



Influência das Características Físicas do Gás na Excitação da Carcaça Através da Cavidade de um Compressor Hermético

Fabiano N. Diesel e Arcanjo Lenzi

Laboratório de Vibrações e Acústica

Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina

Caixa Postal 476

CEP 88040-900 – Florianópolis – SC

e-mail diesel@emc.ufsc.br ; arcanjo@emc.ufsc.br.

Resumo. *O compressor hermético é um componente encontrado na grande maioria dos sistemas de refrigeração doméstico, tais como geladeiras, freezer e ar condicionado, constituindo-se numa das principais fontes de ruído sonoro do sistema. Internamente, o ruído é gerado por vários mecanismos, tais como as grandes e bruscas variações de pressão do gás no cilindro, causado pelo fluxo intermitente do gás admitido pelo cilindro.*

Diversos gases podem ser usados nesses sistemas, cada um deles contendo características físicas diferentes que interferem no comportamento dinâmico do compressor, conseqüentemente, no ruído gerado. Mudanças na pressão de sucção e descarga, assim como na temperatura de funcionamento do compressor, também provocam alterações nessas características.

Modelos de elementos finitos da cavidade, contendo gás refrigerante, acoplada à carcaça foram desenvolvidos, analisando o comportamento dinâmico do compressor, observando a pressão na cavidade, a velocidade na carcaça mediante alterações nas características do gás.

Palavras chave: ruído, compressor hermético, gás refrigerante.

1. INTRODUÇÃO

Uma fonte de ruído no interior de uma residência é também uma fonte de estresse, de tal forma que o consumidor tem cada vez mais levado em consideração a qualidade do produto, além do preço, e um destes itens de qualidade é o nível de ruído gerado pelos eletrodomésticos. Sendo assim, têm-se concentrado esforços para que o nível de ruído gerado por um equipamento seja reduzido e, ao mesmo tempo, os custos de produção do mesmo não sejam aumentados, ou até mesmo reduzidos.

Dentre estes produtos encontram-se os aparelhos de refrigeração domésticos, nos quais em sua grande maioria uma das principais fontes de ruído é compressor hermético, componente que é responsável pela circulação do gás refrigerante no sistema. A Fig. (1) mostra um esquema do modelo de compressor hermético estudado.

Geralmente, a compressão é feita mediante um compressor alternativo de único pistão, o que causa intermitência no fluxo de gás no sistema de refrigeração. Para reduzir a influência desta intermitência, utilizam-se câmaras nas linhas de sucção e de descarga do gás. Na descarga estas câmaras são chamadas de câmaras de expansão e na linha de sucção são chamados de *muffler* ou silenciadores. No entanto, devido ao espaço limitado para o projeto dessas câmaras, conjuntamente com a necessidade de maximizar a capacidade de fluxo de gás refrigerante, essas câmaras têm a sua eficiência limitada, o que proporciona transmissão de energia vibratória pelo sistema de sucção e de descarga.

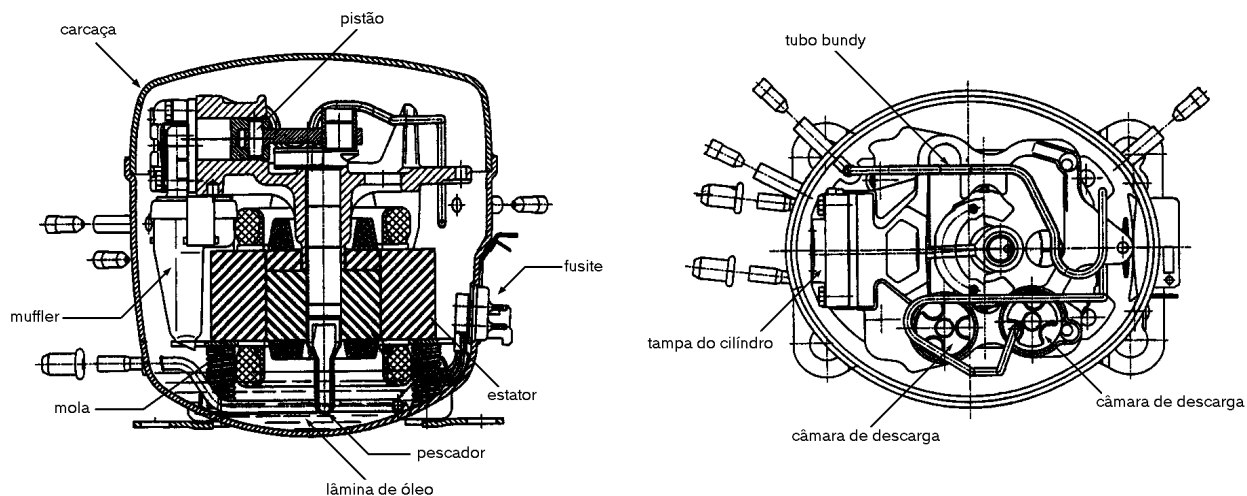


Figura 1. Esquema de um compressor hermético.

No sistema de sucção, a energia vibratória é transmitida para o gás refrigerante que fica retido no interior do compressor, numa região delimitada pelo conjunto moto-compressor interno, pela carcaça e pelo óleo lubrificante retido no fundo da carcaça, sendo esta região denominada de cavidade.

Por sua vez, a energia vibratória recebida pela cavidade chega à carcaça, fazendo-a vibrar com conseqüente irradiação sonora para o meio. A forma como esta energia se propaga na cavidade até chegar à carcaça é o objetivo deste trabalho.

Porém, sabendo que diversos tipos de gases refrigerantes podem ser usados, cada qual com características físicas próprias, a influência das duas principais características na propagação de energia vibratória em meio gasoso também foi analisada.

2. MODELOS NUMÉRICOS

Modelos numéricos foram desenvolvidos utilizando-se o método de elementos finitos, FEM, e para tal foi escolhido o software comercial MSC/NASTRAN 70.7. Os elementos utilizados fazem parte de sua biblioteca, User's Guide (Caffrey & Lee, 1994, Blakely, 1993, Herting, 1997 e MSC, 1996).

2.1. Modelo Numérico da Carcaça

A carcaça de um compressor hermético é uma casca de aço que impede qualquer contato entre o meio externo e o sistema moto-compressor montado em seu interior. É, talvez, o componente de maior influência pelo fato de ser o irradiador final do ruído para o ambiente. Estudos conduzidos por Saito et al. (1980) indicaram a importância da otimização da forma geométrica e dos raios de curvatura. Com as mesmas excitações internas, a potência sonora irradiada pelo compressor foi reduzida ao mesmo tempo em que a espessura da carcaça pode ser reduzida em 1mm. Este trabalho, entretanto, não aborda os aspectos de modificações estruturais como meios de redução do ruído.

Assim, a carcaça foi modelada com dados geométricos o mais exatos possível, sendo gerada uma malha com 3374 elementos e 1689 nós. Os elementos utilizados foram CTRIA3, com 3 nós por elemento e 5 graus de liberdade por nó (translações nas 3 direções e rotações fora do plano do elemento).

Os dados de entrada no modelo numérico da carcaça são: material (aço), densidade de massa, ρ_a (7800kg/m³), módulo de Poisson $\nu = 0,3$ e módulo de elasticidade, $E = 200\text{GPa}$. O amortecimento foi considerado constante ao longo de toda a faixa de frequência estudada, expresso em forma de fator de perda, com valor igual a 0,01.

A Fig. (2) mostra a malha utilizada nos modelos numéricos da carcaça.

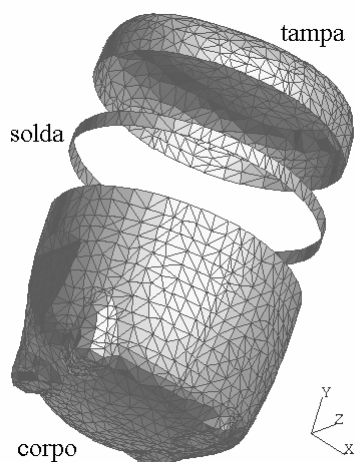


Figura 2. Modelo numérico da carcaça.

2.2. Modelo Numérico da Cavidade

A cavidade é considerada como sendo o espaço ocupado pelo gás retido no interior do compressor hermético, ficando confinado entre o conjunto moto-compressor e a carcaça.

Sangoi (1983) em estudos de identificação de fontes de ruído modelou o campo sonoro no interior da cavidade, considerando a carcaça como uma esfera perfeita e o kit como uma esfera pulsante concêntrica à carcaça, verificando que seus níveis são elevados. Concluiu que este é um caminho importante de transmissão da energia de excitação gerada no interior do conjunto moto-compressor para a carcaça.

Para as análises deste trabalho, a cavidade foi modelada com elementos de fluido, CTETRA, os quais possuem 4 nós por elementos e um grau de liberdade por nó (apenas a pressão) totalizando 21136 elementos e 5419 nós. O gás que compõe a cavidade foi o gás refrigerante R134a, cujos dados necessários para o modelo numérico são a densidade de massa do gás ($\rho_g = 4,36\text{kg/m}^3$), a velocidade de propagação da onda sonora no gás ($c_g=170\text{m/s}$) e o amortecimento. Este também foi considerado constante em toda a faixa de frequência.

A Fig. (3) mostra um corte na malha utilizada nos modelos numéricos da cavidade. Nesta figura observam-se as superfícies internas, as quais são delimitadas pela geometria do conjunto moto-compressor, com destaque para o *muffler* e seu bocal, região de aplicação das excitações acústicas destas análises.

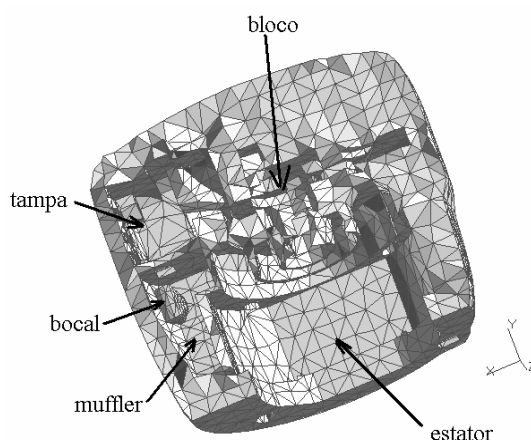


Figura 3. Modelo numérico da cavidade.

3. EFEITOS DAS CARACTERÍSTICAS DO GÁS

Existem diversos gases refrigerantes que podem ser utilizados em sistemas de refrigeração, entre eles estão o R134a, o R12 e o R600a. Cada gás apresenta características diferentes, tanto no que se refere à capacidade de refrigeração, como nas características físicas que interferem na capacidade de propagação de energia sonora, isto é, na densidade de massa e na velocidade do som.

Para conhecer o efeito dessas características físicas no ruído do compressor, foram simulados três casos, todos usando modelos acoplados de cavidade e carcaça, sendo excitados por um pistão rígido oscilando harmonicamente com velocidade de amplitude unitária em toda a faixa de frequência de estudo. A excitação foi imposta na entrada do bocal do *muffler* de sucção.

Em um primeiro caso, manteve-se as características normais do gás R134a, num segundo dobrou-se o valor da densidade de massa (mantendo a velocidade do som normal) e, por fim, fez-se o inverso. Em todos os casos foi calculada a pressão sonora média na cavidade, fazendo uma média em 38 pontos, e a velocidade normal à superfície da carcaça, usando uma média em 35 pontos, Fig. (4) a (10).

Da Fig. (4) observa-se que dobrando o valor da velocidade do som, as ressonâncias da cavidade passam a ocorrer com o dobro da frequência inicial. O deslocamento das frequências de ressonância observado para o caso com o gás mais denso foi de pequena grandeza, de forma que não interferiu nas formas das curvas de respostas, Fig. (5) e (7).

Nota-se, ainda, nas Fig. (4) e (6) que a pressão sonora na região de frequência onde surge a primeira ressonância da cavidade com o gás com o dobro de sua velocidade possui nível maior que com velocidade normal. Conclui-se que o pistão não consegue irradiar a mesma quantidade de energia para os dois casos. Fato semelhante foi observado na Fig. (7), porém verifica-se nesta que ocorre um acoplamento melhor entre os modos da carcaça e da cavidade a partir da banda de 3,15kHz quando a velocidade do som no gás tem o seu valor dobrado.

Das Fig. (5) e (8), verifica-se que dobrando a densidade de massa do gás, a resposta do sistema aumenta, aproximadamente, 6dB em todas as frequências. Isso ocorre porque o gás mais denso, por possuir maior quantidade de massa em um mesmo volume, apresenta maior capacidade de absorver energia da fonte e transmiti-la às demais regiões da cavidade.

A resposta da carcaça quando a cavidade possui gás mais denso também apresenta maiores níveis em todas as bandas, pois chega maior quantidade de energia a esta. No entanto, verifica-se nas Fig. (9) e (10) que esse acréscimo é inferior a 6dB nas frequências onde surgem as ressonâncias da carcaça, pois o gás mais denso proporciona uma maior impedância na interface entre a cavidade e a carcaça.

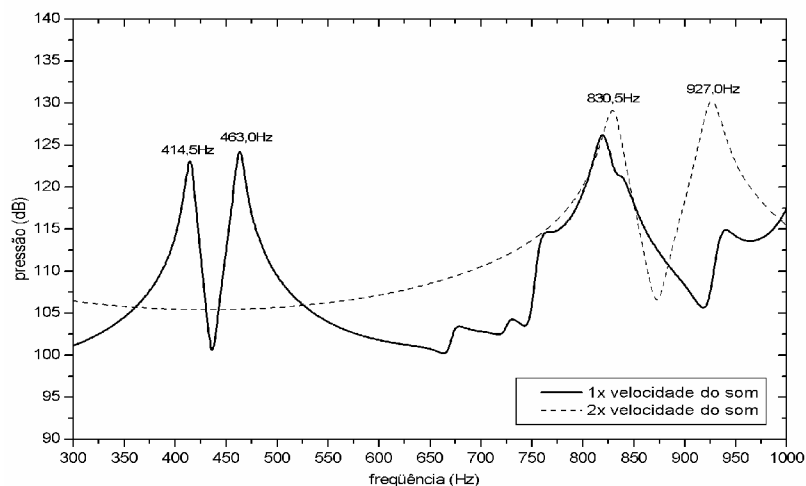


Figura 4. Pressão na cavidade de acordo com a velocidade do som do gás, em banda estreita.

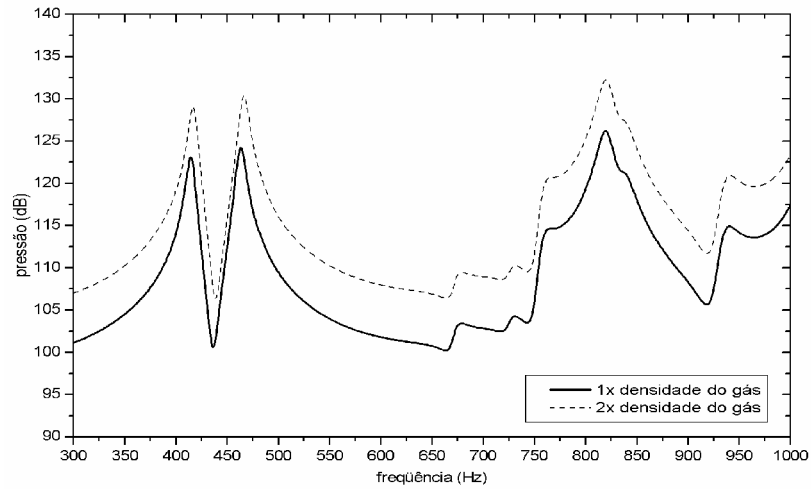


Figura 5. Pressão na cavidade de acordo com a densidade de massa do gás, em banda estreita.

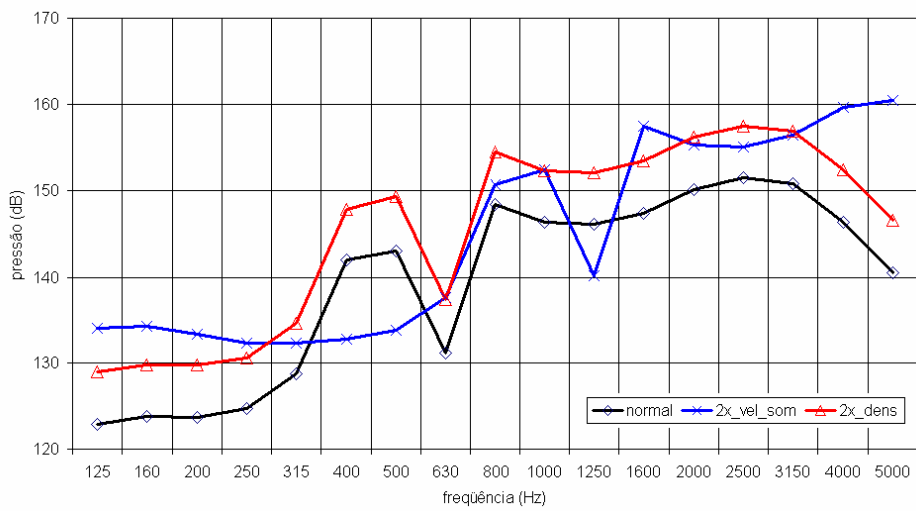


Figura 6. Pressão sonora na cavidade de acordo com a velocidade do som e a densidade de massa do gás, em banda de terço de oitava.

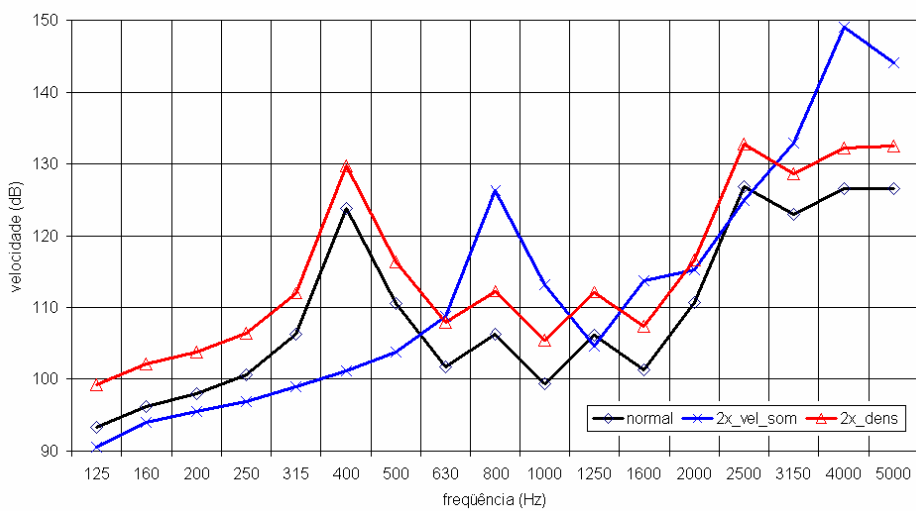


Figura 7. Velocidade média da carcaça de acordo com a velocidade do som e a densidade de massa do gás, em banda de terço de oitava.

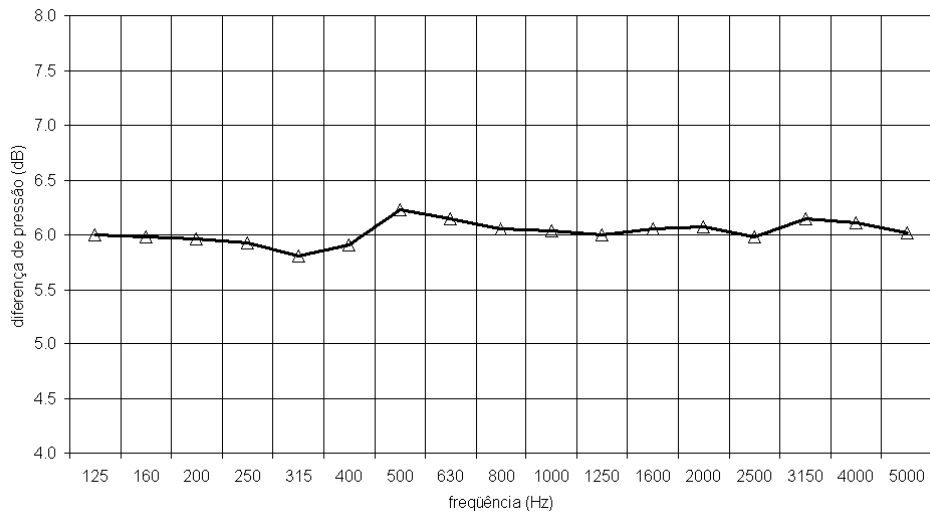


Figura 8. Diferença de pressão sonora na cavidade quando a mesma possui gás com densidade dobrada e normal, usando o caso normal como referência, em banda de terço de oitava.

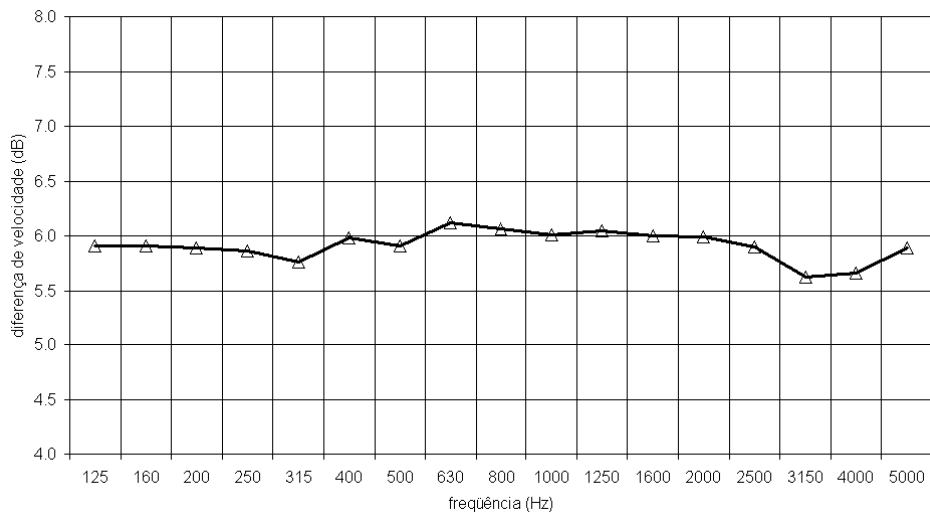


Figura 9. Diferença de velocidade da carcaça quando a cavidade possui gás com densidade dobrada e normal, usando o caso normal como referência, em banda de terço de oitava.

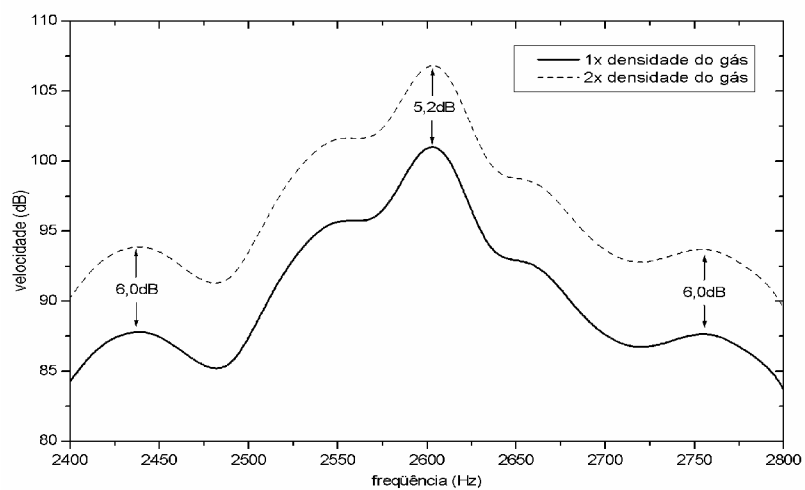


Figura 10. Velocidade da carcaça de acordo com a densidade de massa do gás, em banda estreita.

5. CONCLUSÕES

A mudança do gás refrigerante no sistema de refrigeração altera o comportamento dinâmico do compressor hermético. Quando mais denso for o gás, maior será a energia vibratória na cavidade proveniente da intermitência do fluxo de gás durante o processo de compressão. Um gás com velocidade do som mais elevado irá deslocar as ressonâncias da cavidade para valores mais altos de frequências, diminuindo a irradiação sonora em frequências mais baixas, podendo, entretanto, haver melhor acoplamento entre as ressonâncias acústicas e da carcaça.

6. REFERÊNCIAS

- Blakely, K., 1993, MSC/Nastran Basic Dynamic Analysis, User's Guide.
- Caffrey, F. P. & Lee, J. M., 1994, MSC/Nastran Linear Static Analysis, User's Guide.
- Herting, D. N., 1997, MSC/Nastran Advanced Dynamic Analysis, User's Guide.
- Saito, F. & Okubo, N., 1980, Noise Reduction of Hermetic Compressor, Proceedings of the 1980 Purdue Compressor Technology Conference, pp 235-242.
- Sangoi, R., 1983, Estudo de Identificação de Fontes de Ruído e Vibrações em um Compressor Hermético, Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil.
- The MacNeal-Schwendler Corporation, 1996, Fluid-Structure Analysis using MSC/Nastran.

Influence of the Gas Physical Characteristics in the Excitation of the Casing Through the Cavity of Hermetic Reciprocating Compressors

Fabiano N. Diesel and Arcanjo Lenzi

Laboratório de Vibrações e Acústica

Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina

Caixa Postal 476

CEP 88040-900 – Florianópolis – SC

e-mail diesel@emc.ufsc.br ; arcanjo@emc.ufsc.br.

***Abstract.** Hermetic reciprocating compress is a component found in great number of domestic refrigeration systems, such as refrigerators, freezers and air-conditioner, consisting in one of the main sources of the noise radiated by these systems. There are several internal mechanisms of noise generation, such as the large and rapid gas pressure variations in the cylinder, caused by the intermittent gas flow admitted to the cylinder.*

Several different type of gases can be used in these systems, each one having their own physical characteristics, which interfere in the dynamic behavior of the compress, and, in the noise generated. Changes at the suction and discharge pressure, such as the work temperature of the compressor, also change these characteristics.

Finite Elements models of the cavity, filled with refrigerant gas, coupled to the compressor casing were developed. It was analyzed the dynamic behavior of the compressor, being observed the pressure in the cavity, the velocity in the compressor casing through change of the gas characteristics.

Keywords. noise, hermetic compressor, refrigerant gas.