Introdução - ok

# Slide 1

Boa noite a todos, somos do Grupo 1 Vapo, aquele que vos fala é o lindo do Gabriel Moraes de Souza, juntamente com Caterina Vargas, Lucas Moura e Pedro Henrique

Parte 1 - ok

# Slide 2

Como primeira etapa, escolhemos um motor foguete cujas informações podem ser facilmente encontradas na internet, tomando como base motores de antigas missões espaciais ficou decidido estudar o Rocketdyne F-1, utilizado ao longo das missões Apollo.

Para começar a entender todos os fenômenos e processos que ocorrem dentro do bocal, é preciso obter os parâmetros relativos do motor mostrados na tabela, como razão de expansão de área, pressão de operação, razão dos calores específicos, massa molecular dos produtos de combustão e temperatura na câmara de combustão

# Slide 3

Considerando que nesta parte temos a validade das relações isentrópicas, ao entender que a entropia é constante, podemos obter as seguintes expressões e consequentemente obter os dados de pressão, temperatura, densidade, velocidade do som e velocidade do escoamento.

Primeiro, para a placa de injeção, aproximamos o número de Mach para zero. Com isso, podemos dizer que as velocidades são nulas e a densidade pode ser obtida pela primeira equação, e seu valor é 7,99 kg/m³. Claro, usando as propriedades mostradas na tabela.

Já na entrada do Bocal temos um número de Mach de 0,3, que é o limite da incompressibilidade, e isso nos diz que a pressão, temperatura e densidade permanecem constantes, restando achar a velocidade por meio das duas seguintes equações.

Na garganta, é esperado que o fluido atinja um número de Mach igual a 1 o que já nos coloca na condição crítica ou característica de escoamento, portanto é utilizado as próximas três equações juntamente com as equações da velocidade do escoamento e do som mostradas nas seções anteriores.

Por fim temos a saída do Bocal, em que se espera atingir Mach superior a 1. Portanto utilizamos a equação que une os conceitos de Mach e razão de expansão de área para chegar no valor de mach procurado. É interessante dizer que houve uma atenção a mais para o uso de equações com formas mais gerais para o cálculo dos outros parâmetros, sempre levando em consideração as hipóteses a quais devem ser respeitadas.

# Slide 4

Aqui apresento todos os resultados obtidos do desenvolvimento comentado no slide anterior. A pressão ao longo do bocal diminui indo dos valores de 7, passando para 4,1 na garganta e por fim na saída do bocal tendo o valor de 0,06, todos em MPa.

Também ocorre diminuição da temperatura do fluido passando de valores na casa dos 3000k e saindo do bocal na casa de 1800 K. Assim como também temos a diminuição da densidade do fluido.

Agora aquilo que é de mais interessante analisar são as velocidades dos escoamentos dadas por meio da variável u, como era de se esperar, a velocidade aumenta ao passo que se aproxima da saída do bocal, conforme é mostrado no slide, saímos de um escoamento estático e passamos para um valor aproximado de de 2.551 m/s

# Slide 5

Com esses dados de velocidade em mãos fomos capazes de gerar um gráfico, utilizando a ferramenta Excel, o que nos permite ver claramente esse aumento de velocidade ao longo do motor foguete.

Parte 2

# Slide 6

# Slide 7

# Slide 8

# Slide 9

# Slide 10

# Slide 11

# Slide 12

Parte 3

# Slide 13

Uma conclusão que obtivemos da parte anterior, é que, caso a pressão de saída do bocal seja menor do que a pressão ambiente, haverá a formação de uma onda de choque na zona divergente do bocal e isso se deve como uma forma de igualar a pressão de saída à pressão ambiente.

No entanto, quando a pressão de saída do bocal é exatamente igual à pressão ambiente, o escoamento ao longo do bocal pode ser considerado isentrópico e não há a formação de ondas de choque ou expansão ao longo do escoamento. Nesse sentido, usamos a seguinte expressão exposta.

Esta equação foi resolvida para o valor da pressão de saída do bocal (*pe6*) e, assim como uma das equações utilizadas na parte 2, é uma equação transcendental, ou seja, precisa ser resolvida com o auxílio de algum recurso numérico. Sendo assim, utilizamos uma rotina no *software GNU Octave*, anexada junto ao relatório, para resolvê-la.

Consideramos duas condições de operação para o cálculo da pressão de saída. Na primeira condição, a pressão no interior da câmara de combustão será considerada a pressão normal de projeto para o motor (*pc*). Já na segunda condição, a pressão no interior da câmara de combustão será considerada a pressão com falhas na operação do motor (*pc’*). Com o uso dessa equação exposta, e a determinação dos valores de pressão externa, foram determinados, com o auxílio de uma tabela de propriedades da atmosfera padrão, as altitudes aproximadas para a satisfação da condição de escoamento isentrópico ao longo do bocal. E os resultados foram esses:

# Slide 14

Consideremos, agora, duas situações distintas. Na primeira situação, o motor opera em uma altitude inferior à calculada para uma das condições de operação mostradas nessa tabela. Nessa condição, a pressão na saída será inferior à pressão de “*backpressure*” do escoamento, de forma que haverá a formação de ondas de choque oblíquas na saída do bocal. Diz-se que, nessas condições, o bocal encontra-se em regime sobre-expandido (“*overexpanded*”). A figura abaixo ilustra a primeira situação.

Para a segunda situação, em que o motor opera em uma altitude superior a qualquer uma das calculadas anteriormente, a pressão de “*F”* do escoamento será superior à pressão de saída do bocal, de forma que haverá a formação de ondas de expansão na saída do bocal. Nessas condições, o bocal encontra-se em regime sub-expandido (“*underexpanded*”). A figura abaixo ilustra a segunda situação.

Parte 4

# Slide 15 ao Slide 18

De acordo com as condições de operação para o motor em questão, calculamos a razão de pressão do bocal, através da expressão exposta no slide.

Podemos notar que a região de operação para o motor com falhas é consideravelmente maior do que a mesma região para o motor sem falhas. Sendo assim, na condição com falhas, o motor experimentará fenômenos como a formação de ondas de choque normais no interior do bocal, assim como reflexões de Mach.

Vale ressaltar que essas imagens apresentam diagramas de operação de bocais para gama=1,4, de forma que, ao utilizarmos tais diagramas para a localização da região de operação do motor F-1, um erro é introduzido na metodologia, uma vez que, para o motor em questão, gama=1,1207.

# Slide 19

Por meio de todo o processo exposto anteriormente é possível concluir que todas as etapas executadas resultaram em condições esperadas, ou seja, propriedades do escoamento condizentes com a realidade. Sendo assim, o presente relatório foi capaz de não somente executar de maneira extremamente adequada todas as solicitações, como também gerou um documento capaz de fornecer os passos de como obter tais respostas.

No mais, possibilitou-se elaborar ferramentas computacionais que analisam os comportamentos do escoamento ao longo de um bocal convergente divergente de um motor foguete. Portanto, o devido entendimento deste documento evoca os princípios estudados e utilizados ao longo da disciplina de “Dinâmica de Gases”, fator fundamental para compreensão ampla dos mais diversos fenômenos no âmbito de escoamento de fluidos.

Agradecimentos

# Slide 20

Gratos pela atenção e boa noite a todos!