

MERCOFRIO 2000 – CONGRESSO DE AR CONDICIONADO, REFRIGERAÇÃO, AQUECIMENTO E VENTILAÇÃO DO MERCOSUL

UTILIZAÇÃO DE FLUÍDOS INTERMEDIÁRIOS EM INSTALAÇÕES DE FRIO ALIMENTAR EM SUPERMERCADOS

Alexandre Presotto Jr. e Carlos Guilherme Süffert

SPM ENGENHARIA S/C LTDA - Rua Eça de Queiroz, 998 - Porto Alegre / RS –
90670-020 FONE: (51)332.1188 - FAX: (51)332.1246- E-MAIL: spm@spmeng.com.br

RESUMO: *Como alternativa a utilização de CFCs e HCFCs em sistemas de frio alimentar para supermercados, temos desenvolvido sistemas com a utilização de fluídos intermediários. Inicialmente com o objetivo de diminuir a quantidade de fluído frigorígeno na instalação e posteriormente possibilitando a sua substituição pela amônia ou outro fluído compatível e ecologicamente correto.*

Dentro deste enfoque, o artigo descreve o funcionamento do sistema de frio alimentar para supermercado com a utilização de fluídos intermediários, mostrando suas vantagens e desvantagens, tanto técnicas quanto econômicas, em comparação com instalações tradicionais que utilizam a expansão direta de R-22.

Com base na experiência de diversas instalações em operação dentro do Brasil, o artigo aponta para a evolução deste tipo de instalação, viabilizando a eliminação das rotinas de degelo em circuitos de média temperatura, o que torna a instalação extremamente estável, do ponto de vista de condicionamento dos produtos, e em circuitos de baixa temperatura, a operação nos mesmos regimes de compressão.

1.- INTRODUÇÃO

No final da década de 70, cientistas levantaram a hipótese da nocividade dos gases halogenados à camada de ozônio na periferia da atmosfera terrestre. Em 1987, alguns países preocupados com este fenômeno, reuniram-se no Canadá e assinaram o "Protocolo de Montreal". Neste acordo internacional foram estabelecidos prazos para gradual extinção destes gases, cuja data limite é o ano de 2020.

A partir de então a pressão social para reduzir o uso dos gases "condenados" tem aumentado progressivamente, forçando o mercado a se adequar o mais rápido possível dentro desta nova realidade.

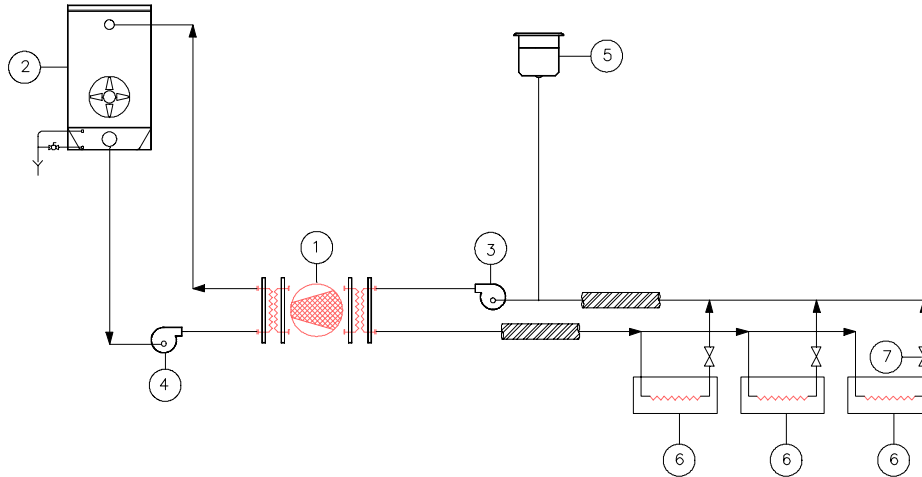
Como alternativa a utilização de CFCs e HCFCs em sistemas de frio alimentar para supermercados, existem no Brasil há mais de dez anos instalações com a utilização de fluídos intermediários. Estas instalações foram concebidas inicialmente com o objetivo de diminuir a quantidade do refrigerante na instalação, uma vez que ele se restringe apenas aos limites da central térmica, e o fluído intermediário faz o transporte do "frio" desde a central até os pontos de consumo (câmaras e expositores). Posteriormente com a utilização de amônia, foi possível a eliminação dos CFCs ou HCFCs do sistema.

2.- FUNCIONAMENTO DO SISTEMA

O sistema é formado por um grupo resfriador de líquido (chiller com fluído refrigerante R22, R404, R717, etc...) que resfria a solução em água de produto anti-congelante capaz de manter-se no estado líquido em baixas temperaturas. A solução circula através da rede de distribuição, impulsionada por uma moto-bomba centrífuga, desde a central até os expositores e

câmaras. A temperatura necessária para a conservação dos produtos é garantida através de um adequado balanceamento entre os níveis de temperatura do fluido intermediário e a superfície de troca térmica das serpentinas.

Uma vez que a distribuição do “frio” fica simplificada, todos os cuidados de operação e controle, ficam restritos à central térmica.



LEGENDA

- 1 - Grupo resfriador de líquido
- 2 - Torre de arrefecimento d'água
- 3 - Bomba de fluido intermediário
- 4 - Bomba de compensação
- 5 - Vaso de expansão
- 6 - Expositores e/ou câmaras
- 7 - Válvulas para degelo (somente em baixa temperatura)

3.- RESFRIADOS

3.1.- DESCRIÇÃO DO SISTEMA

Usualmente, as instalações de média temperatura para supermercados empregam a expansão direta de R-22. Devido a dificuldade de estabilizar a pressão deste refrigerante, opera-se normalmente com grandes diferenças de temperatura entre a evaporação na serpentina e o condicionamento do produto. Com isto, é preciso controlar a temperatura nos pontos de consumo de frio, e ocorrem formações de gelo nas serpentinas.

Com a utilização de um fluido intermediário, mantendo-se as serpentinas com a mesma área de troca térmica, em relação ao sistema com expansão direta, obtém-se um controle de temperatura mais preciso, o que permite operar com temperatura de fluido na serpentina em torno de -7°C . No entanto, permanece a necessidade de controle de temperatura nos expositores e câmaras, e de operações rotineiras para degelo nas serpentinas.

Entretanto, com o adequado dimensionamento das serpentinas e do fluxo de fluido intermediário, é possível garantir as temperaturas necessárias para o condicionamento dos produtos, sem que haja necessidade de controlar a temperatura nos expositores e câmaras ou interrupções para degelo.

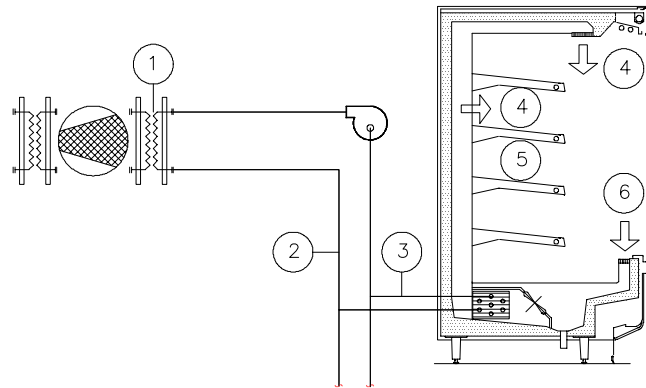
O sistema também proporciona outras vantagens importantes como:

- elevação da temperatura de evaporação no regime de operação;
- redução da carga térmica, devido a não formação de gelo nos tubos e aletamento das serpentinas;
- maior coeficiente interno de troca de calor, que resulta num coeficiente global também maior;
- fluxo de temperatura em contra corrente perfeita;

- melhor desempenho do trocador, já que a distribuição da troca térmica na serpentina é mais eficiente e de melhor distribuição em sistemas líquido x ar do que em sistemas líquido/vapor x ar;
- otimização do super-aquecimento.

3.2.- RESULTADOS OBTIDOS

Os resultados obtidos, nestas instalações com a utilização de fluido intermediário, foram equivalentes aos alcançados em instalações de refrigeração com sistema convencional de expansão direta de R-22. E garantem o condicionamento dos produtos dentro dos padrões de qualidade para comercialização, conforme apresentados na figura a seguir:



Temperatura		Carnes °C	Laticínios °C	Fiambres °C	Hortifruti °C
1	Evaporação do grupo	-6	-6	-6	-6
2	Entrada de fluido na serpentina	-2	-2	-2	-2
3	Saída do fluido da serpentina	-0,5	+2	+2	+4
4	Insuflamento de ar	0	+3	+3	+5
5	Ar sobre as mercadorias	+1	+5	+5	+8
6	Retorno do ar	+5	+8	+8	+10

Obs.: Resultados obtidos durante funcionamento da instalação, com supermercado operando normalmente e com ventilação dos balcões frigoríficos devidamente regulada.

3.3.- DESEMPENHO DO SISTEMA

Mesmo utilizando R-22 como fluido refrigerante para geração do frio, o sistema com fluido intermediário apresenta rendimento superior quando comparado com sistema tradicional de expansão seca, apesar de incluir uma troca térmica a mais no circuito e necessitar da bomba de circulação de solução. Na prática porém a instalação opera em regimes mais favoráveis, e apresenta os seguintes resultados:

Sistema	Refrigerante	Condensação	Regime °C	C.O.P. grupos resfriadores	C.O.P. grupos + bomba
Evaporação direta	R22	ar	-10/+45	3,10	-
Evaporação direta	R22	água	-10/+40	3,52	-
F. intermediário	R22	ar	-6/+45	3,44	3,00
F. intermediário	R22	água	-6/+37,5	4,27	3,65
F. intermediário	R717	água	-6/37,5	4,59	3,55
F. intermediário	R404A	ar	-6/+45	2,96	2,63
F. intermediário	R404A	água	-6/37,5	3,75	3,20

3.4.- FLUÍDO UTILIZADO

Em sistemas de média temperatura, não houve a necessidade de pesquisas para o tipo de fluido intermediário a ser utilizado. Já haviam diversas instalações utilizando solução aquosa de propileno glicol. E como a quantidade de propileno glicol é muito pequena na solução (menos de 20%), as propriedades físicas e termodinâmicas são muito semelhantes às da água.

Produto	temp. °C	densidade kg/m ³	calor espec. kcal/kg°C	cond. térm. kcal/hm°C	viscosidade c. m ² /s
Água	+5	999,8	1,005	0,485	1,55 x 10 ⁻⁶
propileno glicol sol. 20%	-2	1027,6	0,938	0,397	4,26 x 10 ⁻⁶

Quanto à corrosão, a solução aquosa de propileno glicol apresenta níveis de corrosão muito baixos quando em contato com cobre ou latão, na versão Dowfrost (propileno glicol com inibidores de corrosão produzido pela DOW QUÍMICA), estes índices também permanecem baixos para aço carbono.

A tabela abaixo mostra dados comparativos sobre os efeitos da corrosão retirados dos catálogos dos produtos, seguindo teste padrão ASTM D1384:

material	água	prop. gl. sol. 30%	dowfrost sol. 30%
cobre	2	4	3
latão	5	5	4
aço carb.	212	214	1

Soluções aquosas de Dowfrost também são compatíveis com a quase totalidade dos materiais utilizados em instalações normais de refrigeração, tanto nos seus equipamentos, como para vedação de juntas e ligações. A principal precaução é evitar o contato com:

- zinco;
- aço galvanizado;
- ferro fundido cinzento;
- água com excesso de cloro;
- água com excesso de sulfatos.

Quanto à toxicidade, o propileno glicol grau USP é utilizado principalmente em indústrias alimentícias, cosméticas e farmacêuticas. Ou então na sua versão Dowfrost, é um produto totalmente atóxico (utilizado na composição de ração animal). Atende a todas as especificações da Farmacopéia Brasileira e Americana, também é permitida a sua utilização como aditivo direto ou indireto em alimentos.

Quanto à flamabilidade, o propileno glicol em soluções com concentração acima de 80% tem ponto de fulgor de 102°C. Abaixo desta concentração é um produto não inflamável.

4.- CONGELADOS

4.1.- DESCRIÇÃO DO SISTEMA

As instalações convencionais de baixa temperatura costumam operar com evaporação igual ou menor a -30°C. Como critério de dimensionamento para instalações com fluido intermediário adotou-se a mesma temperatura de evaporação nos grupos resfriadores e uma temperatura de saída do fluido igual a -27°C. Nestas condições, e utilizando as mesmas serpentinas

das instalações convencionais (com circuitação adaptada), é possível garantir as temperaturas necessárias em câmaras e expositores de congelados (-20°C sobre o produto).

O ganho na aproximação dos diferenciais de temperatura é conseguido em função dos seguintes fatores:

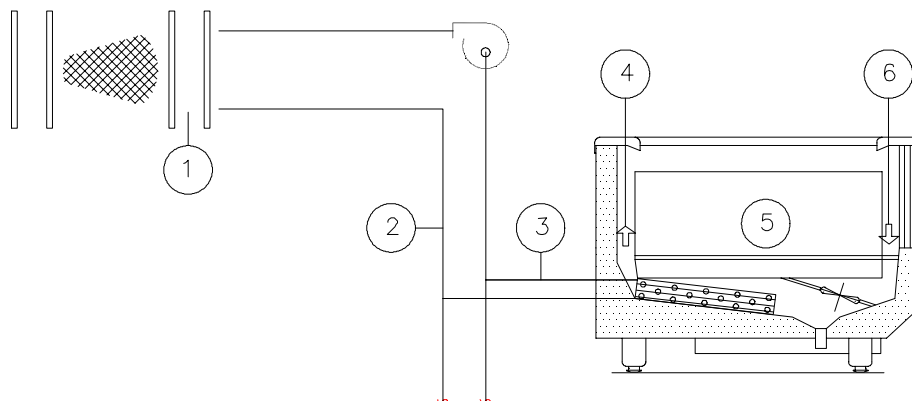
- maior coeficiente interno de troca de calor, que resulta num coeficiente global também maior;
- fluxo de temperatura em contra corrente perfeita;
- melhor desempenho do trocador já que a distribuição da troca térmica na serpentina é mais eficiente e de melhor distribuição em sistemas líquido x ar do que em sistemas líquido/vapor x ar;
- otimização do super-aquecimento.

Nos procedimentos de degelo há outros fatores que devem ser ressaltados, já que também resultam em melhorias na qualidade da instalação:

- o degelo elétrico atua com maior eficácia em serpentinas com fluido intermediário do que em expansão seca, em virtude da difusão de calor provocada pelo fluido intermediário em toda a serpentina e fechamentos, e isto proporciona períodos de degelo menores;
- a velocidade de recuperação da temperatura nos expositores e câmaras após o degelo também é maior, já que não há limitação de capacidade da serpentina pela a válvula de expansão.

4.2.- RESULTADOS OBTIDOS

Utilizando as temperaturas descritas anteriormente, obtivemos os seguintes resultados com as instalações e lojas operando normalmente:



Temperatura		Ilha °C
1	Evaporação do grupo	-30
2	Entrada de fluido na serpentina	-27
3	Saída do fluido da serpentina	-25
4	Insuflamento de ar	-24
5	Ar sobre as mercadorias	-20
6	Retorno do ar	-18

Obs.: Resultados obtidos durante funcionamento da instalação, com supermercado operando normalmente e com ventilação dos balcões frigoríficos devidamente regulada.

4.3.- DESEMPENHO DO SISTEMA

No caso de instalações de baixa temperatura, apesar do acréscimo de energia consumida pela bomba. Conseguimos nos aproximar do rendimento de instalações convencionais utilizando como fluido refrigerante o R717, conforme os resultados a seguir:

Sistema	Refrigerante	Condensação	Regime	C.O.P.	C.O.P.
---------	--------------	-------------	--------	--------	--------

			°C	grupos resfriadores	grupos + bomba
Evaporação direta	R22	ar	-30/+45	1,87	-
Evaporação direta	R22	água	-30/+40	1,99	-
F. intermediário	R22	ar	-30/+45	1,87	1,61
F. intermediário	R22	água	-30/+35	2,13	1,80
F. intermediário	R717	água	-30/+35	2,21	1,86
F. intermediário	R404A	ar	-30/+45	1,35	1,21
F. intermediário	R404A	água	-30/+35	1,78	1,54

4.4.- FLUÍDO UTILIZADO

A situação para sistemas de baixa temperatura é diferente dos sistemas para resfriados, pois ainda não há um fluido consagrado e com propriedades físicas consideradas ideais. Em compensação estão surgindo cada vez novas opções especialmente nos países do norte da Europa, onde os prazos de extinção completa dos halogenados estão sendo acelerados. Por isso comparamos as propriedades de diversas opções para fluidos intermediários operando à -30°C .

As características desejadas para se trabalhar com um bom fluido intermediário, são:

- alta condutividade térmica;
- alta densidade;
- alto calor específico;
- baixa viscosidade;
- baixa toxicidade;
- baixos níveis de corrosão;
- solubilidade em água.

Avaliando os fluidos investigados, dentro dos parâmetros acima descritos, encontramos os seguintes resultados:

Produto	temp. °C	densidade kg/m ³	calor espec. kcal/kg°C	cond. térm. kcal/hm°C	viscosidade c. m ² /s
"tyfoxit" sol. 80%	-30	1.220	0,710	0,374	$2,39 \times 10^{-5}$
propileno glicol sol. 60%	-30	1.073	0,745	0,258	$2,80 \times 10^{-4}$
etileno glicol sol. 60%	-30	1.105	0,686	0,268	$5,90 \times 10^{-5}$
Silicone	-30	908	0,398	0,104	$4,38 \times 10^{-6}$
"dowtherm J"	-30	900	0,404	0,120	$2,50 \times 10^{-6}$
"dowtherm Q"	-30	1.010	0,357	0,110	$3,49 \times 10^{-5}$
CaCl ₂ sol. 30%	-30	1.280	0,673	0,421	$2,09 \times 10^{-5}$

Quanto à corrosão, tanto a solução aquosa de Tyfoxit quanto o etileno glicol com inibidor de corrosão produzido pela DOW QUÍMICA (Dowtherm SR1) apresentam níveis de corrosão muito baixos quando em contato com cobre, latão ou aço carbono. O único cuidado especial, é evitar o contato do oxigênio com o Tyfoxit pois este reage com seu inibidor de corrosão. Tal efeito pode ser controlado, medindo-se periodicamente o PH da solução.

A tabela abaixo mostra dados comparativos sobre os efeitos da corrosão retirados dos catálogos dos produtos, seguindo teste padrão ASTM D1384:

Material	água	CaCl ₂ sol. 30%	tyfoxit sol. 80%	etileno gl. sol. 60%
Cobre	2	30	2	3
Latão	5	93	1	3
aço carb.	212	245	2	1

Os resultados nos levaram a concluir que "Tyfoxit", um alkali etanato com inibidor de corrosão fabricado na Alemanha pela TYFOROP e "CaCl₂" ambos em solução aquosa, tem

características físicas semelhantes e mais apropriadas para funcionarem como fluido intermediário em instalações de baixa temperatura. Apenas o alto índice de corrosão do CaCl_2 , e a indisponibilidade de inibidores eficazes no Brasil, nos levou a optar pela solução aquosa de Tyfoxit.

Soluções aquosas de Tyfoxit, também são compatíveis com a quase totalidade dos materiais utilizados em instalações normais de refrigeração, tanto nos seus equipamentos, como para vedação de juntas e ligações. As principais precauções neste sentido são, não utilizar com:

- politetrafluoretileno (PTFE);
- misturas de silicones;
- resíduos com solução de glicol;
- água com cloro;
- aço galvanizado.

Quanto à toxicidade, o Tyfoxit não é um produto perigoso. Exposições rápidas não produzem qualquer efeito contra a saúde. De qualquer maneira é recomendado a utilização de luvas de borracha durante suas operações, conforme normas gerais para manuseio de substâncias químicas. O quadro abaixo ilustra algumas das situações de contatos com suas respectivas conseqüências e tratamento:

Contato	conseqüência	tratamento
pele	exposição prolongada pode produzir leve irritação	lavar partes afetadas com água
olhos	irritação e possibilidade de queimaduras temporárias	lavagem intensa com água
Inalação	possibilidade de irritação	exposição do paciente a ventilação com ar fresco
Ingestão	possibilidade de irritação	lavar a boca com água e não induzir ao vômito

O Tyfoxit é um produto não inflamável.

5.- SISTEMA DE CONTROLE

O sistema de controle para este tipo de instalação é muito simples, especialmente quando comparamos com sistemas de refrigeração tradicional por expansão direta. Em instalações com utilização de fluido intermediário, os controles ficam restritos à central térmica e são:

- malha de controle da temperatura do fluido secundário;
- malha de controle da válvula de expansão.

Ambas as malhas de controle se restringem ao grupo resfriador de líquido, são monitoradas pelo controlador microprocessado do grupo e controlam o sistema no caso de operação em regime parcial. Desta maneira é possível manter a instalação estabilizada, com variação de $\pm 1^\circ\text{C}$ na temperatura do fluido e é possível também otimizar o regime do ciclo frigorífico, garantindo um super-aquecimento de até 4°C , já que o ciclo de refrigeração se completa dentro do chiller.

Completando o sistema de controle, existe ainda a automação das rotinas de degelo para expositores e câmaras de congelados. Tais rotinas são monitoradas por controladores dedicados, que atuam sincronizados para evitar que dois equipamentos iniciem seu ciclo simultaneamente. Também são providos de sensor de temperatura, que interrompe o ciclo quando a serpentina estiver completamente desobstruída, mesmo que ainda não tenha sido alcançado o tempo total da operação. Tal dispositivo evita que o equipamento se aqueça de maneira exagerada e facilita a retomada do regime normal de operação após o término do degelo. Normalmente em sistemas de refrigeração indireta, os procedimentos de degelo seguem a seguinte rotina:

Estado	Válvula	Ventilação	Res. Elétrica
Refrigeração	Ligado	Ligado	Desligado
Degelo	Desligado	Desligado	Ligado
Escoamento	Desligado	Desligado	Desligado

Pré-resfriamento	Ligado	Desligado	Desligado
Refrigeração	Ligado	Ligado	Desligado

Todas estas informações são reunidas através de uma rede de comunicação, e passadas ao micro computador para que um programa de supervisão realize o acompanhamento de todas as operações. Este programa, chamado “supervisório”, não tem a função de controle ou operação da instalação, apenas transforma os dados coletados no campo em informações de fácil compreensão por parte do operador. Estas informações são apresentadas em telas de fácil visualização, em gráficos e relatórios ou ainda são transmitidas à outra estação remota, proporcionando o monitoramento à distância.

6.- CUSTOS

Nos quadros a seguir comparamos os custos de implantação e operação, para um sistema de refrigeração em um supermercado com área de venda de aproximadamente 5.000 m².

6.1.- IMPLANTAÇÃO

Os valores a seguir são estimados e fornecidos diretamente pelos fabricantes de equipamentos e acessórios, e não levam em consideração transporte, nem custos administrativos.

item	sistema c/ fluído intermediário R\$	sistema c/ expansão direta R\$
Central térmica	150.000,00	100.000,00
Condensação	25.000,00	25.000,00
Fluído refrigerante	500,00	5.000,00
Fluído intermediário	12.000,00	0,00
Controles	15.000,00	40.000,00
Câmaras e forçadores de ar	210.000,00	200.000,00
Balcões frigoríficos	425.000,00	410.000,00
Materiais	100.000,00	120.000,00
Mão de obra	80.000,00	100.000,00
TOTAL	1.017.500,00	1.000.000,00

6.2.- OPERAÇÃO

Os custos operacionais apresentados correspondem a uma instalação com as seguintes considerações:

- carga térmica de resfriados: 250.000 kcal/h;
- carga térmica de congelados: 60.000 kcal/h;
- ambas as instalações operando na média a 70% da sua capacidade;
- custo de kWh igual a R\$ 0,12 (somatório de demanda, kWh na ponta e fora da ponta);
- valores de C.O.P. adotados são de instalações com condensação a água;
- custos com reposição de refrigerante correspondem aos valores adotados pela ASHRAE, para instalações com expansão seca, indica que os vazamentos correspondem a 25% da carga total de refrigerante do sistema por ano (800 kg);
- não foram incluídos nos custos operacionais a consideração sobre a redução da carga térmica nos sistemas de resfriados.

item	sistema c/ fluído intermediário R\$/ano	sistema c/ expansão direta R\$/ano
Energia	87.050,00	87.305,00
Fluído refrigerante	750,00	6.000,00
Fluído intermediário	0,00	0,00

TOTAL	87.800,00	93.305,00
--------------	------------------	------------------

7.- VANTAGENS E DESVANTAGENS

Em relação às instalações tradicionais com expansão direta, a utilização de sistema com fluido intermediário, apresenta as seguintes vantagens e desvantagens:

7.1.- VANTAGENS

- consumo de energia equivalente;
- carga térmica menor para sistemas de média temperatura;
- ausência de rotina de degelo para sistemas de média temperatura;
- ausência de controle de temperatura para balcões e câmaras;
- maior eficácia dos trocadores de calor;
- menor quantidade de fluido refrigerante no sistema e muito menor possibilidade de vazamentos;
- simplicidade da instalação e em decorrência menores custos de manutenção preventiva ou corretiva;
- maior confiabilidade de funcionamento (menos ocorrências de manutenção);
- sistema de controle simplificado;
- viabilidade na utilização de refrigerantes não condenados pelo “Protocolo de Montreal”.

7.2.- DESVANTAGENS

- espaço físico maior na central térmica para instalação dos equipamentos;
- áreas de troca térmica maior nas serpentinas resfriadoras de câmaras e balcões em sistemas de média temperatura;
- quando da utilização de R717 com fluido refrigerante, é necessário um estudo especial de ventilação da central térmica.

8.- CONCLUSÃO

As principais vantagens no sistema de refrigeração com utilização de fluido intermediário, estão na simplicidade de operação, diminuição da malha de controle e estabilidade no funcionamento da instalação. Estas características se comprovaram nas diversas instalações operando no país há quase dez anos, especialmente nos sistemas de média temperatura onde elimina-se as rotinas de degelo, permanecendo o sistema em regime estável de operação permanentemente, variando apenas com as necessidades de carga térmica da loja.

Para sistemas de baixa temperatura, verificou-se que a utilização de fluido intermediário proporciona melhor rendimento das serpentinas resfriadoras, devido a uniformidade de distribuição do líquido no trocador de calor, levando a resultados melhores para câmaras e balcões frigoríficos.

Assim, há quase dez anos este sistema comprova que a utilização de fluido intermediário em instalações de frio alimentar em supermercados, confere grande confiabilidade e estabilidade de operação e representa uma alternativa economicamente viável para eliminação dos CFC e HCFC.

THE USE OF THE INDIRECT SYSTEM OF REFRIGERATION IN SUPERMARKETS

SUMMARY:

As an alternative for CFCs and HCFCs utilization in supermarkets, we have developed systems utilizing intermediate fluids. The initial purpose was to reduce the amount of frigorigenous fluid in the installation and further on to make possible its substitution by ammonia or by another compatible and environmental correct fluid.

Within this focus, the article describes the operation of the refrigeration system for supermarkets with the utilization of intermediate fluids showing its advantages and disadvantages, both technical and economical, in comparison with traditional installations that utilize the R-22 direct expansion.

Based on the experience of several operating installations in Brazil, the article points to the evolution of this type of installation, which makes possible the elimination of the defrosting routines in mean temperature circuits. From the point of view of product conditioning it makes the installation extremely stable and, in low temperature circuits, the operation follows the same compression ratio.