

**ALIA ZAHI RACHED**

**CONSUMO EXCESSIVO DE FLUIDO TÉRMICO**

SÃO PAULO

1993

**ALIA ZAHI RACHED**

**CONSUMO EXCESSIVO DE FLUIDO TÉRMICO**

**Prof. Orientador: MARCOS PIMENTA**

**SÃO PAULO**

**1993**

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO . . . . .</b>	01
<b>2. ESTUDO SOBRE O FLUIDO . . . . .</b>	02
2.1 INTRODUÇÃO . . . . .	02
2.2 COMPARAÇÃO ENTRE FLUIDO TÉRMICO E VAPOR D'ÁGUA . . . . .	04
2.3 ESTABILIDADE TÉRMICA . . . . .	05
2.4 ANÁLISE DO FLUIDO TÉRMICO . . . . .	08
2.5 INFLAMABILIDADE . . . . .	10
2.6 CORROSIVIDADE . . . . .	13
2.7 TECNOLOGIA DE FASE VAPOR E FASE LÍQUIDA . . . . .	14
2.7.1 INTRODUÇÃO . . . . .	14
2.7.2 VANTAGENS DO AQUECIMENTO EM FASE LÍQUIDA . . . . .	16
2.7.2 VANTAGENS DO AQUECIMENTO EM FASE VAPOR . . . . .	17
2.8 TOXIDEZ E MEIO AMBIENTE . . . . .	18
2.8.1 TOXIDEZ . . . . .	18
2.8.2 CONSIDERAÇÕES SOBRE O MEIO AMBIENTE . . . . .	21
<b>3. PARÂMETROS DE PROJETO PARA INSTALAÇÕES DE FLUIDO TÉRMICO . . . . .</b>	23
3.1 INTRODUÇÃO . . . . .	23
3.2 SISTEMAS TÍPICOS . . . . .	24
3.3 EQUIPAMENTOS PARA SISTEMA QUE UTILIZAM FLUIDO TÉRMICO . . . . .	30
<b>4. ESTUDO SOBRE A INSTALAÇÃO . . . . .</b>	38
4.1 INTRODUÇÃO . . . . .	38
4.2 UTILIZAÇÃO DO FLUIDO NAS FABRICAÇÕES . . . . .	39
4.3 DESCRIÇÃO DO PROCESSO . . . . .	43
4.4 CARACTERIZAÇÃO DO EQUIPAMENTO . . . . .	45
<b>5. IDENTIFICAÇÃO DAS PROVÁVEIS CAUSAS . . . . .</b>	48
<b>6. ANÁLISE DAS CAUSAS . . . . .</b>	50
6.1 DEGRADACÃO . . . . .	50

6.1.1 INTRODUÇÃO.....	50
6.1.2 DEGRADAÇÃO - SUPERAQUECIMENTO.....	52
6.1.3 DEGRADAÇÃO - CONTAMINAÇÃO.....	53
6.2 CONTAMINAÇÃO.....	54
6.3 VAZAMENTO DE FLUIDO TÉRMICO.....	57
7. CONCLUSÃO.....	63
8. RECOMENDAÇÕES .....	64
<b>ANEXO A - ESQUEMA DA INSTALAÇÃO.....</b>	<b>65</b>
<b>ANEXO B - ESPECTRO DA FASE LÍQUIDA E VAPOR DE UMA AMOSTRA DE FLUIDO USADO.....</b>	<b>66</b>
<b>ANEXO C - ESPECTRO DE UMA AMOSTRA DE FLUIDO NOVO....</b>	<b>67</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS.....</b>	<b>68</b>
APÊNDICE A - PROPRIEDADES FÍSICAS E TERMODINÂNICAS DO THERMINOL VP-1	

## 1. INTRODUÇÃO

Este estudo tem por finalidade determinar as causas da reposição excessiva de fluido térmico numa instalação que é utilizado como fluido de transferência indireta de calor. Esta instalação situa-se na RHODIA S.A., unidade TEXTIL, à Av. Henri Sannejouand, 06, Santo André - SP - BR.

A instalação possui 116,5t de fluido instalado e uma reposição mensal média de 5,3t, portanto uma reposição anual de 54% da quantidade instalada. Valores mundiais para reposição anual variam entre 10% à 15% da quantidade instalado. Para instalações antigas, como esta, é aceitável uma reposição anual de até 20% da quantidade instalada.

Esta reposição excessiva acarreta uma perda anual em torno de US\$210.000.

## 2. ESTUDO SOBRE O FLUIDO

### 2.1 INTRODUÇÃO

O fluido térmico utilizado é o THERMINOL VP-1, fornecido pela Monsanto Chemical Company.

Este fluido para transferência indireta de calor é uma mistura eutética de dois compostos orgânicos estáveis, 73,5% de óxido de difenila ( $C_{12}H_{10}O$ ) e 26,5% de difenila ( $C_{12}H_{10}$ ). Estes dois compostos têm praticamente a mesma pressão de vapor, de maneira que a mistura pode ser trabalhada como um único composto. Este fluido possui uma faixa normal de aplicação entre 37,8°C e 398,9°C e uma faixa de pressão de vapor absoluto entre a atmosférica e 10,6Kgf/cm<sup>2</sup>.

DESIGNAÇÃO	FORMULA QUÍMICA	PESO MOLECULAR	PTO DE FUSÃO (°C)	PTO DE EBULIÇÃO À P ATM.
Difenila	$C_{12}H_{10}$	154,2	69,0	255,9
Óxido de Difenila	$C_{12}H_{10}O$	170,2	28,0	258,0
Ponto Eutético	—	165,0	12,0	257,0

Este fluido é miscível e intercambiável com outros fluidos que possuam composição similar, podendo a mistura se processar tanto para reposição do volume estático, como enchimento de novas unidades.

Este fluido poderá ser utilizado tanto em sistemas que empregam o aquecimento em fase líquida, quanto em fase vapor.

Este fluido é usado geralmente no estado vapor, pois oferece a vantagem de dar mais baixa pressão em relação ao vapor d'água, a uma dada temperatura.

Abaixo estão as tabelas comparativas entre água e Therminol VP-1.

Entalpia da Áqua

TEMPERATURA DE SATURAÇÃO (°C)	PRESSÃO (Kgf/cm <sup>2</sup> )	ENTALPIA DE VAPORIZAÇÃO (Kcal/Kg)	ENTALPIA TOTAL (Kcal/Kg)
99.1	1.0	539.6	649.0
215.5	23.4	444.5	669.2
253.5	45.2	407.9	668.8
300.0	87.6	335.1	656.1
*374.2	225.7	0.0	501.5

\* Pressão crítica

Entalpia do Therminol VPI

TEMPERATURA DE SATURAÇÃO (°C)	PRESSÃO (Kgf/cm <sup>2</sup> )	ENTALPIA DE VAPORIZAÇÃO (Kcal/Kg)	ENTALPIA TOTAL (Kcal/Kg)
215.6	0.4	75.8	164.8
253.5	1.0	71.9	181.2
300.0	2.4	67.0	199.6

O fluido térmico tem a propriedade de se contrair sob congelamento. Este normalmente pode ser regenerado, após anos de uso ou contaminação.

As propriedades físicas e termodinâmicas do Therminol VP-1 podem ser encontradas no Apêndice A.

## 2.2 COMPARAÇÃO ENTRE FLUIDO TÉRMICO E VAPOR D'ÁGUA

O vapor d'água é o meio de transferência de calor mais utilizado.

A água ferve a 100°C à uma atmosfera, e o vapor saturado é utilizado na faixa de 175°C a 200°C. A partir de 200°C, a pressão de vapor d'água já ultrapassa 15Kgf/cm<sup>2</sup>, e acima desta temperatura a pressão cresce muito rapidamente, e este aumento de pressão é desinteressante para todo e qualquer processo comum de aquecimento.

Com o fluido térmico isto não acontece nesta faixa de temperatura, o que lhe dá grande vantagem sobre o vapor d'água.

A utilização de fluido térmico não tem como objetivo substituir o vapor d'água onde a pressão de vapor é alta. As circunstâncias variam tanto que não há uma temperatura definida acima da qual deve ser utilizado fluido térmico. Geralmente onde vapor já é disponível, o fluido deve ser considerado para temperaturas acima de 200°C. Onde novas facilidades de geração de vapor são requeridas, este deve ser considerado para temperaturas acima de 177°C.

O fluido térmico pode ser entendido como uma extensão das propriedades do vapor d'água, propriedades estas que se tornam impraticáveis nessas condições devido à alta pressão.

## 2.3 ESTABILIDADE TÉRMICA

Em condições normais de processo, o fluido possui excelente estabilidade térmica, dentro da faixa em que é especificado: 37,8°C a 398,9°C.

Todos os fluidos orgânicos para transferência de calor, quando sujeitos a temperaturas mais altas do que aquelas para as quais foram especificados, decompõem-se rapidamente.

Para este fluido, os produtos de decomposição consistem principalmente de materiais de alto peso molecular que permanecem em solução no líquido. Estes materiais de alto ponto de ebulição não afetam a operação mecânica do sistema, desde que não excedam as concentrações especificadas. A pequena quantidade de materiais de baixo ponto de ebulição formada poderá ser ventilada do sistema.

A degradação excessiva é normalmente causada pela contaminação e/ou pelo superaquecimento do fluido. Os contaminantes tanto podem ser materiais de processo que tenham vazado para o fluido térmico, como resíduos ou algum material decomposto que tenha permanecido no sistema antes do mesmo ter sido abastecido com o fluido. Neste caso, é essencial que o sistema esteja completamente limpo antes de se adicionar o fluido.

Os contaminantes podem ser o ar, a água, materiais alcalinos, ou ácidos, entre outros.

A água pode ser especialmente perigosa, devido à pressão de vapor extremamente alta em temperaturas normais de operação do sistema. Quantidade de água acima da quantidade miscível no fluido pode ser facilmente retirada, pois a água é mais leve em peso e pode ser decantada.

Quando o fluido estiver contaminado, o contaminante geralmente menos estável e com poder de causar corrosão decompõe-se, acelerando o processo de degradação do fluido.

A contaminação do fluido com o material que está sendo processado é certamente a maior fonte de dificuldades em

6

instalações que o empregam.

Quase que sem exceção, os materiais processados em sistemas usando este fluido têm uma estabilidade térmica inferior a deste.

Em geral, estes são materiais orgânicos, os quais decompõem-se deixando depósitos de carbono na superfície de aquecimento. Este carbono depositado irá causar superaquecimento e pode iniciar decomposição local do fluido.

O superaquecimento poderá ocorrer devido à incidência de chamas, pela operação do aquecedor acima da sua capacidade nominal, pelo uso de um combustível que dê uma temperatura de chama mais alta, pela presença de baixa velocidade do fluido e por áreas de alto fluxo térmico.

Durante operações em condições severas, a decomposição do carbono dentro do sistema ocorre em função da temperatura e do período de tempo em que o fluido permanecer sob tal temperatura. Quando a decomposição térmica alcançar um certo nível, materiais viscosos de alto ponto de ebulação e materiais insolúveis poderão acumular-se nas paredes do tubo do aquecedor, impedindo a transferência de calor perto das paredes, e aumentando assim as temperaturas da película. Enquanto ficar retido ao longo da parede do tubo, o fluido ficará sujeito a elevadas temperaturas por um prolongado período de tempo. As frações mais leves serão ventiladas do sistema, deixando para trás as frações de maior ponto de ebulação (pesados), que, eventualmente, se carbonizarão. O efeito isolante desta camada de carbono limita a taxa de transmissão de calor da parede ao fluido, aumentando as temperaturas da película e acelerando a decomposição do fluido térmico.

A remoção do fluido de troca térmica decomposto poderá ser conseguida através de uma renovação contínua ou semi-contínua. Isto se obtém passando um pequeno fluxo lateral, a partir do aquecedor ou vaporizador, por um destilador de vaporização rápida.

A destilação rápida serve para reduzir porções de alto ponto de ebulição ao mínimo, e para manter ao máximo a qualidade do fluido e os coeficientes de película subseqüentes.

## 2.4 ANÁLISE DO FLUIDO TÉRMICO

O melhor modo de se detectar problemas potenciais é a análise do fluido térmico. Através de análise pode-se detectar problemas como contaminação e degradação.

As principais análises são:

- Viscosidade

A viscosidade mede a degradação do fluido e também da sua transferência de calor. A viscosidade dos fluidos polifenílicos e óleos minerais aumentam com o uso, já nos de parafina sintética a viscosidade diminui com o uso. Na presença de fluidos pesados a viscosidade aumenta, e diminui na presença de fluidos leves, ou seja, a viscosidade aumenta quando a troca de calor diminui.

Viscosidade de um fluido térmico é a sua característica de escoamento em um determinado espaço de tempo, que diminui na presença de boa performance de troca de calor.

- Acidez

Número total de acidez indica quanto o fluido foi hidrolizado e/ou oxidado em ácidos. Valores até de 4,0mgkOH/g de fluido é aceitável para parafínicos, porém 1,0mgkOH/g é o máximo permitido para os polifenílicos, pois estes contém características de intensa formação de ácidos corrosivos.

- Insolubilidade em acetona

Insolubilidade em acetona mede a quantidade de carbono e sólidos presentes no fluido, bem como qualquer depósito que se desprende da superfície que troca calor. Se sugere um valor limite de 50mg/100ml de fluido, para se evitar problemas de corrosão.

- Teor de água

Teor de água existem em fluidos leves. Isto indica o favorecimento de formação de ácidos no fluido. Um limite

9

seguro para parafínicos e sintéticos é 2000ppm. Para fluidos aromáticos acima de 400ppm não é recomendado.

• Teor de leves

O teor de leves indica a degradação do fluido. Para valores acima de 5% é recomendado se checar o ponto de flash, fogo ou temperatura de auto ignição. Alguns fluidos operam satisfatoriamente com valores até 15% sujeitos a baixo aquecimento.

• Teor de pesados

O teor de pesados indica também a degradação do fluido, especialmente a quantidade de depósitos presentes. Se torna perigoso quando a formação de depósitos de carbono é acima de 10%.

A tabela abaixo mostra os valores aceitáveis para este fluido, para cada análise.

AVALIAÇÃO DE RESULTADOS DE ANÁLISE DE THERMINOL VP-1

	NORMAL	ALERTA	AÇÃO
VISCOSIDADE CINEMÁTICA À 38°C (CTS)	2.5-3.4	1.5-2.5 & 3.4-5.0	INFERIOR A 0.0 SUPERIOR A 5.0
ACIDEZ (mgKOH/g)	0.0-0.7	0.7-3.0	INFERIOR A 0.0 SUPERIOR A 3.0
UMIDADE (ppm)	0-360	360-700	SUPERIOR A 700
SÓLIDOS INSOLÚVEIS EM ACETONA (mg/100ml)	0-50	50-400	SUPERIOR A 400
PRODUTOS DE BAIXO PONTO DE EBULIÇÃO (%)	--	--	SUPERIOR A 5.0
PRODUTOS DE ALTO PONTO DE EBULIÇÃO (%)	--	--	SUPERIOR A 10

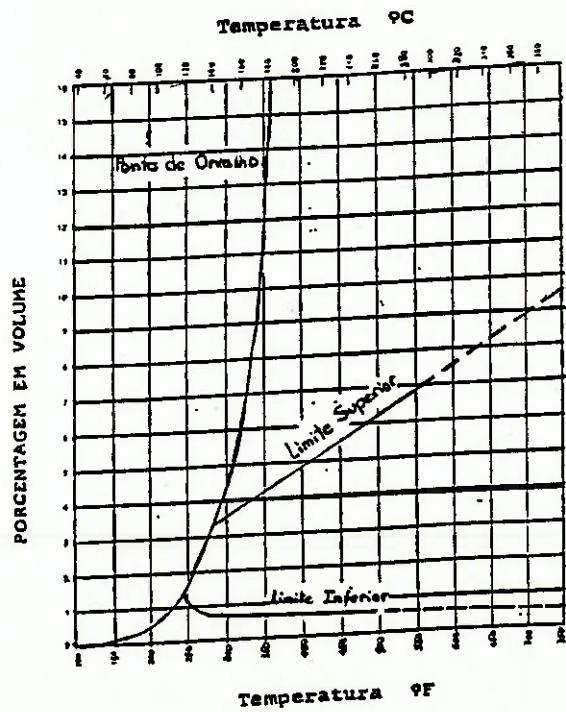
## 2.5 INFLAMABILIDADE

Este fluido é um material combustível, com um ponto de fulgor relativamente alto de 124°C, um ponto de combustão de 135°C e uma temperatura de auto-ignição de 621°C. Os limites de inflamabilidade no ar são bem estreitos. Os limites inferiores oscilam, aproximadamente, de 0,8% a 149°C e 0,5% a 260°C; os limites superiores nas mesmas temperaturas oscilam de 3,3% a 6,2%.

A figura abaixo mostra os limites de inflamabilidade para este fluido.

O vazamento de um sistema a vapor para a câmara de combustão de uma fornalha resultará apenas na queima de vapores; a porcentagem de dióxido de carbono, normalmente presente, não permitirá a formação de uma mistura explosiva.

O vazamento de um sistema líquido par ao compartimento de uma fornalha resultará na queima do líquido e na produção de grande quantidade de fumaça negra, devido à combustão incompleta.



2.5.1 Limites inflamáveis de vapor no ar

A carbonização dentro do vaporizador reduz a transferência de calor ao fluido, resultando em altas temperaturas nos tubos e consequente queima. A carbonização poderá ser causada por um contaminante no meio líquido e por superaquecimento local. Superaquecimento este, resultante da incidência de chamas por aquecimento além do nominal estabelecido pelo fabricante, ou circulação inadequada do meio. A carbonização no vaporizador do trocador de calor poderá causar ruptura do tubo (efeito laranja).

Geralmente, instalam-se linhas de abafamento por vapor ou dióxido de carbono nos vaporizadores, de modo a combater eventuais incêndios resultantes de falhas nos tubos. O vapor de baixa pressão resfriará o fluido até um ponto abaixo do seu ponto de combustão, sem causar choque indevido à fornalha.

Às vezes, também são encontrados vazamentos de vapor para a atmosfera. Tais vazamentos, ainda que pequenos, não deverão ser tolerados, devido ao custo de reposição do fluido perdido. A experiência tem indicado que os vapores vazantes geralmente esfriam bem abaixo do ponto de combustão e raramente provocam o surgimento de fogo. Em virtude do forte odor do fluido, esses vazamentos dificilmente passariam desapercebidos sem ações corretivas.

Para o material isolantes das tubulações, os vazamentos são também potencialmente perigosos, pois poderão resultar em fogo. Já se verificou, por exemplo, que o vazamento de materiais orgânicos para dentro de alguns tipos de materiais isolantes, a altas temperaturas, poderá resultar em ignição espontânea.

Os vapores provenientes deste fluido não apresentam sério risco de inflamabilidade sob temperatura ambiente, pois a concentração de saturação está tão abaixo do limite inferior de inflamabilidade, que a ignição é extremamente improvável.

É possível, entretanto, a formação de névoas inflamáveis em circunstâncias extremamente incomuns, como: se o tempo de

exposição a uma fonte de ignição, a temperatura da fonte e da atmosfera, o volume de mistura, a proporção combustível/ar e o tamanho da partícula da névoa, caírem todos dentro de uma faixa um tanto estreita de inflamabilidade.

Usadas e mantidas adequadamente, as instalações que empregarem este fluido não apresentarão perigos incomuns de inflamabilidade.

## 2.6 CORROSIVIDADE

Este fluido, tanto em sua forma líquida como vapor, não é corrosivo com relação a metais e ligas comuns. Mesmo sob altas temperaturas, os equipamentos demonstram, geralmente, uma excelente vida ativa.

O aço é predominantemente usado, embora os aços de liga inferiores, os aços inoxidáveis, as ligas Monel, etc, também sejam utilizados em diversas partes de equipamentos e instrumentos.

A maioria dos problemas de corrosão são causados por produtos químicos introduzidos no sistema durante as operações de limpeza, ou devido a vazamentos de processo. A gravidade e a natureza do ataque dependerão das quantidades e tipos de contaminantes envolvidos.

Quando se empregam materiais especiais de construção, deve-se tomar precauções extras, uma vez que muitos desses materiais contêm substâncias contaminantes, tais como o aço inoxidável austenítico, que possui cloreto como contaminante, o níquel e as ligas de cobre, que possuem como contaminante a amônia.

## 2.7 TECNOLOGIA DE FASE VAPOR E FASE LÍQUIDA

### 2.7.1 INTRODUÇÃO

Este fluido pode ser usado em qualquer ponto dentro da faixa de 15°C a 399°C e na fase líquida ou fase vapor.

Abaixo de 260°C, temperatura aproximada de ebulação atmosférica, a fase líquida de aquecimento ou resfriamento é normalmente usada. Entretanto, acima de 260°C, ambas, fase líquida e fase vapor, podem ser empregadas, dependendo tão somente da situação requerida.

Antes de decidir pelo aquecimento em fase líquida ou em fase vapor, torna-se necessário considerar todo o processo, desde a tolerância calorífica do produto e os equipamentos, até os fatores econômicos. Em muitos casos, os custos globais para os dois tipos de sistemas não diferirão significativamente e a escolha deverá ser baseada em outros tipos de considerações.

Nos sistemas em fase vapor, o calor é transferido na temperatura de saturação do vapor. Em decorrência, tais unidades poderão apresentar temperaturas uniformes e precisamente controladas. O aquecimento das fiaudeiras de fibras sintéticas, por exemplo, representa uma das muitas aplicações que exploram a vantagem destas propriedades do vapor.

Nos sistemas em fase líquida, a temperatura do fluido aquecedor diminui à medida que o mesmo libera o seu calor sensível. Portanto, a temperatura do fluido na entrada será mais alta do que na saída. Esta irregularidade de temperatura poderá ser prejudicial aos produtos sensíveis ao calor, mesmo quando reduzida pelo aumento da taxa de circulação do fluido. Contudo, para os produtos sensíveis ao calor, tais alterações de temperatura trarão poucas consequências.

Sistemas múltiplos de aquecimento, combinando fases vapor e líquida, poderão ser superiores a cada um dos

sistemas, individualmente. O aspecto económico é o fator decisivo, principalmente quando se considera o tamanho da linha, as distâncias, a queda de pressão, o tipo de equipamento, o método de controle da temperatura e as temperaturas de trabalho.

Poderão ser usadas unidades de circulação forçada em ambos os sistemas, tanto em fase vapor, quanto líquida. Todavia, por essas unidades exigirem bomba, os custos iniciais e operacionais poderão, em alguns casos, ser mais elevada que os custos equivalentes para sistemas por gravidade com vaporizadores de circulação natural.

Contudo, os custos deverão ser levantados para cada sistema, pois isto nem sempre é verdadeiro. Num sistema em fase líquida, por exemplo, a bomba para o aquecedor de circulação forçada poderá ter dimensões suficientemente grandes para atender ao sistema inteiro. Se um vaporizador de circulação forçada é usado, a carga líquida requerida é que determinará se a bomba necessitará ou não retornar o condensado.

## 2.7.2 VANTAGENS DO AQUECIMENTO EM FASE LÍQUIDA

- Ao contrário dos sistemas em fase vapor, aqueles que empregam sistemas em fase líquida não exigem equipamento para retorno de condensado. Este fator torna-se mais importante quando há múltiplos usuários operando em temperaturas amplamente diferentes.
- Onde houver necessidade de aquecimento e resfriamento alternados, o aquecimento em fase líquida permite o uso de sistemas mais simples e mais facilmente operáveis.
- Não há gradiente de temperatura devido a queda de pressão na tubulação de abastecimento.
- Os sistemas líquidos dão um fluxo positivo através do equipamento com um mínimo de ventilação.
- O aquecimento em fase líquida elimina o problema da remoção de condensado, tal como em máquinas de impressão plana e serpentinhas sinuosas horizontais.
- Na fase líquida a temperatura do fluido pode ser variada sobre a superfície do usuário por ajuste da taxa de circulação.

### 2.7.3 VANTAGENS DO AQUECIMENTO EM FASE VAPOR

- Os sistemas em fase vapor fornecem muito mais calor por quilo de fluido térmico passado pelo equipamento. Com o fluido a 260°C, por exemplo, obtém-se 3.198 kcal/h pela condensação e 45 kg/h. Para se equiparar a esta produção de calor, seria necessário, se usado um fluido em fase líquida, 1.076 kg/h com uma queda de temperatura de 6°C ou 218 kg/h com uma queda de temperatura de 28°C.
- Os sistemas a vapor, com seu vapor condensado, fornecem uma fonte de calor mais uniforme, bem como um controle preciso da temperatura do equipamento. Para manter a mesma uniformidade de temperatura e precisão, um sistema líquido equivalente teria que ser operado a vazões extremas.
- O aquecimento em fase vapor apresenta vantagem em circunstâncias onde é difícil controlar o fluxo projetado e a velocidade de vazão, como por exemplo, em camisas de reatores.
- Não há necessidade de bombas quando se usa um sistema por gravidade de retorno de condensado com um vaporizador de circulação natural.
- O sistema a vapor requer menor inventário operacional de fluido, já que a linha que vai ao equipamento, bem como o próprio equipamento, são carregados com vapor e não com líquido.
- Com produtos sensíveis ao calor, onde a temperatura máxima do fluido térmico deva ser limitada, o aquecimento com vapor condensado poderá ser mais econômico do que com um líquido a altas taxas de vazão de massa.

## 2.8 TOXIDEZ E MEIO AMBIENTE

### 2.8.1 TOXIDEZ

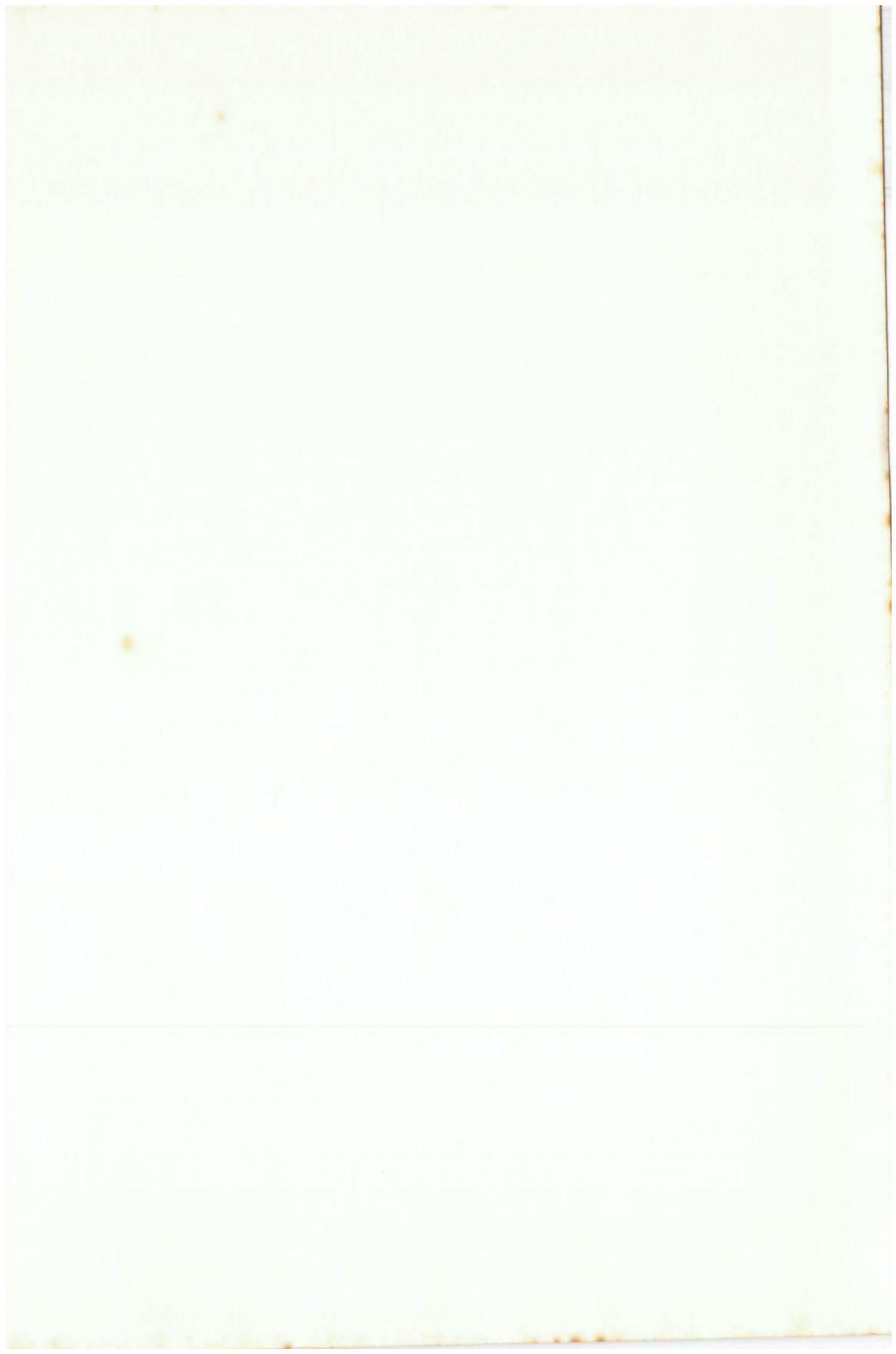
Experiências têm demonstrado que este fluido não apresenta risco apreciável à saúde, quando usado de conformidade com as boas práticas de fabricação, não sendo necessárias quaisquer precauções especiais.

Inalação: estudos feitos em animais indicam que este fluido apresenta baixa toxicidade por inalação. Nestes estudos, várias espécies de animais foram expostos por sete horas diárias, cinco dias por semana, durante um período de seis meses, a concentração de vapor de 7-10ppm, as mais altas concentrações que se pode obter sem condensação e formação de névoas. Tais exposições foram toleradas sem qualquer efeito detectável.

O fluido tem um forte odor que se torna bastante desagradável e até irritante aos olhos e às vias nasais, em concentrações bem abaixo de 7-10ppm. Tal odor previne a exposição excessiva a seus vapores e gases. O padrão OSHA para esta mistura é de 1ppm. Concentrações neste nível, ou abaixo, não são difíceis de manter. Na verdade, é economicamente seguro fazê-lo.

Sob condições acidentais ou incomuns, que venha a resultar em altas concentrações de vapor ou de gases, os trabalhadores deverão usar proteção respiratória adequada para névoas e vapores orgânicos. Onde houver a possibilidade de falta de oxigênio, os trabalhadores deverão usar máscara respiratória ou aparelho de respiração autônoma de pressão positiva. Em operações normais, a concentração de vapores na atmosfera deverá ser mantida a níveis que não sejam desagradáveis.

Caso ocorram sintomas de mal-estar, devido a exposição acidental a altas concentrações no ar, remova a vítima para o



ar fresco e providencie socorro médico.

Ingestão: a administração oral do fluido em cobaias (ratos) de laboratório revelou uma baixa toxicidade sistêmica. Dosagens simples de até 2,0gramas por 1.000gramas de peso corporal (2,0g/kg) foram suportadas por todas as cobaias, ao passo que dosagens de 6,0g/kg, ou mais, invariavelmente provaram ser fatais. Estes laudos demonstram que o DL50 para cobaias situa-se na faixa de 2-4g/kg. Dosagens de 0,1g/kg ministradas diariamente, cinco dias por semana, durante um período de seis meses, não apresentaram qualquer dano notável.

A ingestão accidental de pequenas quantidades deste fluido, por ocasião de seu manuseio, não deverá causar dano algum. Contudo, deve-se ter em mente que sintomas de mal-estar poderão advir, caso quantidades substanciais sejam ingeridas.

No caso da ingestão de grandes quantidades do fluido, provoque o vômito imediatamente, dando à vítima dois copos d'água e enfiando o dedo em sua garganta. Chame um médico.

Contato com os olhos: o fluido, tanto na forma líquida como vapor, poderá causar dor. Mas, de uma forma geral, é levemente irritante aos olhos, não causando dano à córnea. Sempre que houver risco de intensa contaminação ocular, deve-se usar máscara facial ou óculos de segurança, a fim de evitar o desconforto resultante do contato direto. Recomenda-se, contudo, o uso diário de óculos de segurança. Caso os olhos sejam contaminados accidentalmente com o fluido, eles devem ser completamente enxaguados com água corrente por cinco minutos. Se ainda apresentarem quaisquer evidências de irritação, recorrer a auxílio médico. Caso o fluido esteja contaminado com o material de processo (ou com outros materiais), poderá haver necessidade de um tratamento adicional.

Contato com a pele: pequenas exposições ao fluido na

forma líquida não são irritantes à pele. Entretanto, o contato prolongado ou repetido com a pele poderá causar leve irritação, devendo, portanto, ser evitado. Fluidos usados em altas temperaturas por períodos prolongados de tempo, poderão causar irritação à pele ou dermatite.

Não é provável a absorção do produto em quantidades tóxicas. A pele contaminada deverá ser completa e imediatamente lavada com sabão e água. As roupas e sapatos contaminados deverão ser removidos imediatamente; e só deverão ser reutilizados após descontaminação.

## 2.8.2 CONSIDERAÇÕES SOBRE O MEIO AMBIENTE

Este fluido não apresenta qualquer risco sério de poluição. Contudo, deve-se tomar cuidados especiais para impedir sua descarga em quantidade significativa para a rede de esgoto.

**Estabilidade:** Este fluido tem um DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio) de 1,70partes/parte, 62% da sua demanda teórica de oxigênio. Seu DQO (Demanda Química de Oxigênio) é de 2,53partes/parte. Isto indica que ele é prontamente biodegradável e não resistente ao meio ambiente. Não há indício de formação de produtos nocivos em decorrência da biodegradação. Uma vez que suas bactérias tenham se aclimatado, o sistema de tratamento de esgoto deverá atingir um alto grau de remoção do material, antes que a água residual efluente alcance o leito principal.

**Movimentação:** A solubilidade deste material na água é muito baixa, apenas 14ppm a temperaturas ambientes. Caso sejam misturadas quantidades que excedam este limite, o fluido irá precipitar-se ao fundo. É claro que a turbulência e a presença de outros materiais poderão afetar esta condição física da solução. Também é possível, sob certas condições, a formação de uma emulsão.

Os dados indicam que uma grande porcentagem do fluido presente na água será removida durante a aeração, no estágio primário do tratamento de esgoto.

**Bioconcentração:** Os estudos indicam que ambos os componentes deste fluido - a Difenila e óxido de Difenila - bioconcentram-se nas trutas. Quando, porém, expostas à água limpa, os compostos desaparecem dos tecidos das trutas num tempo relativamente curto.

Caso este material seja despejado em um curso de água, rios, represas, etc., o mesmo poderá bioconcentrar-se nos

peixes, mas a uma taxa significativamente menor do que a de outros compostos, como a Bifenila policlorada. Outrossim, em virtude da rapidez com que o material se desprende dos tecidos e se biodegrada, é improvável que o mesmo venha a tornar-se um problema sério.

### 3. PARÂMETROS DE PROJETO PARA INSTALAÇÕES DE FLUIDO TÉRMICO

#### 3.1 INTRODUÇÃO

As características físicas do Therminol VP-1 devem ser observadas para o projeto de qualquer sistema de transferência de calor.

Therminol VP-1 possui uma baixa viscosidade entre seu ponto de fusão ( $11^{\circ}\text{C}$ ) e a temperatura de vaporização. Em regiões onde o sistema pode eventualmente ficar exposto a temperaturas abaixo desta faixa, as tubulações que transportam o fluido na sua fase líquida deverão ser envolvidas com vapor (tracing).

Therminol VP-1 é excepcionalmente estável a altas temperaturas. Entretanto, alguns cuidados devem ser tomados para evitar seu superaquecimento, que levaria a uma deposição de sólidos sobre a superfície de troca térmica do vaporizador. As vazões de circulação do fluido no aquecedor devem ser selecionadas para limitar as temperaturas de película a valores razoáveis, considerando evidentemente os custos envolvidos na substituição do fluido danificado.

Em condições normais de operação, fluidos fase vapor acumulam contaminantes de baixa pressão de vapor tais como: ar, umidade e compostos degradáveis. Tais contaminantes (não condensáveis) devem ser retirados da unidade através de um sistema de ventilação para se evitar problemas de controle de temperatura.

### 3.2 SISTEMAS TÍPICOS

Os diagramas que se seguem ilustram os arranjos típicos para sistemas operando com fluido térmico.

A diferença fundamental entre os sistemas a seguir são: sistema de retorno de condensado por bombeamento versus retorno por gravidade, fase vapor versus fase líquida, circulação natural versus circulação forçada.

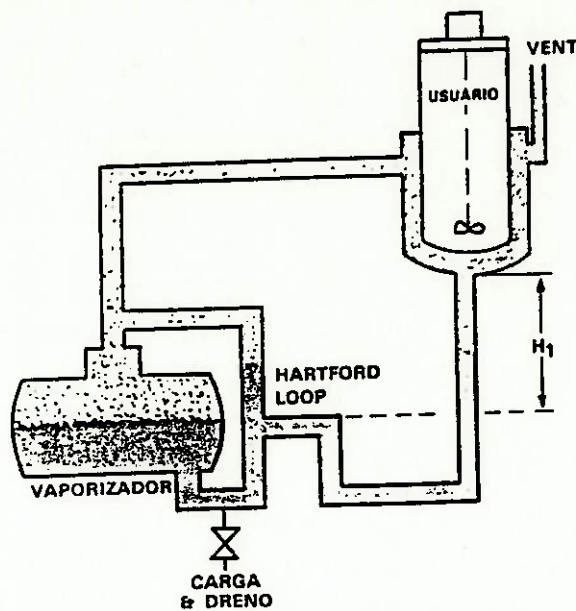


Figura 3.2.1 - VAPORIZADOR COM "HARTFORD LOOP"

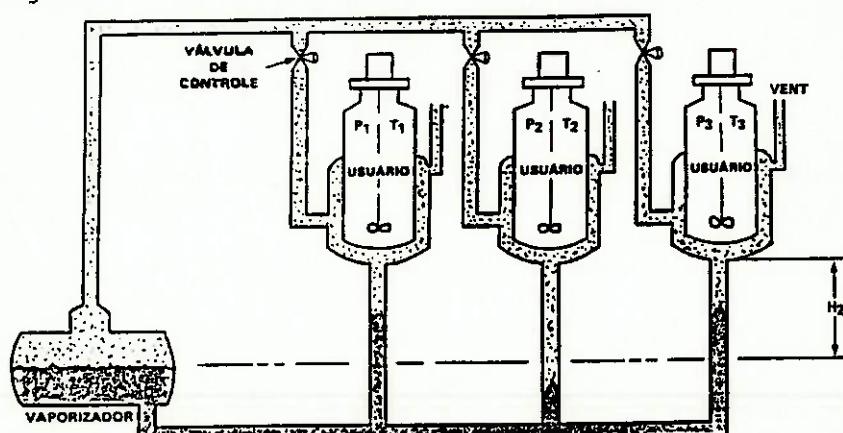


Figura 3.2.2 - SISTEMA PRIMÁRIO UTILIZANDO FLUIDO EM FASE VAPOR COM RETORNO POR GRAVIDADE

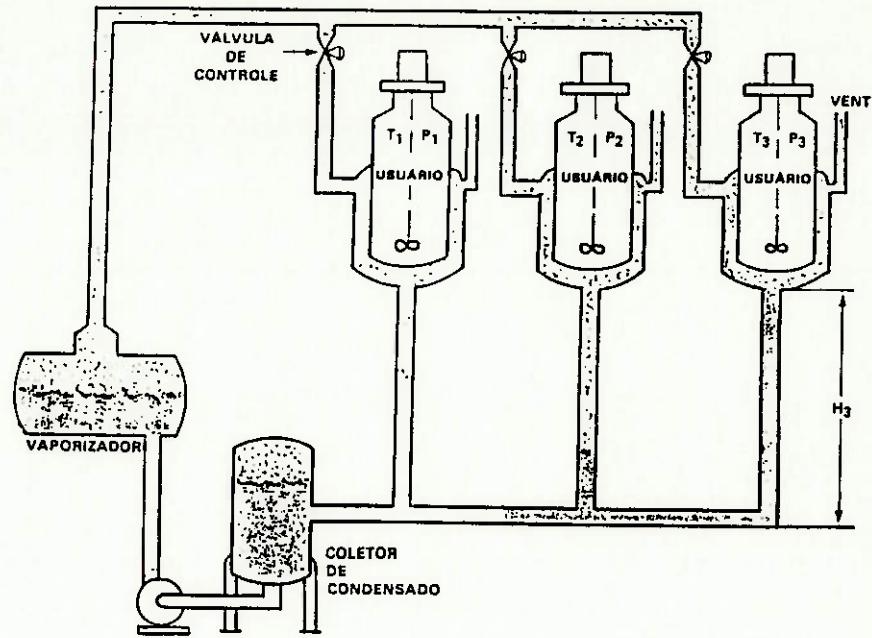


Figura 3.2.3 - SISTEMA PRIMÁRIO UTILIZANDO FLUIDO TANTO EM FASE LÍQUIDA OU VAPOR COM RETORNO POR BOMBA

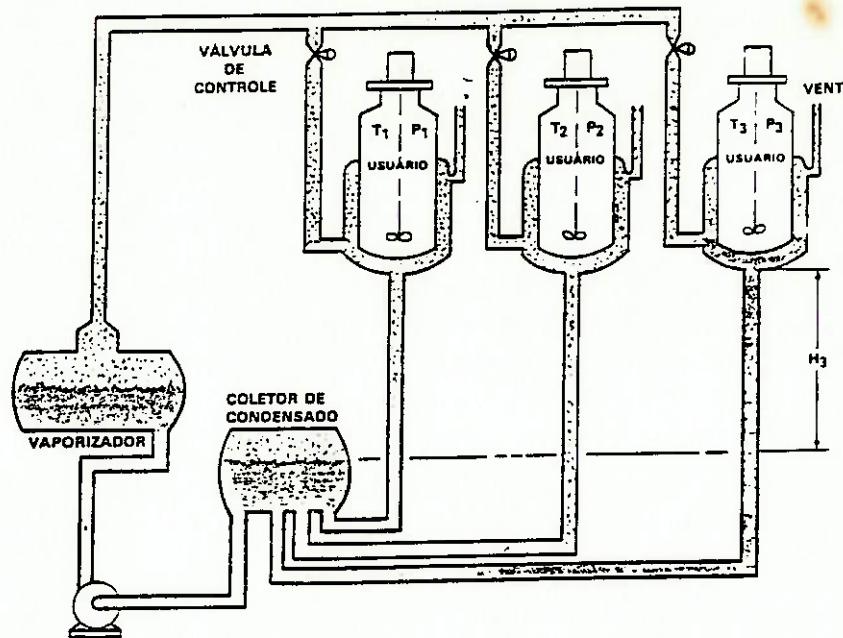


Figura 3.2.4 - SISTEMA PRIMÁRIO COM RETORNO POR BOMBA

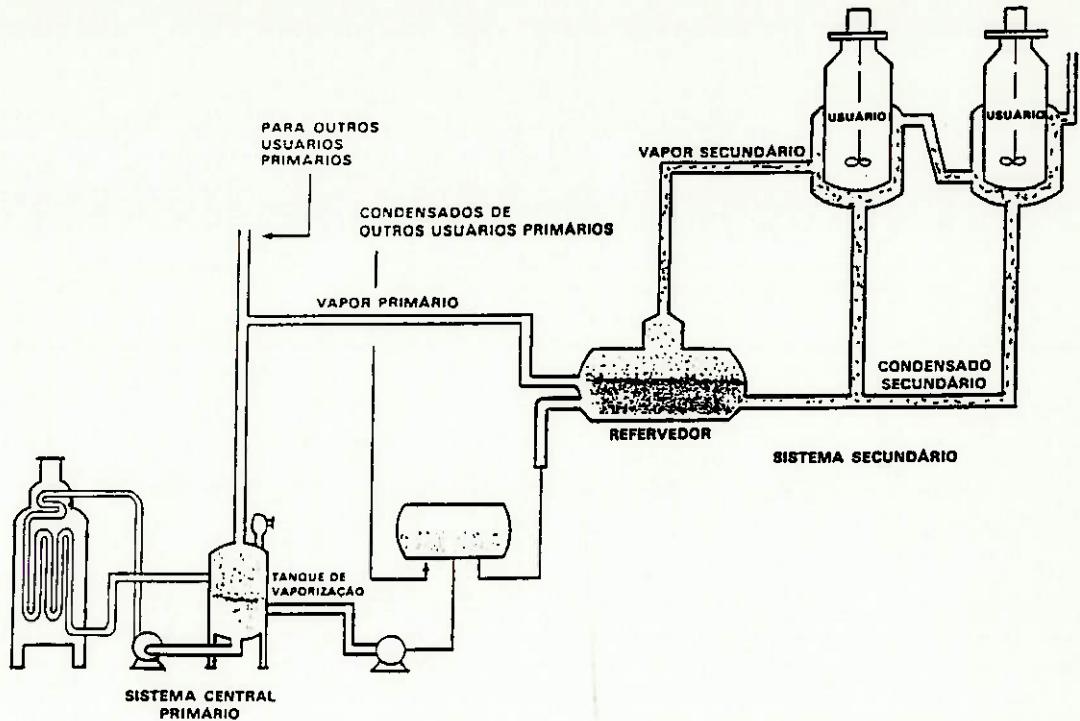


Figura 3.2.5 - SISTEMA PRIMÁRIO/SECUNDÁRIO

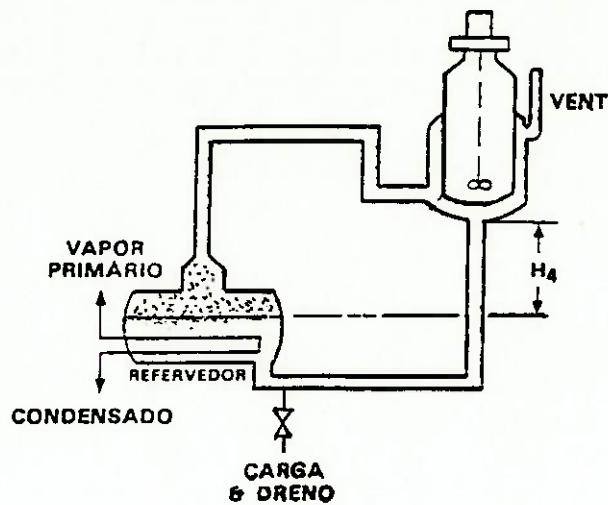


Figura 3.2.6 - SISTEMA SECUNDÁRIO COM REFERVEDOR

- Sistemas primários

Um sistema simples e relativamente fácil de ser operado é ilustrado na Figura 3.2.1.

O sistema usuário pode ser um equipamento de processo (tanques aquecidos por camisas ou serpentinhas, fornos, etc.), refervedores transferindo calor para o sistemas secundários

ou uma combinação de ambos.

Sistemas primários simples operam com o condensado retornando pela força da gravidade. Nesses casos, a altura 'H<sub>1</sub>' deve fornecer uma pressão hidrostática maior que a perda do sistema.

Em vaporizadores aquecidos por eletricidade ou chama direta, a instalação de um "Hartford loop" na linha de condensado(Figura 3.2.1) se fará necessária sempre que o condensado retornar ao vaporizador abaixo do nível de líquido. Tal procedimento previne um inesperado sifonamento do meio líquido para o sistema usuário. Em unidades aquecidas eletricamente, se o líquido não estiver totalmente em contato com a superfície das resistências elétricas, ocorrerá um superaquecimento e o vapor que circunda aqueles elementos se decomporá rapidamente. Além do mais, o próprio aquecedor poderá sofrer danos em sua estrutura, o que aumentará substancialmente o risco de incêndio.

Um sistema mais complexo é mostrado na Figura 3.2.2. O arranjo mostra vários usuários operando a diferentes temperaturas. As válvulas de controle regulam a pressão, a qual por sua vez determina a temperatura no usuário.

Se o retorno do condensado ocorrer pela ação da gravidade, a distância H<sub>2</sub> deverá fornecer uma pressão hidrostática superior a queda de pressão combinada pela válvula de controle e o usuário com maior perda de carga.

Na prática, esse tipo de sistema é de difícil projeto devido à limitação do espaço físico. O mais comum é o emprego de bombas para realizar o retorno do condensado.

Existem duas maneiras para se operar um sistema de bombeamento do condensado. A primeira, quando os limites de temperatura nos sistemas usuários necessitem de controle preciso, como é comum em muitos tanques de processo. O arranjo mostrado na Figura 3.2.3 deve fornecer uma pressão hidrostática maior ou igual à máxima diferença de pressão entre os diversos sistemas usuários. Uma alternativa seria a

utilização de bombas individuais para cada linha de condensado.

A segunda maneira ocorre quando o controle de temperatura nos sistemas usuários não é crítico (caso dos revedores), e o arranjo da Figura 3.2.4 pode ser empregado. Neste caso, a altura  $H_3$  deve simplesmente fornecer uma pressão hidrostática maior ou igual a zero.

Cada sistema usuário, ou grupos de sistemas usuários, operando depois da mesma válvula de controle, deve ter pelo menos um acumulador de vapor instalado para ventilar os não condensáveis, especialmente quando o controle da temperatura for crítico. A não utilização de acumuladores de vapor ou o seu uso de forma inadequada, permitirá o aumento dos não condensáveis no sistema, baixando a temperatura de saturação e conseqüentemente aumentando a necessidade de área de troca térmico.

- Sistemas primários e secundários

A Figura 3.2.5 apresenta os componentes típicos de um sistema primário/secundário, composto por um revedor, um tanque de vaporização, linhas de vapor dos sistemas primário e secundário e um sistema combinado de retorno do condensado. É comum a utilização do retorno de condensado da Figura 3.2.4 no circuito primário.

No sistema secundário, o vapor aquecido é gerado em um revedor, encaminhando-se, posteriormente, a um ou mais usuários. Tais usuários podem ser equipamentos de processo, tubulações encamisadas, etc. A Figura 3.2.6 apresenta um sistema secundário com maiores detalhes. Observe-se que o retorno ao revedor pela ação da força da gravidade é comum nos sistemas secundários.

Como foi mencionado antes, a dimensão  $H_4$  deve proporcionar uma pressão hidrostática maior ou igual à queda de pressão do sistema secundário como um todo.

A fim de evitar possíveis problemas operacionais, além de múltiplos pontos de alívio, os sistemas secundários devem conter o menor número possível de válvulas. No entanto, diversas válvulas podem ser necessárias quando o sistema secundário envolver mais de um usuário, podendo um deles ser paralisado, ou removido, enquanto os outros mantém-se em operação.

- Sistemas integrais

Em muitos casos, um sistema integral (quanto forem necessários) pode compreender um arranjo mais simples e prático. O sistema integral ilustrado na Figura 3.2.7 combina o vaporizador e o usuário no mesmo equipamento.

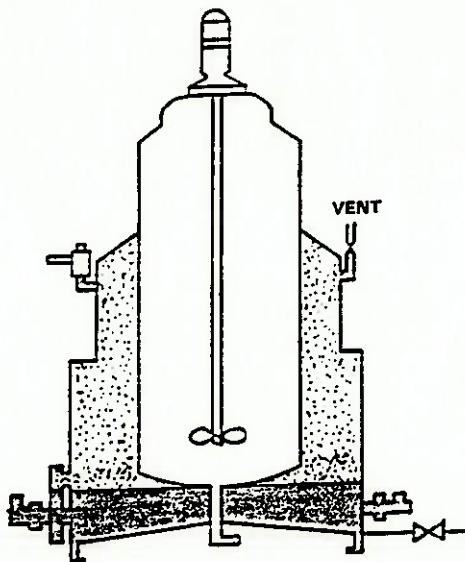


Figura 3.2.7 - SISTEMA INTEGRAL

### 3.3 EQUIPAMENTOS PARA SISTEMAS QUE UTILIZAM FLUIDO TÉRMICO

#### • Tabulações, conexões e vedações

Este fluido, no estado vapor, pode fluir através de locais onde elementos como água e ar normalmente não passam. Portanto, tubulações assim como outros equipamentos, requerem vedações não usuais.

Devem ser utilizados tubos de aço para vapor, com ou sem costura, sch40, DIN2441. As normas alemãs, para temperaturas superiores à 300°C, exigem tubos conforme DIN17175 em aço ST35-8-Gr I. Para linhas de diâmetros de 1" ou menos, deve-se usar sch80.

Sempre que possível deve-se usar tubulações e componentes para solda com a finalidade de diminuir o número de flanges e rosca. Os flanges devem ser classe ASA-300 ou ND-25. Para diâmetros menores que 2" podem ser lisos e para diâmetros maiores devem ser do tipo welding-neck. O ressalto deve ser de 1/16" e a face deve conter ranhuras de vedação. Os parafusos e porcas, para temperaturas superiores à 200°C, devem ser de aço Cr-Mo com tensão de ruptura de 30.000psi e com características que permitam a expansão pois de outra forma haverá vazamento em estado frio. Os parafusos devem ser lubrificados.

As rosca só são admissíveis em tubos com diâmetro menor que 1". Linhas com diâmetros pequenos podem ser curvados para evitar conexões.

Devido as condições severas de operação, motivadas por altas temperaturas e tensões, deve-se dar toda atenção ao problema das vedações. Para flanges, a guarnição mais recomendada é uma espiral metálica em aço inoxidável 304 com grafite puro. A espessura deve ser de 2mm para até diâmetros de 4" e 3mm para diâmetros maiores. As vedações para válvulas e bombas de metal flexível ou grafite sólido são as melhores.

As gaxetas de grafite ou teflon impregnado são as recomendadas. Para válvulas devem-se usar 5 anéis e para bombas são aconselháveis 8 anéis.

- **Válvulas**

Todas as válvulas devem ser especiais, para altas temperaturas, com corpo de aço fundido ASA300 ou ND25, com pontas para solda ou flangeadas. Devem ter caixa de gaxeta profunda. As válvulas de esfera de aço fundido são aceitáveis quando se necessita de manobras rápidas. A melhor solução são as válvulas globo, uma vez que as válvulas de gaveta não dão boa vedação. O uso de bronze não é aconselhável para temperaturas acima de 175°C, quando há risco de incêndio.

As válvulas de controle automático são geralmente de diafragma, operadas a ar, com corpo de aço, caixa de gaxetas e aletas de resfriamento. As gaxetas são geralmente angulares, de teflon.

- **Bombas**

As bombas centrífugas para pressões médias, com corpo de aço fundido ou ferro fundido nodular, para evitar porosidade. Os mancais são geralmente resfriados com água, havendo, porém bombas que operam até 320°C sem resfriamento.

As bombas pequenas podem ser de engrenagens e neste caso o fluido térmico deve ter boas características lubrificantes.

Bombas de vácuo devem ser do tipo deslocamento positivo, com selo líquido. Bombas alternativas (pistão) normalmente não são adequadas, por problemas que podem surgir no que diz respeito a lubrificação e a contaminação.

- Aquecedores de fluido térmico

São aquecedores multitubulares e normalmente sem coletor, já que não existe vaporização. A instalação consta de:

1. Unidade geradora de fluido térmico, que atinge temperaturas da ordem de 350°C a 400°C;
2. Tanque de expansão;
3. Bomba de circulação;
4. Rede de circulação.

A circulação do fluido dirigida positivamente sobre as superfícies de troca de calor não deve permitir a formação de pontos ou áreas estagnadas. Assim sendo, não são recomendáveis aquecedores de fogo direto com circulação do fluido exclusivamente por convecção natural. Os aquecedores têm em princípio dois elementos de construção:

1. O corpo, com sua base e isolamento térmica, o qual contém o sistema de serpentinas e limita o circuito de passagem de gases.
2. O sistema de serpentinas pelo qual circula o fluido de transferência de calor. A serpentina transfere o calor produzido pela chama do fluido. A serpentina compõem-se geralmente de uma câmara de combustão cilíndrica de irradiação, no interior da qual a combustão se processa completamente, seguida de um feixe tubular de intensa convecção.

A figura 3.3.4.1 mostra este esquema.

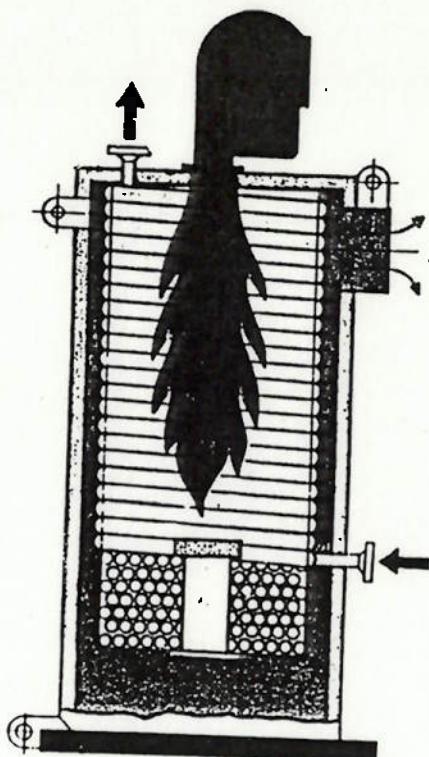


Figura 3.3.4.1

- **Reberedores**

Os reberedores, aquecidos pelo vapor primário para fornecer calor a diversos usuários, são usualmente projetados e construídos para uma utilização específica. Os reberedores são uma alternativa para sistemas que utilizariam vaporizadores elétricos projetados como parte integrante do sistema usuário. As unidades de reberedores são normalmente tipo casco e tubo, passando o vapor primário pelo lado do tubo e vapor secundário pelo casco.

- **Tanque de expansão**

Sua finalidade é absorver a expansão do volume do fluido térmico em toda a instalação, com o aumento da temperatura.

Além disso, funciona como selo de fluido frio, evitando o contato do fluido quente com o ar atmosférico.

Sua capacidade é determinada tomando-se 50% a mais da expansão prevista para o fluido, que é da ordem de 7% para cada 100°C de aumento de temperatura. Com o sistema frio, o tanque de expansão deve permanecer cheio até 1/5 de capacidade, aproximadamente. A temperatura no tanque não deve exceder 55°C para evitar risco de oxidação do fluido.

O tanque deve ter grande relação altura/diâmetro, de modo a diminuir a superfície livre do fluido em contato com a atmosfera.

- **Reservatório para armazenamento**

Precisa prever um reservatório de armazenagem capaz de conter cerca de 150% da capacidade do circuito e disposto de tal forma que as diferentes partes da instalação possam afluir aí por gravidade. Este reservatório deverá ser equipado de uma bomba manual, de uma bomba a motor ou de qualquer outro sistema que permita a transferência do fluido na instalação.

O reservatório deverá ser implantado numa zona onde não será exposto ao fogo.

É normalmente necessário prever um aquecedor adequado no reservatório para reaquecer o líquido antes de encher a instalação.

- **Sistemas auxiliares**

- **Sistemas de alimentação**

Um sistema de cargas pode ser o mesmo para vários sistemas de vaporizadores e/ou refervedores. Sua função é tripla:

1. Proporcionar um meio para alimentar a unidade com o volume inicial de fluido térmico.
2. Reposição de fluido com o sistema em operação.
3. Permitir armazenamento externo para fluido novo.

Como regra geral, o fluido deverá ser introduzido dentro do sistema a uma temperatura próxima à temperatura de trabalho. Isto pode ser realizado bombeando o vapor condensado a uma outra unidade ou através de um sistema de carga independente que mantenha uma quantidade adequada de líquido a uma temperatura elevada.

#### - Sistemas de drenagem

Pode ser necessário que o sistema tenha que ser esvaziado de tempos em tempos para manutenção. Um tanque reserva deve estar disponível para receber o fluido do sistema. A pressurização do sistema com gás inerte é uma forma adequada para sua remoção.

#### - Sistemas de vácuo

O sistema de vácuo é utilizado para diversos propósitos:

1. Para se conseguir o vácuo do sistema principal antes da partida.
2. Para coletar os não condensados durante a operação.
3. Para esvaziar individualmente sistemas usuários para manutenção.
4. E para eliminar qualquer excesso de fluido no sistema de aquecimento.

Todas as conexões necessárias para essas funções devem ser projetadas e instaladas entre os sistemas de aquecimento e a tubulação coletora dos sistemas de vácuo. A tubulação coletora está conectada com a bomba de vácuo e um condensador que recebe o fluido e descarrega por gravidade em um tanque

coletor.

A tubulação do sistema de vácuo deve ser inclinada na direção do condensador, de modo a permitir a drenagem de todo líquido formado em pontos baixos do sistema.

Se essa mesma tubulação for instalada em posição ascendente na direção do condensador, ocorrerá a formação de líquido que por sua vez reduzirá ou mesmo eliminará o vácuo do sistema.

#### - Sistemas de alívio

É imperativo que o sistema de aquecimento em fase vapor seja devidamente protegido por um dispositivo de alívio de pressão. Isto se torna necessário devido ao fato da unidade estar operando a altas temperaturas, a pressões acima da pressão atmosférica e também, devido a possíveis superaquecimentos do sistema.

Os pontos de alívio de pressão podem se constituir em pontos de perigo se não estiverem localizados suficientemente longe de áreas onde pessoas possam ser expostas ao contato. Todas as possíveis fontes de calor devem ser identificadas e avaliadas para se selecionar devidamente os pontos para instalação das válvulas de alívio.

Três dessas fontes devem ser previamente consideradas: a fonte de calor para o vaporizador, reervedor ou qualquer outro sistema de aquecimento de fluidos; usuários onde ocorram reações exotérmicas que podem atingir temperaturas mais altas do que o vapor aquecido; e pontos com risco de fogo acidental.

Em geral, todas as seções do sistema que estão sujeitas a aquecimento e que possam ser isoladas, devem ser estudadas separadamente. Obviamente quanto menos válvulas no sistema, menor o número de pontos que necessitem dispositivos de alívio.

Válvulas para isolamento dos usuários serão utilizadas no caso em que seu sistema de aquecimento não oferecer condições

de drenagem do fluido térmico, para manutenção.

- Traço de vapor

Uma vez que este fluido solidifica a 12°C, todas as precauções devem ser tomadas para assegurar-se que as temperaturas das tubulações não caiam abaixo desse valor.

Um traço de vapor deve ser instalado sempre que houver possibilidade de tal fato acontecer. Todas as tubulações e equipamentos que possam conter líquido estagnante devem estar equipadas com traço de vapor, inclusive as linhas de alimentação e de drenagem da unidade de bombeamento. Linhas de vapor e linhas de ventilação geralmente não precisam do traço de vapor.

Este fluido está normalmente mais aquecido do que os traços de vapor. Se o vapor de água for usado, existe a possibilidade da água condensada no traço de vapor se superaquecer, provocando o rompimento da tubulação. Para evitar isso, o traço de vapor deve estar todo o tempo aberto para o coletor de condensados, coletor de vapor, ou ainda para a atmosfera.

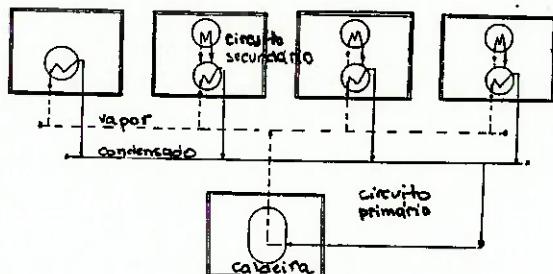
## 4. ESTUDO SOBRE A INSTALAÇÃO

### 4.1. INTRODUÇÃO

O circuito primário, de geração de fluido térmico, é constituído por dois grupos de caldeiras. O primeiro possui uma caldeira de 590t/h de capacidade máxima, chamada CALDEIRA FOGO DOWTHERM. O segundo grupo é formado por seis caldeiras, chamadas CALDEIRAS FOSTER.

A caldeira Fogo Dowtherm é a principal caldeira, esta está em funcionamento contínuo. Das caldeiras Foster, uma está desativada, duas estão aquecidas (em STAND BY - só entrando em funcionamento com a parada da caldeira Fogo Dowtherm) e o restante está parado.

O fluido do circuito primário é distribuído para quatro fabricações. Três destas possuem circuitos secundários e uma utiliza o próprio fluido do circuito primário, como é esquematizado abaixo:



O volume instalado no circuito primário e secundário é de 116,5t, sendo 90t do circuito primário e 26,5t do circuito secundário. A reposição mensal é de 5,3t (reposição mensal de 4,5% do volume instalado), portanto uma reposição anual de 54% do volume instalado. Da reposição, 33% é do circuito primário e 67% do circuito secundário.

#### 4.2. UTILIZAÇÃO DO FLUIDO NAS FABRICAÇÕES

O fluido fornecido pelo circuito primário está no estado gasoso à 350°C e é distribuído para quatro fabricações:

- 1- Polimerização Descontínua Nylon (PDN);
- 2- Polimerização Descontínua Nylon Recuperada (PDNR);
- 3- Polimerização Descontínua Poliéster (PDP);
- 4- Fiação Nylon Têxtil (FIAÇÃO).

As primeiras três possuem circuitos secundários, e a quarta fabricação utiliza o circuito primário. O fluido no circuito secundário é utilizado no estado gasoso pela PDN e PDNR e no estado líquido pela PDP.

A seguir estão descritas as fabricações:

##### 1) Polimerização Descontínua Nylon

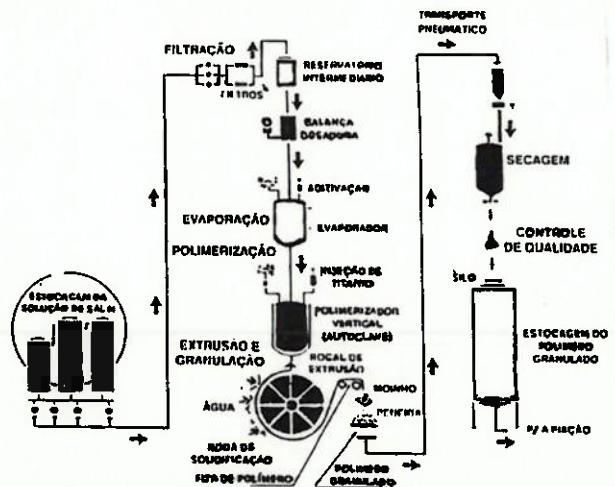
A PDN utiliza o processo de policondensação para a obtenção do polímero.

Este processo é caracterizado pela reação entre monômeros com a eliminação de compostos simples de polimerização (água, metanol, etc).

O termo Nylon identifica-se como "poliamidas".

Para a obtenção do polímero utiliza-se uma solução de sal nylon 6,6.

O fluxo de fabricação abaixo ilustra o processo da PDN.



O fluido térmico é utilizado para aquecimento da

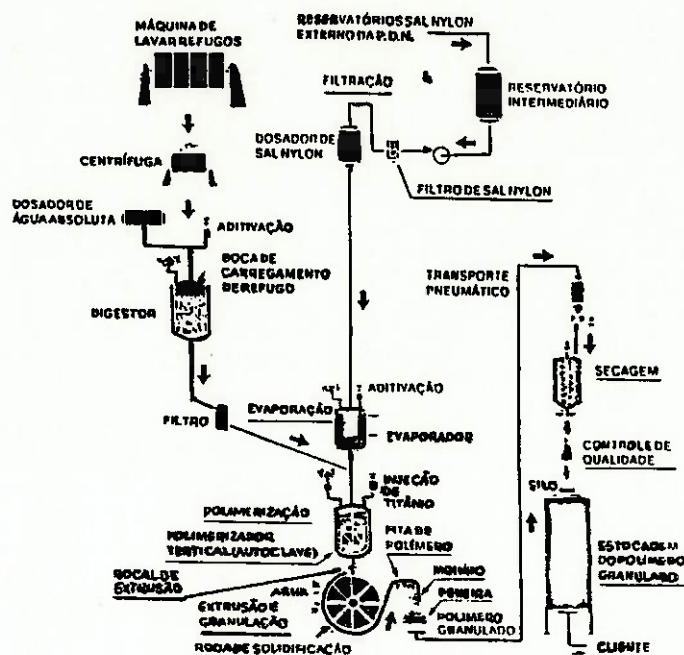
massa no polimerizado vertical (autoclave).

## 2) Polimerização Descontínua Nylon Recuperado

Nesta polimerização produz-se polímeros através da solução de sal nylon6,6 e refugos de nylon.

A polimerização se da pelo processo de policondensação.

O esquema abaixo ilustra o processo:



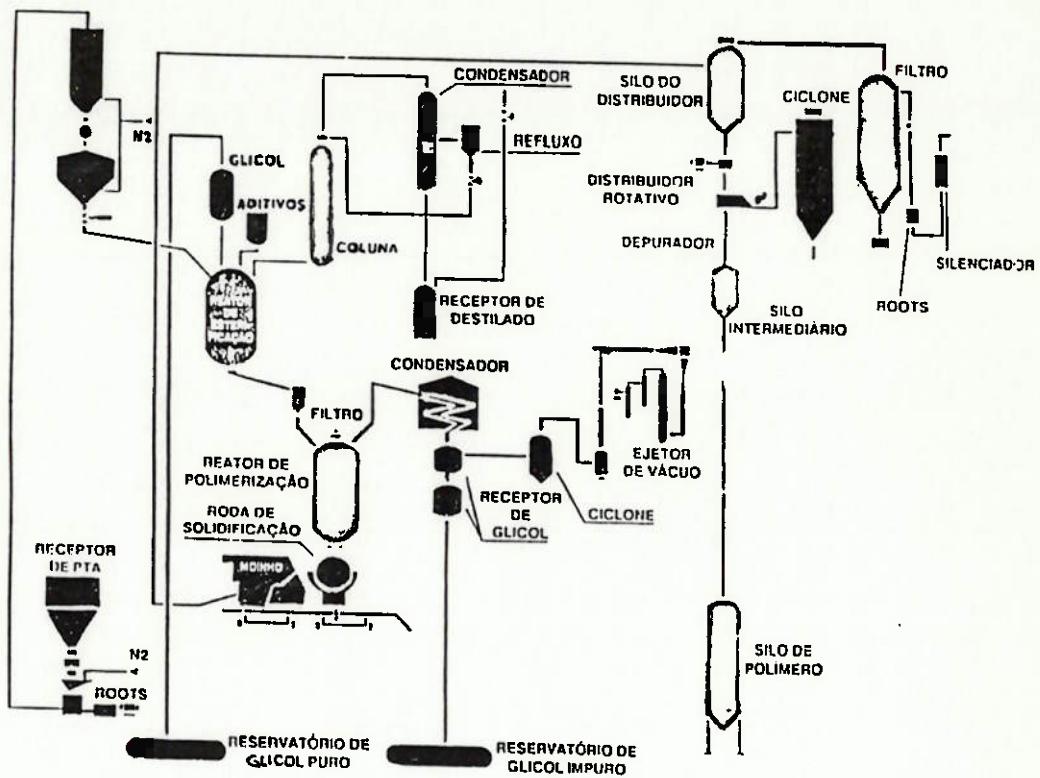
Como pode-se observar, o processo da PDNR só se diferencia do processo da PDN no que diz respeito ao tratamento de refugo antes da polimerização.

O fluido é utilizado para aquecimento das autoclaves.

## 3) Polimerização descontínua Poliéster

A PDP utiliza o processo da policondensação para obtenção do polietileno tereftalato (poliéster).

Abaixo esta o esquema do processo:



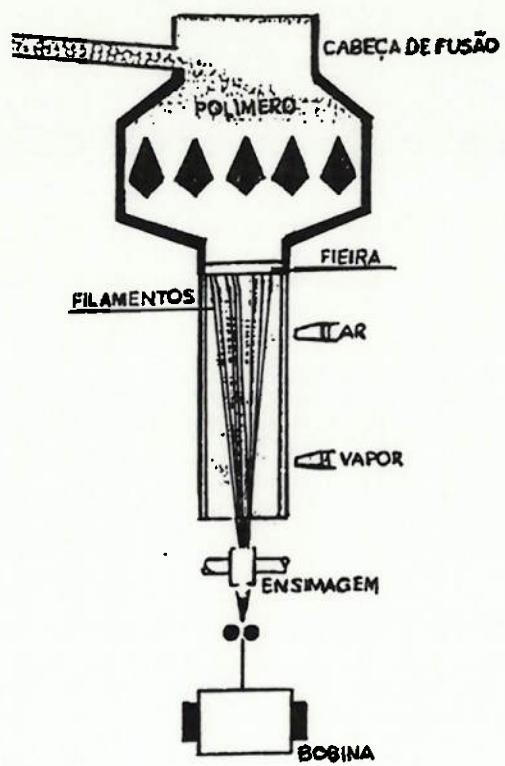
O fluido é utilizado no esterificador, na autoclave e nos reatores.

#### 4) Fiação Nylon Têxtil

A finalidade da fiação, é a transformação física do polímero-granulado em polímero-filamento, tornando-o um material têxtil, em que a principal característica é seu reduzido diâmetro em relação à seu comprimento.

O polímero granulado recebido da polimerização é estocado em silos, os quais tem por finalidade alimentar por gravidade as cabeças de fusão.

O polímero sólido em contato com o interior aquecido da cabeça de fusão, passa para o estado fundido. Posteriormente este é extrudado pelos orifícios da fieira e em seguida solidificado por resfriamento através de ar. Em seguida passam por uma enzimagem e são enrolados em bobinas, como mostra o esquema abaixo.



O fluido é utilizado para aquecimento das cabeças de fusão.

#### 4.3. DESCRIÇÃO DO PROCESSO

Como mostra o esquema no Anexo A, a Caldeira Fogo Dowtherm fornece fluido no estado líquido à 370°C, 10atm e vazão massica máxima de 590t/h. Este fluido passa por um Balão de Flash (Tanque de expansão) de 4,5atm, onde é flasheado e será distribuído para as fabricações no estado gasoso à 350°C e 5,4atm através do coletor de vapor do Fogo Dowtherm.

O fluido do circuito primário passa por trocador de calor (reboiler ou refervedores), troca calor com o fluido do circuito secundário sem entrar em contato com este; o retorno para o coletor de condensado se dá através de fossa, cada fabricação possui a sua própria fossa.

O retorno através da fossa se dá do seguinte modo: após a troca de calor com o fluido do secundário, o fluido retorna para um balão, o Balão de Retorno, deste balão o fluido é mandado através de duas bombas para o coletor de condensado. Deste retorna para o Balão de flash e posteriormente à caldeira.

O fluido do circuito secundário chega ao trocador de calor, troca calor com o primário à 320°C e 2,5atm para em seguida aquecer os equipamentos da fabricação, sem entrar em contato com estes.

A Caldeira Fogo Dowtherm possui um reservatório de esvaziamento rápido, para eventuais emergências. E uma coluna de purificação, de funcionamento contínuo.

Existem ainda dois reservatórios, um para fluido 'sujo' (que precisa ser purificado), chamado Reservatório Sujo (RS), e um para fluido limpo (fluido novo ou purificado), chamado Reservatório Limpo (RL).

A reposição de fluido no circuito primário é feita pelo reservatório de esvaziamento rápido através da interligação com o RL. A reposição neste é feita através de tambores de fluido novo.

A reposição no secundário é feita tanto pelo RL (através de uma interligação entre o secundário e RL) ou pelas próprias fossas (através de uma interligação destas com o secundário).

Cada fabricação possui vários reboilers. Quando um destes reboilers necessitar de manutenção o fluido é transferido para o RL, ou para o RS, através de uma interligação entre estes; a transferência se dá para este quando o fluido necessitar ser destilado. Esta transferência é feita pela mesma interligação que transfere fluido do RL para as fabricações.

Tanto a distribuição de vapor para as fabricações através do coletor de vapor Fogo Dowtherm, como o retorno de condensado estão interligados com os coletores das Caldeiras Foster.

Assim, se ocorrer alguma emergência com a Caldeira Fogo Dowtherm, as Caldeiras Foster que estão em permanente aquecimento entram em funcionamento.

A maioria das fabricações possuem sistema de purga à vácuo.

#### 4.4. CARACTERIZAÇÃO DO EQUIPAMENTO

- Caldeiras Foster

Fabricante: Foster Wheeler Corporation N.Y.

Pressão de projeto: 10,2Kgf/cm<sup>2</sup>

Pressão de teste: 15,3Kgf/cm<sup>2</sup>

Pressão de trabalho: 5,5Kgf/cm<sup>2</sup>

Temperatura de projeto: 750 °C

Temperatura de trabalho: 350 °C

Capacidade: Caldeiras aquecidas - 2,5Gcal/h;

Restante: duas de 1,13Gcal/h e uma  
de 0,76Gcal/h

- Caldeira Fogo Dowtherm

Tipo: HT-15040MN

Fabricante: Nordon

Tecnologia: Bertrans

Ano de fabricação: 1985

Pressão de trabalho: 12Kgf/cm<sup>2</sup>

Pressão de teste: 31.25Kgf/cm<sup>2</sup>

Pressão de projeto: 25Kgf/cm<sup>2</sup>

Temperatura de trabalho: 370 °C

Temperatura de projeto: 400 °C

Capacidade térmica: 8Gcal/h

Fluido térmico: Therminol VP1

Vazão de fluido: 798m<sup>3</sup>/h

- Balão de flash

Fabricante: C.B.C. Ind. Pesados S.A.

Norma de projeto: ASME VIII Div.1

Ano de fabricação: 1984

Pressão de projeto: 13Kgf/cm<sup>2</sup>  
Pressão de trabalho: 4,5Kgf/cm<sup>2</sup>  
Pressão de teste: 23,5Kgf/cm<sup>2</sup>  
Temperatura de trabalho: 350 °C  
Capacidade: 30m<sup>3</sup>

- Bomba de recirculação do fluido

Fabricante: Camberra/Gou/DS  
Pressão de teste: 60Kgf/cm<sup>2</sup>  
Pressão de trabalho: 13Kgf/cm<sup>2</sup>  
Vazão: 800m<sup>3</sup>/h  
Motor: 350cv  
Rotação: 1750RPM  
Potência: 350HP  
Ano de fabricação: 1984

- Reboiler

Material-corpo: ASTM A283C  
Material-feixe tubular: ST00.29 Aço comum  
Pressão de teste-corpo: 8Kgf/cm<sup>2</sup>  
Pressão de teste-feixe tubular: 8Kgf/cm<sup>2</sup>  
Pressão de projeto-corpo: 4Kgf/cm<sup>2</sup>  
Pressão de projeto-feixe tubular: 4Kgf/cm<sup>2</sup>  
Pressão máxima de trabalho-corpo: 2,5Kgf/cm<sup>2</sup>  
Pressão máxima de trabalho-feixe tubular: 5Kgf/cm<sup>2</sup>  
Temperatura de projeto-corpo: 310 °C  
Temperatura de projeto-feixe tubular: 330 °C  
Temperatura máxima de trabalho-corpo: 320 °C  
Temperatura máxima de trabalho-feixe tubular: 340 °C

- Reservatórios

Material: ACC  
Reservatório de limpo:  
Capacidade: 10m<sup>3</sup>

Reservatório de sujo:

Capacidade: 22m<sup>3</sup>

Reservatório de esvaziamento rápido:

Capacidade: 70m<sup>3</sup>

Pressão de projeto: 5,4Kgf/cm<sup>2</sup>

Pressão de trabalho: 2,5Kgf/cm<sup>2</sup>

Pressão de teste: 8,1Kgf/cm<sup>2</sup>

Temperatura de projeto: 360 °C

Temperatura de trabalho: 260 °C

- Tubulações

Material: ASTM A106

- Válvulas

Material: ACC

Número na instalação: 3542

Número de flanges: 7274

Diâmetros: 1/2", 3/4", 1", 1 1/2", 2", 3", 4", 6"

- Vedação

Vedação em flange: junta espiral com material de vedação em amianto;

Vedação em castelo: junta de papelão hidráulico em amianto ou junta espiral em amianto;

Vedação na gaxeta: Uma gaxeta em amianto impregnada com grafite e três anéis em grafite puro.

## 5. IDENTIFICAÇÃO DAS PROVÁVEIS CAUSAS DE FUGAS

Atavés da análise do fluido pode-se concluir que este possue excelente estabilidade térmica dentro da faixa recomendada de aplicação. Por ser um fluido orgânico para transferênciā de calor, quando sujeito a temperaturas mais elevadas do que aquelas especificadas, decompõem-se rapidamente. Os produtos da decomposição consistem principalmente de materiais de alto peso molecular que permanecem em solução no líquido. Estes materiais de alto ponto de ebullição não afetam a operação mecânica do sistema, desde que não excedam as concentrações especificadas. A pequena quantidade de materiais de baixo ponto de ebullição formada poderá ser ventilada do sistema.

A degradação excessiva é normalmente causada pela contaminação e/ou pelo superaquecimento do fluido. Os contaminantes tanto podem ser materiais de processo que tenham vazado para o fluido térmico, como resíduos ou algum material decomposto que tenha permanecido no sistema antes deste ter sido abastecido com o fluido térmico.

Quando o fluido estiver contaminado, o contaminante geralmente menos estável e com poder de causar corrosão decompor-se-á, acelerando o processo de degradação.

Este fluido não é corrosivo em relação a metais e ligas comuns, mesmo a altas temperaturas. O aço é o material predominantemente utilizado. A maioria dos problemas de corrosão são causados por produtos químicos introduzidos no sistema durante as operações de limpeza, ou devido a vazamentos do processo.

A viscosidade é baixa e altera-se apenas ligeiramente entre o ponto de solidificação do produto e sua máxima temperatura operacional.

O fluido térmico, no estado vapor, pode fluir através de locais onde elementos como água e ar normalmente não passam.

Portanto tubulações, assim como outros equipamentos, requerem vedações não usuais. As especificações para estes devem ser respeitadas.

Utilizando agora a análise da instalação em relação as principais características do fluido, citadas acima, observa-se que três importantes pontos de análise são: degradação, contaminação e vazamento.

Sabe-se que a degradação do fluido ocorre por superaquecimento e/ou contaminação. Portanto, o tópico degradação deverá ser analisado em duas etapas, uma juntamente com a possível contaminação do fluido e outra da decomposição em função das características da instalação.

Observando-se a instalação, verifica-se que o único ponto possível de contaminação do ambiente para o fluido são os reboilers não inertizados após manutenção. Se o fluido estiver contaminado, este contaminante poderá causar corrosão e acelerar o processo de degradação.

Os materiais utilizados na instalação devem também seguir especificações, caso isto não ocorra, problemas de corrosão poderão se detectados.

Pela própria características do fluido- possuir alta penetrabilidade- as vedações e conexões devem ser analisadas, para verificar se a perda por estes é ou não significativa.

No próximo item será analisado cada ponto de possível perda, degradação, contaminação e vazamento.

## 6. ANÁLISE DAS CAUSAS

### 6.1 DEGRADAÇÃO

#### 6.1.1 INTRODUÇÃO

Para estudar o problema de degradação, primeiramente foi coletada uma amostra do fluido em uma purga escolhida aleatoriamente no sistema. Esta amostra foi submetida à análise em um espectrômetro de massa. Esta análise servirá para identificar a composição do fluido em serviço.

O espectro do fluido na fase líquida e na fase vapor estão no Anexo B, os produtos estão citados abaixo.

##### - Na fase gasosa:

Ar, propeno ou isômero, isobuteno ou isômero, metil buteno ou isômero, pentano ou isômero, penteno ou isômero, metil buteno ou isômero e benzeno.

##### - Na fase líquida:

Benzeno, tolueno, etil butil etileno ou isômero, etil benzeno ou isômero, isopropil benzeno ou isômero, propil benzeno ou isômero, fenol, sec-butil benzeno ou isômero, naftaleno, dodecano, tridecano, bifenil, difenil eter, fenil toluiil eter e dioenzofurano.

Estes produtos são, provavelmente, produtos de uma pirólise, oxidação ou craqueamento.

Para verificar se estes produtos não existiam como impurezas no fluido, uma amostra de fluido novo foi analisada. O espectro se encontra no Anexo C, não sendo encontrada nenhuma impureza no fluido novo.

Através destas duas análises pode-se verificar que o fluido se decompõe. Não se sabendo, porém, se estes produtos são uma parcela significativa ou não no fluido e se são consequência de superaquecimento e/ou contaminação.

O problema agora será discutido levando-se em conta as duas possíveis causas da decomposição separadamente.

### 6.1.2 DEGRADAÇÃO - SUPERAQUECIMENTO

O superaquecimento poderá ocorrer devido à incidência de chamas, pela operação do aquecedor acima de sua capacidade nominal, pelo uso de um combustível que dê uma temperatura de chamas mais alta, pela presença de baixa velocidade do fluido e por áreas de alto fluxo térmico.

Durante operações em condições severas, a deposição de carbono dentro do sistema ocorre em função da temperatura e do período de tempo em que o fluido permanecer sob tal temperatura. Quando a decomposição térmica alcançar um certo nível, materiais viscosos de alto ponto de ebulação e materiais insolúveis poderão acumular-se nas paredes do tubo do aquecedor, impedindo a transferência de calor perto das paredes e aumentando as temperaturas de película. Enquanto ficar retido ao longo da parede do tubo, o fluido ficará sujeito a elevadas temperaturas por um prolongado período de tempo. As frações mais leves serão ventiladas do sistema, deixando para trás as frações de maior ponto de ebulação (pesados), que eventualmente, se carbonizarão. O efeito isolante desta camada de carbono limita a taxa de transmissão de calor da parede ao fluido, aumentando as temperaturas da película e acelerando a decomposição do fluido térmico.

Para estudar o superaquecimento, sugere-se a medição da temperatura do fluido nos tubos da caldeira em função da vazão de carga e em função do tempo. A medição deverá ser feita através dos termopares instalados nos tubos da caldeira, conectados a sala de controle.

Se a medição da temperatura em função da vazão de carga e do tempo se mostrar constante, indicará o não superaquecimento do fluido. Caso contrário, indicará um possível superaquecimento do fluido na caldeira.

Este estudo não pode ser avaliado pelo fato da medição da temperatura dos termopares na sala de controle estar avariada.

### **6.1.3 DEGRADAÇÃO - CONTAMINAÇÃO**

Este tópico será tratado juntamente com o problema da contaminação do fluido, já que estes dois pontos são interligados.

## 6.2 CONTAMINAÇÃO

Como foi citado anteriormente, o melhor modo de detectar problemas potenciais, como contaminação e degradação, é a analise do fluido. Neste sentido, o problema já vinha sendo acompanhado através de análises trimestrais do fluido em diferentes, pontos da instalação. A tabela abaixo mostra valores medios encontrados para os pontos escolhidos de amostragem:

	CALDEIR A FOGO DOWTHER M	RES. DE ESVAZIA - MENTO RÁPIDO	CALDEIR A FOSTER	RL	BALÃO DE VÁCUO	NORMAL
UMIDADE (ppm)	85	125	95	170	95	0-360
ACIDEZ mgKOH/g	0.03	0.02	0.02	0.025	0.020	0.0-0.7

Pode-se verificar que os valores acima estão dentro da faixa normal, podendo ser dito assim que não ocorre contaminação no sistema. Porém, estas amostragens são feitas trimestralmente, o que pode camuflar os resultados, já que após três meses a reposição é significativa, além dos pontos de amostragem serem reservatórios e não pontos de circulação do fluido no sistema.

Observando os fatores acima, foi feito um ensaio como o objetivo de verificar se esta amostragem grande tem o mesmo valor de uma amostragem pequena. Com o intuito de acompanhar a evolução do fluido, a fim de verificar a proporção que este varia com o tempo, utilizando um ponto do sistema como ponto de amostragem e um tempo de amostragem menor do que o utilizado nas análises convencionais. O ensaio está descrito abaixo:

### • Ensaio

Será feita a análise semanal da umidade e da acidez do fluido durante um mês, no mesmo ponto de amostragem.

A análise da umidade verifica se há um aumento no teor de água, verificando assim possível contaminação e degradação.

Como já foi visto anteriormente, um provável fator da decomposição do fluido é o contato com umidade à quente, esta umidade proveria de uma contaminação.

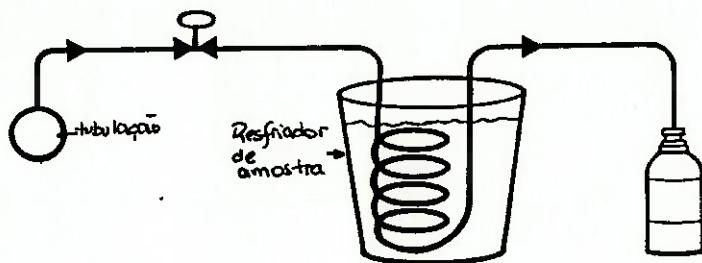
A análise da acidez indica o quanto o fluido foi hidrolizado e/ou oxido em ácidos (isto indica característica de intensa formação de ácidos corrosivos), pode-se assim verificar a ocorrência ou não de corrosão. Como se sabe a decomposição do fluido forma compostos típicos de pirólise, oxidação ou craqueamento das moléculas base do fluido, assim esta análise verifica também a degradação.

A coleta seguirá as seguintes especificações:

- 1- a amostra deve ser resfriada até 90°C ou menos;
- 2- inicialmente deve-se descartar 0,5l e posteriormente deve-se coletar uma amostra de 0,5l para análise.

O ponto de amostragem escolhido é a saída de um reboiler da PDN.

A amostra será resfriada por um resfriador de amostra, que utiliza água como fluido refrigerante, como mostra a figura abaixo:



#### • Resultados:

Os valores das análises estão na tabela abaixo.

	1° SEMANA	2° SEMANA	3° SEMANA	4° SEMANA	NORMAL
UMIDADE (ppm)	404	273	232	252	0-360
ACIDEZ (mgKOH/g)	0.01	0.01	0.01	0.01	0.0-0.7

O valor da umidade da 1° semana é alto pelo fato da coleta coincidir com o lançamento da fabricação.

#### • Conclusão:

Através destes valores pode-se validar os valores

obtidos através das amostra trimestrais, não esquecendo, porém, que neste caso os valores se validaram e que os pontos de amostragem deveriam ser pontos de circulação do fluido no sistema.

Assim, comprova-se que não há contaminação no sistema. Logo, se estiver ocorrendo degradação, esta não é ocasionada por contaminação.

### 6.3 VAZAMENTO DE FLUIDO TÉRMICO

Todas as válvulas vazam. Esta é afirmação que foi levada em conta para o estudo de vazamento, já que não há vedações cem porcento eficientes. Para detectar problemas de vazamento será necessário analisar dois tipos de vazamento, o visível e o não visível à olho nú.

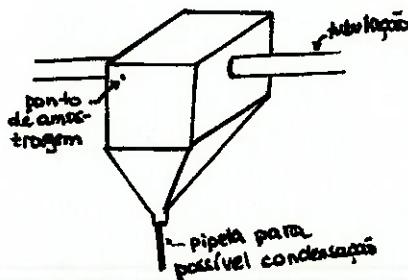
Primeiramente, analisaremos um vazamento visível à olho nú. Este tipo de vazamento já foi medido, através do encausuramento do vazamento em uma caixa metálica perfeitamente vedada. O resultado obtido foi de 0.003Kg/h. Valores estatísticos mostram que ocorrem quatro vazamentos grandes por mês e que estes são imediatamente controlados. Supondo que ocorra quatro vazamentos por mês e que demore um mês para que estes sejam controlados, teríamos uma perda de menos de 10Kg por mês. Logo, este tipo de vazamento não é significativo.

Com o objetivo de medir um vazamento não visível à olho nú, para verificar se a perda por este tipo de vazamento é significativa, foi realizado o ensaio descrito a seguir:

- **Ensaio:**

- Método de medição:

- A válvula será encausurada por uma caixa como mostrado abaixo:



- Tempo de medição: será feita uma medição diária, com duração de 15 segundos.

Requisitos escolhidos para a medição:

- Concentração na válvula menor que 100PPM, sendo verificado que a concentração de diferentes válvulas sem vazamento visível variam entre 20PPM e 1000PPM;
- Baixa concentração local, para não influenciar o sistema;
- Tipo de válvula mais comum na instalação.

Válvula escolhida:

- Válvula tipo globo - DOX40(1,5");
- Local: PCNII, neste local a concentração ambiente é de aproximadamente 15PPM;
- Concentração da válvula: em torno de 20PPM;
- Temperatura do fluido: 350°C.

Cálculo do vazamento:

Volume da caixa... $V_c (=0.0357m^3)$ ;

Volume massico de fluido térmico... $M_{ft}$ ;

Concentração média na caixa no tempo de medição...[ft] - esta medição será feita por um aparelho que medi a concentração de fluido térmica pelo sistema de FOTOIONIZAÇÃO;

Volume da bomba do aparelho... $V_b = 0,5l/min$ ;

Densidade do fluido à temperatura da caixa... $D$  - através da tabela de propriedades de saturação do THERMINOL VP1 utilizando a temperatura do fluido, considerada igual a temperatura da caixa;

Volume total... $V$ .

No 1º dia: mede-se a concentração do fluido e a temperatura da caixa no 1ºdia.

$$D(1^\circ\text{dia}) = M_{ft}(1^\circ\text{dia}) / V(1^\circ\text{dia}), \text{ onde}$$

$$V(1^\circ\text{dia}) = V_c * [ft](1^\circ\text{dia}) \text{ e}$$

$D(1^\circ\text{dia})$ ...é a densidade referida à temperatura medida no 1ºdia.

Logo

$$M_{ft}(1^\circ\text{dia}) = V(1^\circ\text{dia}) * D(1^\circ\text{dia}).$$

No 2º dia: mede-se a concentração do fluido e a temperatura da caixa no 2ºdia.

$$D(2^\circ\text{dia}) = M_{ft}(2^\circ\text{dia}) / V(2^\circ\text{dia}), \text{ onde}$$

$$V(2^\circ\text{dia}) = V_c * [ft](2^\circ\text{dia}) + V_b * [ft](2^\circ\text{dia});$$

$D(2^\circ\text{dia})$ ...é a densidade referida à temperatura medida no 2ºdia.

Logo

$$M_{ft}(2^\circ\text{dia}) = V(2^\circ\text{dia}) * D(2^\circ\text{dia}).$$

Portanto o que vazou do 1ºdia para o 2ºdia:

$$M_{ft}(2^\circ\text{dia}) - M_{ft}(1^\circ\text{dia}).$$

No 3º dia: mede-se a concentração do fluido e a temperatura da caixa no 3ºdia.

$$D(3^{\circ}\text{dia}) = Mft(3^{\circ}\text{dia}) / V(3^{\circ}\text{dia}), \text{ onde}$$

$$V(3^{\circ}\text{dia}) = Vc * [ft](3^{\circ}\text{dia}) + Vb * [ft](1^{\circ}\text{dia}) + \\ Vb * [ft](2^{\circ}\text{dia});$$

$D(3^{\circ}\text{dia})$ ... é a densidade referida à temperatura medida no  $3^{\circ}\text{dia}$ .

Logo

$$Mft(3^{\circ}\text{dia}) = V(3^{\circ}\text{dia}) * D(3^{\circ}\text{dia}).$$

Portanto o que vazou do  $2^{\circ}\text{dia}$  para o  $3^{\circ}\text{dia}$ :

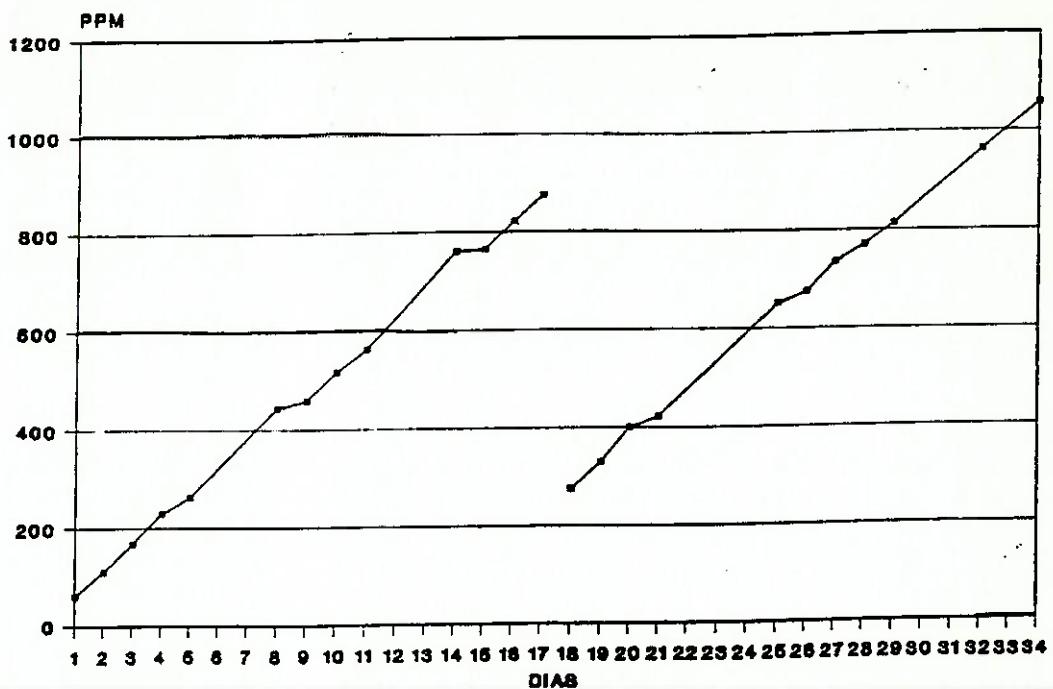
$$Mft(3^{\circ}\text{dia}) - Mft(2^{\circ}\text{dia}).$$

No  $4^{\circ}$  dia: e assim por diante...

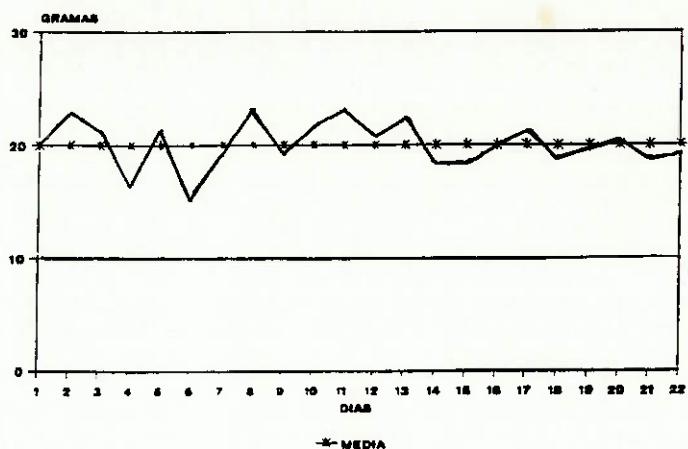
Assim, através dos valores obtidos pela diferença massica de dois dias consecutivos, podemos estatisticamente obter um valor para a quantidade que vaza em um dia.

#### • Resultados:

O ensaio teve a duração de aproximadamente um mês. Os valores obtidos da concentração no decorrer do ensaio estão no gráfico abaixo. A queda nos valores do dia 17 ao 18 se dá pelo interrompimento do ensaio no dia 17 e recomeço no dia 18.



Os valores em massa obtidos pelo ensaio, calculados pelo método descrito anteriormente, estão no gráfico abaixo. O valor médio obtido foi de 20gramas por dia.



#### • Conclusão:

A inclinação das retas do gráfico de concentração demonstram um crescimento linear dos valores. Este crescimento linear indica que o ensaio esta dentro de um padrão aceitável.

O desvio padrão dos valores obtidos é de 98%. Este valor, juntamente com o crescimento linear dos valores valida o ensaio.

Assim, uma válvula considerada "boa", que não possue vazamento visível à olho nú e de concentração baixa ( $\pm 20\text{ppm}$ ), vaza na ordem de 20gramas/dia.

Através destes valores foi-se buscar o motivo pelo qual ocorre este grande perda não visível à olho nú, pois se todas as válvulas fossem consideradas "boas", como a escolhida para o ensaio, teríamos uma perda aproximada de  $2t/\text{mês}$ . Assim buscou-se verificar as vedações utilizadas e as especificadas. Estas estão apresentadas na tabela abaixo:

VEDAÇÃO	FLANGE	CASTELO	GAXETA
UTILIZADA	JUNTA ESPIRAL COM MATERIAL DE VEDAÇÃO EM AMIANTO	JUNTAS DE PAPELÃO HIDRAULICO EM AMIANTO OU JUNTA ESPIRAL EM AMIANTO	UMA GAXETA EM AMIANTO IMPREGNADO COM GRAFITE E TRÊS ANEIS EM GRAFITE
ESPECIFICADA	JUNTA ESPIRAL COM MATERIAL DE VEDAÇÃO EM GRAFITE PURO	JUNTAS DE GRAFLEX REFORÇADO	GAXETAS DE GRAFITE OU TEFILON IMPREGNADO COM GRAFITE

Atavés desta pôde-se verificar que as vedações utilizadas não são as especificadas. Quando estas foram instaladas, elas eram as especificadas, mas com a descoberta de novos materiais, atualmente ficaram desatualizadas.

Para comprovar a melhora na eficiência das novas vedações foi utilizado um procedimento novo, fornecido pela TEADIT JUNTAS S.A., que esta inclusa na ASME. Deste procedimento foi aplicado um item que diz respeito a quantidade de vazamento em uma válvula utilizando-se determinada vedação por diâmetro. Para esta instalação, com as vedações especificadas acima, chegou-se ao valor aproximado de 0,5t/mês.

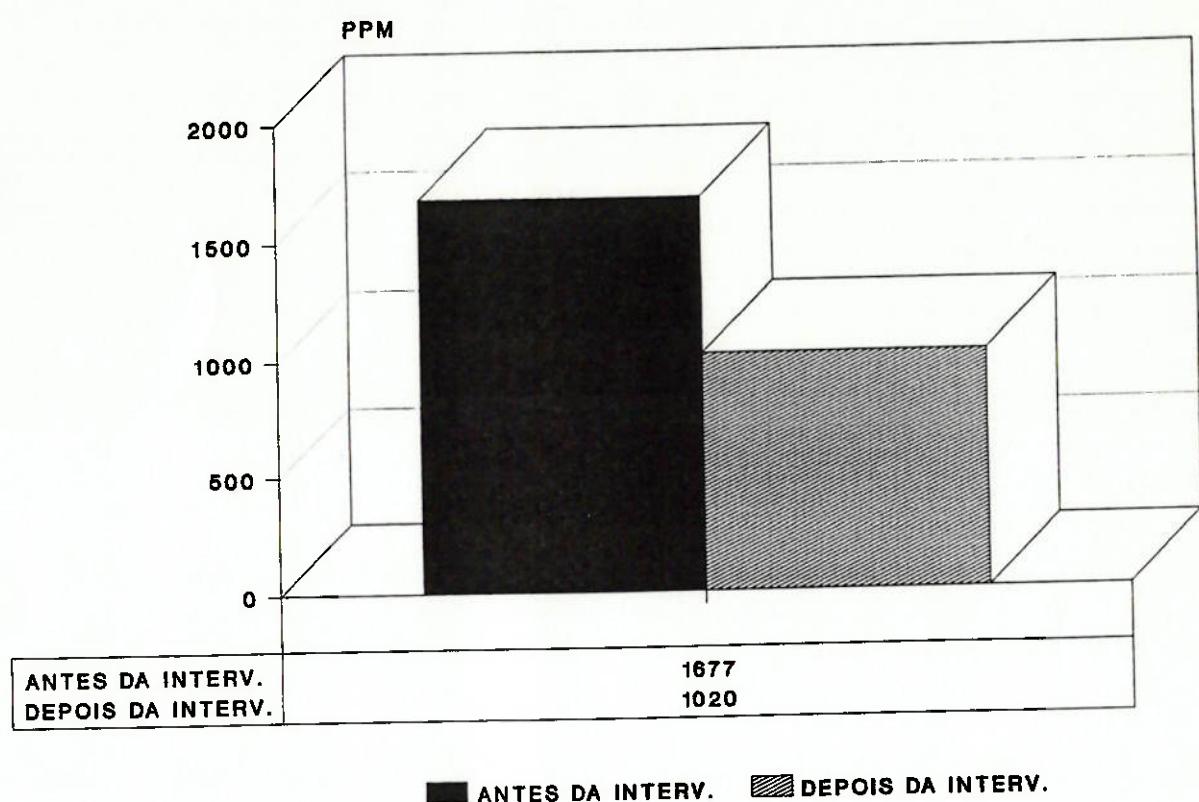
Se este valor for comparado ao encontrado pelo ensaio descrito acima, pode-se dizer que a diferença entre a utilização da vedação especificada e da utilizada é significativa.

Outro ponto que pode comprovar esta diferença são os valores obtidos das concentrações de válvulas com as vedações utilizadas e especificadas. Foram feitas medições de concentrações de válvulas de diferentes diâmetros para as vedações utilizadas, antes de uma parada da PDN, algumas válvulas foram apenas reapertadas e outras tiveram as vedações trocadas pelas especificadas, após a parada mediu-se novamente as concentrações destas.

Os gráficos abaixo mostram os valores em média para as válvulas antes e após a intervenção, tanto para as válvulas

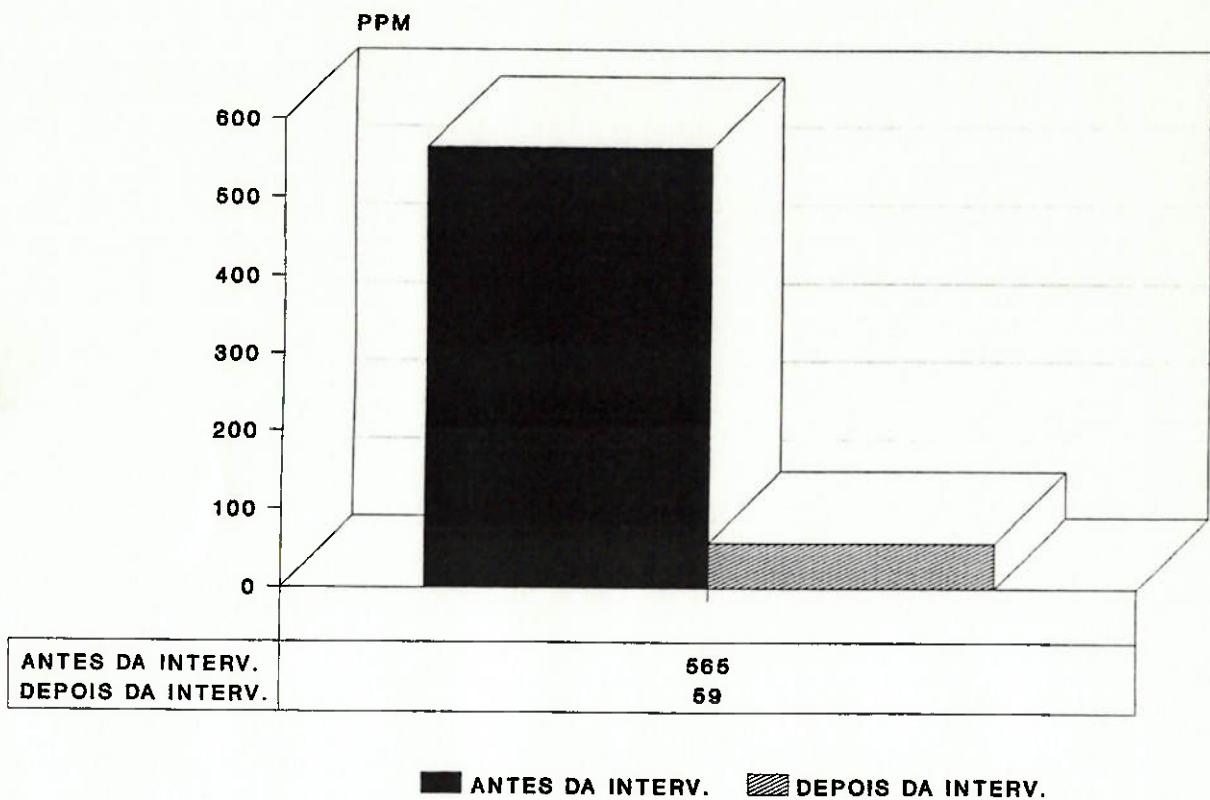
reapertadas, como para as que tiveram as vedações trocadas.

### VALVULAS REAPERTADAS MEDIA



MELHORA EM MEDIA: 39.2%

## VALVULAS TROCADAS MEDIA



**MELHORA EM MEDIA: 90%**

Pelos gráficos acima, pode-se notar que houve uma melhoria em média de 40% para as válvulas que somente foram reapertadas e 90% para as válvulas em que foram trocadas as vedações. Isto reforça a diferença que existe entre as vedações utilizadas e as especificadas.

## 7. CONCLUSÃO

Entre os três pontos, degradação, contaminação e vazamento, em que o trabalho foi focado, verificou-se que o problema do vazamento é o mais significativo.

A identificação de possíveis produtos de degradação na amostra coletada, podendo ser ou não parcela significativa na amostra, mostrou-se improvável pelas análises acompanhadas com a contaminação do fluido, não descartando a hipótese do superaquecimento.

Pela análise conjunta das características desta instalação e dos parâmetros de projeto para instalações que utilizam fluido térmico, verificou-se que em relação a equipamentos e materiais para estes, todas as especificações foram seguidas.

As análises do fluido comprovaram a não ocorrência de contaminação do fluido no momento. Pelo fato de não estar ocorrendo contaminação, não há corrosão por contaminação. Também não há corrosão pelo fluido, pois o material dos equipamentos é o especificado.

Na análise do problema do vazamento verificou-se que uma válvula considerada "boa", dentro dos padrões do sistema, vaza em torno de 20g/dia, vazamento este não visível à olho nú. Se este valor for extrapolado para todas as válvulas do sistema teríamos um vazamento em torno de 2t/mês. Mas, pelo procedimento da TEADIT, verificou-se que se as vedações especificadas forem utilizadas teríamos um vazamento de 0,5t/mês. Esta diferença entre as vedações utilizadas e as especificadas é verificada pelas medições das concentrações de válvulas trocadas e reapertadas.

Através das pesquisas bibliográficas e dos ensaios efetuados conclui-se que o problema do vazamento tem o grau mais significativo na discussão deste problema.

## 8. RECOMENDAÇÕES

Recomenda-se o desenvolvimento de um trabalho de forma sistêmica, onde seja tratado o problema do vazamento desde os fornecedores, passando-se pela instalação, até a manutenção.

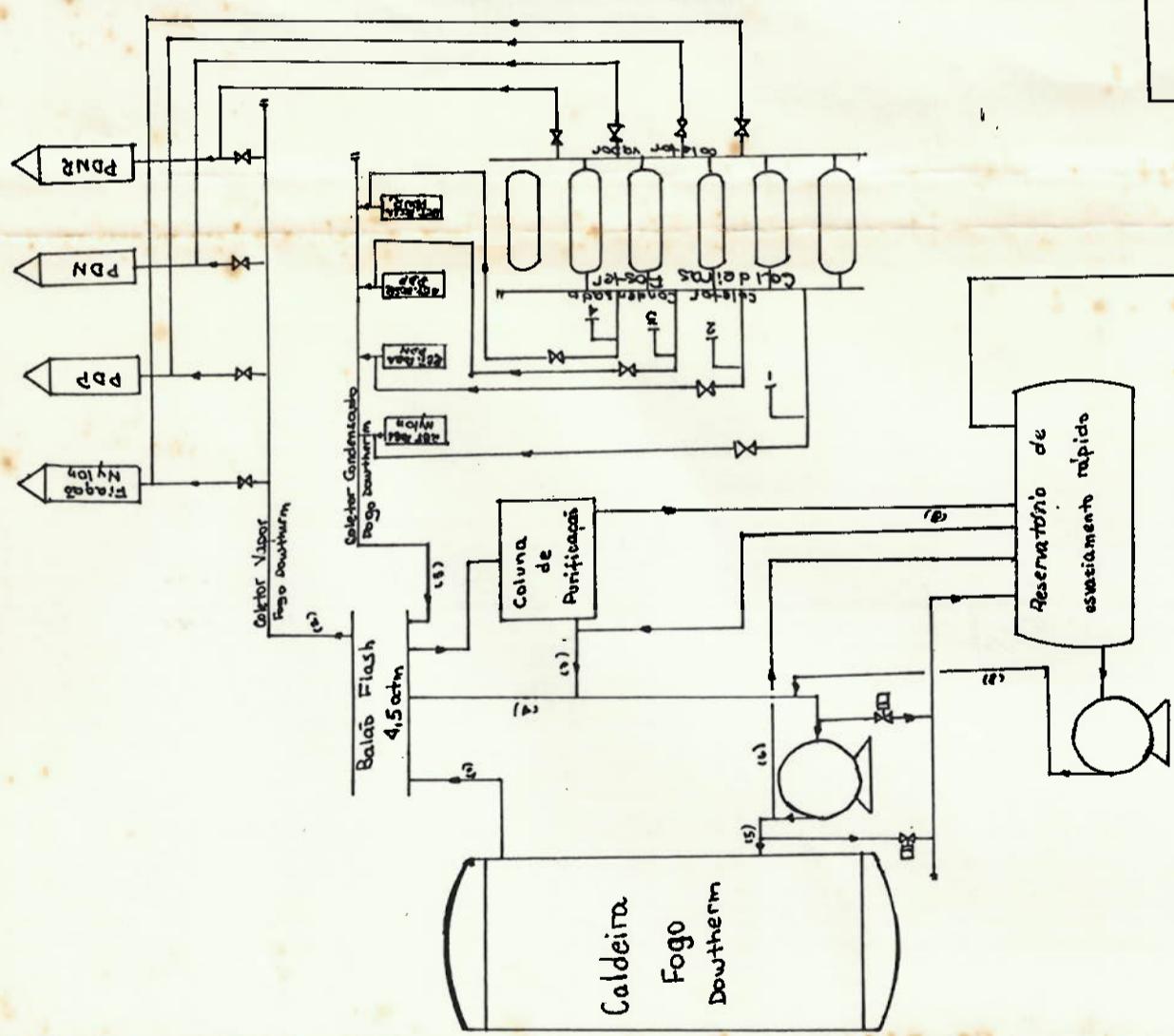
Propõem-se um procedimento de priorização das válvulas que deverão ser trocadas, para que a troca de todas as válvulas do sistema seja efetuada. Esta priorização tem o intuito de atender primeiramente as válvulas onde há maior possibilidade de vazamento, como por exemplo, as válvulas onde ocorrem manobras freqüentes.

Propõem-se também um procedimento de manutenção. Este procedimento refere-se a insalação e manutenção adequada das válvulas, isto é, a instalação com o torque adequado nos parafusos, a utilização de torquímetro (este aumenta a eficiência do aperto) e a manutenção após a instalação.

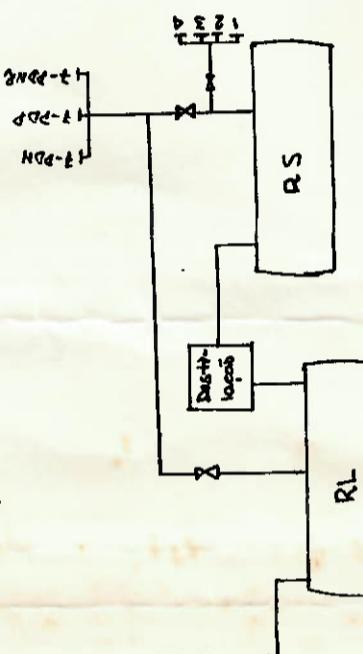
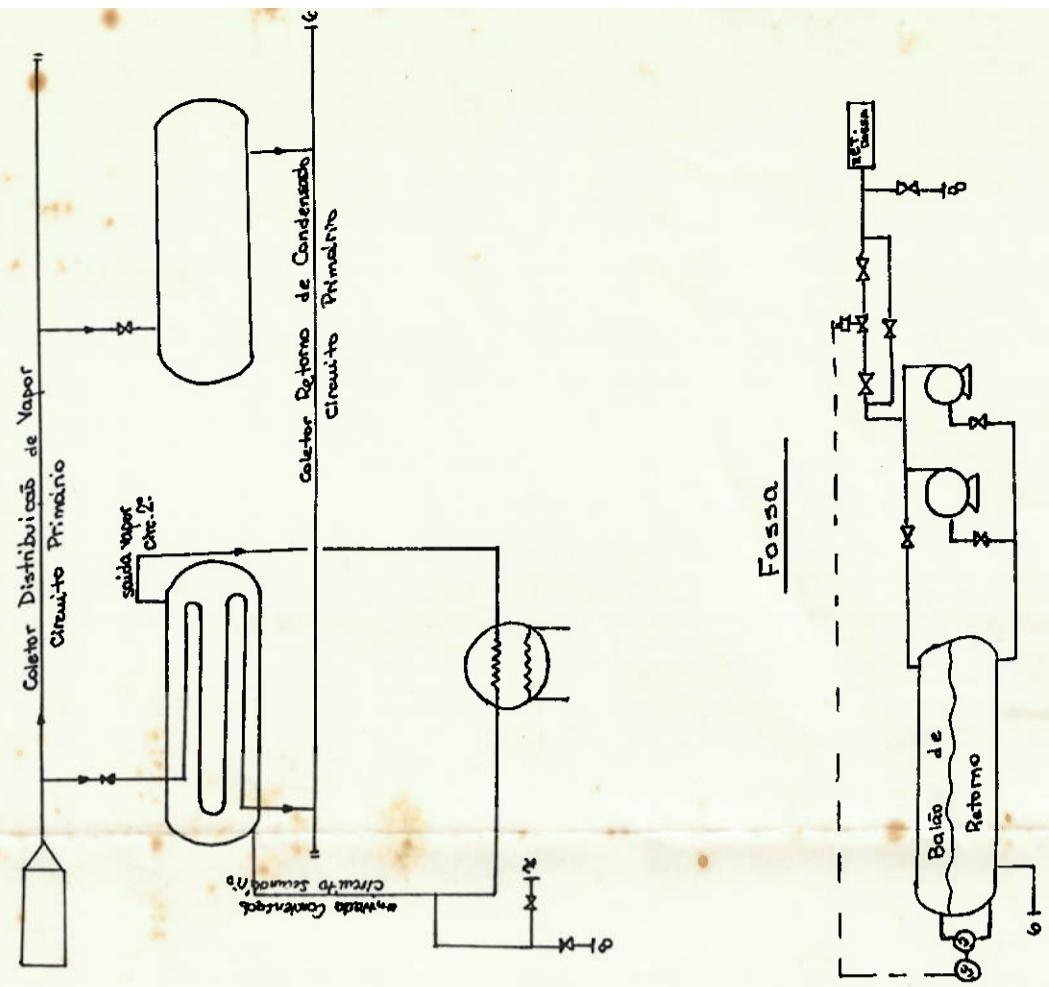
Recomenda-se também que os pontos de coleta de amostragem do fluido sejam pontos de circulação do fluido no sistema, para que não haja camuflagem dos resultados.

**ANEXO A - Esquema da  
Instalação**

### Círculo Primário



### Círculo Secundário



	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
Máx. Massa Máxima (kg/h)	35000	35000	35000	35000	35000	35000	35000	35000	-
Máx. Volume Mínimo (m³/h)	8000	8000	5000	5000	130,1	189,3	130,1	189,3	-
Estado Físico	L	G	L	L	L	L	L	L	L
Pressão Absoluta (bar)	10,0	6,404	5,404	5,404	12,46	5,404	5,404	5,404	1,23
Massa Especifica (kg/m³)	721,4	20	7684	7	512	2502	2502	2502	1025,8
Entralpia (kj/kg)	126,3	242,1	154	162,8	162,8	162,8	162,8	162,8	46,6
Temperatura (°C)	370	350	333	343,7	343,7	343,7	343,7	343,7	50

Anexo B - Espectro da fase  
líquida e vapor de uma amostra  
de fluido usado

**CENTRO DE PESQUISAS DE  
DEPARTAMENTO DE ESTUDOS ANALÍTICOS  
LABORATÓRIO DE ANÁLISE ESTRUTURAL**

TÉCNICA UTILIZADA : ESPECTROMETRIA DE MASSA  
 ACOPLAGAMENTO UTILIZADO: GC/MS  
 RESP. LABOR.: ROBERTO S. CAMARGO *R.S.C.*  
 RESP. TÉCNICO : GILMAR R. de SOUZA  
 BOLETIM n. : 25/93  
 DATA : 01.ABRIL.93  
 NOME DA AMOSTRA : DOW THERM - 119.  
 OBJETIVO : CARACTERIZAR OS COMPONENTES DA AMOSTRA.  
 P.R.A. : 93080  
 PROCEDÊNCIA : ROBERTO S. CAMARGO - DEA/CPP

NOME DOUS : 119. - REC. 1150, 45. 31041236

FRN 1220

5

7

9

11

13

15

17

19

21

23

25

27

29

31

33

35

37

39

41

43

45

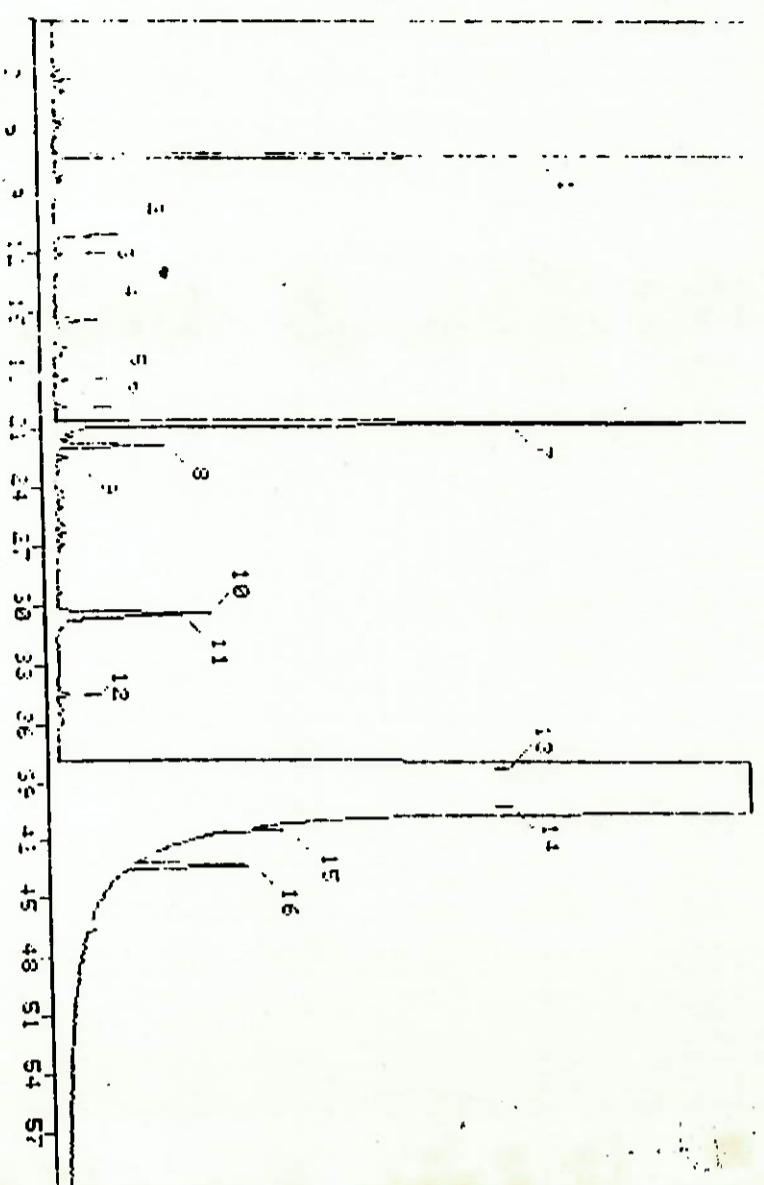
47

49

51

53

55



- 1..... BENZENO
- 2..... TOLUENO
- 3..... ETIL BUTIL ETILENO ou isomero
- 4..... ETIL BENZENO ou isomero
- 5..... ISOPROPIL BENZENO ou isomero
- 6..... PROPIYL BENZENO ou isomero
- 7..... FENOL
- 8..... BENZOFUFANO
- 9..... SEC-BUTYL BENZENO ou isomero
- 10.... NAFTALENO
- 11.... DODECANO
- 12.... TRIDECCANO
- 13.... BIFENIL
- 14.... DIFENIL ETEF
- 15.... FENIL TOLUOL ETER
- 16.... DIFENCOFUFANO

(\*) = provável

**DEPARTAMENTO DE ESPECTROSCOPIA ESTRUTURAL  
LABORATORIO DE ANALISE ESTRUTURAL**

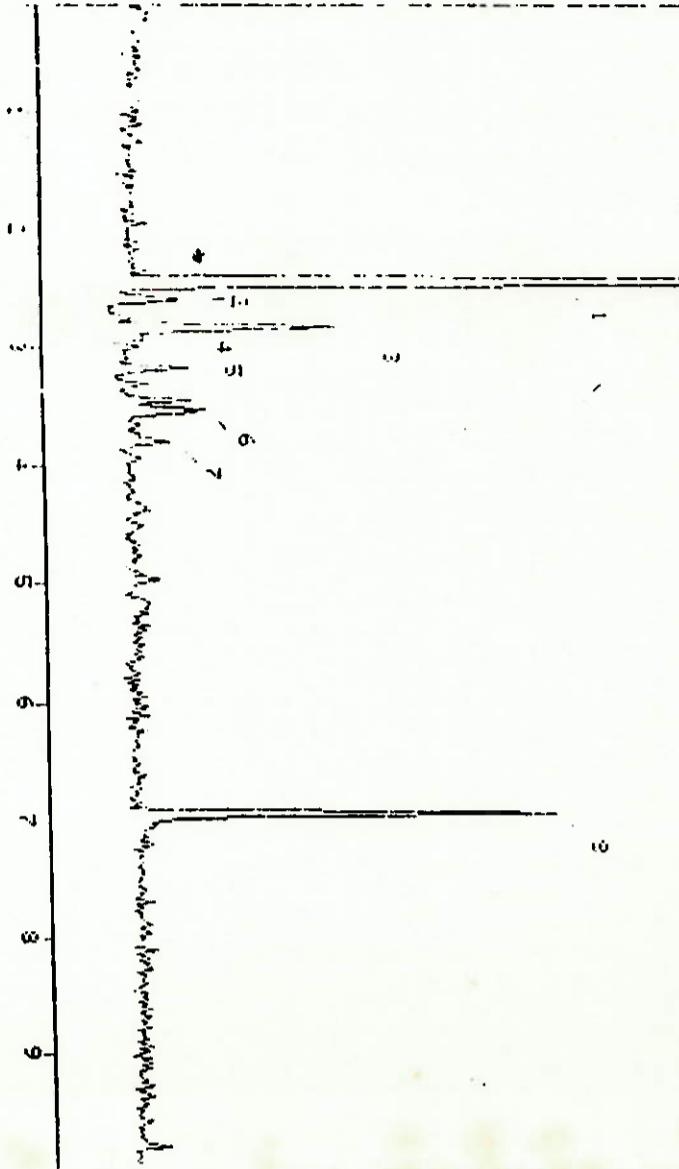
TECNICA UTILIZADA : ESPECTROMETRIA DE MASSA  
 ACOPLAMENTO UTILIZADO: GC/MS  
 RESP. LABOR. : ROBERTO S. CAMARGO R.S.Camargo  
 RESP. TECNICO : GILMAR R. de SOUZA  
 BOLETIM n. : 26/93  
 DATA : 01.ABRIL.93  
 NOME DA AMOSTRA : DOW THERM - gás  
 OBJETIVO : CARACTERIZAR OS COMPONENTES DA AMOSTRA.  
 P.R.A. : 93080  
 PROCEDENCIA : ROBERTO S. CAMARGO - DEA/CPP

NAME: DOW THERM - GAS  
 DATE: 1993.04.01 1250.45.31 [41220]

FRN 1220

477.4

TIC



- |        |                         |
|--------|-------------------------|
| 1..... | MR                      |
| 2..... | PROPENO ou isômero      |
| 3..... | ISOBUTENO ou isômero    |
| 4..... | METIL BUTENO ou isômero |
| 5..... | PENTENO ou isômero      |
| 6..... | PENTANO ou isômero      |
| 7..... | METIL BUTENO ou isômero |
| 8..... | BENZENO                 |

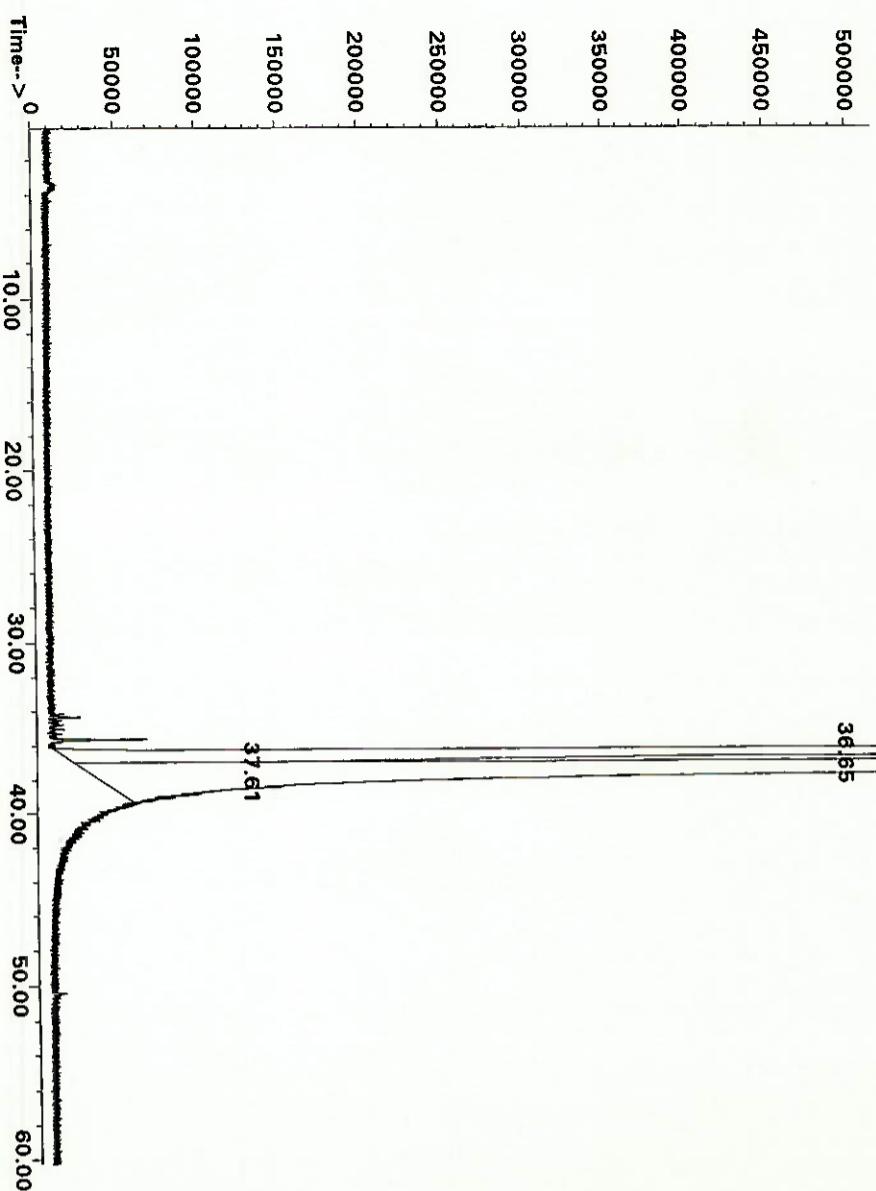
(\*) = provável

**Anexo C – Espectro de uma  
amostra de fluido novo**

RHODIA S/A  
 CENTRO DE PESQUISAS DE PAULÍNIA  
 DEPARTAMENTO DE ESTUDOS ANALÍTICOS  
 LABORATÓRIO DE ANÁLISE ESTRUTURAL

TÉCNICA UTILIZADA : ESPECTROMETRIA de MASSA  
 ACOPLAMENTO UTILIZADO : GC/MSD  
 RESP. LABOR. : ROBERTO S. CAMARGO LL Camargo  
 RESP. TÉCNICO : GILMAR R. de SOUZA  
 BOLETIM Nr. : 037/93  
 DATA : 25/06/93  
 NOME DA AMOSTRA : DOW THERM - FLUIDO TÉRMICO 20/05/93  
 OBJETIVO : IDENTIFICAR OS COMPONENTES DA AMOSTRA.  
 CONDIÇÕES DE ANÁLISE : LM-5,50m,f1,1250,45(3)[4]230,s  
 P.R.A. : 93187  
 PROCEDÊNCIA : ALIA - L03 - DUL/03

TIC: 0007.D



TIC: 0007.D

DOW-THERM - FLÚIDO TÉRMICO 20/05/93

Peak#	Ret Time	IDENTIFICAÇÕES
1	36.652	BIFENIL
2	37.614	DIFENIL ETER

**REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS**

TORREIRA, R.P. **Fluidos Térmicos:** Água, Vapor, Óleos Térmicos. São Paulo, Hemus editora limitada.

DOW PRODUTOS QUÍMICOS LTDA. **Fluidos Térmicos DOW.**

MONSANTO COMPANY. **Therminol VP-1: Fluido Térmico.** (Boletim Técnico N° IC/FP-206A).

MONSANTO COMPANY. **Therminol: Heat Transfer Fluids By Monsanto.** St.Louis, Missouri, 1989. (Publication N°9135).

MONSANTO COMPANY. **Therminol: Safety Bulletin.** Missouri, U.S.A, 1989. (Publication N°9139).

MONSANTO COMPANY. **Therminol 1.** Missouri, U.S.A, 1989. (Publication N°9139).

MONSANTO COMPANY. **Therminol 2.** Missouri, U.S.A, 1989. (Publication N°9139).

MONSANTO COMPANY. **Therminol 3.** Missouri, U.S.A, 1989. (Publication N°9139).

MONSANTO COMPANY. **Therminol 4.** Missouri, U.S.A, 1989. (Publication N°9139).

TEADIT JUNTAS S.A. **As Novas Constantes de Juntas.** São Paulo. 1992.

SCHAICH, J.R. **Fugitive Emissions. Chemical Engineering**

**Progress, 1991.**  
DOW CHEMICAL. **Engineering Manual For Dowtherm Heat Transfer Fluids.** Michigan, U.S.A..

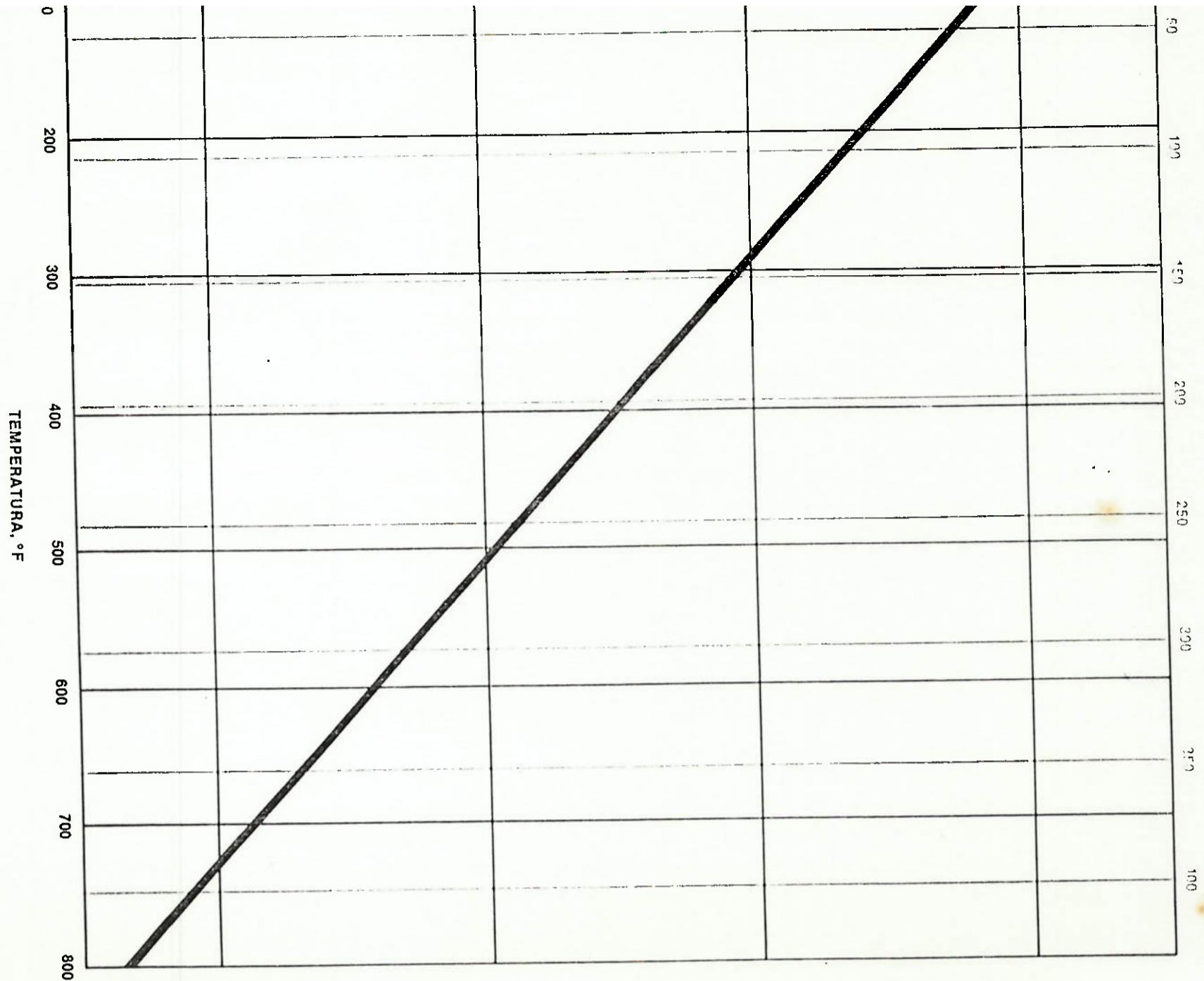
BALLARD, D.; MANNING, W.P. Energy Transfer/Conversion: Boost Heat-Transfer System Performance. Chemical **Engineering Progress,** 1990.

**Apêndice A - Propriedades  
físicas e termodinâmicas do  
Therminol VP-1**

**PROPRIEDADES DE SATURAÇÃO DO THERMINOL® VP-1 LÍQUIDO**

Temperatura C°	Pressão Vapor Abs. Kg/cm2 Abs.	Enthalpia		Calor de Vaporização <sup>1</sup> do Líquido	Calor Específico do Líquido Kcal/Kg.C	Conduividade Térmica Kcal/Hr.m.C.	Densidade		Viscosidade do Líquido Centipoise
		Líquido	Vapor				Líquido	Vapor	
15.6	0.0000	1.3	93.5	92.1	0.368	0.1214	1.06	0.0000	5.30
26.7	0.0001	5.5	96.7	91.2	0.376	0.1199	1.06	0.0000	4.00
37.8	0.0001	9.8	100.1	90.3	0.384	0.1182	1.05	0.0000	3.10
48.9	0.0002	14.1	103.6	89.5	0.391	0.1168	1.04	0.0016	2.50
60.0	0.0005	18.6	107.2	88.6	0.398	0.1155	1.03	0.0032	1.90
71.1	0.0010	23.1	110.8	87.8	0.405	0.1140	1.02	0.0064	1.60
82.2	0.0019	27.2	114.6	86.9	0.412	0.1125	1.01	0.0112	1.31
93.3	0.0036	32.3	118.3	86.0	0.419	0.1110	1.00	0.0192	1.10
104.4	0.0063	37.1	122.2	85.1	0.427	0.1097	0.99	0.3268	0.94
115.6	0.0108	41.9	126.2	84.2	0.434	0.1083	0.98	0.0545	0.80
126.7	0.0178	46.8	130.2	83.4	0.442	0.1070	0.98	0.0865	0.70
137.8	0.0284	51.8	134.3	82.5	0.449	0.1056	0.97	0.1362	0.64
148.9	0.0441	56.9	138.5	81.6	0.457	0.1043	0.96	0.2050	0.56
160.0	0.0667	62.1	142.7	80.7	0.463	0.1028	0.95	0.3011	0.51
171.1	0.0984	67.3	147.0	79.7	0.471	0.1013	0.94	0.4341	0.47
182.2	0.1413	72.6	151.3	78.8	0.477	0.0998	0.93	0.6103	0.43
193.3	0.1997	78.0	155.8	77.8	0.485	0.0985	0.92	0.8442	0.39
204.4	0.2763	83.5	160.2	76.8	0.492	0.0970	0.91	1.1437	0.36
215.6	0.3755	89.0	164.8	75.8	0.500	0.0955	0.90	1.5233	0.34
226.7	0.5027	94.6	169.3	74.7	0.507	0.0942	0.89	1.9991	0.31
237.8	0.6616	100.3	174.0	73.7	0.514	0.0928	0.88	2.5370	0.30
248.9	0.8585	106.1	178.7	72.6	0.522	0.0915	0.87	3.3030	0.28
260.0	1.1011	112.0	183.4	71.4	0.528	0.0901	0.86	4.1696	0.25
271.1	1.3935	118.0	188.1	70.2	0.536	0.0888	0.84	5.2027	0.24
282.2	1.7437	124.0	192.9	68.9	0.543	0.0875	0.83	6.4297	0.22
293.3	2.1585	130.1	197.7	67.6	0.550	0.0861	0.82	7.8730	0.21
304.4	2.6465	136.3	202.6	66.3	0.557	0.0848	0.81	9.5581	0.20
315.6	3.2146	142.6	207.5	64.9	0.564	0.0834	0.80	11.5172	0.18
326.7	3.8720	148.9	212.4	63.5	0.572	0.0821	0.78	13.7821	0.18
337.8	4.6264	155.3	217.4	62.1	0.579	0.0808	0.77	16.3915	0.17
348.9	5.4877	161.8	222.3	60.5	0.586	0.0794	0.76	19.3869	0.16
360.0	6.4650	168.3	227.2	58.9	0.593	0.0781	0.74	22.8181	0.15
371.1	7.5654	175.0	232.2	57.3	0.600	0.0767	0.73	26.7458	0.15
382.2	8.8098	181.7	237.2	55.6	0.607	0.0754	0.71	31.2421	0.15
393.3	10.1950	188.5	242.2	53.7	0.614	0.0741	0.70	36.3968	0.14
404.4	11.7418	195.5	247.1	51.7	0.621	0.0727	0.68	42.3236	0.14

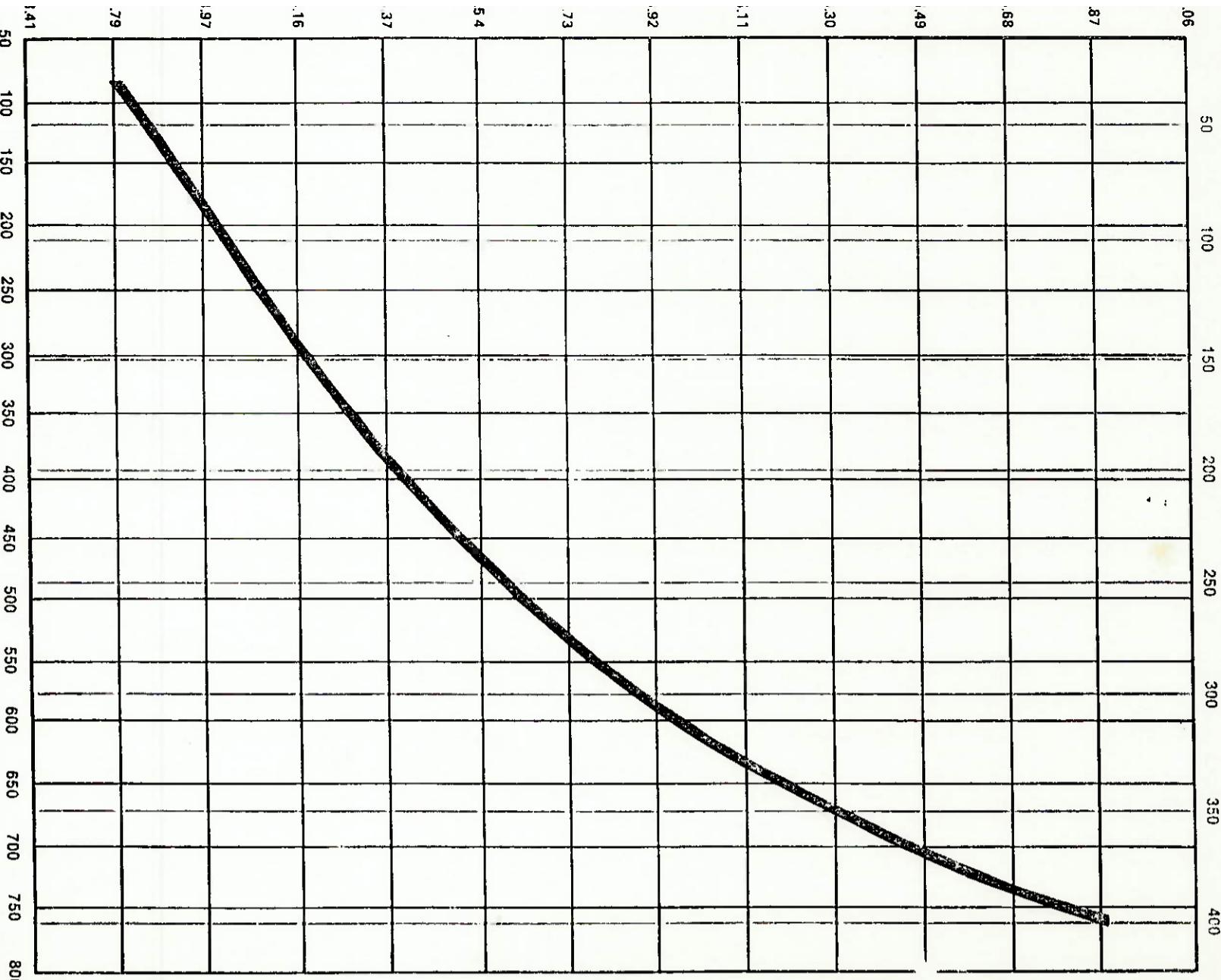
CONDUTIVIDADE TÉRMICA DO THERMINOL® VP-1 (ESTADO LÍQUIDO)



**EXPANSÃO DO THERMINOL® VP-1 LÍQUIDO**

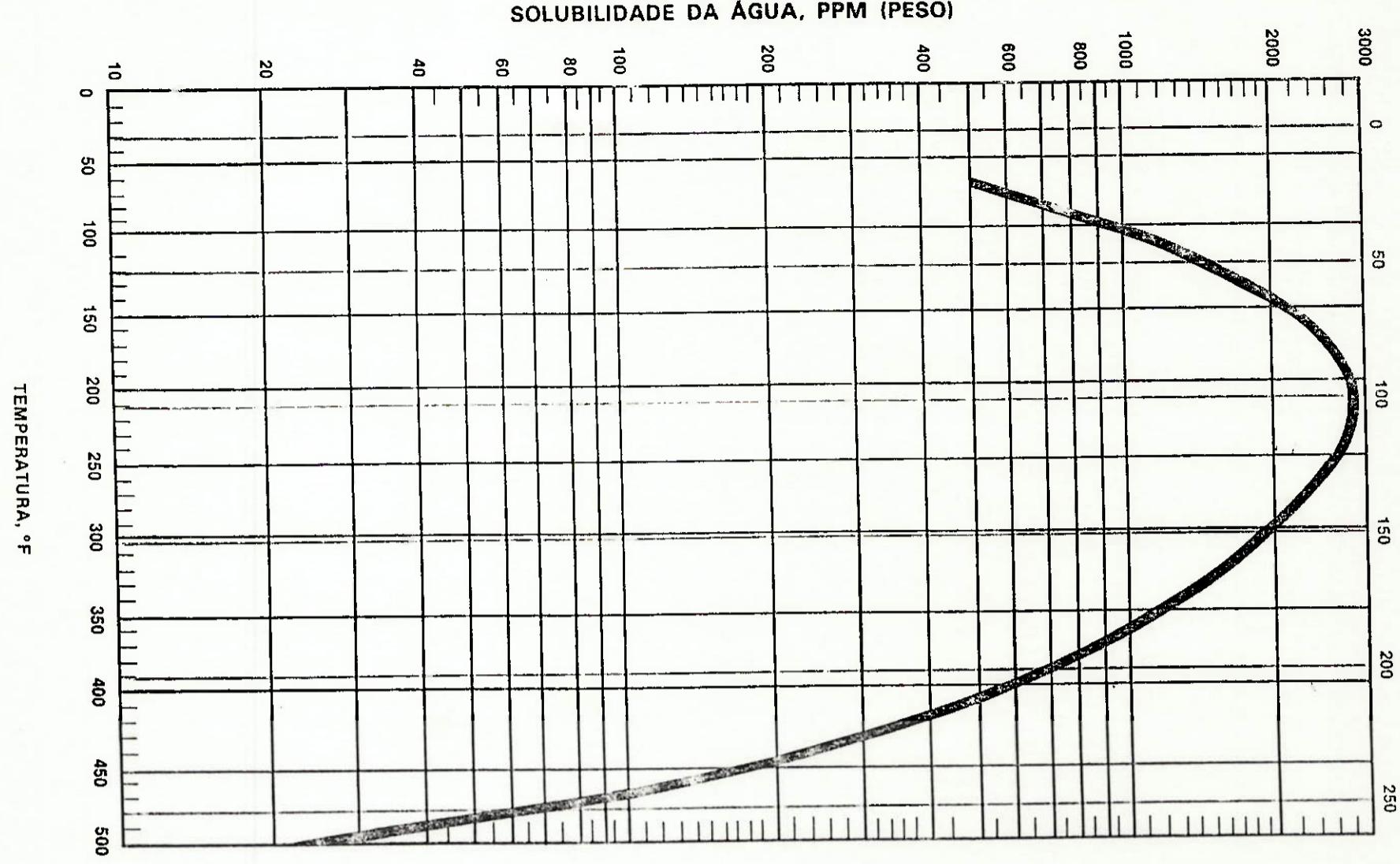
[Base: 3.8 litros à 25°C]

TEMPERATURA, °C

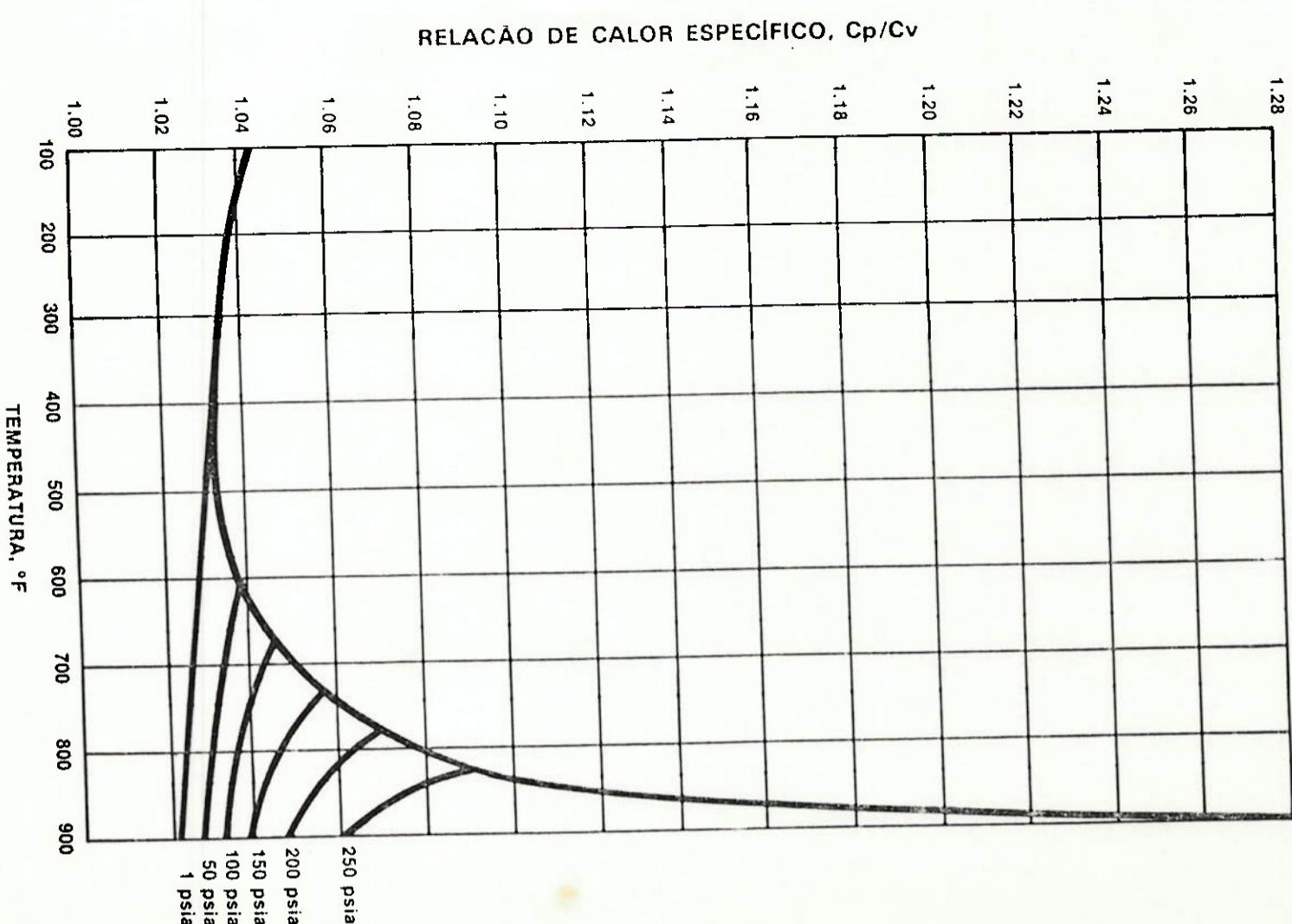


TEMPERATURA, °F

SOLUBILIDADE DA ÁGUA EM THERMINOL® VP-1 A PRESSÃO ATMOSFÉRICA

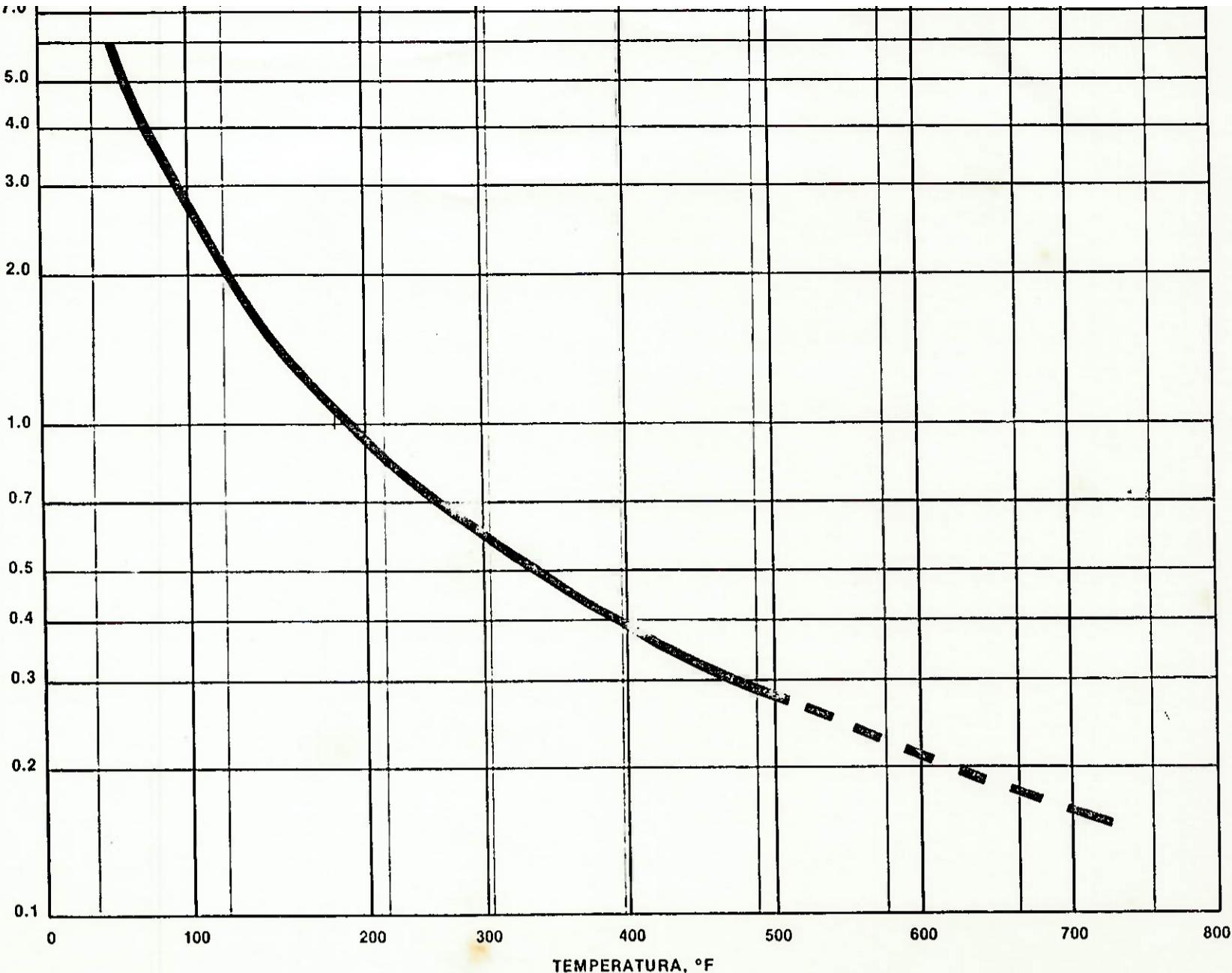


RELAÇÃO DE CALOR ESPECÍFICO  
CALCULADA, PARA THERMINOL® VP-1



VISCOSIDADE DO THERMINOL® VP-1 LÍQUIDO

VISCOSIDADE ABSOLUTA, CENTIPOISE



VISCOSIDADE CALCULADA, PARA THERMINOL® VP-1 VAPORIZADO

