

DISPOSITIVO DE VENTILAÇÃO NATURAL EMPREGANDO UMA ASA DELTA EM ALTO ÂNGULO DE ATAQUE.

Luís Fernando Gouveia de Moraes¹

Roberto da Motta Giradi²

Resumo :

Apresenta-se um dispositivo inovador para renovação de ar entre um habitáculo e a atmosfera. Este dispositivo é constituído de uma asa delta em alto ângulo de ataque, exterior a um habitáculo (o qual deseja-se ventilar), e um tubo vertical. A asa é montada invertida e o tubo montado verticalmente com uma das saídas para o extradorso da asa e a uma distância deste. A asa pode movimentar-se 360 graus ao redor do eixo do tubo (graças a presença de um leme), mantendo-se sempre alinhada com o vento atmosférico e com ângulo de ataque imutável. Funcionalmente, o tubo auxilia a convecção de ar do interior do habitáculo até o extradorso da asa - embora introduza uma perda de carga - e protege o habitáculo contra a entrada de chuva e detritos. Ao tubo adaptou-se um venturi para medir a vazão de ar em seu interior.

O princípio motriz do dispositivo é o diferencial de pressões estáticas entre o extradorso da asa e aquele no interior do habitáculo. A asa delta empregada possui ângulo de enflechamento de 70 graus e bordos de ataque afilados (graças a existência de chanfros). Com estas características, somadas a ângulos de ataque da ordem de 27 graus, geram-se vórtices intensos no bordo de ataque os quais enrolam-se sobre o extradorso da asa. A presença destes vórtices induz baixas pressões sugando o ar do habitáculo para o meio externo.

O emprego da asa delta forneceu um ganho expressivo na vazão aspirada em relação a modelos de corpos rombudos utilizados em experimentos anteriores. Existem parâmetros que conduzem a resultados ótimos e que serão obtidos durante os experimentos.

Neste artigo serão apresentados, confrontados e discutidos os resultados do posicionamento em ângulo de ataque da asa, distância do tubo à asa, posição do tubo sobre a linha de centro da asa e variação do Reynolds.

Palavras-chave : asa delta, aerodinâmica, túnel de vento, ventilação natural.

CONEM 2004 – 16 Ago 2004 – UFPa – Belém, Pará.

¹Eng. M.Sc. – Centro Técnico Aeroespacial – Div. Sist. Aeronáuticos – lfgmoraes@pop.com.br

²Prof. Dr. – Centro Téc. Aeroesp. – Instituto Tecnológico de Aeronáutica – girardi@aer.ita.br

1. Introdução :

Dispositivos de ventilação são extremamente importantes pois, além de promover o conforto ambiental a nível térmico, atuam na troca de ar em um habitáculo reduzindo a proliferação de micro organismos prejudiciais à saúde. Estes dispositivos, podem ser acionados elétrica ou eólicamente induzindo o processo convectivo. Este, implicará na movimentação do ar, no interior do habitáculo, para o exterior ou vice-versa.

A constante preocupação pela redução do consumo de energia elétrica, impõe um dispositivo que utilize a energia eólica para estabelecer um diferencial de pressões estáticas capaz de gerar o fluxo de ar que promoverá a ventilação do ambiente. Como esta diferença de pressões é pequena, utiliza-se um corpo rombudo, para estabelecer – na sua esteira - uma região de mais baixa pressão, ref. [1]. A diferença entre as pressões no habitáculo (P_{interno}) na esteira induzirá um fluxo de ar para fora resultando na ventilação do mesmo. Vide figura 1.

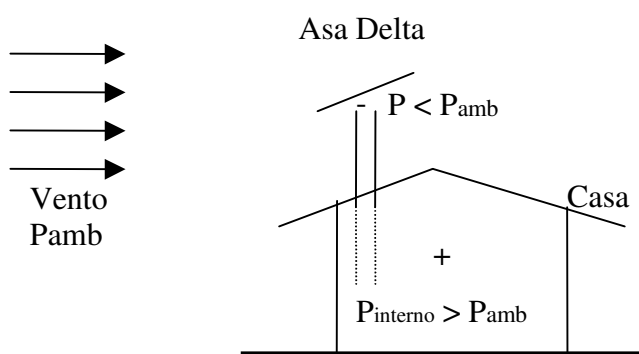


Fig. 1 Esquema de funcionamento de um dispositivo de ventilação natural.

O dispositivo que será descrito neste texto é diferente – tanto conceitualmente como em eficiência - daqueles apresentados em [1] e [2], pois emprega uma asa delta e consegue, graças aos intensos vórtices situados no extradorso da asa, aspirar maior vazão de ar.

A asa delta foi concebida para aviões supersônicos por apresentar vários benefícios: baixo arrasto em cruzeiro, alta rigidez estrutural, grande volume interno etc. No entanto, verificou-se a médios e altos ângulos de ataque – do regime subsônico ao supersônico - o surgimento de dois vigorosos vórtices que se enrolam sobre a asa e são alimentados continuamente pela vorticidade produzida no intradorso da asa e lançada a partir do bordo de ataque, vide fig.2.

Os vórtices assim gerados, criam uma grande depressão no extradorso da asa aumentando a sustentação, de modo não linear, com a variação do ângulo de ataque. Observe a fig. 3. Aviões com asas de grande enflechamento utilizam a sustentação adicional produzida por estes vórtices para aterrissar e decolar em velocidades mais baixas e em ângulos de ataque acima dos convencionais para estas condições.

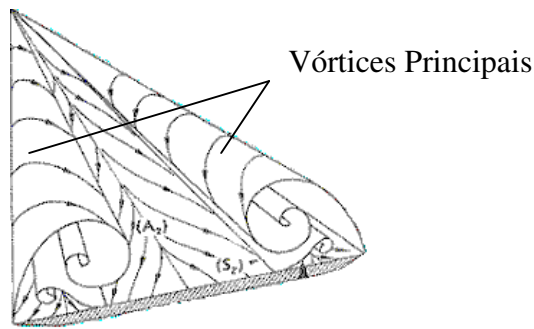


Fig. 2 Vórtices sobre uma asa delta com ângulo de ataque.

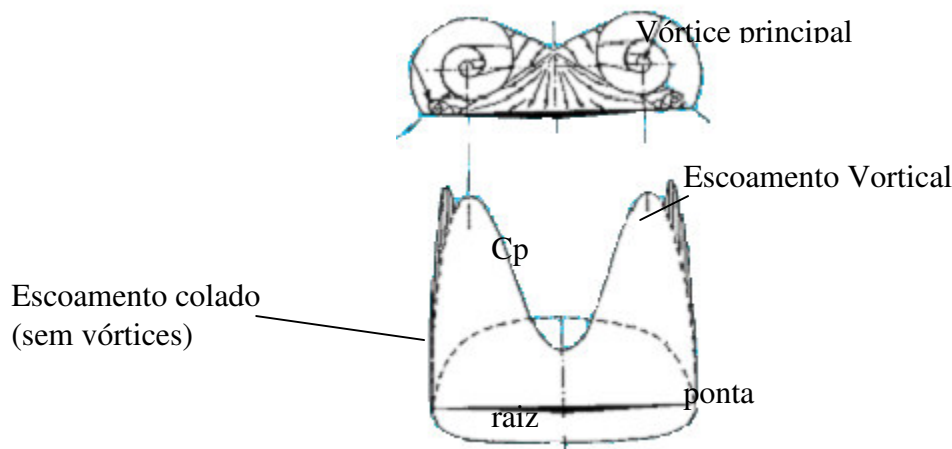


Fig. 3 Distribuição de Pressões em uma asa delta e curva CL versus ângulo de ataque

Ocorre porém, que estes vórtices – estáveis e altamente energéticos sob determinadas condições - podem vir a se desestabilizar induzindo estol na asa. Com isto, a pressão no extradorso irá aumentar reduzindo a aspiração. As condições de estabilidade e os efeitos negativos ocasionados pela instabilidade serão abordados nos próximos itens.

2. Descrição do Modelo :

Para os ensaios, foram construídas inicialmente, duas asa delta com as seguintes características : enflechamento de 70 graus, cordas de 200 mm e 300 mm e bordo de ataque com chanfro de 15 graus, veja figura 4. Denominar-se-à A1 para a asa delta grande e A2 para a asa delta pequena. Ambas foram construídas com chapas de alumínio com 4 mm de espessura. Todas as asas foram pintadas de preto e linhas brancas foram pintadas : uma na corda na raiz da asa e outras horizontais de 50 em 50 mm entre o bordo de fuga e o ápice da asa. Na interseção das linhas horizontais com a vertical foram realizadas marcações começando com o número 1 no bordo de fuga. A finalidade do chanfro é impor a separação do escoamento no bordo de ataque assegurando a formação do vórtice acima do extradorso da asa; impedindo com isso um descolamento local com recolamento logo em seguida (ou seja, uma bolha de recirculação). Além do que, um bordo de ataque sem chanfro é mais sensível as variações de Reynolds.

A asa possuía dois pontos de fixação em seu intradorso: um central à asa e outro próximo ao bordo de fuga. O primeiro estava unido, por meio de um parafuso e rosca, a um mastro vertical o qual possuía um rasgo em parte de seu comprimento.

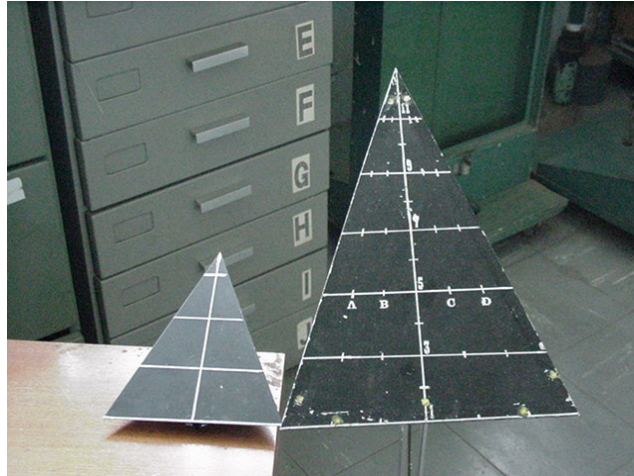


Fig. 4 Asas delta empregadas nos experimentos.

O segundo ponto de fixação estava unido a uma pequena haste, também por um parafuso e rosca, que por sua vez podia deslocar-se no rasgo do mastro e sendo fixo na posição de ensaio por um parafuso e rosca. Ou seja, a movimentação da haste no interior do rasgo permitia a asa variar seu ângulo de ataque. Observe a figura 5.

De modo a medir com facilidade o ângulo de ataque antes, durante e após o ensaio, uniu-se a haste ao potenciômetro usando um arame fino e rígido. Tendo sido o potenciômetro calibrado diversas vezes antes e durante o ensaio (sempre com o conjunto montado), possuía-se a curva de calibração do mesmo e, com isto, o ângulo de ataque estava sendo sempre monitorado.

Todo o conjunto pode mover-se na direção horizontal e vertical, permitindo variar seu posicionamento relativamente ao tubo. O tubo empregado, com 50 mm, estava unido a um venturi, o qual possuía uma tomada de pressão estática antes da garganta e outra após. Em função da diferença das pressões estáticas e das áreas das seções, obtém-se a vazão mássica usando a eq. 1.

$$\dot{m} = \frac{C \cdot A_t}{\sqrt{1 - (A_t/A_1)^2}} \cdot \sqrt{2 \cdot \rho \cdot (p_1 - p_2)} \quad (1)$$

Onde :

- \dot{m} - vazão mássica (kg/s)
- C – coeficiente de descarga
- A_t – área da garganta (m²)
- A_1 – área antes da garganta (m²)

ρ - massa específica do ar (kg/m^3)
 p_1 - pressão estática antes da garganta (Pa)
 p_2 - pressão estática após a garganta (Pa)



Fig. 5 Conjunto asa delta, mastro e haste.

O venturi utilizado possui uma curva de calibração e, embora variando com o Reynolds, o coeficiente de descarga foi mantido constante e igual a 0,97. O valor da massa específica foi obtido com a equação dos gases perfeitos tendo sido empregados uma coluna de mercúrio e um termômetro – calibrados - para obtenção da pressão e temperatura ambientes, respectivamente. O diferencial de pressões ($p_1 - p_2$) foi medido por um sensor diferencial previamente calibrado.

O túnel de vento utilizado nos ensaios foi um Plint&Partner - de seção de ensaios fechada (0,46 m x 0,46 m) e circuito aberto – e sua pressão dinâmica foi medida por um sensor diferencial também calibrado. Para evitar problemas de bloqueio e interferência de parede, a asa delta e o suporte foram colocados fora do túnel sofrendo a ação de um jato livre. Para que isto fosse feito, procedeu-se a uma calibração – sem a presença da asa e do suporte – da variação da pressão dinâmica entre o pitot do túnel e a posição em que a asa foi ensaiada.

A aquisição dos sinais eletrônicos, bem como a redução, foi realizada com programas desenvolvidos na plataforma LabView™.

3. Metodologia de Ensaio :

Após a montagem e alinhamento da asa com o escoamento do túnel, procedeu-se ao posicionamento do tubo relativamente a asa. O tubo foi preso em um suporte solidário ao túnel e graças a um apontador laser, fez-se coincidir o eixo do tubo com o feixe. Com isto, pode-se visualizar na raiz da asa qual o ponto que seria interceptado pelo eixo do tubo. O

ângulo entre o eixo do tubo e a perpendicular a asa no ponto de interseção é o próprio ângulo de ataque.

Os ensaios realizados objetivaram levantar o envelope operacional do dispositivo segundo um ângulo de ataque fixo. Outras pesquisas realizadas determinaram a influência da dimensão da asa e o emprego ou não do chanfro.

As adimensionalizações adotadas foram: para a vazão, o produto velocidade do escoamento e área de seção reta do tubo e para a distância tubo-asa o diâmetro do tubo. O máximo ângulo de ataque ensaiado foi de 34 graus.

4. Resultados e Comentários :

Fez-se inicialmente, para a asa A1, a medição da vazão aspirada mantendo a asa a um ângulo de ataque fixo. Para um Reynolds fixo, variou-se a distância entre o tubo e a asa até que a vazão aspirada se estabilizasse. Adotando-se um ângulo de ataque de 28 graus, obteve-se os resultados apresentados na figura 6. Nesta mesma figura inclui-se o efeito chaminé, ou seja, a vazão aspirada pelo tubo sem a presença da asa. O maior valor do Reynolds corresponde a uma velocidade de 28 m/s.

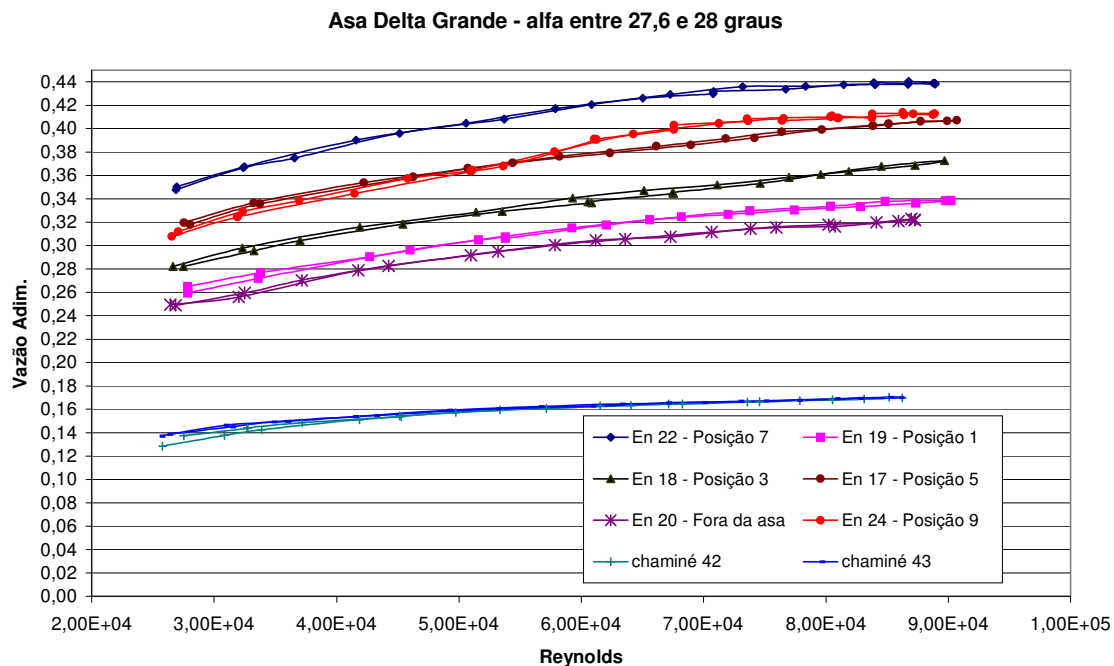


Fig. 6 Vazão adimensionalizada versus Reynolds para ângulo de ataque fixo.

Este gráfico mostra que quando o eixo do tubo está sobre a posição 7 (a 15 cm do bordo de fuga) a vazão aspirada atinge seu maior valor. Como os resultados da asa A1, na posição 7, foram os melhores, inclusive para outros ângulos de ataque, pensou-se que a relação entre o diâmetro do tubo e a envergadura na posição 7 favorecesse o posicionamento dos vórtices e sua interação com a esteira do tubo, melhorando a aspiração.

Pensando nisso, ensaiou-se a asa A2 com o tubo na posição 7 e mesmas condições de Reynolds e ângulo de ataque. Nesta situação, houve queda de 40% na vazão máxima aspirada e também em todos os pontos do envelope, vide figura 7. Se a relação entre o

diâmetro do tubo e a envergadura na posição 7 fosse a responsável pelo aumento na aspiração, os resultados para as duas asas deveriam ser idênticos.

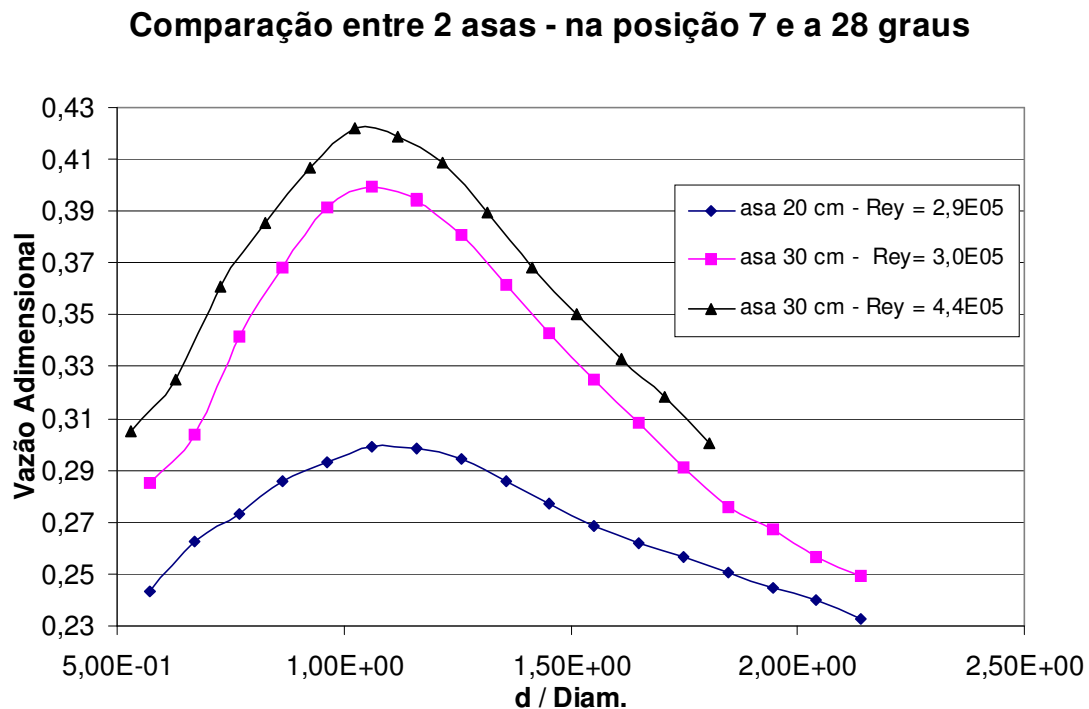


Fig. 7 Influência da escala na aspiração.

Este resultado conduz à reflexão sobre a interação da esteira do tubo com a da asa. Ou seja, de que maneira o gradiente de pressão sobre a asa auxilia na aspiração. Sabe-se, das referências [3], [4] e [5] que em uma asa delta o gradiente de pressões positivo favorece a evolução do vórtice, impedindo seu estouro. E, evidentemente, no caso estudado, o comprimento da asa vai influenciar neste gradiente. Observa-se, também na figura 6, que o aumento do número de Reynolds para a asa A1 – devido exclusivamente ao aumento da velocidade do escoamento incidente – introduziu mais vorticidade nos dois vórtices principais tornando-os mais coesos e persistentes sobre a asa e atrás dela.

Em se tratando de uma asa delta isolada, um fenômeno que compromete de modo impressionante seu desempenho é o estouro do vórtice (“Vortex Breakdown”, VB). O VB caracteriza-se pelo rompimento do núcleo do vórtice, interrompendo inicialmente a rotação do núcleo e desestabilizando completamente todo o vórtice daí para frente, sendo comum que o mesmo pare de girar, vide refs. [5], [6] e [7]. Isto, em uma aeronave, leva ao estol e momentos de arfagem e rolamento elevados que podem colocar a aeronave em situação de parafuso. O VB ocorre em situações de altos ângulos de ataque, estando nesta situação muito sensível ao gradiente de pressão. Isto é análogo ao estol em um perfil, onde o gradiente de pressão adverso vai tornando-se mais alto, em função do aumento do ângulo de ataque, até que o escoamento descola.

No caso da asa delta, o VB ocorre de forma alternada nos vórtices da direita e da esquerda. O VB passa a oscilar, em cada um dos vórtices, em torno de uma posição média (igual para os dois).

Relativamente a influência do chanfro na vazão aspirada, para a asa A1 e outra idêntica mas sem chanfro, a figura 8 apresenta os resultados obtidos a 28 graus.

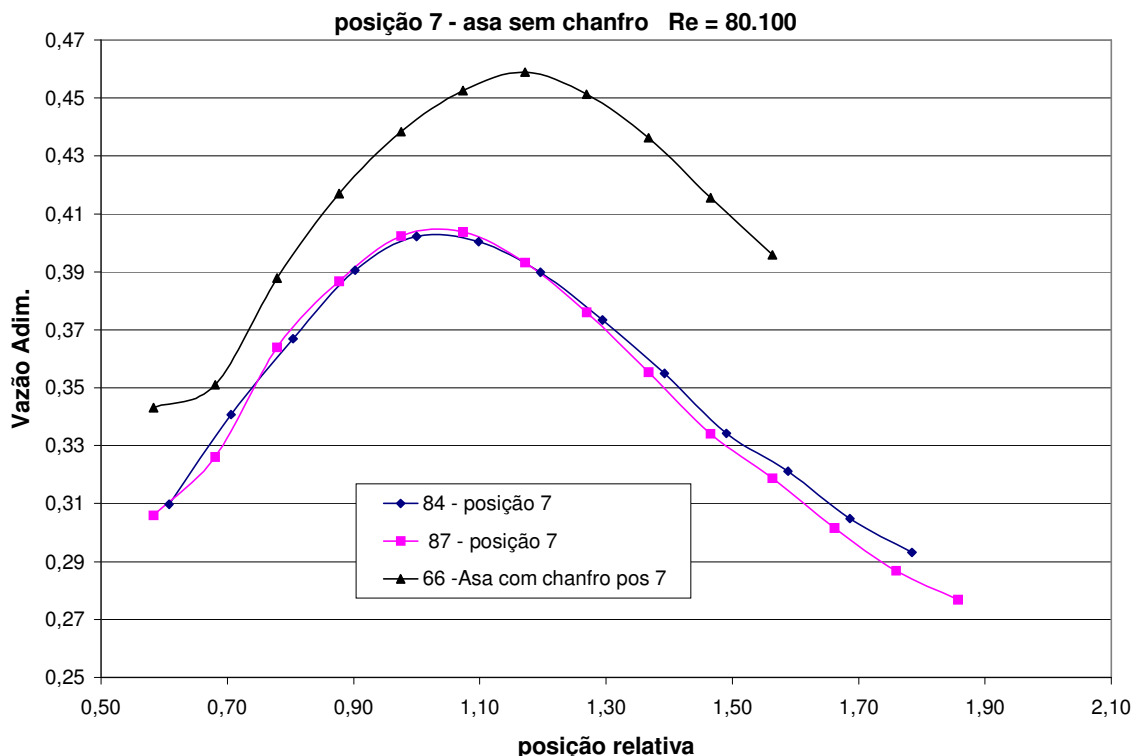


Fig. 7 Influência do chanfro na vazão aspirada.

Os ensaios 84 e 87 são repetidos e correspondem a asa sem chanfro. Vê-se claramente a benesse obtida com uma asa chanfrada. A asa sem chanfro cria uma bolha ao longo do bordo de ataque reduzindo a intensidade dos vórtices. Com o chanfro, a vorticidade é conduzida de maneira eficiente aos vórtices e o próprio posicionamento destes é mais adequado. Não foi possível realizar ensaios com asas apresentando diversos ângulos de chanfro, este valor é o comumente utilizado na literatura.

5. Conclusões :

Este trabalho apresenta um novo dispositivo de ventilação natural. O emprego da asa delta tornou-o mais eficiente que o dispositivo da ref. [1] o qual empregava um corpo rombudo. A interação da esteira do tubo com a asa deverá ser melhor estudada, bem como formas de aumentar a intensidade dos vórtices principais majorando a sucção na asa.

A adição de elementos físicos como slats e flapes será estudada, bem como a inserção de uma carenagem no tubo. O emprego de uma asa delta com tomadas de pressão será fundamental para auxiliar na compreensão da interação entre a asa e o tubo.

6. Referências Bibliográficas :

- 1- Sousa, Karina D.; Girardi, Roberto M. – Estudo do Escoamento na Esteira de um Corpo Rombudo Bidimensional – Congresso Nacional de Engenharia Mecânica (CONEM), 2000, Natal. Publicado nos anais.
- 2- Girardi, Roberto da Mota – A Natural Ventilation Device based on the depression at near wake of bluff body. – Sixth Triennial International Symposium on Fluid Control Measurement and Visualization (FLUCOME), 2000, Sherbrooke, Quebec, Proceedings of the Sixth Triennial International Symposium on Fluid Control Measurement and Visualization.
- 3- Mitchell, A. M. – Caractérisation et contrôle de l'éclatement tourbillonnaire sur une aile delta aux hautes incidences – ONERA , NT 2000-6, France.
- 4- Delery, J. – Physique des Ecoulements Tourbillonnaires – AGARD “ Symposium sur l'Aérodynamique des écoulements tourbillonnaires “ , 1990, Pays Bas.
- 5- Barberis, D. et alli – Oscillations of Vortex Breakdown Location and its control by tangential Blowing – AIAA 98-2914, United States.
- 6- Délery, J. et alli – Études fondamentales sur les écoulements Tourbillonnaires – La Recherche Aéronautique, 1984, France.
- 7- Girardi, Roberto da Mota – Desempenho de um Dispositivo de Ventilação Natural, baseado nos vórtices gerados por uma asa delta: Medidas em protótipo – Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciências Térmicas (ENCIT), 2002, Caxambu. Anais do ENCIT 2002.

NATURAL VENTILATION APPARATUS USING DELTA WING AT HIGH ANGLE OF ATTACK.

Luís Fernando Gouveia de Moraes¹

Roberto da Motta Girardi²

ABSTRACT :

A new device for promoting natural ventilation of a building is presented in this work. Such device is constituted by a delta wing at high angle of attack, located outside the building, and a vertical tube, used to connect the building interior to the region near the delta wing upper surface. Due to the atmospheric wind variations, a guiding vane is used to align the delta wing with respect to the wind direction. The basic principle for promoting ventilation is the static pressure difference between the vertical tube extremities. In the upper extremity the pressure is lower due to great vortices, which are formed as a consequence of the flow separation at the delta wing leading edge. The main objective of the present work is to investigate the parameters, which can optimize the natural ventilation device performance, that is, maximization of the flow rate sucked by the delta wing. Such parameters are: wing angle of attack, distance between the tube upper extremity and the wing surface, tube position with relation to the delta wing apex and the Reynolds number.

Keywords : delta wing, aerodynamics, wind tunnel, natural ventilation