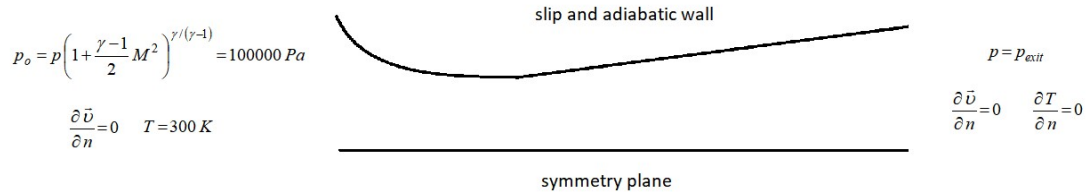


## Solução do escoamento compressível e isentrópico em um bocal

Trata-se da solução do escoamento compressível em um bocal convergente-divergente. Um esquema da geometria e das condições de contorno pode ser vista abaixo.



- 1) Escolha o diretório em que o caso vai ser salvo e o nome do caso.
- 2) Importe a malha. No momento, vamos usar uma malha gerada no formato do GAMBIT e será a malha "nozzle.neu".
- 3) Após importar a malha, vá ao menu "Mesh" e especifique as condições de contorno que são do tipo "empty", "symmetry", "wall" e "patch". A fronteira selecionada sempre fica na cor laranja.
- 4) Vá ao menu "Setup" e escolha o solver. No caso, queremos resolver escoamento compressível e transiente. O solver será o rhoPimpleFoam.
- 5) Verifique que no menu "Turbulence" o escoamento está especificado como laminar. Dessa forma, também não teremos difusão turbulenta
- 6) No menu "Thermo", em "material database", selecione o ar. Verifique que o ar está selecionado como gás perfeito. Mude o valor da viscosidade para  $\mu = 1.0 \times 10^{-20} \text{ N.s/m}^2$ . A finalidade é que queremos fazer uma simulação sem irreversibilidades.
- 7) No menu "Discretization" existem quatro submenus, para a discretização temporal, espacial (*Convection*), cálculo dos gradientes e interpolações. Na discretização temporal, opte por método implícito de Euler. Na discretização espacial, troque o esquema convectivo da quantidade de movimento de *upwind* para "limited Linear 1". Marque a caixa "vector specific".

O esquema "limited Linear  $\alpha$ " é um esquema que limita uma interpolação de diferenças centradas, de modo que:

$$\psi(r) = \text{MAX}(\text{MIN}(2r/\alpha, 1), 0)$$

Para  $\alpha=1$  temos um esquema TVD:

$$\psi(r) = \text{MAX}(\text{MIN}(2r, 1), 0)$$

8) No menu de solução (*solution*) existem quatro submenus, “*Solvers*”, “*Pimple*”, “*Residuals*” e “*Relaxation*”. Não mude nada no menu “*Solvers*”. Em “*Pimple*” mude o número de “outer correctors” para 20 e **marque a caixa “transonic”**. Em “*residuals*” mude o valor dos resíduos de encerramento válidos para cada passo de tempo, baixando-os todos para  $10^{-5}$ . Na relaxação, use 1.0 para a pressão e 0.7 para as demais variáveis.

9) Nos menus “*passive scalars*”, “*operating conditions*” e “*cell zone*” não mexa.

10) No menu “*Boundary Conditions*” estipule as condições para velocidades e pressões nas fronteiras que foram categorizadas como “patch”. Na entradas, tipicamente para escoamentos compressíveis são estipuladas a pressão total e a temperatura estática, considerando-se condição de Neumann com gradiente nulo para a velocidade. Nas saídas tipicamente especifica-se a pressão estática, e a velocidade e a temperatura tem a condição de gradiente normal nulo. Use na primeira simulação uma pressão total na entrada de 100000 Pa, uma temperatura (use “fixedValue”, ou seja, temperatura estática; não use temperatura total) na entrada de 300 K e uma pressão estática na saída de 60000 Pa.

Verifique que a parede está com condição de escorregamento (slip wall) e é adiabática ( $\partial T / \partial n = 0$ ).

11) No menu “*Initial Conditions*” estipule a estimativa inicial para pressões e velocidades. Use uma pressão de 100000 Pa no domínio, e uma temperatura de 300 K. Considere velocidades nulas.

12) Em “*Monitors*” , selecione o submenu “Volume” e marque o monitoramento de uma média das velocidades no domínio. Isso vai ajudar a verificar a convergência da solução, pois você está usando uma simulação transiente para tentar convergir uma solução para um estado permanente.

13) Em “*Run*”, em “time control”, estipule um tempo máximo para a simulação de 1s. Como o domínio tem 15 m de comprimento e as velocidades serão acima de 150 m/s, teremos um número elevado de passagens de fluido através do domínio para garantir o estabelecimento de uma solução permanente. Em “time stepping” selecione “automatic” e estipule passos de tempo inicial e máximo de 0.01s e um Courant máximo de 0.5 . Dessa forma, o passo de tempo será adaptativo, de forma a respeitar o Courant máximo. Na opção “output” estipule a frequência com que quer salvar a solução. Salve seus resultados a cada 0.1s, guardando máximo de 2 arquivos.

14) Salve o caso usando o botão com a figura de disquette e rode.

16) Após a convergência da média da velocidade, vamos pós-processar os resultados.

17) Vá para “*postProcessing*” e clique no botão do *paraView*.

18) No canto superior direito, em “time”, escolha o último passo de tempo salvo.

19) Clique no botão “*apply*”.

20) Escolha a calculadora e calcule o número de Mach no domínio. Isso é feito através da fórmula  $\text{mag}(U)/\text{sqrt}(1.4 * 287 * T)$ , onde temos a divisão da magnitude da velocidade pela velocidade do som. Lembre-se que para o ar  $\gamma = 1.4$  e a constante do gás é  $R = 287 \text{ m}^2/(\text{s}^2 \text{ K})$ .

20) No menu “*filters*”, em “*alphabetical*”, escolha “*plot over line*”.

21) Vamos escolher uma linha entre os pontos (-5,0,0) e (10,0,0). Plote os números de Mach e a pressão.

22) Repita as simulações para pressões na saída de 70000 Pa e 90000 Pa e tire suas conclusões (o local onde ocorre o choque deve mudar).