

ANÁLISE TÉRMICA E DOS EFEITOS DE RESSONÂNCIA DOS GASES EXAUSTÃO DE UM FÓRMULA 1

Ivan Sanches Provase
provase.ivan@gmail.com

Resumo. O estudo realizado visa uma melhor compreensão da termodinâmica dos gases de exaustão de um motor de combustão interna de um veículo de competição. No estudo de caso avaliado, o veículo é um Fórmula SAE. O objetivo é o modelamento termodinâmico da transferência de calor dos gases de exaustão e posterior validação do mesmo mediante experimento. As informações coletadas, como temperatura e coeficientes de troca térmica serão então utilizados como dados de entrada em um programa especializado na análise unidimensional de motores, o GT-POWER. O objetivo final é conseguir variar, de acordo com o fluxo de ar ao redor do duto de exaustão, a frequência de ressonância dos gases envolvidos e assim alterar o enchimento volumétrico do motor, maximizando o torque a região de trabalho. O princípio se apóia nas ondas de ressonância dos gases de exaustão, capazes de acelerar o fluido e assim, aumentar o rendimento volumétrico em uma dada rotação. Pode-se alterar a frequência de ressonância alterando a temperatura dos gases, e assim, altera-se a rotação de máximo enchimento volumétrico, fazendo com que o motor trabalhe com uma faixa de rotações de máximo torque ao invés de uma rotação específica de máximo torque.

Palavras chave: transferência de calor, ressonância, convecção, exaustão.

1. Introdução

O aumento de potência nos carros de fórmula 1 vem sendo explorado das mais diversas maneiras possíveis. Uma destas maneiras é a indução dinâmica de ar. Este processo se baseia na ressonância do ar de admissão, que alcança a mesma frequência de rotação do motor, e neste ponto, obtêm-se um aumento do enchimento volumétrico. Este fenômeno de ressonância dos gases também ocorre no duto de exaustão. Um dos fatores que influencia a frequência de ressonância é a temperatura dos gases. Tendo isto em vista, pode-se tentar variar a frequência de ressonância alterando a temperatura dos gases por meio da indução de ar ao redor dos dutos de exaustão.

Isto é interessante pois um veículo de competição ao longo de uma corrida se encontra em condições diferentes de escoamento do ar externo, já que em alguns momentos o veículo está em alta velocidade, como no final de uma reta, e as vezes em baixa, como em uma curva fechada. Assim, pode-se tirar proveito do fenômeno de ressonância para otimizar o torque do motor em diversas condições, maximizando a performance do veículo.

A fim de tirar proveito disto, o estudo que se segue trata-se de simular matematicamente a transferência de calor no sistema de exaustão de um veículo de fórmula SAE. O modelo é dividido em 20 volumes de controle. A troca térmica se dá radialmente. Assim, o gás de escape troca calor radialmente e segue para o próximo volume de controle, a uma temperatura menor, e assim sucessivamente.

Um ponto importante do fenômeno avaliado é a importância da radiação térmica já que as temperaturas de superfície variam entre 1000 K e 600K. Assim a troca térmica se dá preponderantemente pela radiação no começo do escoamento e ao longo do mesmo, o fator de convecção do ar se torna preponderante.

A simulação terá contrapartida com experimento, que medirá a temperatura dos gases de exaustão na entrada e na saída, contabilizando assim a troca térmica total; e também as temperaturas em cinco pontos da superfície do duto, a fim de garantir que o perfil obtido na simulação se adequa com o experimento.

2. Objetivo

O objetivo do trabalho é validar o modelo matemático da transferência de calor de um duto de exaustão de um fórmula SAE, visando assim estimar as temperaturas e os coeficientes de troca térmica do sistema.

O projeto tem contrapartida em um experimento, que servirá também, além de validar o modelo matemático, para fornecer valores de entrada para a simulação, além de nortear a temperatura na qual diversas propriedades deverão ser estimadas.

Uma vez que isto seja feito, os valores obtidos em simulação serão utilizados como dados de entrada para a simulação unidimensional, em GT-POWER, e assim avaliar a influência do escoamento forçado de ar externo no duto de exaustão, na curva de torque do motor de um veículo de competição.

3. Indução dinâmica

3.1 Fenômeno físico

O fenômeno de indução dinâmica é um fenômeno amplamente conhecido e utilizado no mundo automotivo.

Consiste em utilizar as ondas refletidas ou geradas nas válvulas do motor para alterar as características do escoamento do fluido, ou seja, submetê-lo a uma nova condição de escoamento.

Na admissão, o fechar das válvulas causa uma onda que se desloca pelo sistema de admissão. Ao encontrar uma abertura (mudança abrupta de diâmetro) a onda, que antes se tratava de uma onda de rarefação é novamente refletida,

agora na forma de um acréscimo de pressão. O aproveitamento desta onda por parte do sistema de admissão consiste então em garantir que a mesma alcance as válvulas apenas na próxima abertura das mesmas, garantindo assim, uma maior eficiência volumétrica.

No duto de exaustão ocorre um fenômeno semelhante. O abrir das válvulas causam uma onda de alta pressão que ao encontrar uma abertura é refletida sob a forma de uma onda de rarefação. Esta acelera o fluido enquanto se desloca em direção às válvulas de exaustão. O aproveitamento desta onda por parte do sistema de exaustão consiste então em garantir que a mesma alcance as válvulas durante o período de *overlap* das válvulas, garantindo assim uma melhor limpeza do cilindro, o que resulta em um melhor enchimento volumétrico (mistura final na câmara possui menos material residual da queima anterior), além de diminuir o trabalho de bombeamento (trabalho realizado para expulsar os gases já queimados de dentro da câmara de combustão).

3.2 Freqüência de ressonância e suas dependências

A freqüência de ressonância do sistema de exaustão depende de uma série de fatores como:

- comprimento do duto
- diâmetro do duto
- vazão do sistema
- velocidade do som no fluido

Uma vez que estes parâmetros estejam definidos, existirá uma e somente uma freqüência na qual o fenômeno descrito a cima poderá ser aproveitado para gerar mais potência. Isto pode ser visto na figura abaixo:

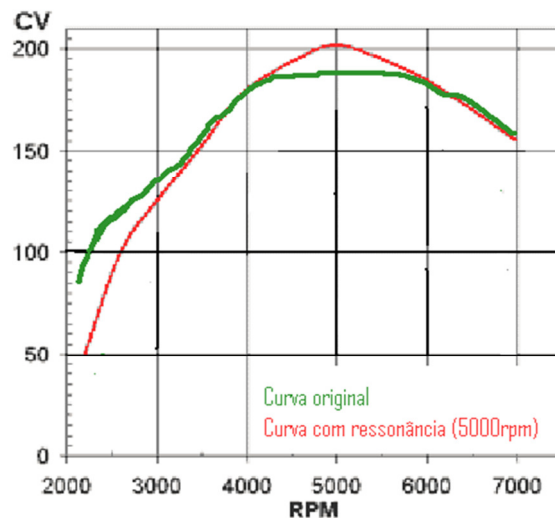


Figura 1: Curva de torque em um sistema com e outro sem a utilização da ressonância para aumento de enchimento volumétrico.

O veículo não mantém rotação constante ao longo de um circuito, sendo assim, seria extremamente vantajoso que se pudesse variar os parâmetros a cima tratados para assim, gerar ao invés de uma única freqüência, uma faixa de operação em que o efeito de ressonância pudesse ser aproveitado.

Os primeiros parâmetros são parâmetros difíceis de serem alterados devido às altas temperaturas em que o sistema trabalha, fazendo com que a mecânica utilizada deixasse o sistema excessivamente pesado ou ainda, não fosse capaz de garantir a hermeticidade necessária para o sistema. Já a vazão do sistema é uma intrínseca condição de operação do motor, sendo assim um fator imutável.

Resta-se então alterar a velocidade do som no meio, garantindo que a onda percorra o duto no tempo síncrono com o abrir da válvula de admissão (*overlap* entre as válvulas).

A velocidade de um som no meio, admitindo gás ideal:

Em que:

R - constante dos gases ($\text{m}^2/\text{s}^2.\text{K}$)

k - coeficiente politrópico, ou, razão entre os calores específicos (—)

T - temperatura do fluido (K)

Como a constante dos gases é um valor imutável, e o coeficiente politrópico é uma característica intrínseca do fluido analisado (uma mistura de , CO, e), não pode ser manipulado. Resta assim alterar a temperatura dos gases de exaustão.

A variação da temperatura dos gases de exaustão seria feita mediante indução forçada de ar nas paredes externas do duto de exaustão, aumentando assim o coeficiente de convecção.

Desta maneira, poder-se-ia diminuir a temperatura média dos gases de exaustão induzindo ar durante a parte de baixa velocidade de circuito, em que o carro estaria preponderantemente em uma faixa de rotação um pouco menor. E ao mesmo tempo, poder-se-ia aumentar a temperatura dos gases de exaustão no final de uma reta, ou saída de uma curva de alta velocidade, gerando uma região de sombreamento, causada pelo descolamento do fluido das paredes, favorecendo o enchimento volumétrico em alta rotação.

Aqui se deve salientar o caráter complexo do invólucro, já que o mesmo deve garantir que o fluido tenha grande vazão próxima ao duto de exaustão, garantindo também que o mesmo estará em contato com o ar externo, porém, deve possuir uma geometria tal que o fluido descole das paredes do duto de exaustão, gerando uma região sombreada do ponto de vista fluido-mecânico, o que resultaria em uma maior resistência térmica do sistema, garantindo um aumento de temperatura médias dos gases.

Tal estudo da geometria do invólucro não será abordado; apenas uma análise térmica de um processo idealizado (porém, altamente factível) de transferência térmica por parte dos gases de exaustão para o ambiente será analisado.

4. Modelo

Como citado a cima, o aumento da velocidade do ar induzido ao redor do duto de exaustão causa um aumento na troca térmica. Isto, pois o sistema foi modelado como um trocador de corrente paralela no formato de dutos concêntricos.

O duto interno diz respeito ao duto de exaustão e o fluido interno é a mistura dos gases provenientes da combustão. Já o duto externo é compreendido pelo invólucro e o fluido é o ar ambiente. Ao mesmo será atribuída certa velocidade, já que para efeitos físicos, é irrelevante se o veículo está se movendo e o ar está parado, ou vice-versa.

O duto de exaustão, devido à temperatura de operação, possui uma quantia considerável de calor trocada por meio de radiação. Esta, porém, é mais preponderante no começo do tudo, que possui temperaturas maiores, e decresce ao longo do mesmo.

Após algumas simplificações, em que se deve ressaltar:

- propriedades dos fluidos e materiais serão avaliadas a uma temperatura média dos mesmos
- propriedades dos fluidos e materiais constantes ao longo de todo o processo
- modelo avaliado na região térmica/fluidicamente desenvolvida
- troca térmica axial desprezível (grande turbulência do escoamento)

Um vez que estas hipóteses foram feitas, pode-se montar o modelo equivalente de troca térmica.

4.1. Modelo equivalente radial

O modelo equivalente baseia-se na troca térmica radial do sistema. O duto foi então dividido em diversas seções. Em cada uma destas seções o gás de exaustão troca calor com a parede interna do duto de exaustão, por meio de convecção; já entre a parede interna e externa, o calor é transferido por meio de condução térmica. Por fim, a parede externa troca calor com o ar ambiente por meio de convecção e com a vizinhança, por meio de radiação. Aqui uma simplificação foi feita. Para garantir que o sistema fosse possível de ser resolvido sem a necessidade de muitos valores de entrada, que deveriam ser estimados e portanto, possivelmente gerariam ruídos à simulação, o sistema tem uma mesma temperatura para o ar induzido externamente e para a vizinhança.

Tal simplificação pode ser vista na figura 2.

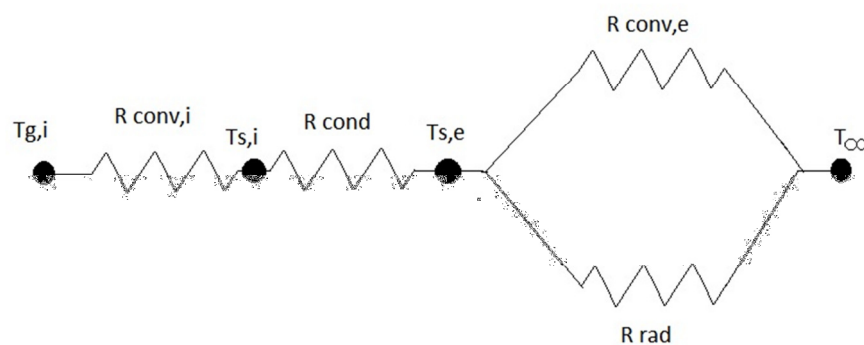


Figura 2: Modelo térmico de transferência radial equivalente

Segundo **Incropera** (2007), a transferência de calor realizada pelo ar externo ser modelada segundo as mesmas equações que regem a transferência de calor no duto interno (Dittus-Boelter), se o escoamento do mesmo é turbulento. Assim, para o escoamento externo:

$$\overline{Nu}_D = 0,023 \cdot Re_D^{\frac{4}{5}} \cdot Pr^{0,4}$$

O expoente no número de Prandtl recebe este valor por se tratar de um aquecimento.
Já para escoamento interno:

$$\overline{Nu}_D = 0,023 \cdot Re_D^{\frac{4}{5}} \cdot Pr^{0,3}$$

O expoente no número de Prandtl recebe este valor por se tratar de um resfriamento.
Para ambos os casos, o coeficiente de troca térmica por convecção é regido por:

$$\bar{h} = \frac{k}{D} \cdot \overline{Nu}_D$$

Em que k é a condução térmica do gás e d o diâmetro hidráulico avaliado.

Uma vez que o $\bar{h}$ tenha sido calculado, pode-se calcular a resistência térmica segundo a fórmula abaixo:

$$R_{conv} = \frac{1}{\bar{h} \cdot 2 \cdot \pi \cdot r_i \cdot L}$$

Em que L diz respeito ao comprimento da seção avaliada.

Outro fator importante é a troca de calor por radiação. Tal transferência é proporcional, a quarta potência, à temperatura de superfície avaliada e à temperatura da vizinhança a qual a radiação incidirá. Porém desta maneira não seria possível montar o sistema equivalente mostrado na figura 2 e a solução matemática do problema seria extremamente complexa. A fim de resolver isto, segundo Incropera(2007) a troca de calor por radiação pode ser linearizada, aproximando a mesma por uma troca de calor semelhante á convecção, com um coeficiente de troca térmica, $\bar{h}_r$, equivalente. Tal coeficiente varia de acordo com a seção analisada segundo a expressão abaixo.

$$\bar{h}_r = \varepsilon \cdot \sigma \cdot (T_{s,e} + T_{viz})(T_{s,e}^2 + T_{viz}^2)$$

Como ressaltado acima, o fato de o ar induzido e a vizinhança possuírem a mesma temperatura possibilitou que resistência térmica de convecção fosse colocado em paralelo com a resistência térmica equivalente de radiação, fazendo com que o fluxo de calor na seção fosse calculado, bastando apenas estimar a temperatura do gás de exaustão e do ar/vizinhança, segundo a equação abaixo.

$$\dot{q} == \frac{(T_{g(i)} - T_{\infty})}{\frac{1}{\bar{h}_i \cdot 2 \cdot \pi \cdot r_i \cdot L_i} + \frac{\ln(\frac{r_e}{r_i})}{2 \cdot \pi \cdot k \cdot L_i} + \frac{1}{\bar{h}_e \cdot 2 \cdot \pi \cdot r_e \cdot L_i} \cdot \frac{1}{\bar{h}_r \cdot 2 \cdot \pi \cdot r_e \cdot L_i}}$$

4.1. Interação entre as seções

O gás de exaustão se desloca entre as seções do duto e uma vez que haja troca de calor em uma seção, o mesmo se alcança a próxima seção a uma temperatura menor que a anterior (variação do calor sensível), conforme mostrado abaixo:

$$T_{gas}(i+1) = T_{gas}(i) - \frac{\dot{q}(i)}{cp_{gas} \cdot \dot{m}_{gas}}$$

Ressalta-se que o valor do calor específico foi calculado segundo uma estimativa e iterado de acordo com os resultados, já que apresenta dependência em função da temperatura. Outra consideração é que o mesmo é tido como constante em todo o escoamento. A distribuição dos gases foi feita segundo a queima da gasolina (C_8H_{18}) com um

coeficiente de razão ar combustível (ϕ) igual a 0.85. Este coeficiente foi escolhido pois os motores, em plena carga, operam com uma mistura rica, pois assim previnem o superaquecimento da câmara de combustão, válvulas e cabeçote, além de prevenir o *knock*. O *knock* é o efeito do choque de duas frentes ondas. Idealmente, deveria haver apenas uma frente de onda no cilindro, a gerada pela centelha de ignição, porém devido à alta temperatura e alta pressão da mistura, a mistura pode alcançar as condições necessárias para entrar em auto-ignição e assim iniciar uma nova frente de onda. Este efeito é prejudicial pois gera ondas de alta frequência que podem gerar cavitação ao redor da câmara de combustão (água de resfriamento) e assim corroer a câmara por fora, além de causar aumentos abruptos de pressão. Se antes era esperado uma pressão de até 25 MPa na câmara, com este choque de ondas, pressões de até 60 MPa são geradas, o que pode sobrecarregar o sistema, acelerando o processo de fadiga.

Desta forma, como mostrado nas hipóteses simplificadoras, não a troca de calor longitudinal, mas sim, uma diminuição da temperatura de um determinado volume de controle de gás de exaustão que se desloca pelas seções do duto.

A vazão mássica dos gases de exaustão é difícil de ser calculada devido à densidade dos mesmos, que é difícil de ser calculada ou até estimada. A alternativa foi utilizar o conceito de conservação das massas., ou seja, a massa dos gases de exaustão é a mesma do ar de admissão somada à massa do combustível (gasolina). Esta conta seria ainda uma aproximação, assim, utilizou-se a simulação em GT-POWER, que apontou a vazão massa dos gases de exaustão de 36 g/s, conforme a figura abaixo.

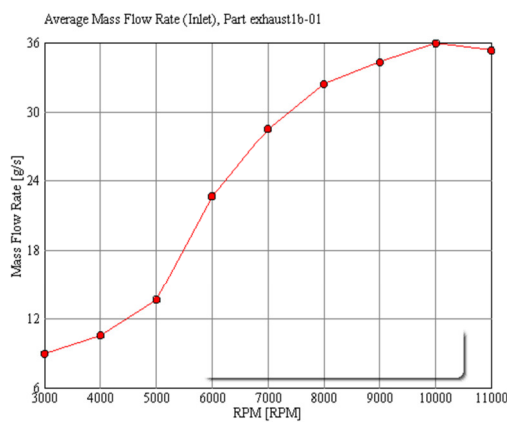


Figura 3: Simulação em GT-POWER da vazão mássica

Ressalta-se o valor desta vazão mássica no cálculo do adimensional Reynolds, que afeta diretamente o adimensional Nusselt e assim, afeta indiretamente o coeficiente de troca térmica por convecção.

5. Propriedades

Como mostrado acima, muitas propriedades tiveram de ser iteradas devido à sua dependência com a temperatura. Desta forma, chegaram-se aos resultados abaixo.

Tabela 1. Propriedades do gás de exaustão

Temperatura média: 950 K		
Propriedade	Valor	Unidade
ρ	0.41	kg/m ³
k	0.00005744	W/m.K
cp	1280	kJ/kg.K
Pr	0.75	-
μ	0.00003235	N.S/m ²

Assim como as propriedades do ar externo utilizado no resfriamento.

Tabela 2. Propriedades do ar

Temperatura média: 315 K		
Propriedade	Valor	Unidade
ρ	1.08	kg/m ³

k	0.00002929	W/m.K
cp	1000	kJ/kg.K
Pr	0.705	-
μ	0.00001932	N.S/m ²

Notam-se as temperaturas nas quais tais valores foram avaliados. Como mencionado no modelo simplificado, a temperatura do ar será tida como a mesma da vizinhança.

Os valores das tabelas 1 e 2 foram retirados do programa EES.

Outro valor importante é a condução térmica do aço do duto de exaustão. Tal coeficiente vale 35 W/m.K, avaliado a 900K.

6. Simulação

Com o equacionamento completo, utilizou-se o MatLab 2008 para fazer a simulação do sistema.

São necessários 3 valores de entrada para o sistema: a temperatura inicial dos gases de exaustão, a temperatura de vizinhança e uma temperatura de superfície externa do duto (para o cálculo do coeficiente de troca térmica por radiação equivalente). A estes foram atribuídos, respectivamente:

- : 1000K
- : 315 K
- : 900 K

Com isto, obteve-se a seguinte resposta do sistema. Nota-se que o eixo y marca a temperatura, em Kelvin, e o eixo x indica a seção avaliada.

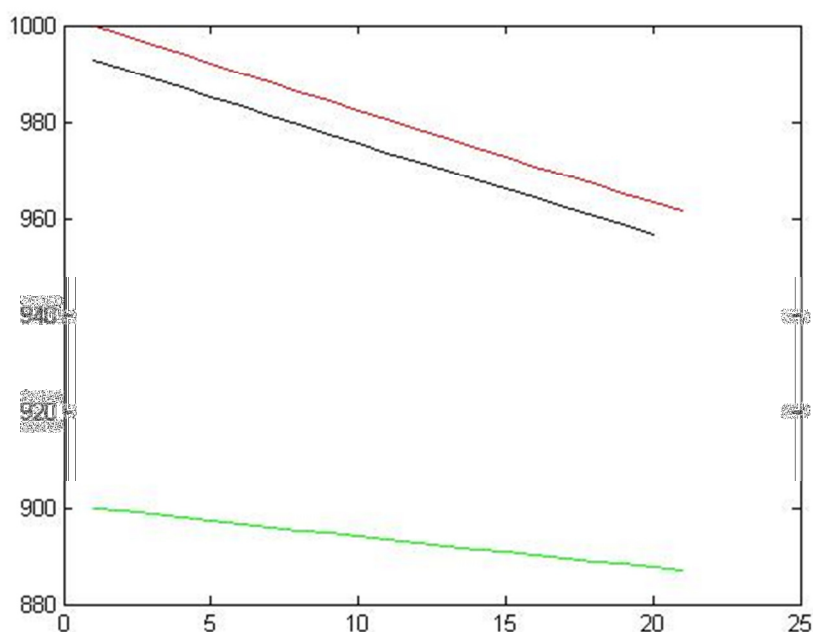


Figura 4: Simulação em MatLab do sistema térmico analisado

A linha superior indica a temperatura dos gases de exaustão. Já a linha intermediária indica a temperatura da superfície interna do duto de exaustão. A linha inferior indica a temperatura externa do duto de exaustão.

Como pode ser observado, o comportamento da temperatura é praticamente linear. Tal fato até a presente data ainda não foi totalmente compreendido. Não se sabe se é produto das simplificações do modelo físico, ou se representa a realidade.

7. Experimento

A fim de garantir que o modelo está correto, assim como alimentar o modelo com dados melhores de temperaturas na seção inicial, o modelo acima descrito será construído em escala real.

Trata-se de utilizar o motor da equipe de fórmula SAE da Equipe Poli Racing para o determinado teste, já que muitos valores como vazão volumétrica e geometria do sistema de exaustão foram retirados do mesmo.

Para este experimento pretende-se utilizar 2 termopares para monitorar a temperatura interna dos gases, na entrada do duto e na saída do mesmo. Serão ainda utilizados outros termopares situados na superfície externa do duto. Estes termopares fornecerão uma melhor compreensão quanto à distribuição de temperatura no duto e conseqüentemente uma melhor compreensão da distribuição do fluxo de calor entre cada uma das seções, validando ou não o obtido em simulação.

O duto de exaustão possui 40 mm de diâmetro interno, 44 de externo e um comprimento efetivo para o experimento de 1200 mm. Diz-se um comprimento efetivo, pois os primeiros 400 mm do duto correspondem à região de entrada e instabilidade fluídica e térmica. O escoamento se torna plenamente desenvolvido a partir desta distância.

A figura abaixo mostra as dimensões do invólucro utilizado.

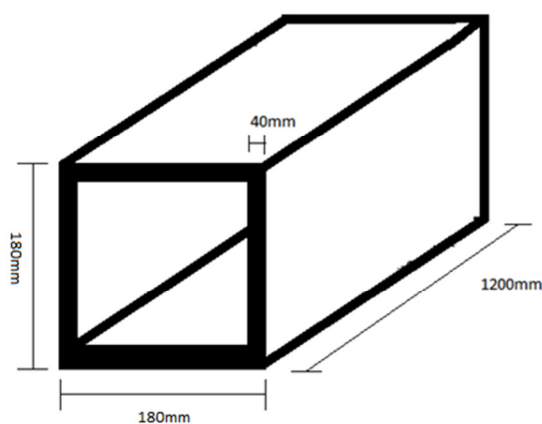


Figura 5: Esquema do invólucro utilizado

O invólucro é feito de isopor. Sua geometria quadrada foi escolhida devido a facilidade de construção. Tal fato porém interferiu em algumas equações, já que o diâmetro da seção na qual o ar estaria fluindo é na verdade o diâmetro hidráulico de uma seção quadrada.

O ideal seria realizar o teste em um dinamômetro onde a condição de plena carga seria devidamente simulada. Como isto é difícil, tal condição será simulada por sucessivas acelerações do motor em torno da rotação desejada de 10.000 RPM. Isto pois assim, a relação de ar / combustível será semelhante àquela em plena carga, assim como a vazão e o avanço de ignição.

Primeiramente isto será feito sem a indução de ar externo, simulando uma possível condição de sombreamento do duto. Depois será utilizado um ventilador e ar externo escoará entre o duto e o invólucro.

Uma das principais quantias a serem comparadas entre o modelo e o experimento é o fluxo total de calor transferido do sistema, facilmente obtido no experimento pela diferença de temperatura entre entrada e saída dos gases.

8. Conclusões

O trabalho até a presente data tem mostrado resultados interessantes. Primeiro na própria análise do mesmo, que não apenas se baseia na avaliação de um sistema térmico, mas também a possibilidade de utilizar uma característica do mesmo, ou seja, o aumento de fluxo de calor de acordo com a velocidade do ar induzido ao seu redor, para atenuar ou enfatizar ou terceiro fenômeno físico, a ressonância dos gases de exaustão em dutos de exaustão em veículos de competição, gerando assim um aumento de potência em uma faixa ainda mais ampla de rotação.

Em segundo, o modelo térmico utilizado em si. Apesar de aparentemente simples o modelo exigiu muita pesquisa, principalmente na adequação da radiação às equações utilizadas, assim como o adimensional Nusselt para a geometria e condição de escoamento presentes no sistema: um escoamento paralelo de dutos concêntricos com fluidos diferentes, somados à radiação do duto interno.

Outro ponto importante deste trabalho é o lado experimental. Não apenas se baseando nas equações e modelos matemáticos, poderá, assim que concluída a experiência, obter valores reais dos coeficientes de exaustão, assim como

mensurar de maneira mais precisa as grandezas envolvidas, como o fluxo de calor transferido do sistema e a variação de temperatura, tanto do gás de exaustão quanto da superfície do duto, indicando assim o perfil do fluxo de calor.

Ressalta-se que o objetivo do experimento é não apenas alimentar o modelo matemático com valores mais precisos de temperatura mas também validar o modelo matemático. Assim, caso seja necessário, após o experimento, caso haja um profundo entendimento do fenômeno físico, se houver alguma diferença entre a teoria e a prática, poderão ser utilizados fatores de correção para o modelo matemático, principalmente devido à linearização da troca térmica por radiação, assim como da consideração de uma temperatura de vizinhança constante, o que alteraria o fator de forma do sistema, e também a consideração da temperatura de ar constante, o que afeta diretamente a troca térmica por convecção, diminuindo o efeito da mesma nas primeiras seções e aumentando nas últimas, porém não necessariamente compensando a fim de manter um equilíbrio global da troca de energia.

7. Referências

1. Churchill, S.W., and H.H.S. Chu, "Int. J. Heat Mass Transfer", 18, 1049, 1975
2. Heywood, John B, "Fundamentals of Internal Combustion Engine", Mcraw- Hill, 1988, New York
3. Incropera / DeWitt / Bergman / Lavine, "Fundamentos de Transferência de Calor e Massa", 6ª ed. 2007, São Paulo
4. R. Siegel and J.R. Howell, Thermal Radiation Heat Transfer, 3rd ed., Hemisphere/Taylor and Francis, Washington, D.C., 1992
5. M. M. Modest, Radiative Heat Transfer, McGraw-Hill, New York, 1993
6. M. N. Özisik, Radiative Transfer and Interactions with Conduction and Convection, John Wiley and Sons, New York, 1973
7. Perlmutter, M., and R. Siegel, "Heat transfer by combined forced convection and thermal radiation in a heat tube", ASME Journal of Heat transfer, vol. C84, pp. 301-311, 1962
8. R. M. Warren, P. H. Harnett, I. C. Young, Handbook of Heat Transfer, 3rd, McGraw-Hill, 1998
9. R. Siegel and J.R. Howell, Thermal Radiation Heat Transfer, 3rd ed., Hemisphere/Taylor and Francis, Washington, D.C., 1992
10. Siegel, R. and M. Permuter, "Convective and Radiant heat transfer for flow of a transparent gas in a tube with gray wall", International Journal of Heat and Mass Transfer, vol 5, pp. 639-660, 1962
11. Siegel, R., and E. G. Keshock: "Wall temperature in a tube with forced convection, internal radiation exchange and axial wall conduction", NASA TN D-2116, 1964
12. Van Ylen, Sonntag, Borgnakke, "Fundamentos da Termodinâmica", 6ª edição, Editora Blucher, 2003, São Paulo
13. EES, Software

9. Direitos autorais

THERMAL ANALYSIS OF THE COMBUSTION GAS IN AN EXHAUST MANIFOLD UNDER FORCED EXTERNAL AIR FLOW

Ivan Sanches Provase

provase.ivan@gmail.com

Abstract. The next study tries to achieve a better comprehension of the thermodynamic of the exhaust gas in an internal combustion engine used in a competition vehicle. The study case is a formula SAE car, that belongs to the Team Poli Racing. The main objective is to build a thermodynamic model of the heat transfer from the exhaust followed by a validation experiment. All the data acquired, as temperatures and heat transfer coefficients will be use as input to a specialized one dimensional engine Simulator program, the GT-POWER. The target is to vary the exhaust gas mean temperature according to the air flow around the exhaust manifold. If that is achieved, the resonance phenomenon will also be controlled. This phenomenon is a dynamic resonance that increases the air scavenging and decreases the pumping work by accelerating the exhaust gas trough the exhaust manifold. That happens because the exhaust valve opening creates a wave that travels in the exhaust manifold until the next opening. Once it get there, it reflects as a low pressure wave. This wave accelerates the flow and once gets on the exhaust valve and on the cylinder chamber, is helps the residual gas to be expel. This phenomenon only occurs in a specific frequency, determined by the manifold geometry and gas temperature. So, IF the exhaust gas temperature could be controlled, the resonance could also be controlled and there will be no more fixed frequency for that, but instead of this, a larger band o f RPM will be pleased by this effect.

Keywords: heat transfer, resonance, convection, exhaust