

Máquina Sustentável

Um dos maiores desafios em projetar compressores recíprocos é entender a operação complexa das válvulas, que se abrem e fecham à medida que se deformam sob carregamentos gerados pelo escoamento do fluido através do compressor. Os engenheiros da Tecumseh utilizaram a solução Multifísica ANSYS para projetar um novo compressor que consome menos energia e produz menos ruído com menos da metade do tempo necessário para projetar o produto anterior.



“Nossos engenheiros levaram somente 18 meses para resolver requisitos conflitantes utilizando a solução ANSYS multifísica, trazendo produtos para o mercado muito mais rápido do que antes”

Luis Lopez

Gerente de pesquisa e desenvolvimento da Tecumseh

Compressores recíprocos usam um pistão e um cilindro, semelhante a um motor de combustão interna, e são instalados em um sistema de refrigeração capaz de remover o calor interno de um refrigerador e rejeitá-lo para o ambiente. Enquanto um motor de combustão interna queima o combustível no cilindro para mover o pistão e girar o eixo de manivela, um compressor recíproco usa um motor elétrico para girar o eixo de manivela, que move o pistão para comprimir o fluido refrigerante dentro do cilindro, garantindo seu fluxo no sistema de refrigeração. Em um motor de combustão interna, as válvulas que se abrem para fornecer combustível ao cilindro e permitir a saída dos gases de escape são acionadas mecanicamente por um eixo de comando. Compressores recíprocos, por outro lado, normalmente usam válvulas do tipo palheta cujos movimentos de abre/fecha são realizados pelo balanço entre as forças geradas pelo escoamento do fluido e a força de restituição elástica da válvula, ou seja, sem nenhum comando externo.

Muitas das perdas típicas do compressor ocorrem em torno da placa de válvulas, de modo que a eficiência energética e os níveis de ruído do compressor dependem em grande parte da sua concepção e funcionamento, bem como dos projetos do filtro acústico de sucção (sistema de sucção) e do sistema de descarga, que são também responsáveis por atenuar o ruído e pulsações do compressor. No passado, partes do desenvolvimento de um compressor recíproco

era realizado por tentativa e erro. Era necessário construir e testar dezenas de protótipos, que levavam em torno de quatro a cinco anos para serem concluídos. Ao projetar uma nova família de compressores chamada TA2, engenheiros da Tecumseh, em parceria com pesquisadores da Vibroacustica, levaram somente 18 meses usando a solução ANSYS multifísica, uma redução de mais de 60% no tempo para o mercado. A empresa conseguiu um aumento de 1,5% na eficiência energética - um ganho que, se aplicado em todos os refrigeradores do Brasil, economizaria energia suficiente para alimentar as casas de uma cidade com quase um milhão de habitantes. Além disso, o ruído foi reduzido em 3 dB. É como se dois compressores estivessem em funcionamento, um ao lado do outro, e um fosse desligado.

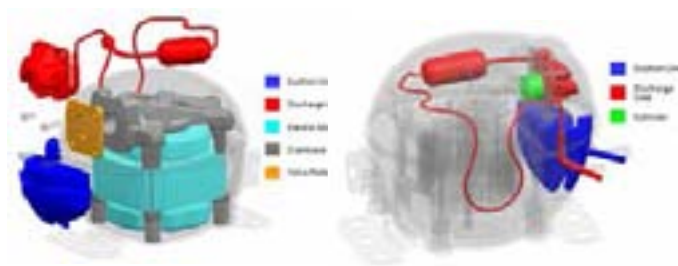


Diagrama das peças do compressor

Volume de fluido do compressor

DESAFIOS DO PROJETO

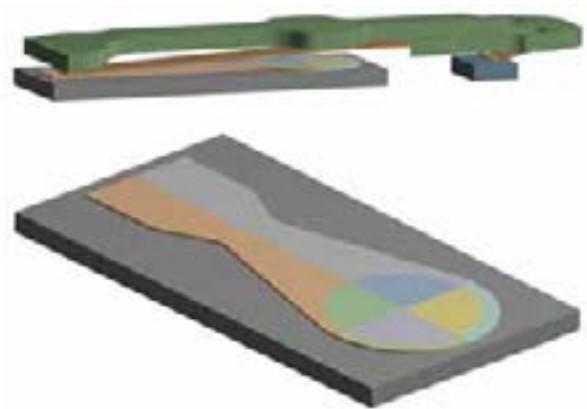
Em um motor a combustão, as válvulas são controladas mecanicamente, de modo que a sua posição, em qualquer ponto no ciclo da máquina, é sempre conhecida. No entanto, para compressores recíprocos, as válvulas são controladas pelo balanço entre as forças geradas pelo escoamento do fluido e a força de restituição elástica da válvula, e uma simulação de interação fluido-estrutura é necessária durante o projeto para determinar sua posição. O ciclo começa quando o motor elétrico move o pistão para ampliar a câmara de compressão, reduzindo assim sua pressão. A diferença de pressão entre a câmara de compressão e o sistema de sucção deforma a válvula de sucção, fazendo com que o fluido refrigerante seja admitido para dentro do cilindro. Quando o pistão inverte a direção e aumenta a pressão na câmara, a válvula de descarga se abre para descarregar o fluido refrigerante pressurizado.

A gerência da Tecumseh encarregou a equipe de engenharia de desenvolver uma substituição para a família de compressores de TA da empresa, que proporcionasse maior eficiência energética e menor ruído a um menor custo. A redução do custo do compressor foi obtida usando um motor elétrico mais barato e menos eficiente, o que tornou ainda mais crítico o aumento de eficiência do compressor. Para que se atingisse esses objetivos conflitantes em um prazo apertado, foi necessário que a equipe de engenharia desenvolvesse um protótipo virtual completo do compressor, incorporando elementos mecânicos (válvulas) e toda a parte de escoamento de fluido.

CONFIGURANDO A SIMULAÇÃO MULTIFÍSICA

Os engenheiros da Tecumseh selecionaram o software de análise por elementos finitos ANSYS Mechanical e o software de dinâmica dos fluidos computacional (CFD) ANSYS CFX, pois estas ferramentas podem ser facilmente integradas na plataforma ANSYS Workbench para simular interação fluido-estrutura (FSI). Os profissionais criaram geometrias dos elementos mecânicos e do domínio fluido no pré-processador ANSYS DesignModeler, e utilizaram o Workbench para automaticamente mapear componentes e definir modelos físicos e condições de contorno. As malhas móveis representavam o movimento do cilindro e das válvulas. Usando o esquema de projeto Workbench, os engenheiros facilmente conectaram a saída de cada ferramenta para as condições de fronteira da outra para simular FSI.

Diagramas de pressão no cilindro de compressão por volume deslocado, gerados durante a simulação do ciclo de operação do compressor, foram extremamente úteis. A área perto do topo do gráfico, onde a pressão do cilindro excede a pressão de descarga, quantifica as perdas no processo de descarga. A área sob a linha de pressão de sucção, onde a pressão do cilindro é menor que a pressão de sucção, indica perdas no processo de sucção. As perdas de sucção são causadas principalmente pela queda de pressão através da porta de sucção quando a válvula de sucção abre e fecha. Perdas de descarga são causadas pela queda de pressão através da porta de descarga.



Modelo estrutural da placa da válvula

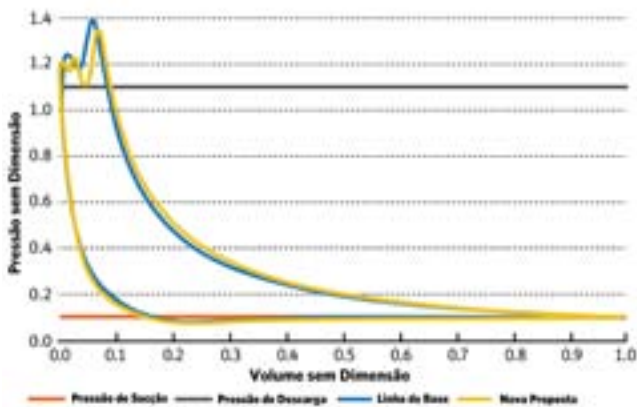
A simulação forneceu históricos de pressão nas portas de sucção e descarga. Como o ruído é causado principalmente por flutuações de pressão em torno das válvulas de sucção e descarga e que saem para o gabinete do refrigerador, estes históricos forneceram informações valiosas. Guiados pelos resultados das simulações, os engenheiros da Tecumseh iteraram manualmente o projeto do sistema de placa de válvulas e outros componentes, conseguindo aumentar substancialmente a eficiência e reduzindo o ruído gerado pelo compressor. Como o lado de sucção gera a maioria do ruído, os engenheiros projetaram um filtro acústico de sucção

mais elaborado. Este novo filtro necessariamente introduziu maiores perdas, mas estas foram mais do que compensadas por melhorias na eficiência da válvula de sucção.

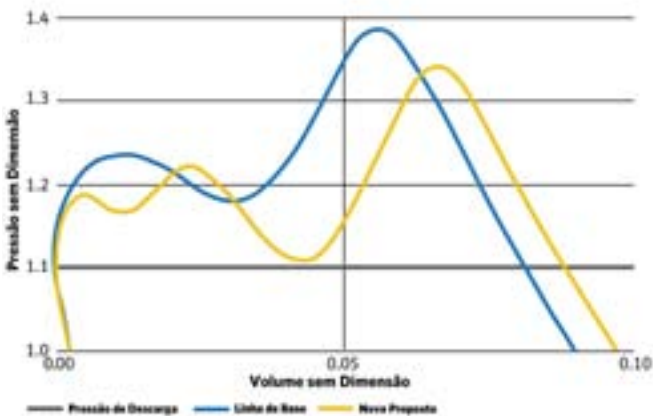
A eficiência do compressor recíproco é medida por um coeficiente de performance (COP), que é a quantidade de calor retirada do refrigerador, em watts, dividido pelo consumo de energia necessário para realizar esse trabalho, também em watts. Ao simular muitos projetos diferentes, os engenheiros da Tecumseh foram capazes de realizar trade-offs que alcançaram a combinação ideal que proporcionasse maior eficiência e redução do ruído do compressor. O COP resultante de melhoria de desempenho de 1,5% é um grande aperfeiçoamento para um produto maduro, proporcionando à Tecumseh uma substancial vantagem competitiva.

Os níveis de ruído do novo compressor também foram substancialmente reduzidos. Após a conclusão do projeto, os engenheiros da Tecumseh utilizaram o ANSYS ACT Acoustics (disponível em ANSYS App Store) para simular os níveis de ruído no lado de sucção dos projetos antigos e novos. Os resultados mostraram uma melhora no desempenho do filtro de sucção em torno de 20 dB na maioria das frequências. Os engenheiros da Tecumseh também realizaram uma análise modal da carcaça do compressor usando ANSYS Mechanical e, com base nesses resultados, modificaram o projeto para reduzir sua resposta na frequência de operação do compressor, proporcionando ainda mais reduções de ruído.

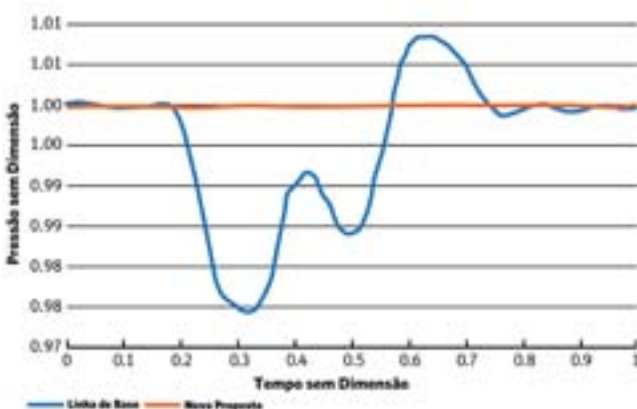
O uso da simulação multifísica tornou possível para a Tecumseh trazer produtos mais eficientes para o mercado muito mais rápido do que antes.



O gráfico de pressão-volume quantifica as perdas nos lados de sucção e descarga do compressor.



Perdas de descarga foram reduzidas no novo projeto (azul) X a geração anterior (amarelo).



O histórico de tempo de pressão mostra variações de pressão cíclicas que causam ruído.

Desafio

Projetar compressores recíprocos com maior eficiência energética, menos ruído e a um preço competitivo. Reduzir o tempo utilizado no desenvolvimento de novos projetos.

Solução

Desenvolver, por meio da simulação computacional, um protótipo virtual completo do compressor recíproco e implementar o resultado.

Benefício

Aumento de 1,5% na eficiência energética, ruído reduzido a 3 db e produto projetado em menos da metade do tempo em relação ao anterior, o que garantiu à Tecumseh uma grande vantagem competitiva.



A Tecumseh do Brasil é uma multinacional americana, localizada na cidade de São Carlos - SP. É considerada uma das maiores fabricantes de compressores herméticos do planeta. Funciona em regime integral de produção, com contingente aproximado de 3 mil funcionários.