

6

Testes preliminares

O conjunto cilindro de compressão e sistema de acionamento, constituindo o compressor Kopelrot, foi então posto em funcionamento.

Neste capítulo, serão apresentados os problemas envolvendo o compressor Kopelrot durante o funcionamento inicial e, os testes que foram possíveis de se fazer.

6.1

Inversor de frequência

Um inversor de frequência (Fig. 208) foi utilizado para os testes, por ser possível regular a partida do motor e mantê-lo funcionando com velocidade baixa angular, de modo a verificar-se inicialmente o comportamento do conjunto em funcionamento.

Os dados do inversor de frequência (Fig. 208) utilizado para os testes são apresentados:

Marca: Ageon Electronic Controls

Modelo: Série YF Standard

Alimentação: 220 V trifásico.

O inversor possui uma interface IHM, com a qual é possível definir parâmetros, controlar e monitorar o seu funcionamento, com capacidade para motor de até 3677,5 W (5 CV), 220 V trifásico.

Atuou normalmente durante os testes preliminares, desligando o motor quando atingia uma amperagem maior do que a máxima de trabalho.



Figura 208 – Inversor de frequência.

6.2

Motor elétrico

O motor utilizado para os testes foi de uma retífica (Fig. 209). Os dados do motor assíncrono são apresentados:

Marca: Metalurgia Abramo Eberle S. A.

Modelo: B 100 LA 4

Tensão: 220 V trifásico

Corrente: 11,2 A

Potência: 2942 W (4 CV)

Velocidade: 1720 RPM

Altura do centro do eixo à base: 100 mm

Diâmetro do eixo: 28 mm

Comprimento do eixo: 59 mm



Figura 209 – Motor elétrico.

Este foi o motor que se encontrava disponível para os testes do compressor. Durante o seu funcionamento, percebeu-se que um esforço maior era exigido do motor, excedendo sua corrente máxima de trabalho, quando aumentava a excentricidade. O inversor desligava, interrompendo o funcionamento do compressor. A corrente durante o funcionamento chegava a 20 A, excedendo em muito a corrente máxima de trabalho, que é 11 A, de acordo com o medido com o alicate amperímetro.

O motor ideal para ser usado no conjunto seria um com potência nominal de 3677,5 W (5 CV). A troca de um motor resultaria na regulagem da parte móvel do suporte de fixação, se caso o motor apresentar medidas diferentes deste que foi utilizado. Essa regulagem da parte móvel garante um bom funcionamento do conjunto.

6.3

Funcionamento do compressor

Com o conjunto Compressor Kopelrot / Motor montado no suporte de fixação e ligado ao inversor de frequência, acionou-se o motor em baixa velocidade na excentricidade 0 mm (Fig. 210). Na partida, tanto o cilindro compressor quanto o sistema de acionamento não apresentaram qualquer tipo de problema, com exceção de uma certa vibração, que já era prevista. Esta vibração

continuou mesmo depois de terem sido ajustadas as guias e a altura de centro do motor.

O motor não apresentou problema algum ao variar a frequência, ainda com uma excentricidade de 0 mm.

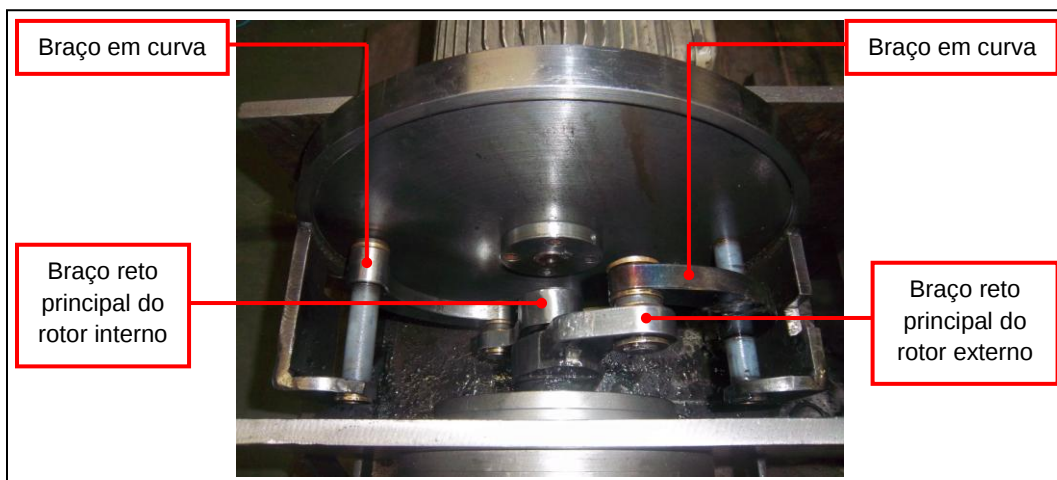


Figura 210 – Funcionamento do sistema de acionamento com excentricidade 0 mm.

Percebeu-se, durante o funcionamento, que, a partir de certa excentricidade, o sistema de acionamento apresentava um solavanco. Estes solavancos se tornaram cada vez mais fortes conforme era aumentada a excentricidade, a ponto de fazer com que todo o conjunto Compressor Kopelrot / Motor, transladasse. Para uma grande excentricidade, desenvolvia-se demasiado esforço, reduzindo a velocidade do motor. Nesta condição, a corrente excedia a máxima de funcionamento, gerando um erro no inversor de frequência, que desligava o conjunto.

Com excentricidade de 75 mm, a mínima para testes, o sistema de acionamento já apresentava solavancos, devido ao movimento relativo dos braços articulados. Quando em baixa excentricidade, foi observado que os braços retos principais e os braços em curva apresentam ângulo normal de aproximação e afastamento, no movimento de rotação do volante.

Esse ângulo torna-se mais crítico com excentricidade mais alta, pois os braços retos principais se apresentam mais próximos dos braços em curva (Figs. 211 e 212). O conjunto de braços que se acopla ao rotor interno apresenta

difícil de movimento ao se afastar durante a rotação do volante, fazendo com que haja o solavanco no final para afastá-los (Figs. 211 e 212).

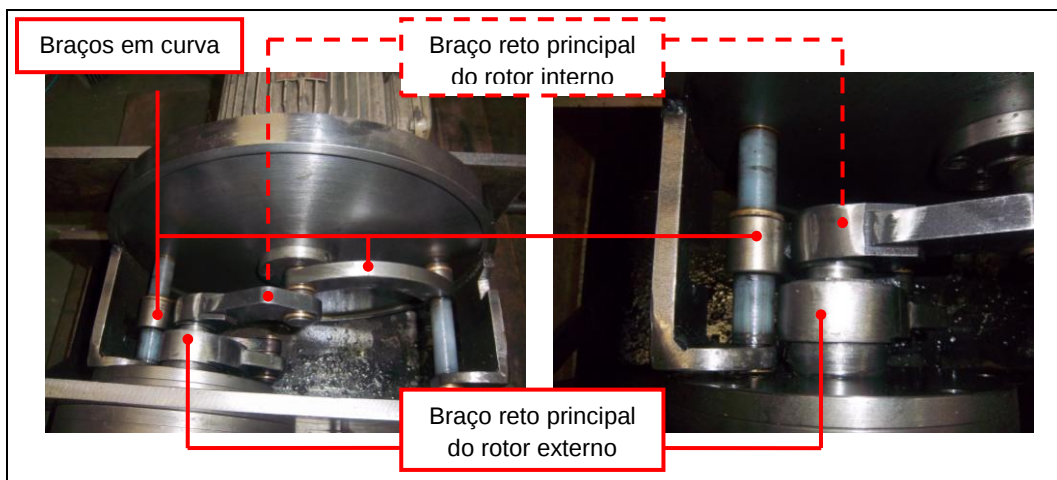


Figura 211 – Posição dos braços a uma excentricidade de 95 mm: vista frontal.

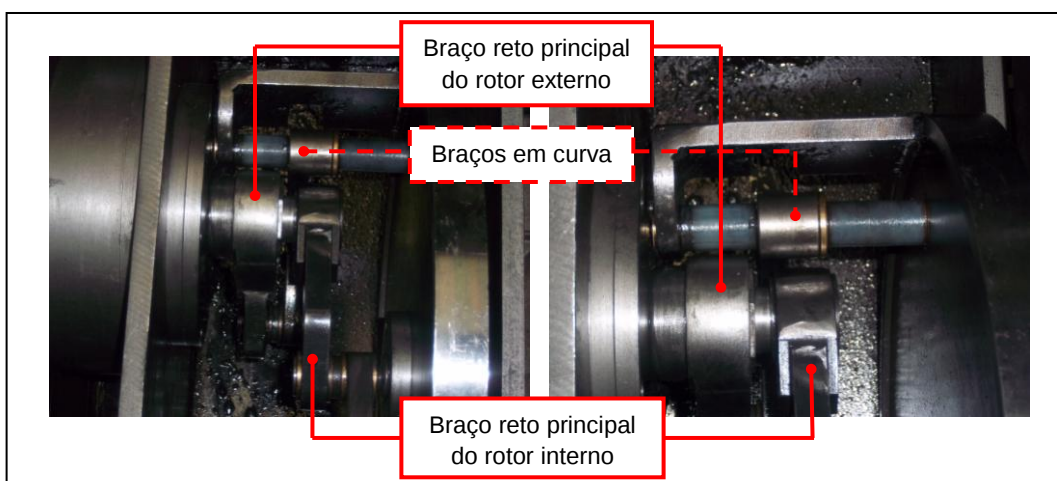


Figura 212 – Posição dos braços a uma excentricidade de 95 mm: vista lateral.

Com excentricidade de 90 mm, o motor funciona normalmente sem que sua velocidade de rotação seja reduzida pelo esforço exigido do movimento dos braços.

Para excentricidade de 95 mm, a velocidade do motor é reduzida com a corrente do motor superando a máxima, e o inversor desligando o conjunto.

A figura abaixo mostra uma simulação gráfica durante o processo de aproximação e afastamento do conjunto de braços articulados (rotação no sentido

horário), que acopla ao rotor interno do compressor, atuando na excentricidade de 95 mm (Fig. 213).

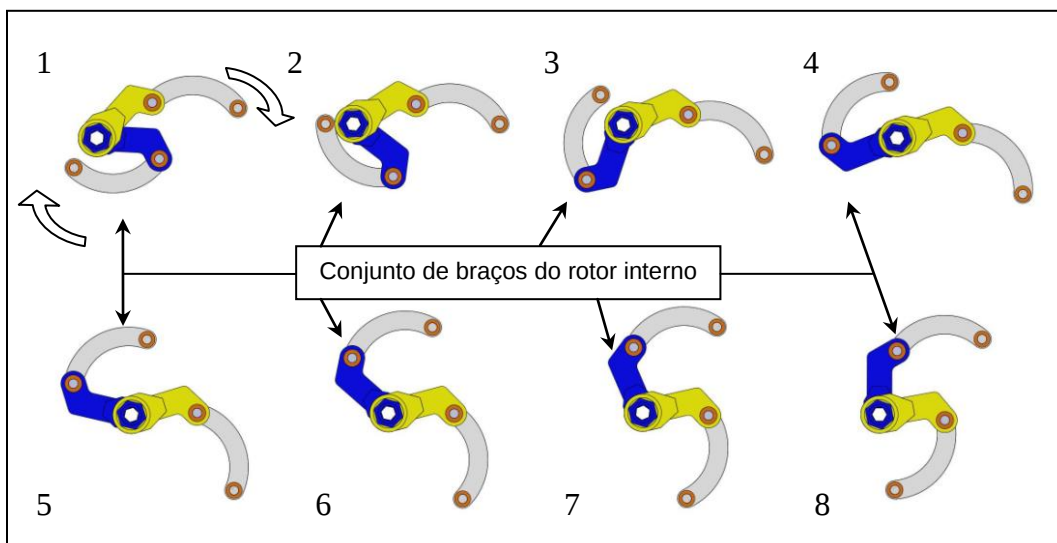


Figura 213 – Simulação de abertura e fechamento do conjunto de braços do rotor interno para uma excentricidade de 95 mm.

O conjunto não apresenta problemas ao se aproximar (quadros 1 e 2), e ao funcionar afastado (quadros 6, 7 e 8). No processo de afastamento entre braço reto principal e braço em curva ocorre solavanco do sistema de acionamento (quadros 3, 4 e 5), porque os braços não conseguem se afastar normalmente pelas articulações durante a rotação do volante. Esse solavanco força o conjunto de braços e foi responsável pelo rompimento de um braço em curva, por duas vezes durante os testes. Quanto maior a excentricidade, maior a força do solavanco e também o esforço que o motor tem que desempenhar para girar o sistema de afastamento.

Diferentemente do sistema de acionamento, o cilindro compressor não apresentou nenhum problema mecânico. A posição correta de montagem não permite que os deslocadores se toquem.

Na parte fixa do suporte de fixação, a posição do cilindro compressor Kopelrot é definida pela carcaça traseira. Os três furos, que são colineares, devem ficar na vertical para cima. Isto faz com que as janelas de sucção e descarga fiquem na posição correta. Essa posição é essencial, porque as janelas são fixas, fabricadas na placa de janelas e na carcaça traseira.

Analizando inicialmente as janelas de sucção e descarga, ambas aparentaram funcionar normalmente. Ao bombear óleo na janela de sucção, para a lubrificação da câmara, identificou-se que esse óleo era descarregado a uma temperatura maior, pela janela de descarga.

6.4

Primeiros testes

O teste inicial consistiu em colocar um medidor mecânico de pressão, o mesmo utilizado para medir pressão em cilindro de motor a combustão interna, na janela de descarga, para medir a maior pressão alcançada em cada excentricidade. As excentricidades para os testes foram as mesmas utilizadas nas simulações: 75 mm, 80 mm, 85 mm, 90 mm e 95 mm. Para acoplar o medidor mecânico foi fabricado na carcaça traseira um furo rosqueado na janela de descarga.

Antes de fixar o medidor à janela de descarga, procurou-se identificar todos os vazamentos e, à medida que eram identificados, procurava-se um meio de vedá-los para melhorar a pressão na descarga. A maior parte deles foi encontrada na carcaça traseira, que foi identificado somente por aproximação da mão na face da carcaça. A quantidade de vazamentos encontrados durante os testes foi grande, e não foi possível vedar todos. Conseqüentemente esses vazamentos fizeram com que a pressão na janela de descarga fosse menor do que o esperado.

Durante os testes, percebeu-se que o ar em alta pressão dentro da câmara sai pela janela de sucção e, provavelmente, por alguns dos orifícios de vazamento. Ao conectar medidor de pressão na descarga, este não apresentou leitura alguma no manômetro. O manômetro, então foi trocado por um mais sensível, de baixa pressão. Qualquer que fosse a excentricidade colocada entre eixos, o manômetro não marcou pressão positiva alguma. Observamos ao rosquear o medidor de pressão, que o ar em alta pressão escapa pela janela de sucção e pelos orifícios de vazamentos.

Para confirmar o funcionamento do compressor, fabricou-se um bico de alumínio, a ser rosqueado no lugar do medidor de pressão. Na ponta do bico foi colocado um dispositivo mecânico inflável. Quando em funcionamento, em excentricidade pequena, observou-se que o dispositivo não inflava, mas, se

levantava e abaixava sem aumento de pressão. De acordo com a simulação realizada no Capítulo 4, o movimento da bexiga está correto, pois as janelas de sucção e descarga são acionadas pelo movimento do deslocador.

Fazendo o teste com excentricidade de 90 mm, viu-se que o comportamento do dispositivo mecânico inflável é o mesmo com baixa excentricidade, ou seja, ele levantava e abaixava sem inflar. Aumentou-se, então a excentricidade para 95 mm, que é a máxima excentricidade para o compressor. O dispositivo apresentou o mesmo resultado, ou seja, o ar saindo pela sucção e demais orifícios de vazamento. Percebeu-se então que, para qualquer pressão maior do que a descarga, que é muito pequena, o ar passa a sair pela sucção e demais orifícios de vazamento. Para confirmar, foi realizado outro teste com um saco plástico transparente, afixados com fita no bocal. Observou-se que o saco plástico inflava normalmente até o limite, e depois o ar começava sair pela sucção.

Como não foi possível medir a pressão de descarga, a única variável que foi medida durante os testes foi a corrente do motor. Durante todas as tentativas de testes o alicate amperímetro ficou preso ao motor, para conferir quando a corrente de funcionamento se excedia. Com isso, montou-se um procedimento de teste para o compressor e, mediu-se a corrente do motor durante o funcionamento do compressor. Os testes foram, por vezes, interrompido devido a quebra do braço.

Para os testes utilizaram-se as cinco excentricidades e, quatro frequências diferentes: 5 Hz, 10 Hz, 15 Hz e 20 Hz.

O procedimento para os testes foi definido para analisar o comportamento da corrente ao longo do funcionamento do compressor:

a) Aquecer o equipamento – Ligar o compressor e, deixá-lo em funcionamento durante 30 minutos, variando a excentricidade e a frequência. A cada 5 minutos bombeamos óleo três vezes, com a almotolia, para a lubrificação da câmara, pela janela de sucção. Opera-se, inicialmente, com frequência de 10 Hz, durante 10 minutos a excentricidade de 0 mm. Posteriormente, com frequência de 15 Hz, durante 10 minutos a excentricidade de 40 mm. Finalmente com frequência de 15 Hz, durante 10 minutos a excentricidade de 60 mm.

b) Testes para frequência até 15 Hz e para excentricidade até 90 mm – Colocar o compressor nas excentricidades determinadas e, testar para as três primeiras frequências, deixando o compressor funcionando durante 5 minutos para cada uma. Com um intervalo de tempo em 2,5 minutos bombear óleo três vezes com a almotolia para lubrificação na janela de sucção. Anotar a corrente quando o tempo chegar a 5 minutos e, então, mudar a frequência ou a excentricidade.

Como os testes em frequência de 15 Hz, a corrente apresentou um valor próximo da máxima de trabalho do motor. Com a frequência em 20 Hz, essa corrente chegou ao valor máximo, com o sistema de acionamento apresentando solavancos. Resolveu-se, então, testar o compressor com uma frequência de 20 Hz, separada.

c) Testes para a frequência de 20 Hz e, para excentricidade até 90 mm – O procedimento é o mesmo que o anterior, sendo a frequência fixa. Para a mudança de excentricidade abaixar a frequência para 10 Hz e, mudar a excentricidade, para depois voltar com a frequência de 20 Hz.

Durantes estes testes com a frequência em 20 Hz, houve a quebra de um dos braços em curva (Fig. 214). Por último, devido a esforço muito grande do motor, foram realizados os testes para a excentricidade de 95 mm.

d) Testes para todas as frequências e para excentricidade de 95 mm – O procedimento é o mesmo que os anteriores, tendo a excentricidade como fixa.

Nesses testes da excentricidade de 95 mm, houve novamente a quebra do mesmo braço em curva.

A Tabela 34 mostra todos os valores de correntes medidos conforme os procedimentos descritos acima. Esses valores referem-se ao consumo elétrico necessário ao acionamento do compressor.

Tabela 34 – Valores de corrente (A) de trabalho do motor para as excentricidades de acordo com as velocidades em que estão operando.

Excentricidade (mm)	Frequência (Hz)				
	5	6	10	15	20
	Corrente (A)				
75	0	0	0,5	6,1	12,8
80	0	0	0,8	7,5	15,4
85	X	0	1,1	8,2	15,8
90	X	0	1,5	8,3	15,9
95	X	0	1,8	8,7	15,9

Na tabela há duas frequências iniciais diferentes: 5 Hz e 6 Hz. A frequência até 5 Hz, aplica-se para excentricidade até 80 mm. Com excentricidade de 85 mm o motor não tem torque suficiente para partir com uma frequência de 5 Hz, devido ao sistema de acionamento exigir um torque maior para a partida. Para o motor funcionar em excentricidade acima de 85 mm, a frequência tem que ser a partir de 6 Hz. Mesmo com o conjunto funcionando com excentricidade acima de 85 mm e, frequência de 10 Hz, quando diminuídas esta frequência, para 5 Hz, o motor para de funcionar.

As duas primeiras frequências, de 5 Hz e 6 Hz, apresentaram uma corrente muito pequena durante o funcionamento. Na excentricidade de 95 mm ocorrendo solavancos muito fortes, o valor da amperagem também foi baixo.

Para as frequências de 10 Hz e 15 Hz o valor da corrente aumenta conforme as excentricidades. Para as excentricidades de 85 mm, 90 mm e 95 mm, as variações de corrente são muito pequenas, apresentando-se próximas da corrente máxima de trabalho do motor que é 11 A.

Para a frequência de 20 Hz o conjunto ultrapassa a corrente máxima de trabalho do motor fazendo o inversor desligar. Em todos os testes, com esta frequência, o inversor desligou o conjunto com menos de 5 minutos de funcionamento, levando a ser anotado o último valor registrado no amperímetro. Os valores de corrente para as excentricidades de 85 mm, 90 mm e 95 mm, apresentam-se quase os mesmos valores para essa frequência.

Os testes com excentricidade de 95 mm apresentou uma redução na velocidade de rotação do motor embora o inversor estivesse marcando frequência de 20 Hz.

6.5

Danos acarretados ao braço em curva

Durante os testes, à excentricidade de 90 mm e uma frequência de 15 Hz, um dos braços em curva partiu-se ao meio (Fig. 214). Como mencionado anteriormente, o conjunto funciona com solavancos, pela configuração dos braços do sistema de acionamento de acordo com as excentricidades.

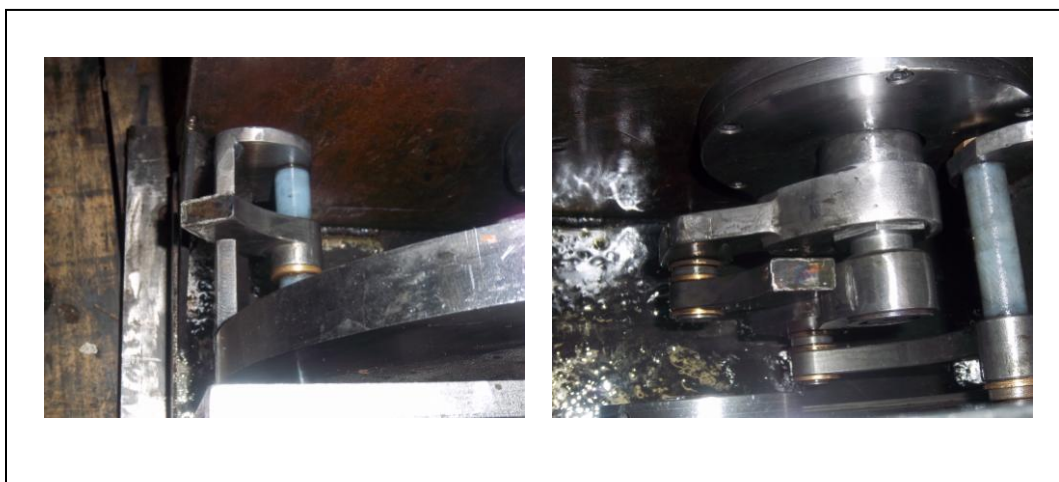


Figura 214 – Braço em curva quebrado.

Para o reparo da peça, foi necessário fabricar um gabarito para garantir sua curvatura quando fosse soldado. Com o gabarito fabricado foi possível soldar o braço nos dois lados

Voltando-se aos testes, o braço partiu-se novamente, desta vez exatamente na solda. Foi necessário repetir todo o processo de reparo, aumentando o chanfro para a deposição de material de modo a reforçar a peça.

O braço em curva rompido foi o que está acoplado ao braço reto principal menor, e que se acopla ao rotor interno (Fig. 215). É o braço sujeito ao maior esforço quando os eixos estão em excentricidade alta.



Figura 215 – Braço em curva soldado.

6.6

Vazamentos

Antes de iniciar os testes, procurou-se identificar todos os vazamentos. Os primeiros vazamentos identificados foram na carcaça traseira e pelos rotores, na frente do compressor. A carcaça traseira apresentou vazamento em quase todos os furos que foram fabricados nela. Alguns dos vazamentos apareceram conforme modificações no compressor, como no caso dos furos rosqueados para a utilização de parafusos extratores na carcaça traseira. Todos os vazamentos puderam ser identificados apenas com aproximação da mão no compressor quando em operação.

Sabe-se que todos os vazamentos partem de dentro da câmara do compressor, e ocorre tanto na parte de trás quanto na frente do compressor (Figs. 216 e 217). Com isso chegou-se a algumas hipóteses sobre as causas dos vazamentos de ar da câmara, e sobre algum modo de eliminá-las.

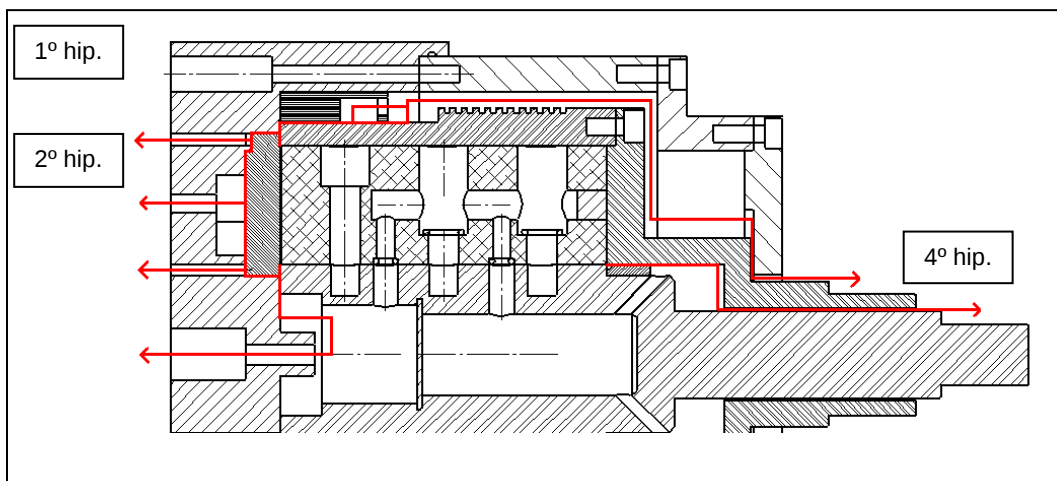


Figura 216 – Identificação dos vazamentos, hipótese 1, 2 e 4.

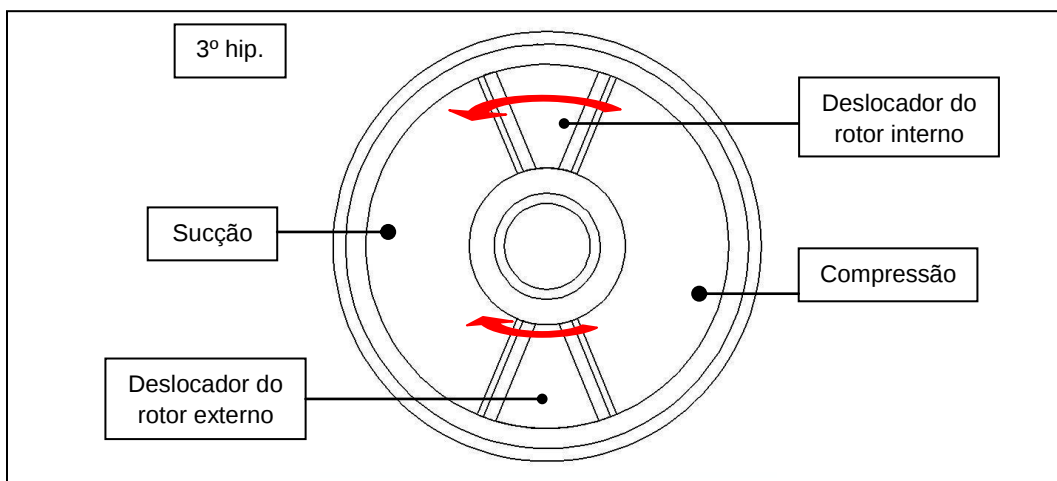


Figura 217 – Identificação dos vazamentos, hipótese 3.

São os seguintes, os prováveis tipos (ou pontos) de vazamentos:

1º hipótese: Folga entre placa de janelas e rotores, permitindo a passagem de ar pela placa de janelas (Fi. 216). Quando o compressor está montado, com os ajustes realizados nos rolamentos, não há certeza se os rotores ficam devidamente encostados na placa de janelas.

2º hipótese: Rotores não concêntricos durante o funcionamento, causando uma passagem de gás em algum ponto entre eles e a placa de janelas (Fig. 216). As peças responsáveis por manter os rotores concêntricos são o rolamento na parte interna do rotor interno e a bucha de náilon na parte externa do rotor externo. Ambas as peças não devem estar devidamente ajustadas ou deve haver algum desgaste.

3º hipótese: Desgaste ou algum outro problema com os raspadores dos deslocadores, permitindo a passagem de ar de uma câmara para outra (Fig. 217). Estes vazamentos podem ocorrer no sentido radial por entre cada raspador e rotor, ou por entre cada raspador e placa de janelas.

4º hipótese: Folga entre o o'ring da bucha do rotor interno e o rotor externo (Fig. 216). Este o'ring tem a função de atuar contra a parede interna do segundo diâmetro do rotor externo e o rotor interno vedando qualquer passagem de ar entre os dois.

Possíveis soluções para os prováveis tipos (ou pontos) de vazamentos:

1º hipótese: Sabe-se que a câmara e rolamentos são as únicas peças que possuem um movimento de rotação no compressor. As carcaças são responsáveis por segurar essas peças que estão em movimento, mantendo-as presas no sentido axial. Para ter a certeza de que os rotores estão encostando-se à placa de janelas, foi desmontado o compressor e usinada a peça 2 da carcaça dianteira novamente (Fig 52, 53, 56 e 57). A usinagem desta peça garantiu o contato das peças internas pelo rolamento cônico que atua no rotor externo. Com o compressor montado e apertando os parafusos, os rotores tornam-se pesados e o motor não tem torque suficiente para girar o sistema de acionamento. O pouco de aperto aplicado aos parafusos da carcaça faz com que os rotores encostem-se à placa de janelas, parando o movimento de rotação da câmara. Ao aliviar um pouco o aperto nos parafusos, o conjunto volta a funcionar e apresentar vazamentos.

A solução é testar o compressor com um motor mais forte, para suportar o maior atrito decorrente do aperto para um aperto mais forte nos parafusos. Esse teste não foi possível devido à não disponibilidade do motor.

2º hipótese: O rolamento acoplado na carcaça traseira e na parte interna do rotor interno pareceu devidamente ajustado, ao desmontar o compressor, e verificar esses ajustes.

A bucha de náilon que segura a parte de trás do rotor externo apresentou desgaste no diâmetro interno. Esse desgaste pode fazer com que a parte de trás do rotor externo fique livre ao girar. Como não é possível medir a folga entre a bucha e as peças que estão em contato com ela, foi fabricada outra bucha de náilon, mais simples, para termos certeza deste desgaste. A nova bucha apresentou os mesmos

desgastes acontece porque o rotor está em movimento e o náilon não é um material para ser usado contra outro que esta em movimento.

A solução é a substituição da bucha por um rolamento, o que não foi possível durante a construção devido a custos.

3º hipótese: Os conjuntos de rotores na câmara encontram-se justos e, a folga que cada deslocador possui é compensada pelos raspadores que estão em contato com o rotor contrario. Os dois deslocadores foram colocados na medida final montados em seus respectivos rotores no torno, o que permitiu um ajuste muito preciso na montagem. Os raspadores foram colocados na medida final da mesma maneira. Ao desmontar o compressor, na câmara encontram-se marcas dos raspadores do deslocador do rotor interno na face interna da frente do rotor externo. O que deve ter havido um desgaste por parte desses raspadores.

Na placa de janelas não identificamos essas marcas dos raspadores, mas acreditamos que estejam atuando, pois, eles estão faceando com os rotores, ou seja, na mesma altura dos rotores. O que deve estar acontecendo é que os rotores não estão devidamente apertados contra a placa de janelas, (1º hipótese).

A solução seria a fabricação de um novo conjunto de raspadores, utilizando como material o bronze. Esses raspadores devem atuar contra as paredes da câmara por molas, mantendo-se dessa maneira encostados direto à câmara.

4º hipótese: Como ambos os rotores estão em movimento, o o'ring também está em movimento, pressionado contra a parte interna do rotor externo que também está em movimento. Algumas das vezes que o compressor foi desmontado, esse o'ring apresentou-se desgastado ou com cortes. Inicialmente, foi fabricado outro canal para colocar outro o'ring um pouco maior. Verificou-se que o vazamento reduziu consideravelmente em relação ao que estava ocorrendo.

Como esta não é uma maneira de usar um o'ring corretamente, a solução seria um anel de bronze pressionado entre os rotores logo na saída da câmara.

Durante os testes, os vazamentos que identificados na carcaça traseira foram: no furo central para a injeção de óleo, nos furos de refrigeração da placa de janelas, nos furos onde eram utilizados os anéis de vedação e os furos para a utilização dos parafusos extratores (Fig. 61, 62, 64 e 219).

Para sanar com esses vazamentos, foram fabricados três tampões, utilizados no furo central para a injeção de óleo, e, nos dois furos de refrigeração da placa de

janelas. Os furos onde são utilizados parafusos, estes foram colocados no local e, colocados o'rings. Aplicou-se também, por dentro da carcaça traseira nos furos dos parafusos, substância vedadora (veda junta).

Para haver vazamentos nos furos de refrigeração da placa de janelas e nos furos onde eram utilizados os anéis de vedação (Fig. 61, 62, 64 e 65), estes confirmam a primeira hipótese de que os rotores não estão encostando com pressão suficiente sobre a placa de janelas.

Ao colocar os parafusos nos furos para vedar os vazamentos de ar, verificou-se que poderíamos deslocar a placa de janelas para frente apertando-a contra os rotores, eliminando desta maneira o vazamento descrito na primeira hipótese. Soltaram-se um pouco os parafusos que são responsáveis por fixar a placa de janelas contra a carcaça traseira, mantendo-a solta. Desta maneira, permitiu-se que a placa de janelas pudesse ser deslocada para frente, pois, embora ainda estivesse fixa aos parafusos, ela não estava mais apertada contra a carcaça traseira. Utilizaram-se os parafusos de regulagem dos anéis de vedação, que estão distribuídos em dois diâmetros diferentes (Fig. 61, 62 e 65), para empurrar a placa de janelas apertando-a desta vez contra os rotores, ao invés da carcaça traseira.

Desta maneira acreditamos que poderíamos vedar o maior dos vazamentos (1º hipótese). Acabou ocorrendo a mesma coisa de quando apertamos os parafusos da carcaça, ou seja, o mínimo de aperto da placa de janelas contra os rotores desacelera a rotação da câmara até parar e com isso, o funcionamento do motor.

Quanto à regulagem, se a placa de janelas não for empurrada por igual contra os rotores, ela fica presa na carcaça traseira (Fig. 63 e 216), por seu diâmetro externo estar muito justo. A única maneira de voltar com a placa de janelas para o lugar é desmontando o compressor e empurrando-a de volta.