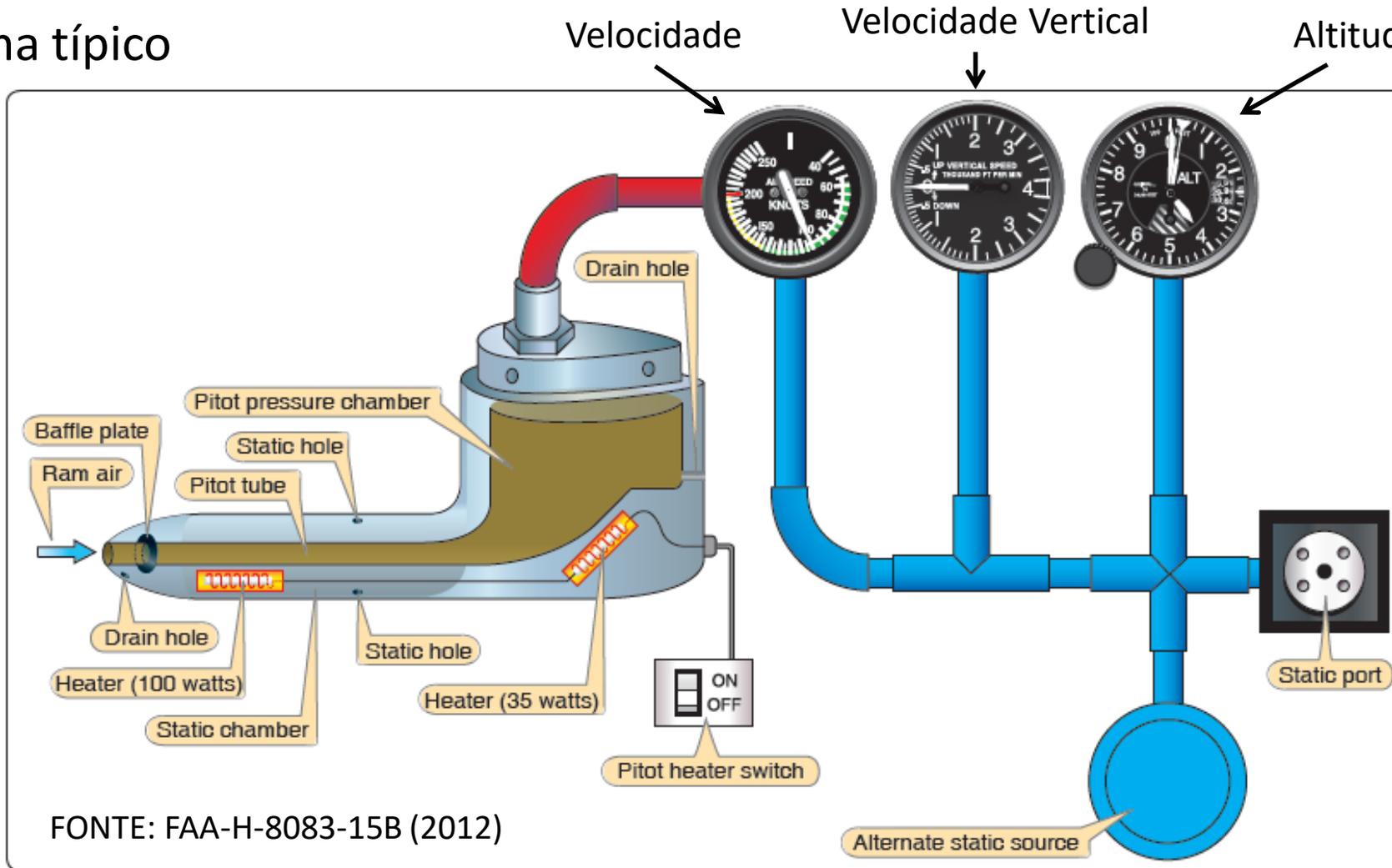
$$P_t = P_s + P_d$$

Pressão Total (Pitot) $\rightarrow P_t$
 Pressão Estática (Estática) Altitude $\rightarrow P_s$
 Pressão Dinâmica Velocidade $\rightarrow P_d$



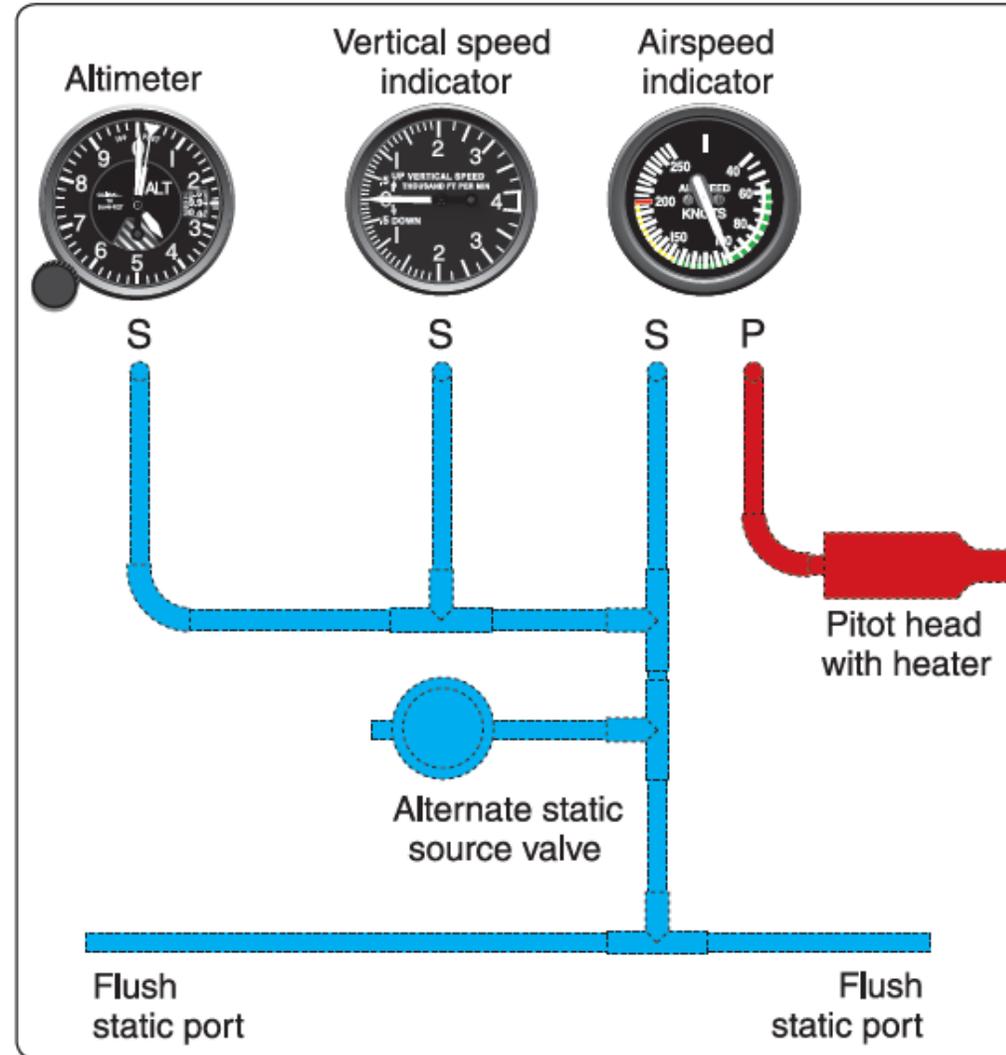
FONTE: efunda.com

- Sistema típico



- Os sistemas devem possuir dreno e aquecimento para evitar congelamento
- Entupimento de algum dos sistemas pode causar erros na leitura. A leitura ficaria “congelada” no último valor válido para velocidade e altitude, e ficaria sempre ZERO para velocidade vertical

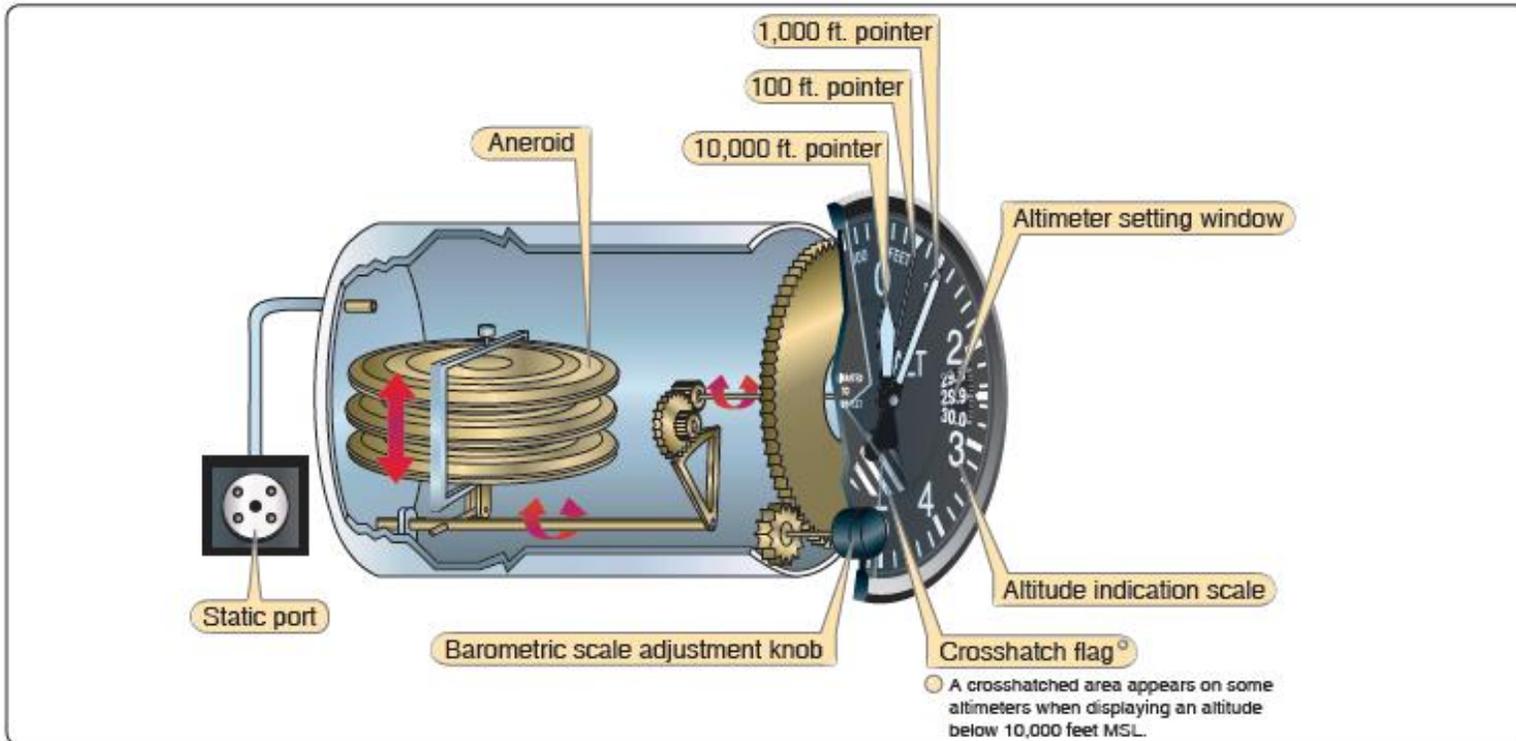
Sistemas Pitot - Estática



FONTE: FAA-H-8083-15B (2012)

- Sistema Pitot – Estática
- **Instrumentos Baseados em Pitot – Estática**
- Instrumentos de Indicação de Atitude
- Posição dos Sensores
- Correção de Velocidade
- Indicadores Digitais

- Altímetro
- Altímetro de sensibilidade



FONTE: FAA-H-8083-15B (2012)

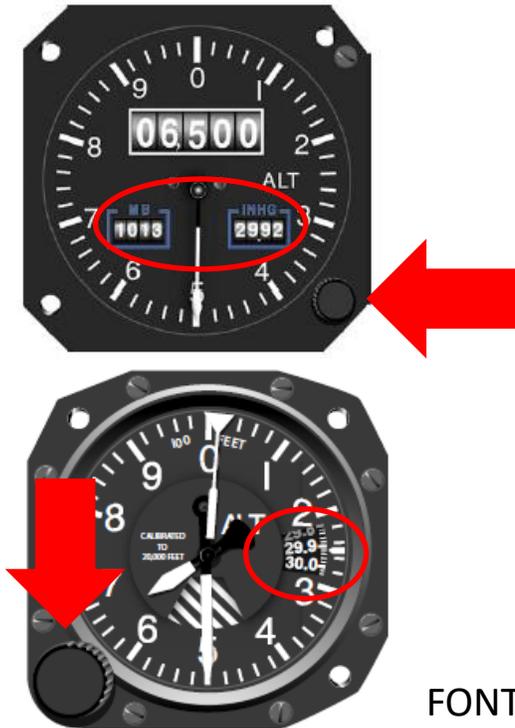


- **Altímetro**
- Altímetro de tambor



FONTE: FAA-H-8083-15B (2012)

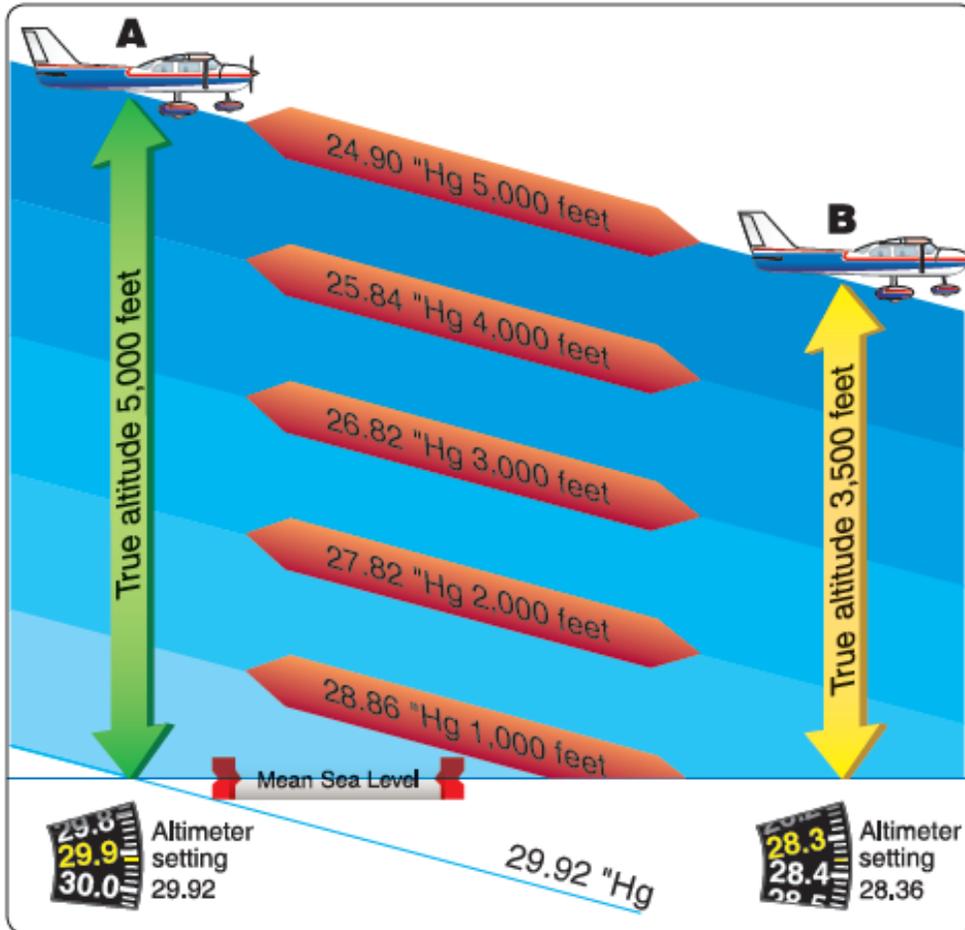
- Ajuste de Altímetro
- Necessário quando a pressão está fora das condições de Atmosfera Padrão



- A cada início de operação, o controle de tráfego deve passar ao piloto a pressão local (corrigida para o nível do mar) e este deve corrigir no altímetro
- Pressão atmosférica padrão ao nível do mar:
1013 hPa = 29,92 in Hg

FONTE: FAA-H-8083-15B (2012)

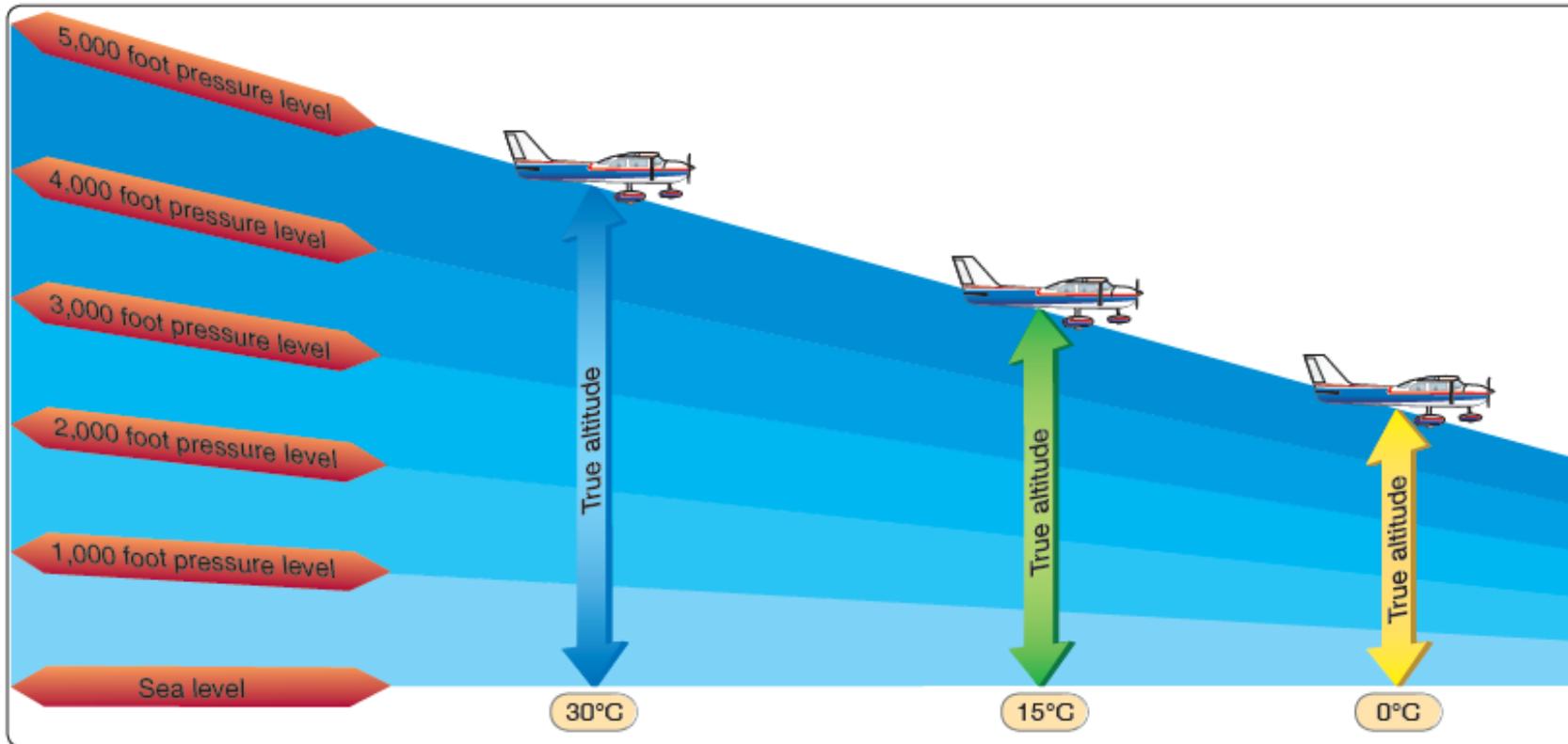
- Ajuste de Altímetro



- Acima de 10.000 ft de altitude, o altímetro deve ser utilizado no ajuste padrão

FONTE: FAA-H-8083-15B (2012)

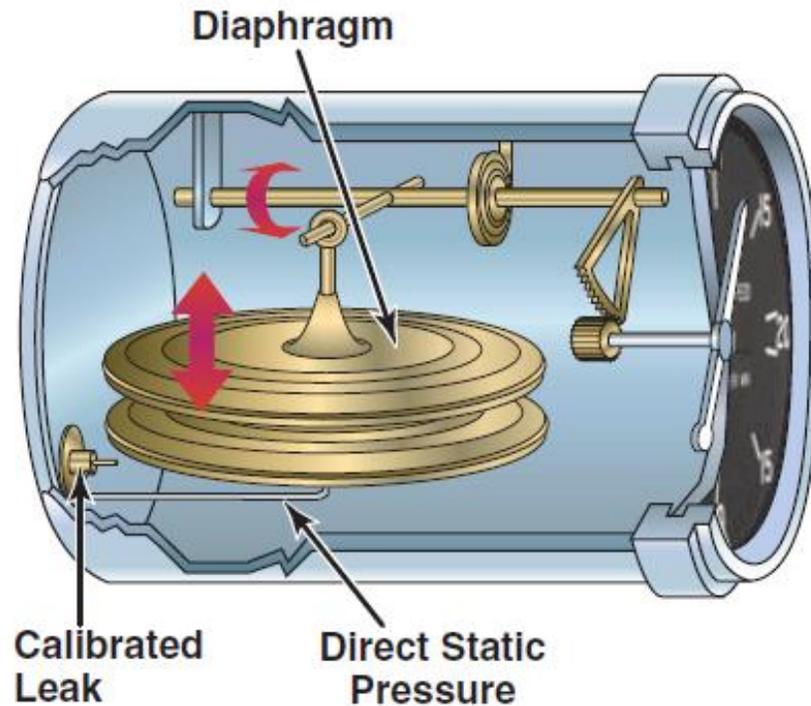
- **Ajuste de Altímetro**



- A temperatura também possui grande influência na leitura do altímetro

FONTE: FAA-H-8083-15B (2012)

- **Indicador de Velocidade Vertical ou Variômetro**



FONTE: FAA-H-8083-25 (2003)



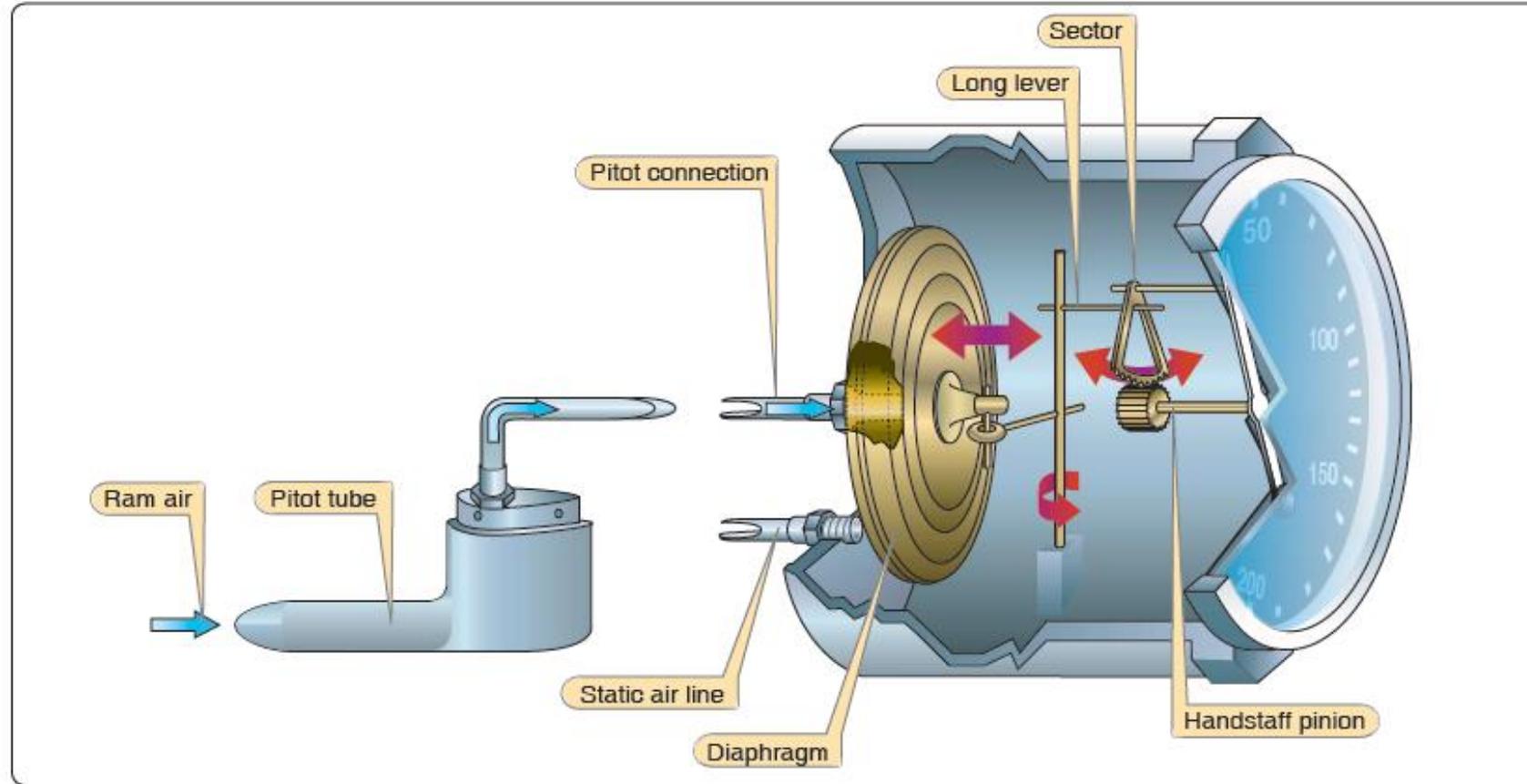
FONTE: FAA-H-8083-15B (2012)

- **Indicador de Velocidade Vertical ou Variômetro**
- Devido ao seu princípio de funcionamento, o variômetro apresenta um atraso em sua indicação
- A velocidade vertical é apresentada em ft/min



FONTE: FAA-H-8083-15B (2012)

- Indicador de Velocidade



FONTE: FAA-H-8083-15B (2012)

- Indicador de Velocidade



- Indicador de velocidade com escala de velocidade verdadeira TAS

FONTE: FAA-H-8083-15B (2012)

- Indicador de Velocidade
- Escala de cores



	White arc Bottom Top	Flap operating range Flaps-down stall speed Maximum airspeed for flaps-down flight	
	Green arc Bottom Top	Normal operating range Flaps-up stall speed Maximum airspeed for rough air	
	Blue radial line	Airspeed for best single-engine rate-of-climb at gross weight and Sea Level	
	Yellow arc Bottom Top	Structural warning area Maximum airspeed for rough air Never-exceed airspeed	
	Red radial line	Never-exceed airspeed	

FONTE: FAA-H-8083-15B (2012)

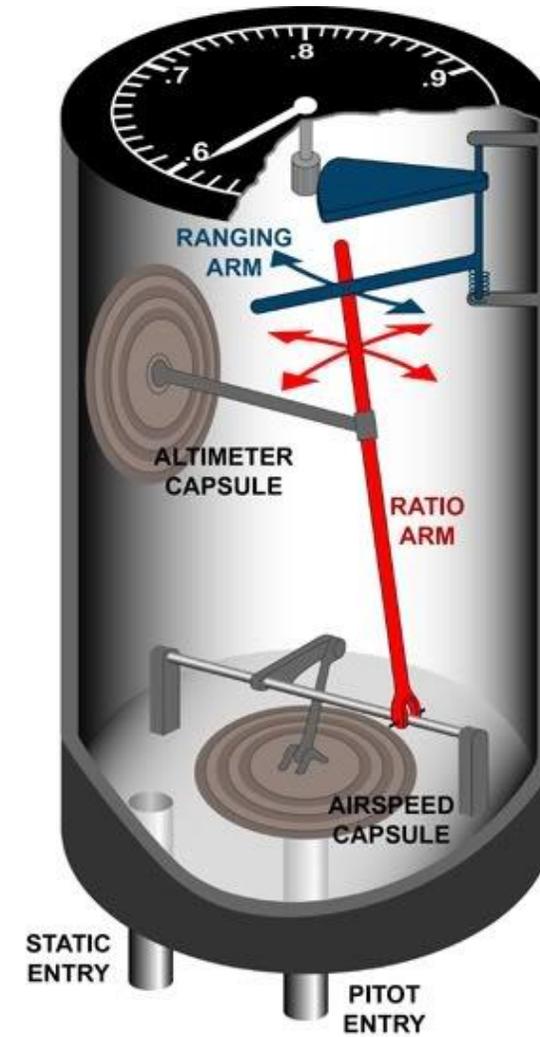
- Indicador de Velocidade
- Escala de cores



A indicação de máxima velocidade também funciona com um aneróide, pois a máxima velocidade permissível varia com a altitude da aeronave

FONTE: FAA-H-8083-15B (2012)

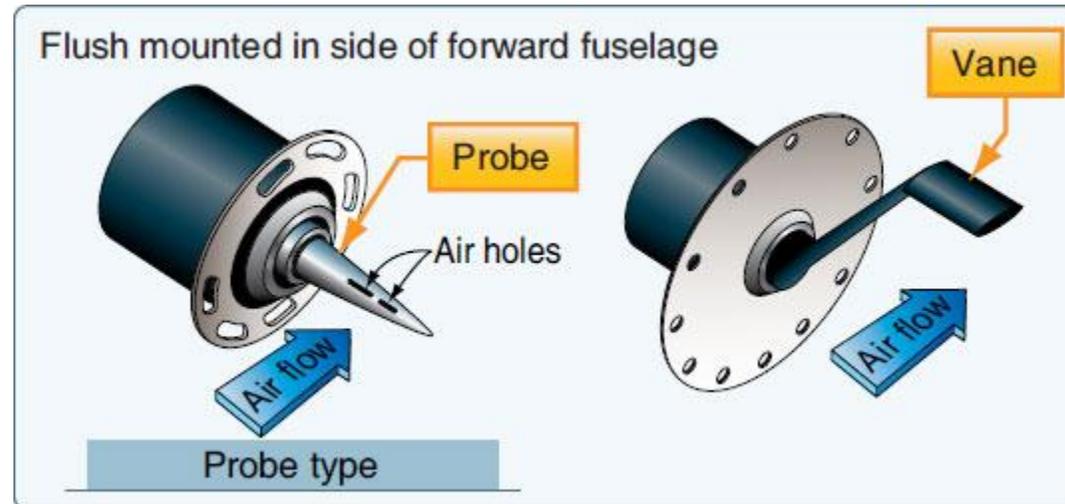
- Indicador de Mach
- Indicação depende tanto de altitude quanto de velocidade



FONTE: schaefersflight.com

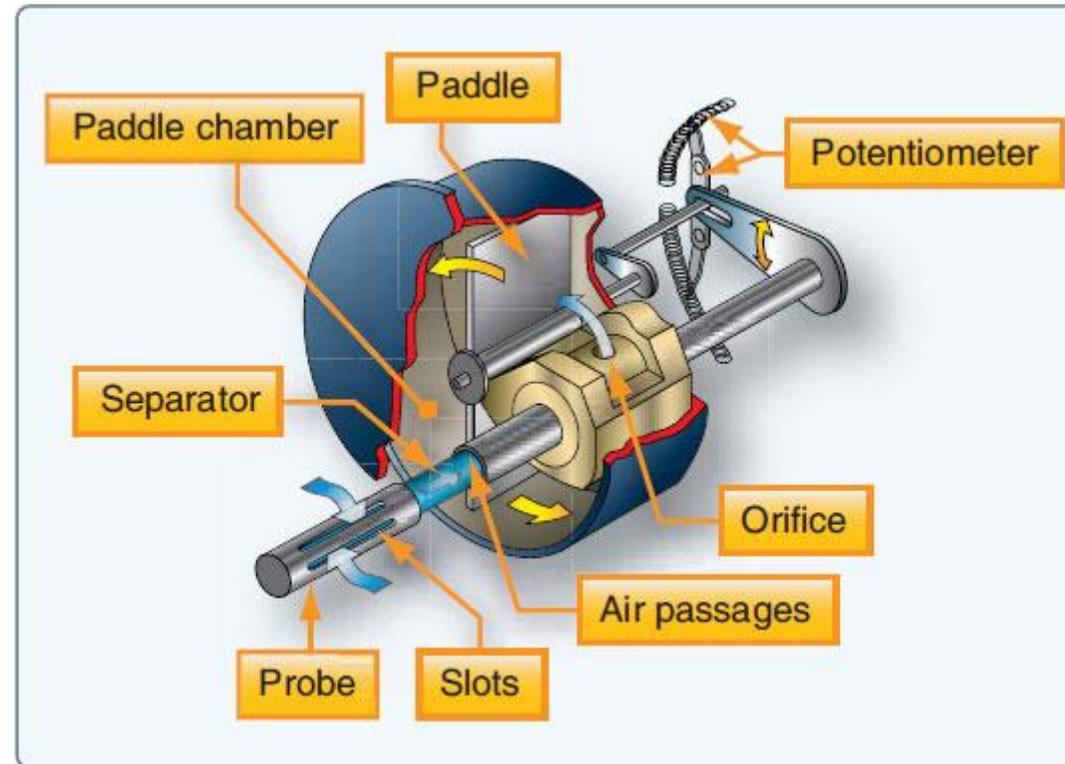
- Sistema Pitot – Estática
- Instrumentos Baseados em Pitot – Estática
- **Instrumentos de Indicação de Atitude**
- Posição dos Sensores
- Correção de Velocidade
- Indicadores Digitais

- Instrumentos na forma de probes ou vanes, que captam a atitude da aeronave



FONTE: flight-mechanic.com

- Esses instrumentos irão rotacionar em torno do próprio eixo conforme existe variação de atitude. Um potenciômetro na parte interna capta a rotação e gera o sinal de atitude



FONTE: flight-mechanic.com

- Exemplos



FONTE: Bennett, C. J. Et al. (2017)
DOI: 10.1016/j.ast.2017.03.015



FONTE: aviation.stackexchange.com



FONTE: aerotime.aero

- Exemplos



FONTE: airliners.net

- Exemplos

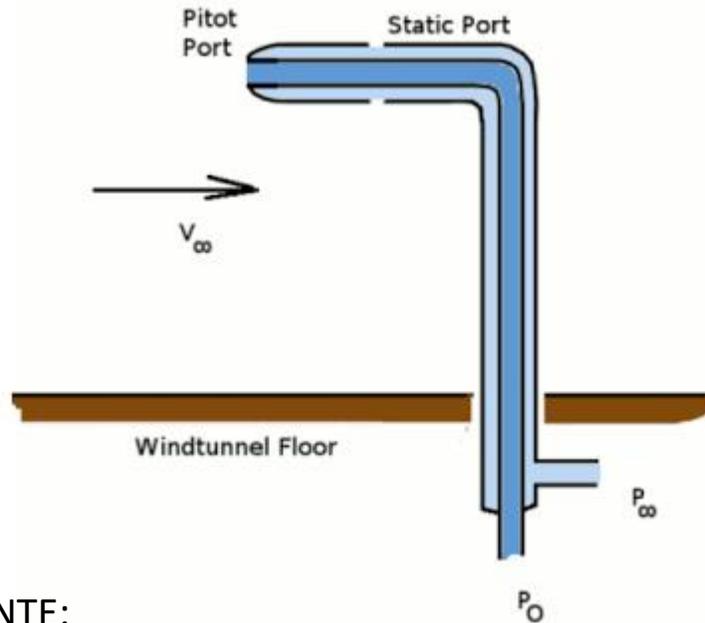


FONTE: airteamimages.com

Vane de AoA e pitot integrados

- Sistema Pitot – Estática
- Instrumentos Baseados em Pitot – Estática
- Instrumentos de Indicação de Atitude
- **Posição dos Sensores**
- Correção de Velocidade
- Indicadores Digitais

- Tomada Estática
- As tomadas estáticas podem estar junto aos tubos de pitot ou na lateral da fuselagem

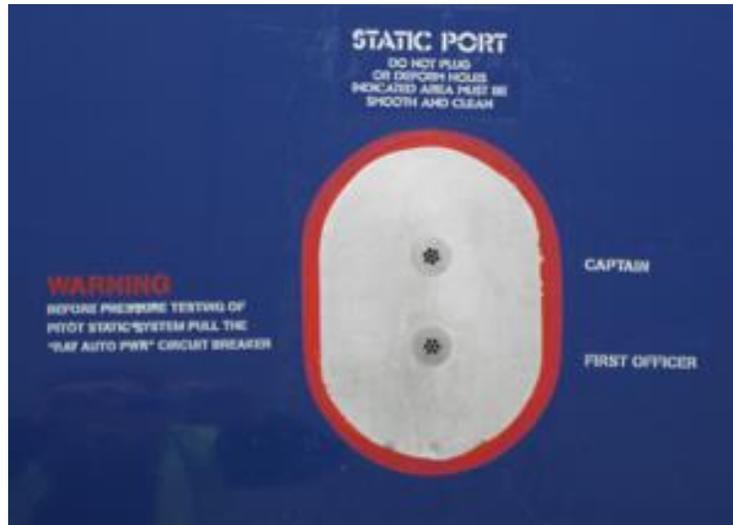


FONTE:
sites.google.com/site/aerodynamics4students/table-of-contents/aircraft-instruments



FONTE: piflightteoriasdevoo2.blogspot.com

- Tomada Estática
- Esses instrumentos estão sujeitos a erros devido a derrapagens da aeronave
- Para minimizar esses erros, são instaladas tomadas em ambas as laterais da aeronave e a leitura considerada é a média entre elas



FONTE: lessonslearned.faa.gov



FONTE: airteamimages.com

- Tomada Estática
- Dessa forma, a melhor posição para esses sensores é na parte posterior da seção circular da fuselagem

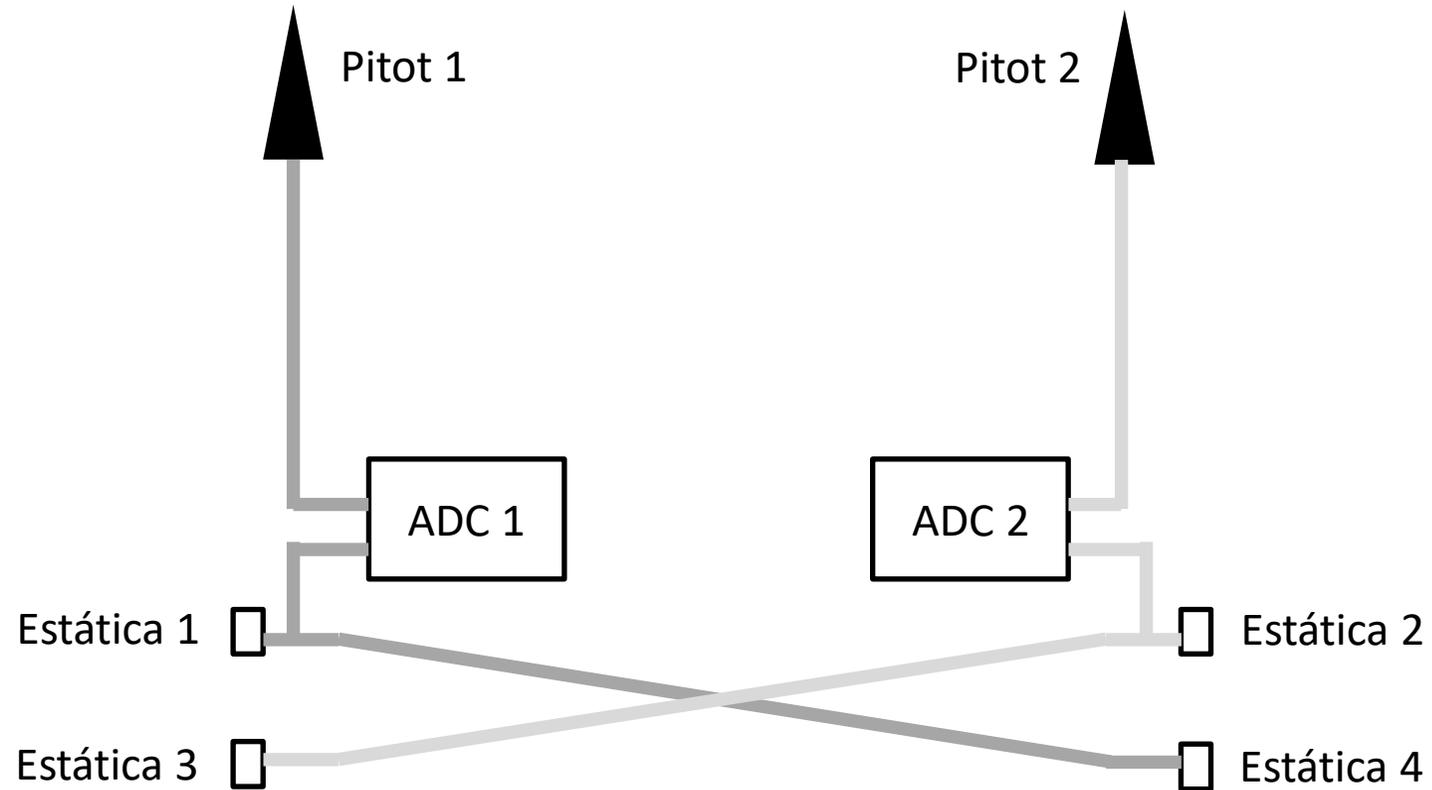


FONTE: kinematics.com

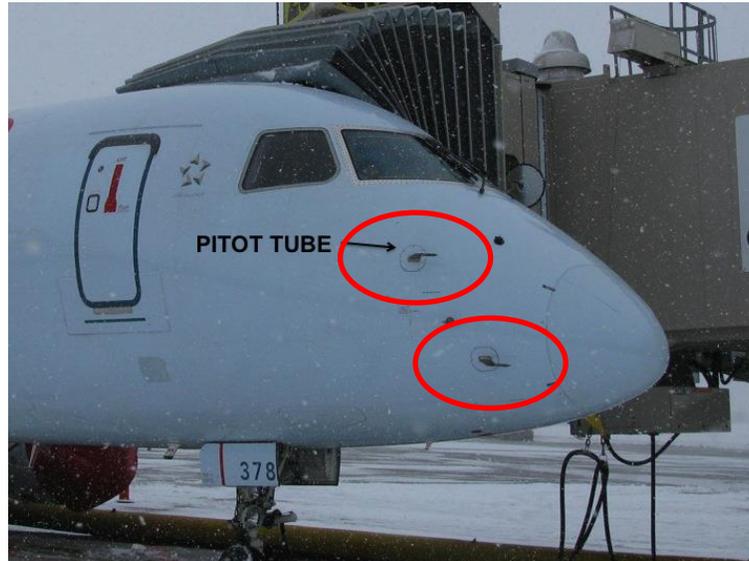


FONTE: triz-journal.com

- Tomada Estática
- Arquitetura de um sistema típico

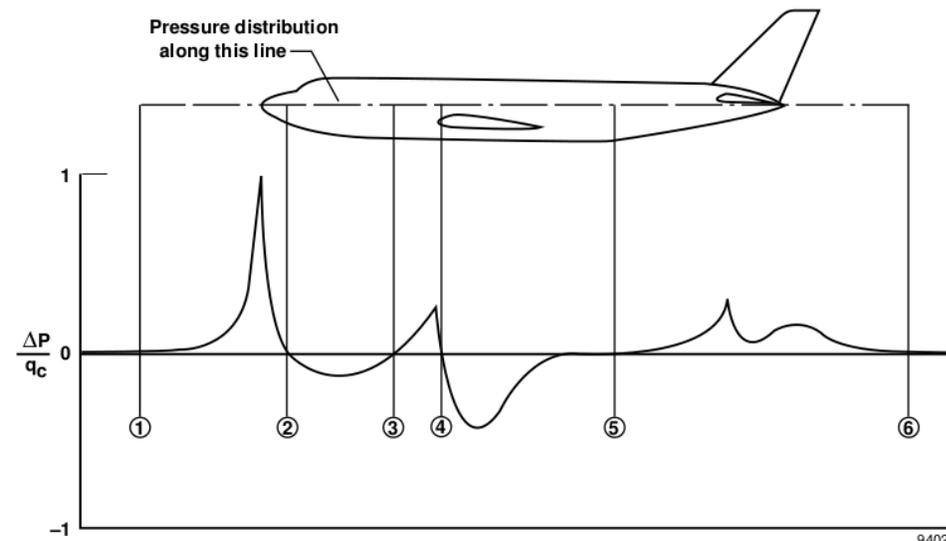


- **Tubo de Pitot**
- O pitot deve estar em uma posição que possua a menor interferência aerodinâmica possível



FONTE: aviation.stackexchange.com

- **Tubo de Pitot**
- Por esse motivo grandes estudos aerodinâmicos são feitos para se determinar o melhor lugar para o pitot em cada aeronave
- Porém nenhuma posição é totalmente livre de interferência. Por isso na fase de ensaios a aeronave deve passar pela calibração anemométrica



FONTE: NASA Technical Memorandum 104316

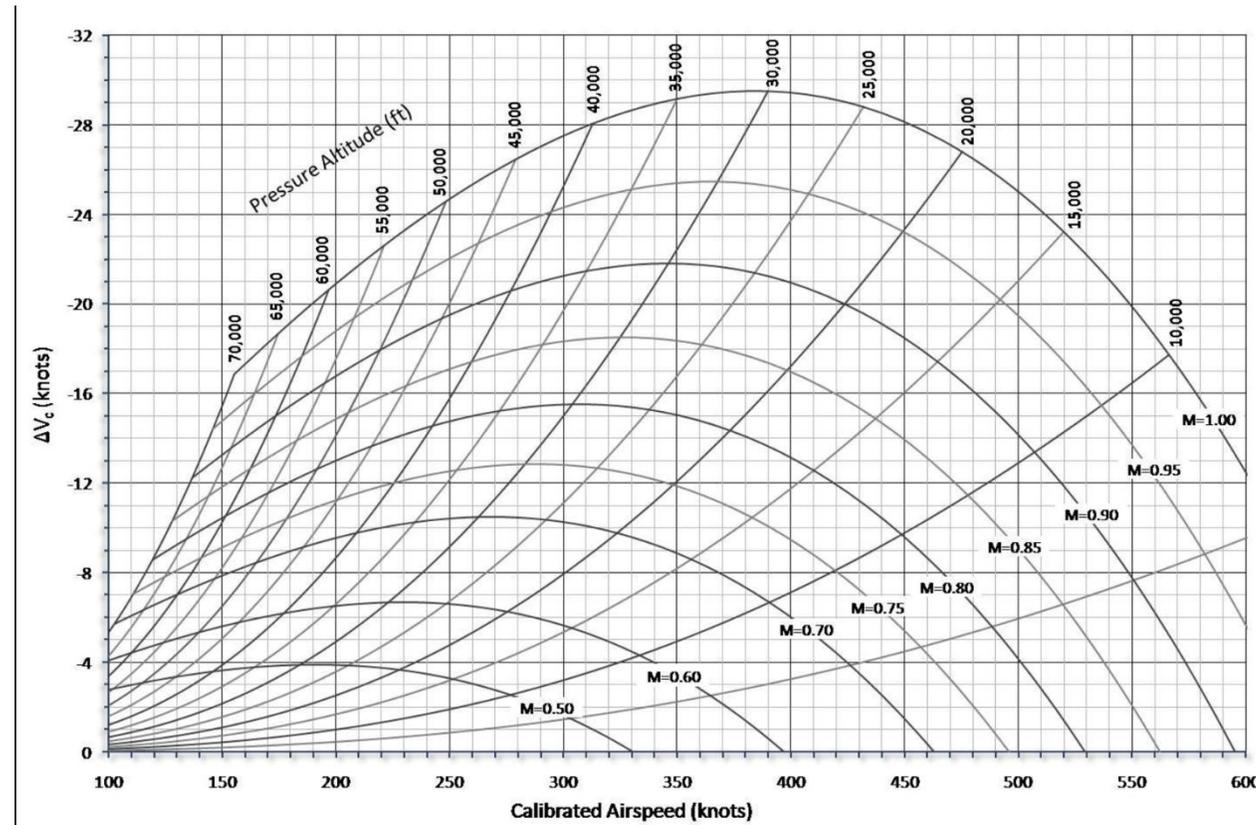
Figure 3. Subsonic static pressure distribution.

940228

- Sistema Pitot – Estática
- Instrumentos Baseados em Pitot – Estática
- Instrumentos de Indicação de Atitude
- Posição dos Sensores
- **Correção de Velocidade**
- Indicadores Digitais

- Erro de Posição – erro inerente devido a distúrbios do ar que chegam ao pitot
- Conversão de IAS para CAS
- Requisito 25.1323 (b): Todo sistema deve ser calibrado para se determinar o erro do sistema (relação entre IAS e CAS) em voo e durante corrida em solo para decolagem

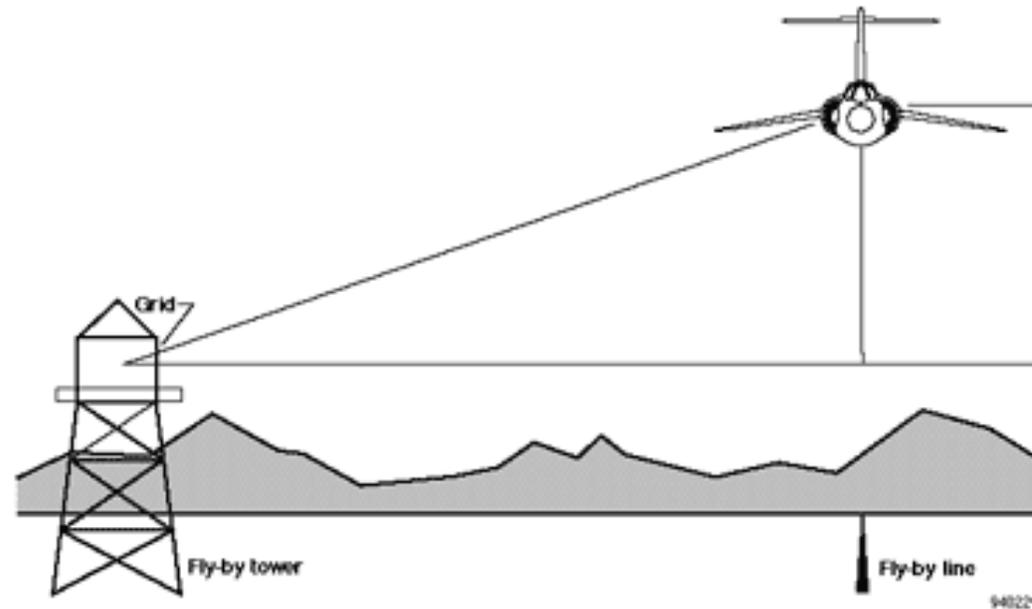
- Essa calibração se dá pelo levantamento de uma curva de correção para todas as velocidades e altitudes possíveis. Tal curva é aplicada posteriormente à leitura dos instrumentos



FONTE: Brown, F. (2012)
DOI: 10.21236/ada569074

- O levantamento dessa curva é feito por comparação entre a velocidade indicada pelo instrumento e uma medida confiável de velocidade.
- Essa medida confiável pode vir de diferentes fontes:
 - Tower Fly-by
 - Aeronave paquera
 - Trailing cone
 - Static boom
 - Etc.

- **Tower Fly-by**
- Consiste em fazer a aeronave passar a velocidade constante em diferentes condições de altitude e velocidade, comparando-a com uma referência conhecida



FONTE: Edward A. Haering, Jr. (1996)
Introduction to Flight Test Engineering, AGARDograph 300, vol. 1, section 11

- Tower Fly-by



FONTE: theaviationgeekclub.com



FONTE: USA Air force Technical
Information Handbook FFTC-TIH-99-01

- **Aeronave Paquera**
- Consiste em fazer a aeronave voar em várias condições de altitude e velocidade junto a uma aeronave com sistema anemométrico já calibrado, comparando-se a indicação das duas



FONTE: airforcemag.com

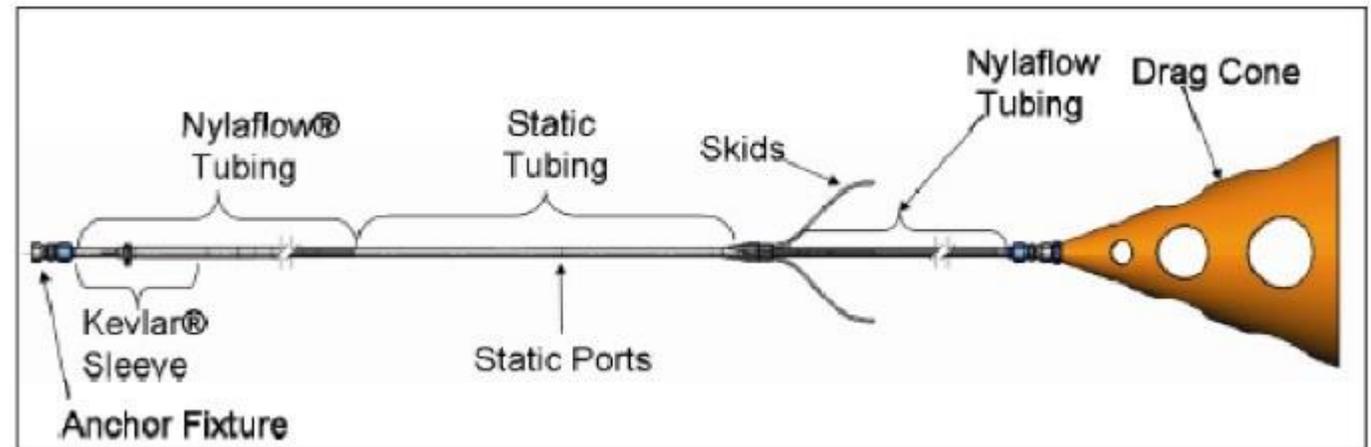


FONTE: dtic.mil

- **Trailing cone**
- A aeronave deve voar com um sensor posicionado a uma distância conveniente da aeronave (sem interferência aerodinâmica) e as indicações do pitot e do sensor do trailing cone devem ser comparadas



FONTE: air-and-space.com



FONTE: aeroin.net

- Trailing cone



FONTE: mhi.co.jp



FONTE: x-plane.org

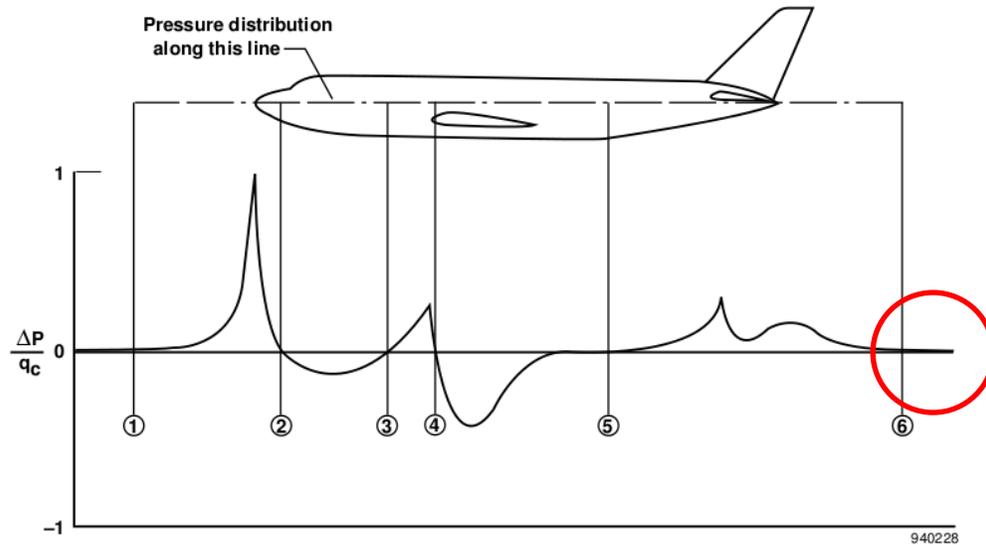


Figure 3. Subsonic static pressure distribution.



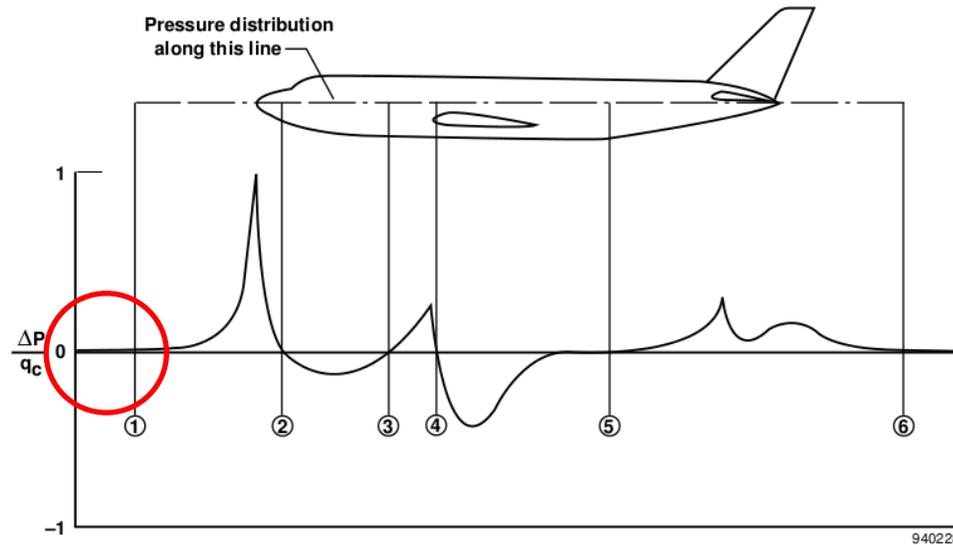
FONTE: pprune.org

- **Static Boom**
- Procedimento semelhante ao trailing cone, mas com o sensor à frente da aeronave



FONTE: Wikipedia

- **Static Boom**



FORNE: NASA Technical Memorandum 104316



FORNE: Wikipedia



- Sistema Pitot – Estática
- Instrumentos Baseados em Pitot – Estática
- Instrumentos de Indicação de Atitude
- Posição dos Sensores
- Correção de Velocidade
- **Indicadores Digitais**

Indicadores Digitais



FONTE: Garmin

- Os indicadores digitais possuem os mesmos elementos de detecção e de medida. Porém o acoplamento se dá por um sensor de deslocamento (LVDT, sensor a laser, potenciômetro, etc.) posicionado no aneróide. Seu sinal é processado por um computador (ADC – Air Data Computer) e apresentado na tela do painel de pilotagem
- Em instrumentos como esse é muito mais fácil se aplicar as curvas de correção anemométrica

- Exemplo: sensor de altitude

