

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 CONTAMINAÇÃO DO R-717 POR ÁGUA

A contaminação do R-717 é muito comum em sistemas de refrigeração industrial. O ar penetra nos sistemas frigoríficos através de juntas, selos, gaxetas, etc, quando este estiver operando a uma pressão abaixo da pressão atmosférica, com temperaturas de evaporação inferiores à 240 K, normais nestes tipos de instalações. Além disso, ocorre a penetração de ar durante a montagem e os períodos de manutenção da instalação, quando esta precisa ser aberta para reparos da linha ou de seus componentes.

O vapor de água em suspensão no ar, é absorvido pelo R-717, e o ar se acumula no lado de alta da instalação (condensador e recipiente de líquido) reduzindo a performance do condensador, uma vez que ocupando parte da área de troca de calor para o fluido refrigerante (figura 3.1), eleva a temperatura e a pressão de descarga dos compressores, significando um aumento no dispêndio de energia, ou seja, para cada 100.000 Pa de aumento da pressão de condensação, aproximadamente 2,5 K na temperatura, ocorre um aumento 5% à 6% no consumo de potência [25].

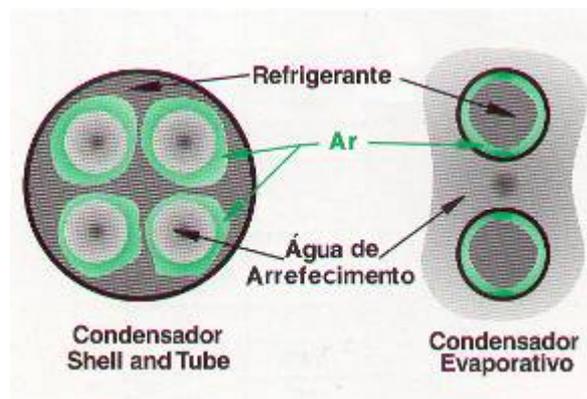


Figura 3.1 – Ocupação do espaço para o fluido refrigerante pelo ar no condensador

Devido a penetração do ar e seu enclausuramento no condensador, para cada 1K de aumento de temperatura neste trocador de calor, ocorre um aumento de 3% na potência consumida para acionamento dos compressores e 1% de redução da capacidade de refrigeração do sistema, conforme demonstra a figura 3.2 [25].

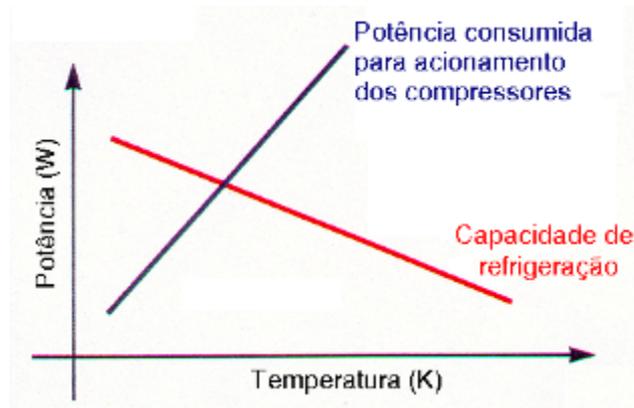


Figura 3.2 – Influência do aumento da temperatura de condensação sobre a potência consumida e a capacidade frigorífica

A instalação de um purgador de ar, como o da figura 3.3, consegue corrigir satisfatoriamente estes sintomas, porém os vazamentos na instalação devem ser identificados e corrigidos.



Figura 3.3 – Modelo de um purgador de incondensáveis

Estes purgadores podem ser operados de forma manual, automática e até mesmo por CLP (Controlador de Lógica Programada) ou também por sistemas microprocessados.

Purgadores manuais devem ser evitados, pois além de não garantirem uma purga eficiente, provocam perda de fluido refrigerante [6].

O ideal seria a utilização de purgadores automáticos devido a tendência do ar acumular-se em diversos pontos do lado de alta pressão do sistema, como condensadores e recipientes por exemplo, conforme figura 3.4, sendo que os mais eficientes são os extratores

de ar de múltiplos pontos, com purgas realizadas ponto a ponto, o que garante uma purga total dos incondensáveis [6].

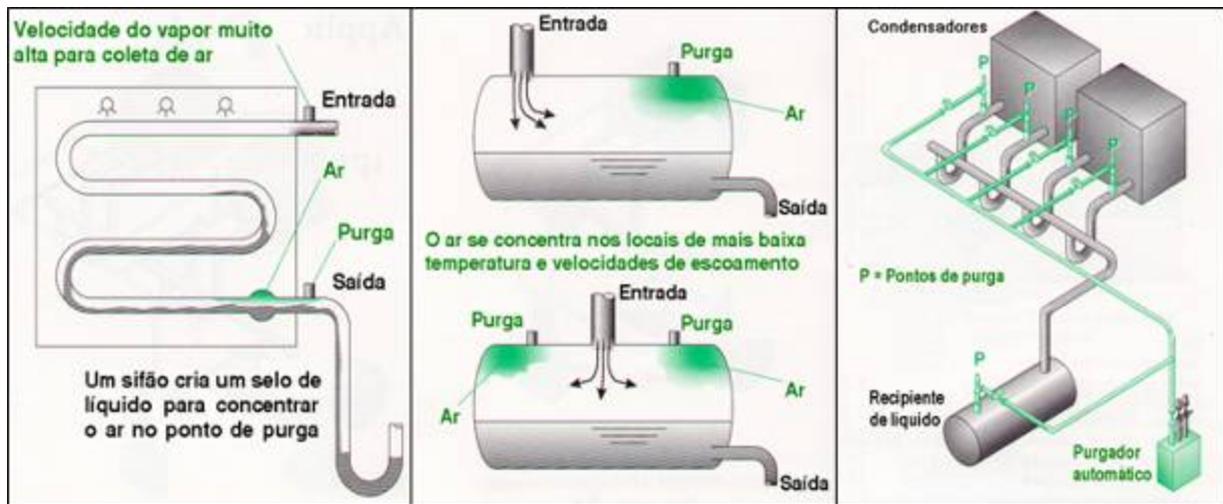


Figura 3.4 – Pontos ideais em instalações de refrigeração para purga de incondensáveis

Se por um lado, é possível, por meio dos purgadores de incondensáveis, eliminar o ar que penetrou na instalação, há de se considerar que este ar entrou úmido e saiu absolutamente seco, significando que o vapor de água ficou retido no sistema, agregado ao R-717 [6].

Exemplificando: Na média, os purgadores de ar automáticos comercialmente disponíveis, extraem constantemente $8,34 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$ de ar. Considerando-se uma temperatura ambiente para sala de máquinas, onde se localizam os vazamentos, de 293 K e a umidade relativa do ar de 80%, através da carta psicrométrica do anexo C.1, o conteúdo de umidade do ar que penetra no sistema é de $13,84 \cdot 10^{-3} \text{ kg}/\text{m}^3$, o que resulta em pouco mais de 36 kg de água em um ano, misturada ao R-717 operando na instalação.

Em sistemas inundados, a água concentra-se no lado de baixa pressão, especificamente no separador de líquido, embora antagonicamente, uma solução saturada de R-717 e água seja tão mais rica em R-717, quanto menor for a temperatura da mistura, ou seja, à pressão atmosférica normal e uma temperatura de 303,15 K, uma solução saturada de R-717 e água conterá aproximadamente 29% de sua massa em R-717, enquanto que a 273,15 K, aumenta para 46,5% a participação do R-717 em massa, como pode ser observado no diagrama do anexo D.1 [12].

A razão para concentração de água no lado de baixa é justamente devida à gigantesca diferença da pressão de vapor entre a água e o R-717 em um sistema de bombeamento

contínuo. Por exemplo, à 274,82 K, a pressão de vapor do R-717 é 457 kPa comparada a 689,5 Pa para água. Como o líquido com a pressão de vapor mais alta evapora em maior proporção que o líquido com a mais baixa pressão de vapor, um resíduo cada vez maior do fluido de mais baixa pressão de vapor, remanesce continuamente, enquanto sua infiltração não é corrigida [12].

As características de solubilidade do R-717 em água permitem formar uma solução de R-717 aquosa (figura 3.5), que substitui o fluido refrigerante R-717 anidro na instalação. Esta mudança ocorre continuamente no sistema, durante certo tempo e seus efeitos passam desadvertidos, porém intensificando-se [12].

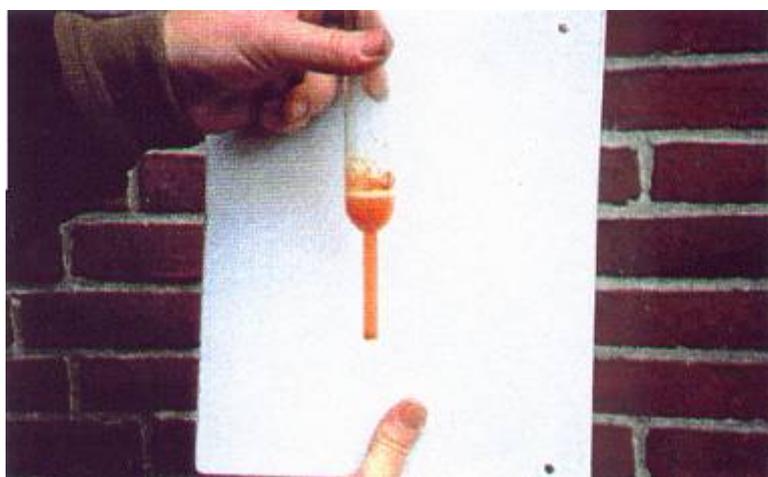


Figura 3.5 – Amostra do resíduo de coletada de R-717 em sistema severamente contaminado com água

Os efeitos da contaminação do R-717 com água são muitos, vão desde mudanças químicas ocorridas com o óleo lubrificante, como formação de ácidos orgânicos e lodo, até modificação da relação de pressão/temperatura, que é prejudicada, além de um acréscimo da perda de carga na tubulação e diminuição no desempenho do evaporador [12].

A contaminação do R-717 causada pela presença de água nos sistemas de refrigeração industrial, é um problema freqüentemente negligenciado, devido a concepção de que o R-717 é mais tolerante que os halogenados à este contágio, inclusive evitando a solidificação da água nos dispositivos de expansão e possível entupimento, pela sua solubilização com a mesma, de modo que somente a pouco tempo este problema começou a ser considerado com a devida importância, principalmente pela questão energética, até então de pouca influência, por consequência da abundância deste recurso.

Estranhamente, a solução de R-717 com água não segue um padrão contínuo em relação à sua temperatura de solidificação proporcional ao conteúdo, em massa, do fluido refrigerante. O ponto de congelamento do R-717 anidro é de 195,43 K, sendo que a temperatura mais baixa, de 172,87 K, para solidificação da mistura é alcançada com uma fração de 33,4% de R-717 em massa, onde menores concentrações causam um aumento abrupto na temperatura e maiores concentrações tendem à uma constância em torno de 187 K, porém com pequenas variações, máximas de 7 K, para mais e para menos, como pode ser observado no anexo D.3 [12].

Torna-se extremamente recomendável a limpeza da instalação utilizando ar comprimido seco ou nitrogênio antes da realização do vácuo e a posterior carga de fluido refrigerante na instalação, observando-se algumas normas e recomendações [6]:

- ANSI/ASHRAE 15 - 1994 - Safety Code for Mechanical Refrigeration;
- ANSI/IIAR 02 - 1984 - Equipment, Design and Installation of Ammonia Mechanical Refrigeration Systems;
- ASME/ANSI B31.5 - 1992 - Refrigeration Piping;
- ISO/DIS 5149 -1986 - Mechanical Refrigerating Systems Used for Cooling and Heating - Safety Requirements;
- NR-13 - 1977 - Segurança e Medicina do Trabalho - Caldeiras e Vasos de Pressão. Lei nº. 6514 de 22 de dezembro de 1977.

O processo de montagem e *start-up*(primeira posta em marcha do sistema), por sua vez, propicia através de seus procedimentos, várias oportunidades para contaminação do sistema de refrigeração com ar e conseqüentemente vapor de água [12]:

— Pode ocorrer condensação de vapor de água dentro das linhas durante a montagem, exposição de equipamentos e componentes ao meio ambiente, sem proteção ou sem pressurização interna (com nitrogênio, por exemplo) [12].

— Vasos de pressão, após testes hidrostáticos, mal drenados, condensação de vapor de água devido a testes pneumáticos das linhas, utilizando ar úmido, vácuo ineficiente ou não realizado e carga de R-717 excessivamente contaminada por água [12].

No entanto, mesmo que se elimine todos possíveis fatores de contaminação durante a montagem de uma instalação, esta pode ocorrer na operação normal do sistema, através da ruptura de tubos de trocadores de calor tipo *shell-and-tube* (trocadores de calor com arranjos multitubulares em carcaças cilíndricas), pequenos vazamentos em gaxetas das hastes de válvulas, juntas de tubulações rosqueadas ou flangeadas, selos de bombas, selos de

compressores e serpentinas de unidades evaporadoras operando com baixas pressões, ou até em operação de recolhimento do fluido. Reações químicas complexas entre o R-717, oxigênio, água, óleo e lodo, podem criar mais água livre no sistema [12].

Procedimentos de manutenção também são fontes de contaminação, visto que após os reparos do sistema, geralmente não é executado vácuo, e quando é, à níveis inferiores ao necessário, bem como procedimentos não apropriados de drenagem de óleo ou purga de fluido refrigerante durante a manutenção em vasos ou linhas, com pressão abaixo da atmosférica, aumentando potencialmente a possibilidade de contaminação, quando a drenagem é feita em tanques com água, em instalações cuja linha de dreno não possua válvula de retenção para impedir o contra-fluxo de água [12].

No Brasil, dados estatísticos sobre a contaminação com água em instalações de refrigeração utilizando R-717 como fluido refrigerante, são muito precários, dado que à nível mundial é um assunto recente e ao qual não era dispensada relevância, visto que seus efeitos mais notórios só se fazem perceber depois de severo comprometimento do sistema.

Em trabalho de pesquisa, realizado em mais de sessenta e quatro instalações industriais de refrigeração, operando com R-717 na Dinamarca, Noruega e Suécia, os resultados comprovaram que grande parte destas instalações encontravam-se contaminadas por água, com uma média percentual que chegava de 3% a 6%, sendo que mais de 10% ultrapassavam valores de 8% a 10% de água acumulada no separador de líquido, sem que nenhuma das plantas tivesse qualquer conhecimento sobre a contaminação com água e de seus problemas resultantes [13].

A água presente no sistema de refrigeração, operando com R-717, provoca reações químicas com a formação de hidróxido de amônio (NH_4OH), que pode causar a corrosão galvânica em válvulas e linhas, principalmente onde há acúmulo de óleo [6].

Juntamente com a presença de oxigênio, ocorre a quebra das cadeias moleculares do óleo, através da oxidação, nitritação e formação de compostos nitrosos. Estes compostos são solúveis em R-717 e são arrastados após o separador de óleo. Com isso, o consumo de óleo se torna excessivo e vários componentes podem se deteriorar devido à corrosão. Impurezas são depositadas em filtros, válvulas, trocadores de calor, vasos e no sistema de tubulação, enquanto que resíduos de óleo causam contaminação particularmente em vasos de baixa pressão e evaporadores, prejudicando a troca de calor [6].

Pode-se observar através da figura 3.6, as conseqüências de sistemas operando com R-717 severamente contaminado com água. No quadro 3.6 a, o óleo mineral utilizado por um

compressor parafuso além de encontrar-se deteriorado, contém uma série de impurezas e demonstra viscosidade incompatível com as exigências de carga mecânica do compressor. O filtro de óleo de um compressor recíproco do quadro 3.6 b, apresenta-se totalmente coberto com óleo em decomposição, impedindo a bomba de executar a correta lubrificação das partes móveis do compressor. Em 3.6 c, o filtro de sucção do separador de líquido exhibe contaminação com impurezas e obstrução quase total por lodo, gerando grandes perdas de carga na aspiração do compressor, elevando significativamente a relação de compressão. A válvula de bloqueio em 3.6 d, contaminada com óleo degradado, tem sua funcionalidade e estrutura comprometidas. Os pistões do compressor em 3.6 e, apresentam-se completamente incrustados por resíduos carbônicos e finalmente no quadro 3.6 f, o eixo do virabrequim tem sua superfície marcada e desgastada pela falta de lubrificante adequado.

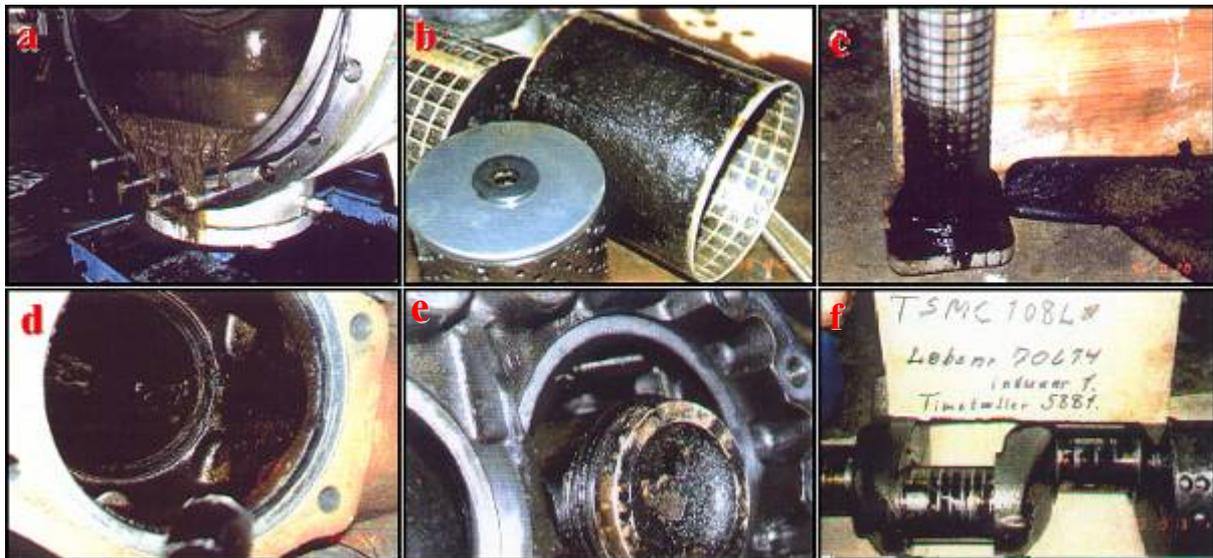


Figura 3.6 – Sistema de refrigeração com órgãos contaminados por óleo em decomposição

A figura 3.7 permite que se estabeleça uma relação visual entre as diferentes condições da qualidade do óleo lubrificante em um sistema de refrigeração, sendo que as condições ideais apresentam-se em 1 e 2, condições aceitáveis em 3 e 4, com perdas acentuadas de suas características para utilização em 5, 6 e 7, tornando o óleo incompatível com suas funções [6].

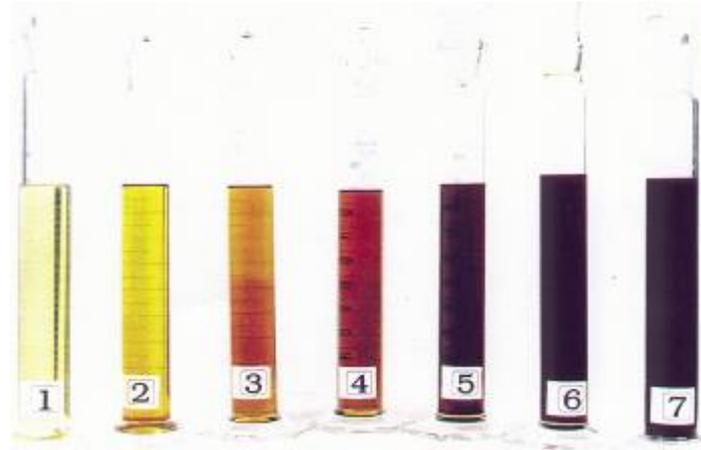


Figura 3.7 – Comparativo visual da qualidade do óleo lubrificante

Para que sejam garantidas condições de operação dentro dos limites aceitáveis, o percentual de água deverá ser mantido entre 0,5% e 1% [6].

O método mais eficiente e viável, para remoção da água de um sistema de refrigeração, mantendo a contaminação dentro dos parâmetros pré-estabelecidos, é realizado através de processo intermitente, onde quantidades apreciáveis do fluido refrigerante (*batch*) possam ser aquecidas em um separador de fases conectado no lado de baixa, por meio de vapor ou água quente, preferencialmente com a possibilidade de utilização de algum processo de recuperação de calor da planta [12].

A terminologia técnica adota o termo *batch*, amplamente empregado, cuja tradução literal não é aplicada e sim uma equivalente em português, “batelada”.

Todavia, os projetos das instalações industriais existentes, operando há algum tempo, não previam dispositivos deste tipo como parte integrante do sistema, ou meios para executar processos de extração de água [12].

Uma maneira de tornar possível o processo de retificação do fluido refrigerante é a purga contínua de água do sistema, através de um regenerador acoplado à instalação.

O regenerador de R-717, constitui-se basicamente de um cilindro de aço, disposto em posição vertical, com calotas abauladas soldadas em suas extremidades, sendo concêntrico à um outro cilindro de maior diâmetro, onde no espaço anelar circula fluido refrigerante na fase vapor ou água quente e em seu interior é injetado R-717 contaminado [12].

Quanto as características construtivas de operação, é essencial que o vaso recipiente do regenerador seja projetado para alta pressão e munido com válvulas de alívio para segurança. Além destas, um conjunto mínimo de equipamentos consiste de manômetro com

registro, válvula reguladora de pressão, medidor de nível de líquido, dreno para impurezas e uma válvula para injeção de líquido, conforme pode ser visualizado na figura 3.8, que mostra o desenho esquemático de um regenerador de R-717, para aproveitamento de água proveniente do resfriamento de óleo, compressores ou condensadores, projetado em conformidade com a ASME Unfired Pressure Vessel Code e padrão ANSI/ASHARE 15 [12].

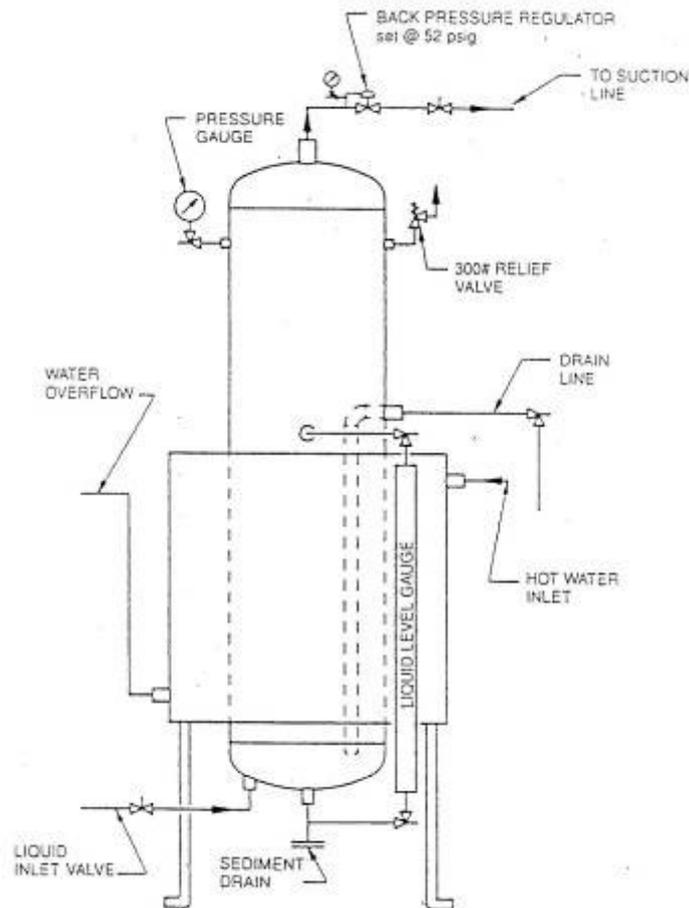


Figura 3.8 - Esquema de um regenerador utilizando água quente

Seu princípio de funcionamento baseia-se na expansão do R-717 líquido contaminado injetado no interior do cilindro de menor diâmetro, que absorve o calor cedido pela fonte quente, água ou vapor, os quais circulam pelo espaço anelar. Com a vaporização do R-717, a água e outros contaminantes precipitam-se no fundo do vaso, sendo posteriormente purgados através de um dreno. Os vapores do R-717 purificados, são liberados através da linha de baixa, retomando seu fluxo normal pelo sistema. Esse processo repete-se continuamente de

maneira intermitente, ou seja, o fluido refrigerante é regenerado em determinadas quantidades por vez, periodicamente, sendo que a drenagem é efetuada manualmente.

Unidades regeneradoras, como a da figura 3.9, funcionando automaticamente, com exceção da operação de drenagem, facilitam a operação, garantido maior segurança, eficiência e confiabilidade ao processo, embora a concepção de uma serpentina interna para aquecimento, não seja a mais aconselhável, devido ao difícil acesso para manutenção em caso de incrustações e raramente, um possível vazamento na tubulação, dando-se preferência a recipientes encamisados.



Figura 3.9 – Exemplo de um regenerador de R-717 com vapor quente automatizado

O funcionamento de uma unidade regeneradora de R-717 automatizada, utilizando vapor quente do próprio fluido refrigerante operando na instalação, pode ser analisado na figura 3.10. Neste equipamento, o vapor de aquecimento circula através de uma serpentina interna em contato com o fluido refrigerante contaminado.

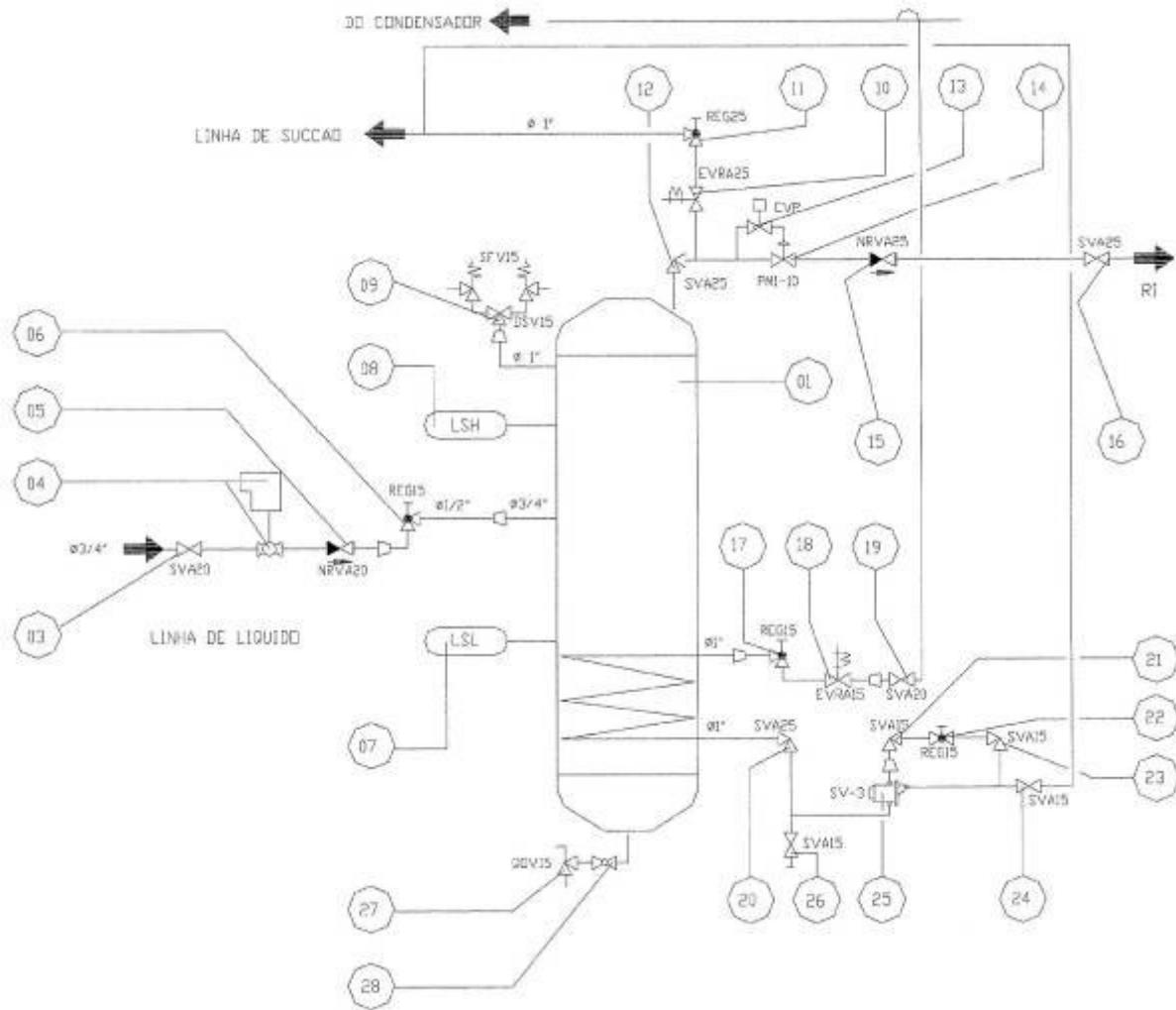


Figura 3.10 – Fluxograma de um regenerador automatizado

A operação de separação dos contaminantes do R-717, é comandada pelos controladores de nível 07 e 08. Quando o controlador 07 acusar baixo nível de fluido refrigerante contaminado no regenerador, libera um sinal para que a válvula de esfera (04), elétrica, abasteça o recipiente (01) com o fluido, juntamente com a abertura da válvula solenóide da sucção (10), que com o rebaixamento da pressão no interior do vaso, induz o fluxo. A válvula 6 regula a velocidade do fluido refrigerante que entra no equipamento, enquanto que a válvula 11 regula a velocidade do vapor que deixa o mesmo. Durante este período, a válvula solenóide de alimentação da serpentina de vapor quente (18), permanece fechada. Assim que o controlador de nível alto (08) verificar quantidade suficiente de fluido refrigerante, inicia-se o processo de purificação do R-717, através da abertura da válvula 18 e da válvula 14, pilotada pela válvula reguladora de pressão (13), a qual controla a pressão de

vaporização evitando temperaturas muito baixas em 01, com simultâneo fechamento das válvulas 04 e 10. Com a transferência de calor do vapor de fluido refrigerante que passa pela serpentina de aquecimento, este se condensa e por meio da válvula de bóia (25), volta a vaporizar-se retornando à linha de sucção. A válvula 17, através do controle da vazão de vapor e conseqüentemente capacidade de aquecimento, permite o ajuste da intensidade do processo de purificação, impedindo que água, óleo e outras impurezas retornem ao sistema. A fim de evitar eventuais riscos por alta pressurização do recipiente, em função de um fluxo de calor excessivo, são instaladas válvulas de segurança (09).

Terminada a operação de extração dos contaminantes, a serpentina de aquecimento continuará funcionando em regime forçado, com o fechamento da válvula de bloqueio (03), até que a pressão manométrica caia para aproximadamente $0,5 \cdot 10^5$ Pa, minimizando o percentual de R-717 na mistura. Depois da evaporação do fluido refrigerante, a drenagem é realizada através da abertura da válvula 28, recolhendo-se o conteúdo em recipiente limpo e graduado, para determinação da quantidade drenada e posterior análise para avaliação das exigências de frequência dos intervalos de drenagem. Na mudança do processo de purificação e drenagem, para reabastecimento, a válvula de retenção (05), evita o retorno de líquido, enquanto que a válvula de controle de vazão (12), regula a perda de pressão, para que a operação ocorra lentamente, evitando um excesso de vazão na bomba do separador, reiniciando o ciclo de regeneração do R-717, do sistema.

Muito embora alguns fabricantes disponham de equipamentos regeneradores de água, ar e óleo, agregados à instalações novas ou que possam ser acoplados à sistemas em funcionamento, não é prática comum, devido à falta de estímulo pela pouca informação, a adição destes retificadores, porém as conseqüências da contaminação com água não se restringem somente aos seus efeitos químicos sobre a instalação, o seu expurgo também possibilita uma substancial redução dos custos de energia, através do aumento do COP do sistema.

3.2 ALTERAÇÃO DO COP PELA CONTAMINAÇÃO DO R-717 POR ÁGUA

A detecção da contaminação com água de uma instalação de refrigeração pode levar anos até que os seus efeitos sejam percebidos. Durante este tempo, para manutenção das temperaturas de ebulição, um maior número de compressores operaram, durante mais tempo, com acentuada baixa da pressão de sucção, gerando consumo adicional de energia elétrica, com desperdício [12].

Considerando-se que a relação pressão-temperatura para soluções aquosas de R-717 é diferente que para R-717 anidro, à uma determinada pressão de vaporização, a temperatura de saturação para o fluido refrigerante puro, será mais baixa que a temperatura de saturação para mistura. Com a solução aquosa cada vez mais diluída, o conteúdo de água é aumentado e a temperatura de saturação fica ainda mais alta [12].

No anexo D.2, o diagrama mostra as temperaturas de saturação para misturas de R-717 e água, em quatro níveis de pressão de sucção típicos dos sistemas de refrigeração. De acordo com o percentual de água no eixo das abscissas, projeta-se uma reta vertical sobre a curva referente à pressão de sucção desejada e rebatendo sobre o eixo das ordenadas obtém-se a temperatura correspondente de saturação na vaporização da mistura.

A tabela 3.1 lista algumas temperaturas de saturação para três diferentes níveis de pressão, para misturas de água e R-717, com diluição que varia de 0 à 30%, baseadas no diagrama do anexo D.2 [12].

Tabela 3.1 – Temperaturas de saturação para mistura de R-717 e água

Diluição (%)	Pressão [Pa]			Temperaturas
	71186,1454	101325	304030,8644	
0	232,93 K	239,82 K	264,26 K	
10	234,54 K	241,48 K	266,15 K	
20	236,76 K	244,26 K	269,65 K	
30	240,93 K	248,70 K	275,48 K	

Percebe-se que com o aumento do percentual de água, ocorre um incremento da temperatura de saturação na sucção, ficando esta, cada vez maior.

Com a tendência de elevação da temperatura do líquido saturado, que circula nos evaporadores, o fluxo de calor entre o trocador e o meio à refrigerar é diminuído. Sob este aspecto, o sistema procura compensar a redução no trânsito de energia térmica, através do rebaixamento da pressão do regime de trabalho, a fim de manter a ebulição em um mesmo potencial térmico, porém com a penalidade de diminuição da capacidade frigorífica [12].

Na tentativa de manter-se o valor da carga térmica absorvida constante, a fim de evitar uma mudança nas condições operacionais da instalação, os compressores teoricamente teriam que aumentar o seu consumo de potência, conseqüentemente a quantidade de energia utilizada, porém o que ocorre na realidade é que, a quantidade de massa de vapor deslocada pelos compressores diminui, conforme equação 2.21 da seção 2.2.2, em função das equações 2.22 e 2.23, já que segundo estas, os compressores possuem seu rendimento volumétrico afetado pela perda de carga, reduzindo sua potência consumida, devendo funcionar por um maior período para remoção do calor, com aumento do consumo de energia em igual quantidade a condição teoricamente estabelecida [12].

$$\eta_V = 1 - \varepsilon \cdot \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{1}{n}} - 1 \right] \quad (2.22)$$

$$\varepsilon = \frac{V_\varepsilon}{V_C - V_\varepsilon} \quad (2.23)$$

V_C	capacidade volumétrica do cilindro [m ³]
V_ε	volume do espaço nocivo [m ³]
n	coeficiente politrópico
p_1	pressão de aspiração do compressor [Pa]
p_2	pressão de descarga do compressor [Pa]
ε	coeficiente do espaço nocivo
η_V	rendimento volumétrico do compressor

Devido à uma limitação de ordem mecânica, visto a impossibilidade dos pistões no ponto morto superior entrarem em contato com a placa de válvulas, uma parcela do vapor à alta pressão e temperatura fica enclausurada neste espaço, dito nocivo. Com o deslocamento

do pistão esta parcela de vapor é expandida, até que a pressão no interior do cilindro seja baixa o suficiente para admissão de uma nova quantidade de fluido refrigerante.

O espaço nocivo e conseqüentemente o volume de reexpansão do fluido, são características intrínsecas do compressor.

Embora haja redução do consumo de potência, esta ocorre em proporção bem menor que a diminuição da capacidade frigorífica da instalação, conforme equações 2.24 e 2.25, visto que para capacidade frigorífica além da diminuição do fluxo de massa, há uma redução no efeito frigorífico, enquanto que para o consumo de potência o trabalho específico aumenta.

$$\dot{Q}_E = \dot{m}.q_E \quad (2.24)$$

$$\dot{W}_C = \dot{m}.w_C \quad (2.25)$$

\dot{Q}_E	capacidade frigorífica do sistema [W]
\dot{m}	fluxo de massa [kg/s]
q_E	efeito frigorífico [J/kg]
\dot{W}_C	consumo de potência [W]
w_C	trabalho específico [J/kg]

Para a determinação do COP, este será deduzido na razão do efeito frigorífico e do trabalho específico, sendo que a energia consumida para que se realize o processo de refrigeração aumentará numa proporção aproximada à quantidade de água acumulada no sistema [13].

O impacto relacionado com o desperdício de energia da instalação potencializa-se com o fato de que, com a diminuição da pressão, compressores dotados de controle de capacidade, passarão a funcionar com seus dispositivos ativados constantemente, operando a maior parte do tempo como em carga parcial. Isto quer dizer que, mesmo com a capacidade requerida efetivamente grande, os compressores não trabalham à pleno, funcionando durante um período maior, conseqüentemente com aumento do consumo de energia [13].

A figura 3.11 mostra um exemplo de compressor parafuso de aplicação industrial típica, traçando a curva característica do tempo de funcionamento, em distintos estágios de capacidade.

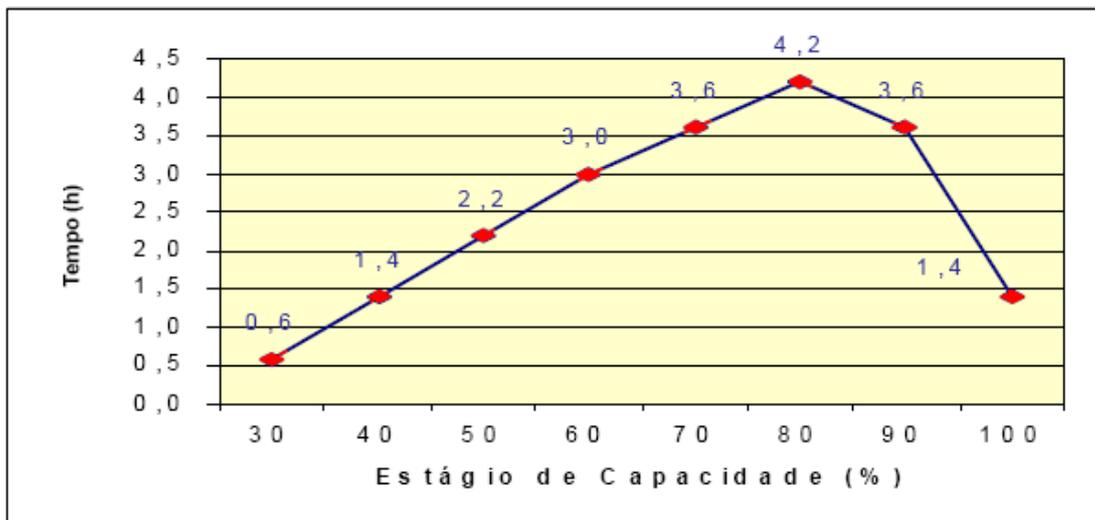


Figura 3.11 – Perfil de carga típico para compressores parafuso em horas de operação

Comparada com a tendência causada por uma diminuição da pressão de sucção pela contaminação com água a curva teria um alongamento vertical, com deslocamento para esquerda.