

06/09

II SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

SALVADOR/BAHIA/BRASIL

26 a 29 de agosto de 1986

Associação Portuguesa de Recursos Hídricos - APRH

Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental - ABES

TÉCNICA DE VÁCUO VISANDO AO PROBLEMA ECOLÓGICO

- OLIVA, Vagner José - Deptº de Mecânica - FEG-UNESP
- PANNEITZ, Valdyr Alfredo - Deptº de Mecânica - FEG-UNESP

II SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

SALVADOR/BAHIA/BRASIL

26 a 29 de agosto de 1986

- "Técnica de Vácuo Visando ao Problema Ecológico"

- Tratamento de Resíduos Industriais (tema 2.2.6)

- Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita  
Filho" - UNESP.

Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá

- Av. Ariberto Pereira da Cunha, nº 333  
12500 - Guaratinguetá - S.P.

## RESUMO

A reação social é naturalmente grande quando aquilo que é feito pelos engenheiros tende a perturbar a ecologia, em virtude de afetar desfavoravelmente o bem estar humano. No entanto, o problema da poluição preocupa todos os ramos da engenharia e os autores, engenheiros que são, sugerem medidas a serem tomadas para evitar poluição ambiental decorrente da descarga de poluente na atmosfera e nos esgotos industriais. Tais medidas visam equipar uma bomba de vácuo de tal modo a se transformar em uma ecobomba que permitirá a condensação dos vapores de solventes. Visam ainda a escolha do melhor valor de vácuo empregado para alguns solventes mais usados em indústrias químicas.

# TÉCNICA DE VÁCUO VISANDO AO PROBLEMA ECOLÓGICO

POR

V.A.PANNEITZ, V.J.OLIVA

## 01. GENERALIDADES

Pode-se definir Poluição Ambiental como lançamentos ou presença nas águas, no ar e/ou solo, de matéria ou energia que podem danificar os usos, previamente definidos, destes recursos naturais.

Algumas indústrias reduzem os riscos de fabricação pela captação dos resíduos e lançamento na atmosfera comunal, onde eles podem se tornar em ameaça a toda a comunidade.

Dentro do espírito preventivo, visamos atacar a poluição nas suas origens, isto é, procurando evitar o aparecimento de despejos ou de resíduos industriais, sem prejudicar de maneira marcante ao processo econômico.

A técnica de vácuo é muito empregada em indústrias químicas e farmacêuticas, principalmente aplicada a produtos químicos orgânicos, já que mais de 500.000 produtos orgânicos diferentes já foram descobertos e identificados nos laboratórios de pesquisas. Os produtos orgânicos, fabricados em escala comercial podem ser contados às centenas e sua fabricação envolve problemas de ordem específica.

Uma bomba de vácuo que atendesse ou solucionasse os problemas ecológicos poderia simplesmente receber a denominação genérica de ECOBOMBA.

Nem sempre uma ECOBOMBA seria necessária ou possível de ser encontrada e, neste caso, os itens abaixo devem ser verificados ou estudados para que o processo seja favorável à ecologia:

- O sistema de condensação deve ser reexaminado.
- Deve ser escolhido o melhor vácuo para o processo; para testes de verificação

e obtenção do melhor vácuo, este deve ser regulado por etapas para pressões mais baixas.

- Verificar a perfeita vedação da aparelhagem.

Nosso trabalho visa especialmente dois aspectos:

- Especificação do trabalho de uma ecobomba.
- Especificação do melhor vácuo, visando à diminuição da perda de solventes e diminuição dos esgostos industriais.

## 02. INSTALAÇÕES À VÁCUO

A fig. 1 mostra o esquema de uma instalação à vácuo típica para trabalhos favoráveis à Ecologia. Consiste em um evaporador (misturador, destilador, secador), de um sistema de condensação, uma regulagem de pressão e uma bomba de vácuo.

O vácuo é usado inicialmente para poupar os produtos, isto é, para possibilitar a evaporação e condensação a baixas temperaturas. Em processos nos quais não há necessidade de poupar os produtos (por exemplo na água mãe, cujos resíduos são depois queimados), deve-se trabalhar com pressão normal.

Outros pontos que podem indicar o emprego de vácuo são:

- Quando o ponto de ebulição do produto não pode ser alcançado com a temperatura média de aquecimento do reator.
- Quando se deseja uma destilação rápida. Tem-se tempos de aquecimento mais curtos e uma diferença maior de temperatura,  $\Delta t$ , entre a camisa de aquecimento e o produto, isto é, o rendimento de evaporação aumenta.

Este último ponto especialmente permite um trabalho com pressões baixas.

Para um trabalho a vácuo, favorável sob ponto de vista ecológico, por um lado necessita-se um sistema de condensação funcionando perfeitamente; por outro, uma pressão de serviço com a qual o solvente possa condensar até o final.

Faz-se, portanto, necessária uma perfeita regulagem e perfeito controle do condensador e da bomba de vácuo.

### 03. SISTEMAS DE CONDENSAÇÃO

Quanto maior a temperatura do gás ou mistura de vapores - que escoam pela bomba, de acordo com a fig. 1 - tanto maior será a perda de solventes. Por este motivo, o condensado deve ser resfriado e o vácuo produzido na região mais fria do sistema de condensação.

A fig. 2 apresenta os tipos mais importantes de condensadores. No condensador de faixa tubular, com condensação na camisa de refrigeração, o condensado não é superaquecido, de modo que um segundo refrigerador de produto tenha que ser usado.

No trocador de calor de bloco de grafite, o produto pode ser condensado e superfundido ao mesmo tempo. É montado sobre reatores esmaltados e apresenta as mesmas características do condensador de serpentina espiral, onde o produto pode ser condensado e superfundido.

Para separação do destilado e dos gases que são aspirados pela bomba de vácuo, deve-se prever um separador. No caso do condensador de serpentina espiral, o próprio condensador é separador.

Ainda na fig. 2, em linha tracejada, temos simbolizado um condensador de gases posterior que deverá trabalhar com um meio refrigerante para temperaturas bastante baixas (salmoura, glicol, glicerina, água gelada). Esta montagem somente se justifica em poucos casos quando se confrontam as vantagens e desvantagens.

Como vantagens, temos:

- Redução de perda de solventes em 80 % (com pressões elevadas que serão indicadas posteriormente)
- Permite condensar os solventes no refrigerador de refrigeração posterior, com

baixa pressão e despejo nas águas do processo. Esta vantagem - que nos leva a trabalhar com pressões por demais baixas é, por conseguinte, também uma vantagem.

Como desvantagens, podemos apontar:

- Despesa elevada de investimento.
- Perigo de congelamento em misturas solvente-água.
- Despesas elevadas com energia.
- Perigo de ruptura para o condensador de saída dos gases e, conseqüentemente, novas perdas de solventes.

#### 04. REGULAGEM DE VÁCUO

O modo mais simples de se obter a regulagem e controle da faixa de trabalho é, conforme fig. 3, com AR FALSO, abre-se a válvula na sucção da bomba, de tal modo que se obtenha o vácuo desejado.

Deve-se tomar cuidado de não aspirar o "ar falso" antes do reator, pois este poderá se saturar de solventes, aumentando suas perdas.

#### 05. ESCOLHA DO MELHOR VÁCUO

Quanto mais baixa a pressão, isto é, quanto maior o vácuo, maior a perda de solvente. Por este motivo, o vácuo deve ser produzido da melhor maneira necessária e não tanto quanto possível. O vácuo deve ser especificado de tal modo que, de um lado a temperatura do produto não seja alta demais e, por outro, a temperatura de condensação não seja baixa demais.

De maneira alguma estas duas temperaturas serão iguais. A temperatura do produto é mais alta na sua temperatura de ebulição do que na de condensação.

Ensaio e testes devem fornecer a temperatura máxima permissível para o produto, relativamente ao aquecimento.

No processo de secagem, procedemos em dois estágios ou mais. Como pressão na primeira etapa, por conveniência, escolhemos a pressão manométrica do vapor do solvente na temperatura de 40°C, quando se condensa com água industrial. Ou regra geral, a uma temperatura de 20°C acima da temperatura de entrada do agente refrigerante e seca-se ao ponto do condensado apenas gotejar.

Esvazia-se então o recipiente do condensado e usa-se o melhor vácuo até o final da secagem.

Quando houver dois componentes no condensado - como por exemplo etanol/água - recomenda-se medir a pressão manométrica do vapor do condensado.

Deve-se evitar também a reevaporação do solvente por meio de repetidos esvaziamentos do recipiente do condensado.

A fig. 4 dá a pressão de vapor de alguns solventes mais usados e a figura 5 apresenta um exemplo de como determinar o melhor vácuo para a destilação.

Ao se efetuar o balanço de massa do solvente e ao se constatar sua perda, como verificar suas causas ? Como verificar se é devido a um mais sistema de condensação ou a um valor de vácuo demasiado alto ? As experiências por nós realizados indicaram que, se a saída dos gases estiver a uma temperatura alta, há um condensador em mau estado. Se a temperatura estiver por demais baixa, é sintoma de que o vácuo deveria ter um valor mais elevado.

## 06. VEDAÇÃO DA INSTALAÇÃO

Vazamento de ar e perdas de solventes estão estreitamente ligados entre si. Não se deve esperar cair por demais o rendimento das bombas de vácuo, devido a vazamento, verificamos os valores ideais máximos referentes a perdas e vazamentos. Para efetuar as medidas, evacua-se a instalação, fecha-se o conduto para a bomba e observa-se o aumento de pressão. O valor de 70 Torr/hora é razoável e tolerável, enquanto que 250 Torr/hora é o limite máximo admissível. Para valores superiores, deve-se localizar o vazamento.



## 07. BOMBAS ECOLÓGICAS OU ECOBOMBAS

A bomba ecológica ou ecobomba certamente não será o milagre a resolver todos os problemas ecológicos relativos às bombas de vácuo de anel líquido.

As experiências que realizamos, a fim de definir e especificar uma ecobomba ideal, seguiram, inicialmente, dois passos. De início, tentamos diminuir o consumo de água industrial e, finalmente, definir nossa bomba ecológica.

Não existe simplesmente uma ECOBOMBA. Qualquer bomba de vácuo pode ser equipada de tal modo a se transformar em uma bomba ecológica, ou seja, pode ser equipada de maneira a que os vapores de solventes aspirados possam ser condensados e adsorvidos. O principal problema das bombas de vácuo utilizadas atualmente, que na sua maioria são bombas de anel líquido e injetores de vapor vivo, consiste não apenas nas perdas de solventes, como também no grande consumo de água industrial e, conseqüentemente, na produção de grande quantidade de águas residuais ou servidas (esgoto).

Uma bomba de anel líquido normalmente necessita de cerca de 700 litros d'água/hora e um injetor de vapor vivo de cerca de 3.500 litros d'água/hora. Na fig. 6, esquematizamos nossas experiências, visando à diminuição das águas servidas ou de esgoto. Nas bombas de anel líquido e de jato d'água, a circulação emprega o próprio líquido já algo saturado de solventes adsorvidos. A aeração dispõe de um trocador de calor que provoca a condensação de gases de solvente que porventura não ficaram retidos na água de circulação. Ao chegar ao ponto de saturação o líquido de circulação é trocado no recipiente. Por sua vez, a energia da bomba é dissipada pelo líquido de refrigeração da bomba. No uso de várias bombas trabalhando num mesmo recinto, podemos utilizar ou não somente um reservatório de água de circulação.

No caso das bombas de jatos de vapor (gás), consegue-se a diminuição da quantidade das águas de esgoto pela condensação superficial em lugar da condensação de toda a mistura, do vapor propulsor para 4 % do seu volume.

Bombas que empregam óleo para a sua vedação e, conseqüentemente, não empregam água, não necessitam de instalação especial. Por vezes, é necessário, conforme mostrado nos esquemas da fig. 6, a instalação de um refrigerador na tubulação da saída dos gases para a aeração. Este refrigerador deve funcionar como agente refrigerante no lugar da água para provocar a condensação dos gases.

Nas primeiras experiências que realizamos, verificou-se que este refrigerador na aeração reduz as perdas de solvente em apenas 1,5 %, não sendo com<sub>u</sub> pensado o seu emprego nas experiências subseqüentes.

A fig. 6 mostra o esquema de uma bomba ecológica com todos os equipamentos e instrumentos que usamos nas experiências. Essencialmente, trata-se de um recipiente de 100 litros que recircula a água para a bomba de vácuo de anel líquido. Somente os gases não condensados e absorvidos pelo tanque de 100 litros são liberados para a atmosfera. As águas de recirculação são continuamente analisadas e destruídas somente quando saturadas de solvente.

A fim de aumentar a eficiência da bomba de vácuo, colocamos um ejetor de gases. A válvula com bóia permite recompletar o recipiente de 100 litros após eventuais perdas.

Os gases succionados pela bomba de vácuo são escoados com a água para dentro do recipiente, após passar por um trocador de calor do tipo placas de  $2 \text{ m}^2$ .

Outro item levado em conta em nossas primeiras experiências foi o emprego de gás inerte (nitrogênio) nos reatores, secadores e destiladores, o que aumenta também a eficiência da solução para os problemas ecológicos. Este assunto, porém, é tema para outro trabalho, já que antes de se aplicar o vácuo, os recipientes devem ser inertizados. Isto é feito de modo a que o vácuo seja regulado para 300 Torr e, em seguida, deixa-se escoar nitrogênio.

As bombas empregadas, de fabricação SULZER podem ser reguladas para obter o vácuo de 200 Torr em 10 minutos. De modo geral, para um reator de 4.000

litros, e volume total da instalação de  $10 \text{ m}^3$ , necessita-se uma bomba de vácuo com desempenho de aspiração de no mínimo  $100 \text{ m}^3/\text{hora}$ .

Outro modelo prático e simple - empregado em nossas experiências para absorver o ar das bombas de vácuo, é mostrado em detalhes na fig. 8.

#### 08. ECOGRAMAS DE DESTILAÇÃO

As figuras 9 e 10 mostram as condições de ensaio, bem como os ecogramas obtidos com os testes realizados com bomba de vácuo SULZER.

Para a fig. 9 os solventes empregados foram clorofórmio, etanol e toluol nas condições de ensaio assinalados e verifica-se que as perdas foram desprezíveis. Estes testes foram realizados, empregando-se uma bomba ecológica conforme o modelo descrito na fig. 7.

Na fig. 10, o solvente usado foi o álcool etílico a 65 % e nas condições de trabalho assinaladas na figura. Novamente os resultados foram considerados satisfatórios, porquanto os resultados normais anteriores apresentavam perdas de solventes entre 12 e 15 %.

Os resultados obtidos são apresentados sob a forma de triângulos a fim de proporcionar uma melhor visão do desempenho dos testes.

#### 09. EXEMPLO PRÁTICO

Desejamos concentrar uma água mãe com toluol como solvente a 10 % até uma concentração de 50 %. Sabemos que a temperatura de  $60^\circ\text{C}$  não deve ser ultrapassada. Sabe-se igualmente, que - até uma concentração de 60 %, pode-se esperar uma elevação do ponto de ebulição de cerca de  $20^\circ\text{C}$  por 10 % de aumento na concentração.

Em nosso caso, isto significa que a água mãe entra em ebulição a  $60^\circ\text{C}$  e que o solvente condensará a  $5 \times 2 = 10^\circ\text{C}$ , inferiores a  $60^\circ\text{C}$ , ou seja,  $50^\circ\text{C}$ . Nesta temperatura, o líquido refrigerante poderá ser a água industrial a tempe-

ratura ambiente.

Da tabela da fig. 5, que apresenta a curva de pressão de vapor para o toluol, tiramos o valor da pressão correspondente a 50°C e encontramos o valor teórico de 95 Torr.

Nossas experiências nos levaram à confecção, igualmente, da tabela 1, que apresenta valores a serem seguidos na destilação de solventes. A pressão manométrica do vapor de alguns solventes é apresentada na fig. 4.

A tabela 1 apresenta, portanto, valores limites de pressão que não deverão ser ultrapassados em hipótese alguma, sob pena de se aumentar a perda de solventes.

Os valores tabelados são válidos para solventes puros e a temperatura interna dos reatores sobe 2°C/10 % de aumento na concentração dos componentes, o que deve ser observado para a terceira coluna da Tabela.

## 10. CONCLUSÃO

O presente trabalho visou modestamente apresentar subsídios no sentido de evitar a poluição ecológica quando do emprego de bombas de vácuo aplicado à extração de solventes. Para tanto foi sugerida a adaptação de um tanque especial de recirculação e o emprego, não de vácuo máximo, mas do valor ideal, tabelado para cada solvente testado.

O problema da poluição preocupa por demais todos os ramos da engenharia. Os conceitos tradicionais sobre as dimensões e responsabilidades da engenharia acham-se em franca revisão em todo o mundo, em parte por causa da evolução interna da profissão mas, sobretudo, porque a sociedade humana vê com olhos muito mais críticos que antes aquilo que fazem os profissionais que devem servi-la. A reação social é particularmente intensa quando o que é feito pelos profissionais tende a perturbar muito a ecologia, com efeitos imediatos incidindo desfavoravelmente sobre o bem estar humano. É necessário reconhecer que a rea-

ção é muito menor quando se perturba apenas a ecologia animal ou vegetal e não a humana, ou quando os efeitos mais sensíveis somente são previstos para as gerações futuras. Em honra aos engenheiros é necessário dizer que bom número dentre eles demonstra uma séria preocupação por esses efeitos de grande alcance; os engenheiros estão transformando e alterando as dimensões de sua profissão.

TABELA 1 - VALORES SUGERIDOS DA PRESSÃO NA DESTILAÇÃO A VÁCUO

Solvente	Valor da Pressão (Torr)	Temperatura Interna (°C)	Temperatura da Camisa (°C)	Desempenho (ℓ/h)	Ponto de Ebulição da Água (°C)
Acetona	430	42	55 - 65	500 - 750	85
Clorofórmio	410	45	60 - 70	500 - 750	84
Metanol	280	43	60 - 70	300 - 450	75
Etanol	160	43	60 - 70	400 - 600	62
Isopropanol	130	46	65 - 75	600 - 900	56
Toluol	95	50	70 - 85	1100 - 1600	49
Dimetilformamida	50	73	110 - 125	650 - 1000	37
Água	100	52	70 - 85	200 - 300	52

- Testes realizados em rator de 2500 ℓ/h de aço inoxidável.

#### REFERÊNCIAS

- Apostila do Curso sobre Poluição do Ar e da Água - publicada pelo Instituto Brasileiro do Petróleo.
- Catálogo da OMEL S.A. - Indústria e Comércio.
- Catálogo da SULZER do Brasil S.A.
- Chemical Engineers' Handbook - John Perry

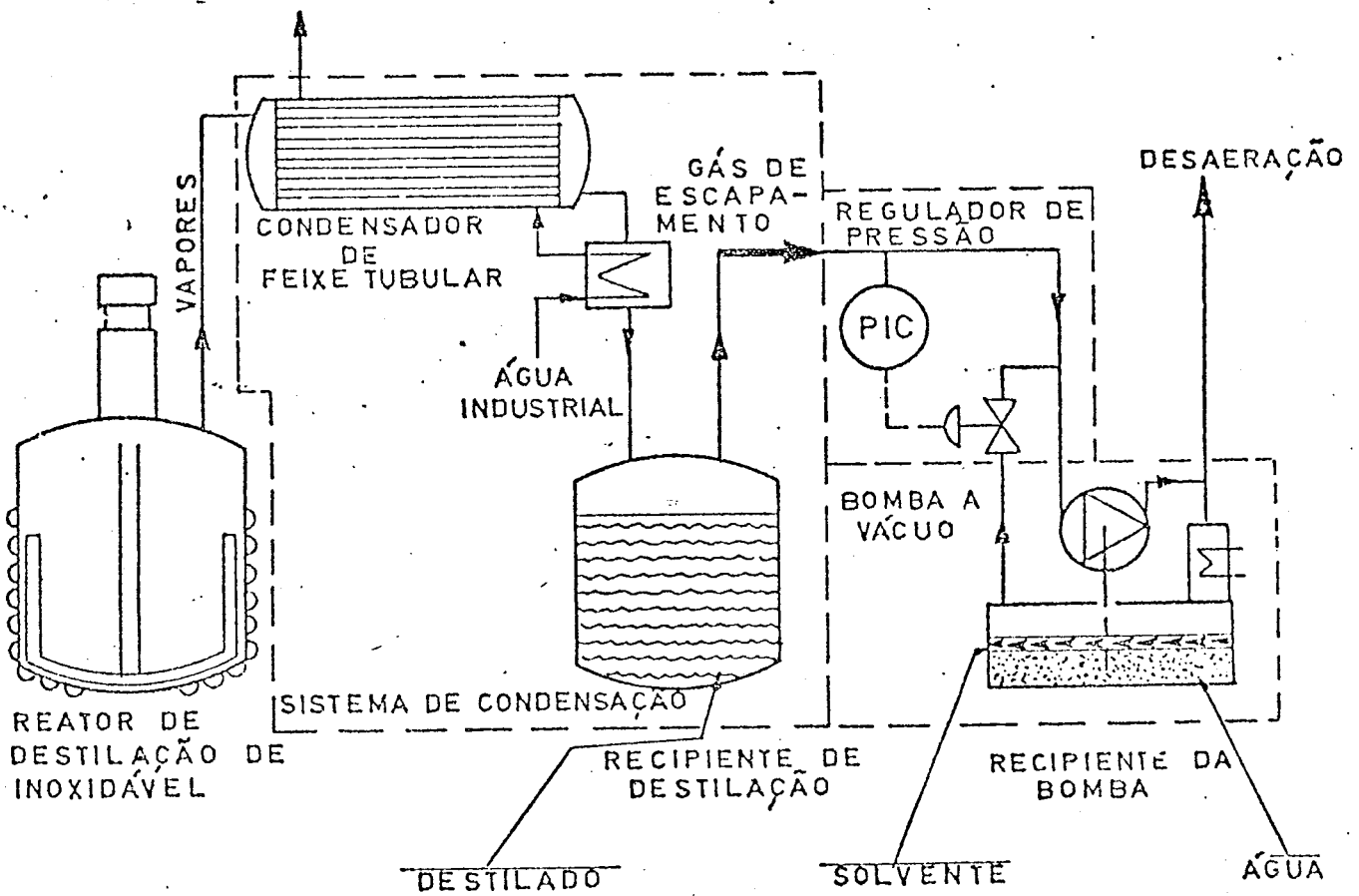
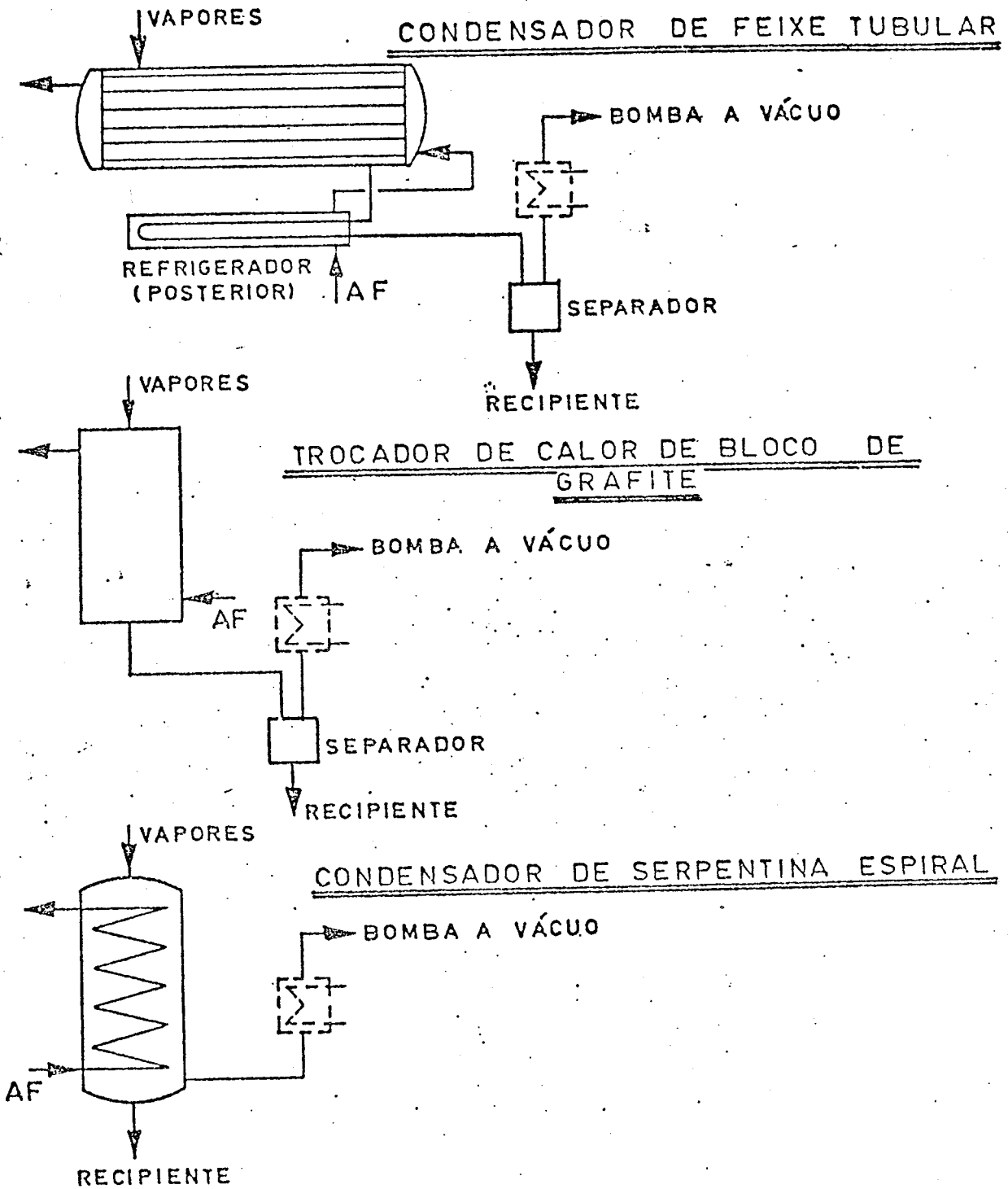


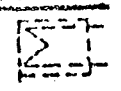
FIGURA 1 — ESQUEMA DE UMA INSTALAÇÃO DE VÁCUO TÍPICA

CONDENSADORES E DIMINUIÇÃO DO VÁCUO



IMPORTANTE: O VÁCUO DEVE SER REMOVIDO (OU REDUZIDO) NA PARTE MAIS FRIA.  
 GÁS E CONDENSADO DEVEM PODER SE SEPARAR.

LEGENDA:



EVENTUAL REFRIGERADOR (POSTERIOR) COM TEMPERATURA MAIS BAIXA.

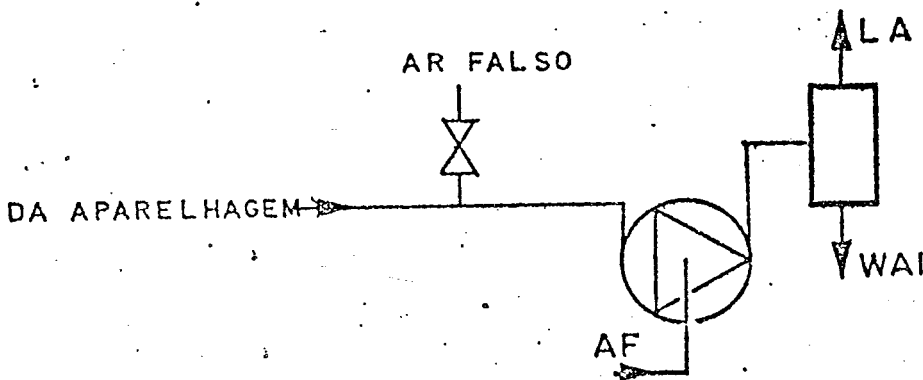
AF : ÁGUA DE REFRIGERAÇÃO

REGULAGEM DE VÁCUO MANUAL OU AUTOMÁTICO

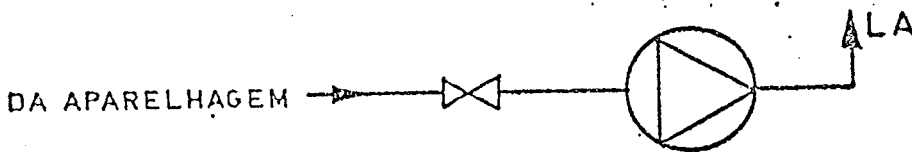
BOMBA DE ANEL LÍQUIDO :

BOMBA DE JATO DE ÁGUA :

COM AR FALSO



BOMBA DE REGISTRO ROTATIVO: ESTRANGULAMENTO



BOMBA DE JATO DE GÁS

REGULAGEM CONFORME MONTAGEM



**FIGURA 4**  
**CURVAS DE PRESSÃO DE VAPOR PARA ALGUNS**  
**SOLVENTES**

**TEMPERATURA EM FUNÇÃO DA PRESSÃO DE VAPOR**

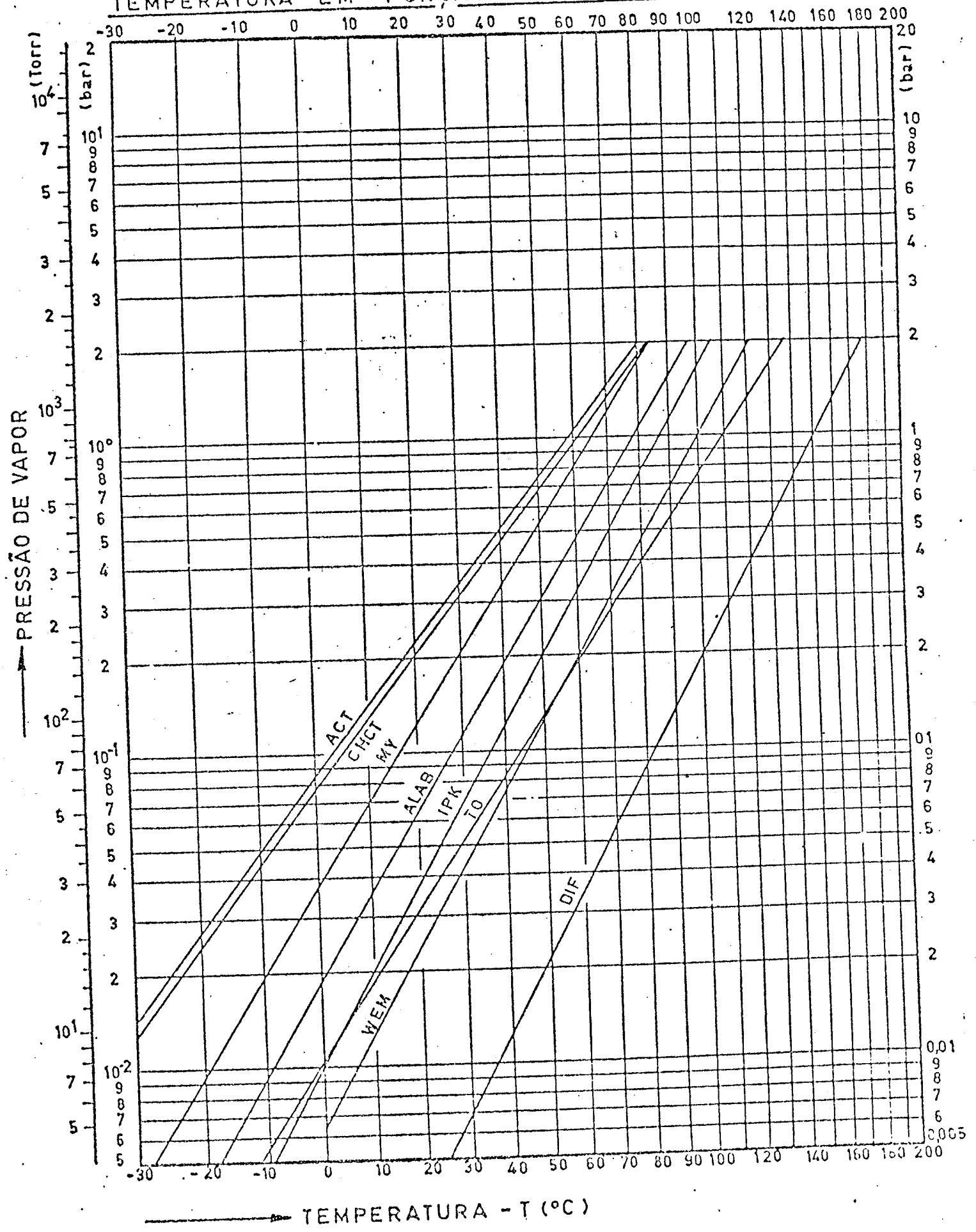
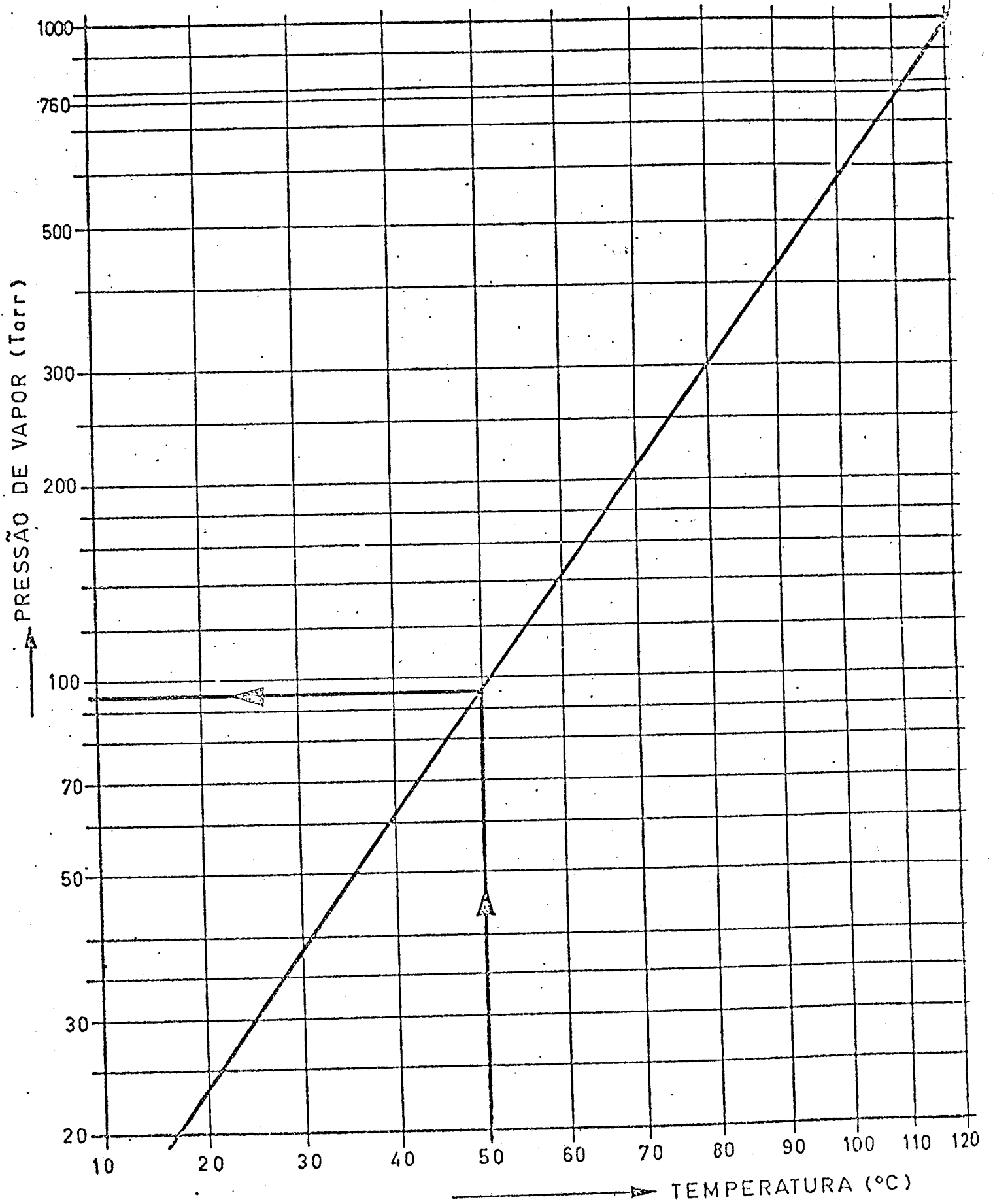
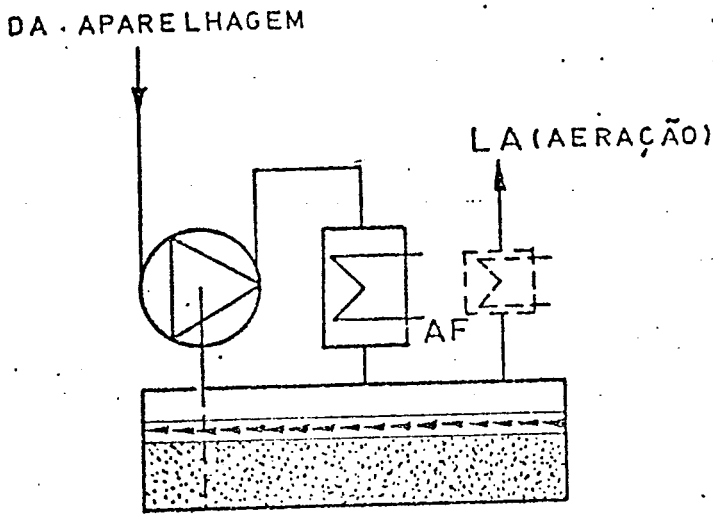


FIGURA 5  
CURVA DE PRESSÃO DE VAPOR PARA TOLUOL

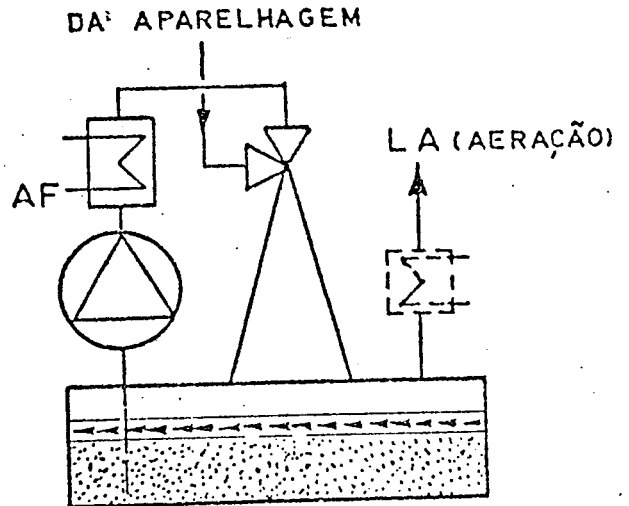


EQUIPAMENTO DE BOMBAS DE VÁCUO PARA ECONOMIA DE WAI (ÁGUA INDUSTRIAL) 16

BOMBA DE ANEL LÍQUIDO



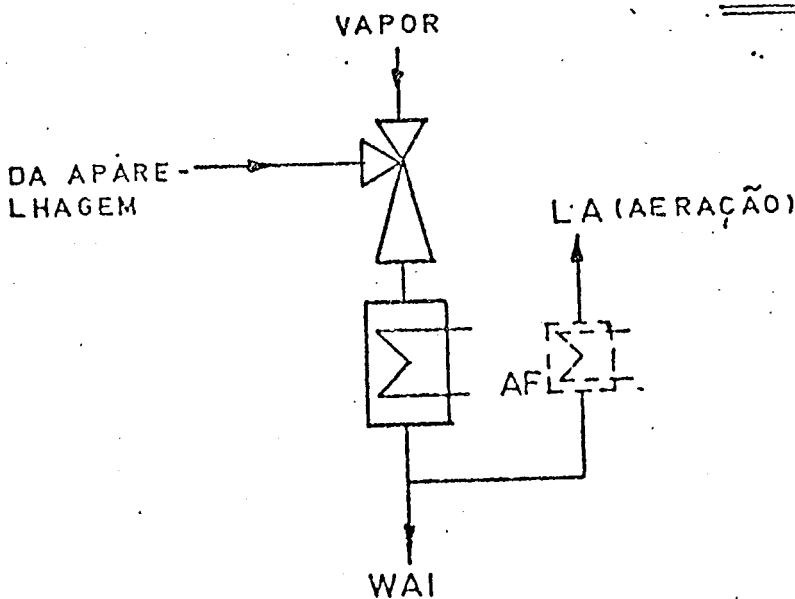
BOMBA DE JATO DE ÁGUA



SISTEMA DE CIRCULAÇÃO DO LÍQUIDO (1 OU MAIS BOMBAS)

BOMBA DE JATO DE GÁS

BOMBA DE REGISTRO GIRATÓRIO  
BOMBA DE REGISTRO DE BLOQUEIO

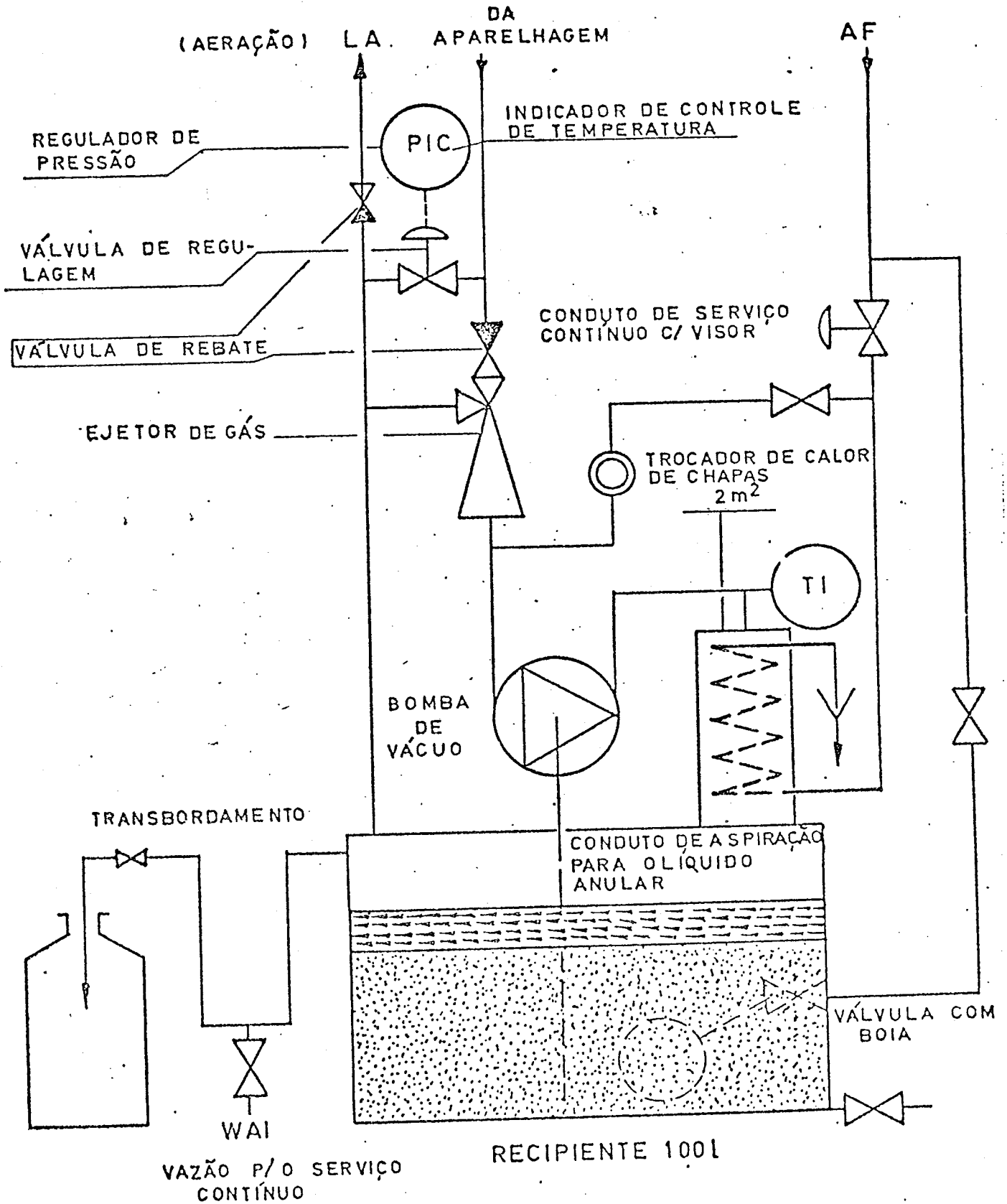


NÃO NECESSITA DE ÁGUA

CONDENSAÇÃO DA SUPERFÍCIE DO GAS DE ACIONAMENTO

OBSERVAÇÃO: AF = ÁGUA DE REFRIGERAÇÃO  
WAI = ÁGUAS RESIDUAIS

ESQUEMA DE BOMBA ECOLÓGICA



ESPAÇO NECESSÁRIO: 600 x 800 mm SUPERFÍCIE  
1500 mm ALTURA

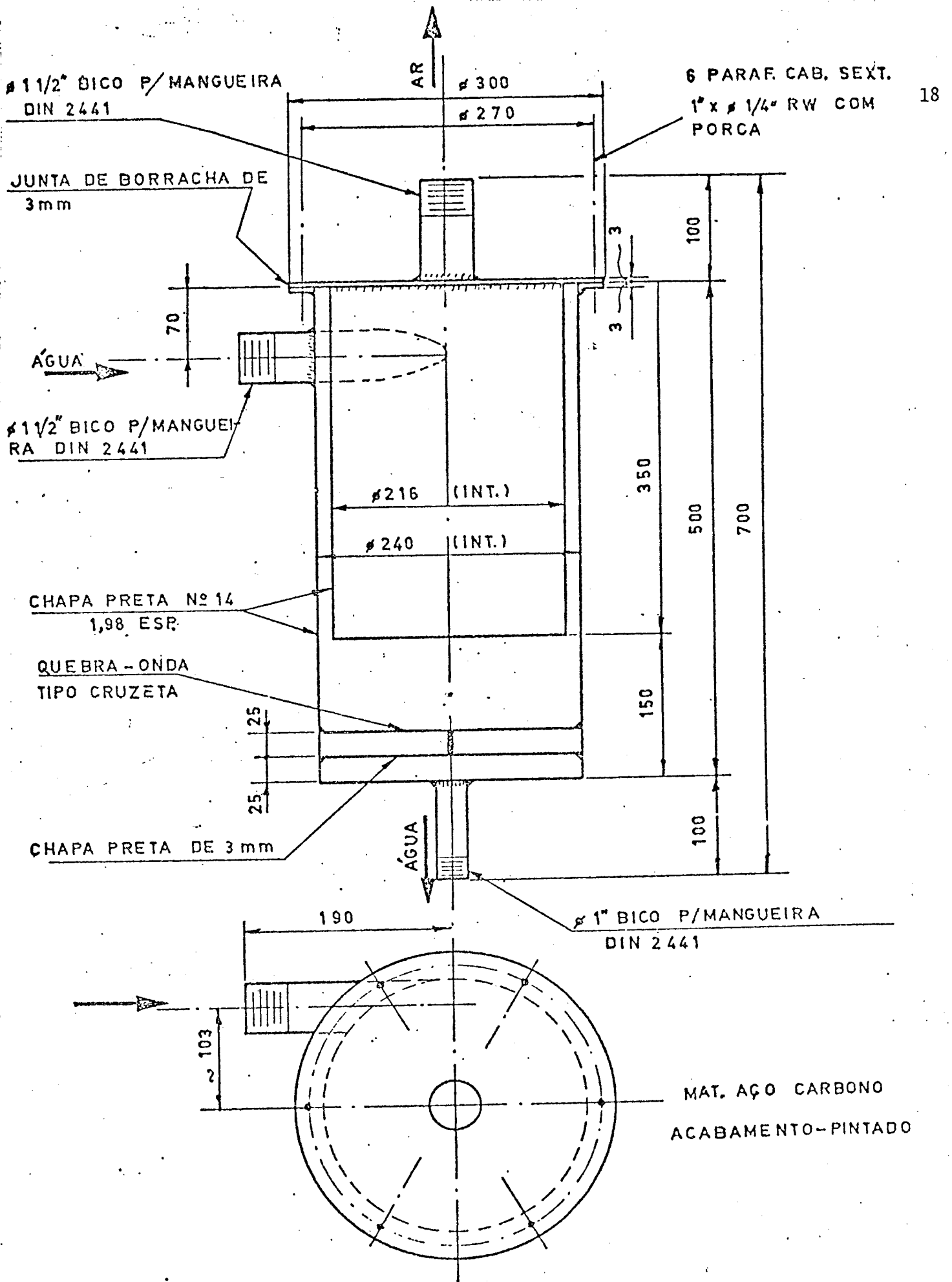
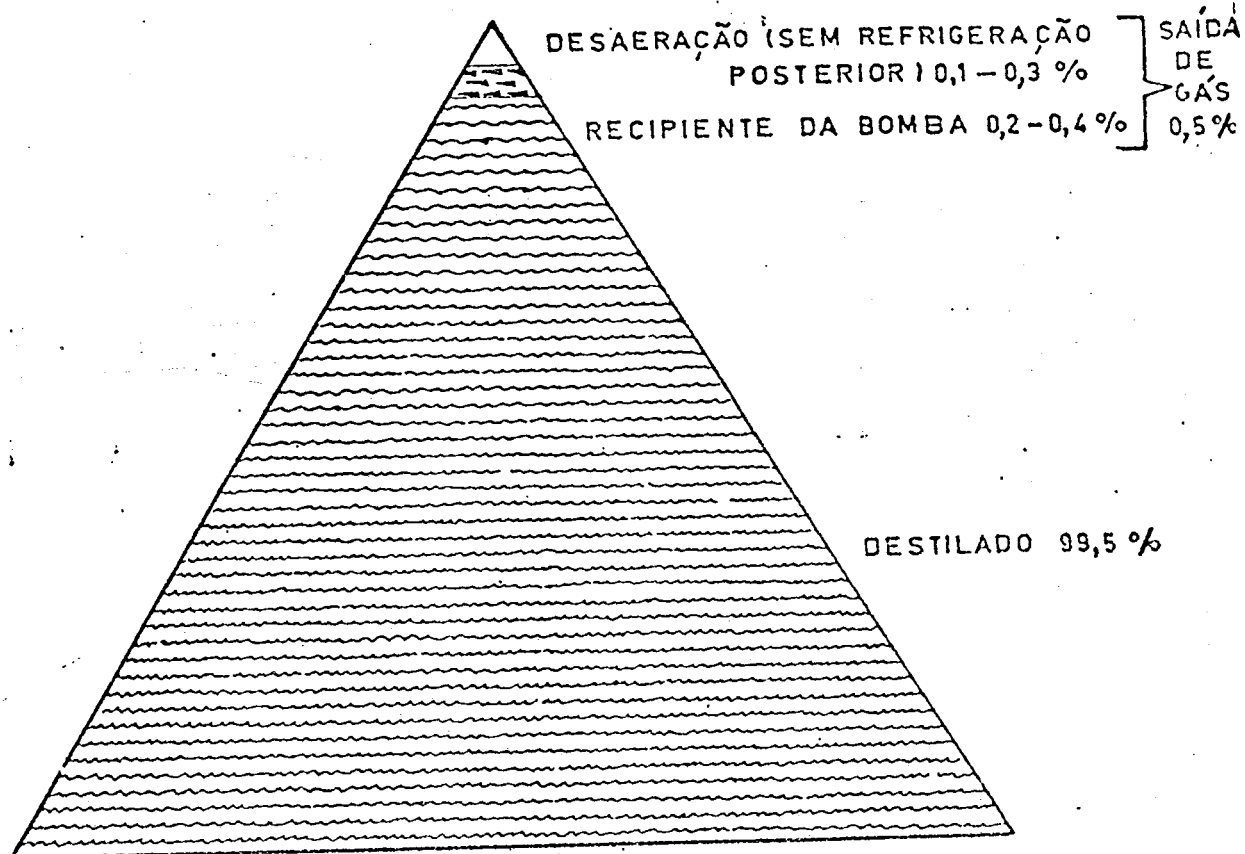


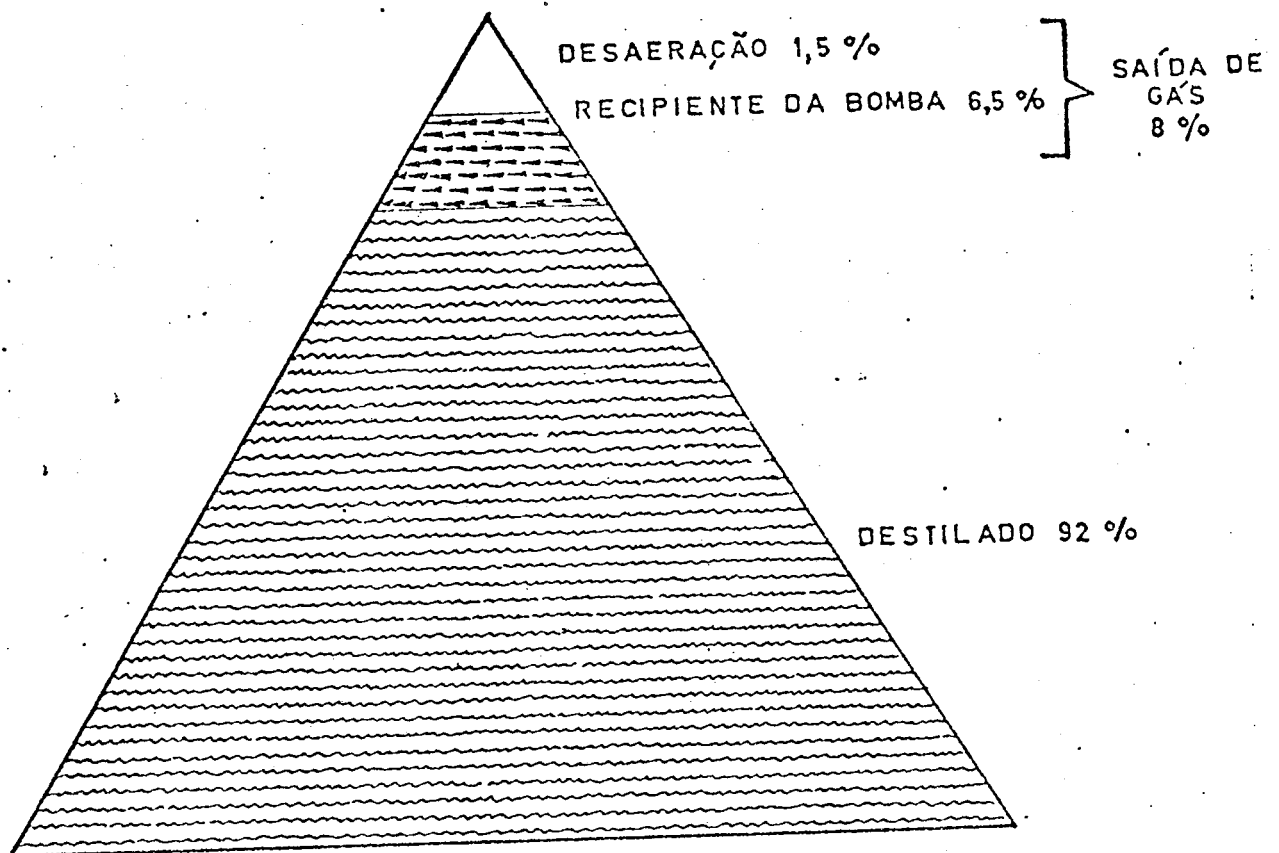
FIGURA 8 - SEPARADOR DE AR PARA BOMBA DE VÁCUO  
 "SULZER" MOD. LP-12-4

RESULTADOS DE ENSAIOS: ECOGRAMA DE DESTILAÇÃO



CONDIÇÕES DE ENSAIO

SOLVENTE	TEMPERATURA DE EBULIÇÃO °C	PRESSÃO DA DESTILAÇÃO Torr	DESEMPENHO DE EVAPORAÇÃO Kg/h
CLOROFÓRMIO	39	320	800
ETANOL	47	160	250
TOLUOL	50	90	260

RESULTADOS DE ENSAIOS : ECOGRAMA DE SECAGEMCONDIÇÕES DE ENSAIO

SOLVENTE: ETANOL 65 %

VÁCUO: 3 HORAS 130 Torr (40 Kg CONDENSADO/h)  
10 HORAS 40 Torr (5 Kg CONDENSADO/h)

TEMPERATURA VAPOR: 40 - 50 °C