

Sys 2128593

322/01

ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
PROJETO MECÂNICO

DIMENSIONAMENTO DO TRANSPORTE DE
CALOR E MASSA DO
POLIMERO POLIESTER
FUNDIDO

AUTOR: CARLOS THOMSEM JUNIOR

PROF. ORIENTADOR: DR. HILDO PERA

1982

I - AGRADECIMENTOS

Agradeço à Rhodia Indústrias Químicas e Têxteis S.A. a oportunidade de desenvolvimento profissional e pessoal que me proporcionou durante o estágio, permitindo inclusive que eu utilizasse seu computador neste trabalho.

Agradeço particularmente ao Dr. Ronald Krauss - pelas orientações, pois tenho consciência que sem sua ajuda o trabalho não teria atingido a profundidade que obteve.

Finalmente, não posso me esquecer das orientações e sugestões do Prof. Dr. Hildo Pera e do Eng. Oswaldo de Oliveira Filho.

II - OFERECIMENTO

Ofereço este trabalho ao meu pai, exemplo para mim de homem e profissional, e para minha mãe, pela paciência e dedicação com que tem cuidado de mim até hoje.

ÍNDICE

Pág.

I	- Agradecimentos	
II	- Oferecimento	
1	- Sumário.....	2
2	- Título e Características do Trabalho	3
3	- Políester	4
4	- Síntese do Polímero	4
5	- Comportamento do Políester	5
6	- Comprovação da Necessidade do Projeto e Soluções Possíveis	6
7	- Formulação Técnica do Problema.....	7
8	- Encaminhamento da Solução e Exequibilidade Física	7
8.1	- Degradação	8
8.2	- Reações de Degradação	8
8.3	- Configuração da Solução	9
9	- Projeto Básico	11
9.1	- Escolha da Melhor Solução	11
9.2	- Definição da Solução	11
9.2.1	- Cálculo do Diâmetro Ótimo	11
9.2.2	- Cálculo da Espessura do Tubo de Polímero	25
9.2.3	- Tubo Externo do Duplo Envelope	31
9.2.4	- Análise de Flexibilidade.....	33
9.2.5	- Isolamento Térmico	36
9.2.6	- Seleção da Bomba de Massa e seu Acionamento.....	37

	Pág.
10 - Considerações Finais	39
11 - Bibliografia.....	40
12 - Apêndice 1: Listagem e Descrição do Programa para Cálculo do Diâmetro Ótimo da Instala- ção.....	42
13 - Apêndice 2: Instruções para Operação do Programa para Análise de Flexibilidade.....	46
14 - Apêndice 3: Listagem e Instalações para Operação do Programa para Cálculo de Espessura Econômica de Isolamento Térmico.....	53
15 - Apêndice 4: Simbologia e Unidades.....	54

1. Sumário

O trabalho engloba-se no projeto de uma máquina de fiação para fio Poliéster e visa especificamente o dimensionamento de uma linha (com seus respectivos acessórios) para o transporte de polímero fundido desde a saída da extrusora até as fieiras.

O projeto prevê uma retroalimentação dos dados - gerados pois segue a seguinte evolução:

- a) Admite-se um certo percurso que o polímero fundido deva percorrer entre os pontos mencionados.
- b) Para esse percurso, calcula-se qual o raio do tubo que propicia a menor degradação do polímero.
- c) Calcula-se a espessura do tubo para suportar a pressão de operação.
- d) Calcula-se o diâmetro e espessura do tubo externo do duplo envelope.
- c) Faz-se uma análise de flexibilidade do conjunto e se a disposição adotada não for satisfatória, acrescentam-se mais liras ao circuito, mudando assim o comprimento dos tubos e retornando ao ponto b).

2. Título e Características do Trabalho

A escolha de um assunto tão específico resultou da vontade de associar um problema eminentemente prático com as disciplinas da escola. A natureza do assunto envolve várias cadeiras (como Mecânica dos Fluidos, Transmissão de Calor, Resistência dos Materiais, Tecnologia Mecânica, etc.), algumas vezes com profundidade como é o caso do Escoamento de Fluidos Não Newtonianos.

O trabalho segue as fases do projeto de Engenharia e não é inovador, mas sim evolutivo, devido à vários fatores:

- . Econômico:- tentar uma solução completamente nova, exigiria a construção de um protótipo para testes em laboratório antes de colocar o equipamento em operação. Isso encareceria o produto final, podendo até inviabilizá-lo sob o aspecto de investimento disponível.
- . Tempo :- o desenvolvimento de uma nova solução, nos moldes em que foi descrita no item anterior, leva tempo, o que é um fator crucial sob o ponto de vista de cronograma e custo.
- . Resistência à Implantação:- toda solução nova encontra uma certa resistência à sua aceitação, pois obriga as pessoas a lidarem com algo desconhecido.
- . Tecnologia:-a tecnologia na área de Fluidos Não-Newtonianos é privilégio de poucas pessoas, que nem sempre transferem seus conhecimentos para literatura, ou quando o fazem, esta é de pequena divulgação.
- . Necessidade de Adaptação:- a solução nova exige adaptações na máquina, o que não ocorre com o tipo de solução ora existente, uma vez que a máquina já está preparada para recebê-la.

3. Poliéster

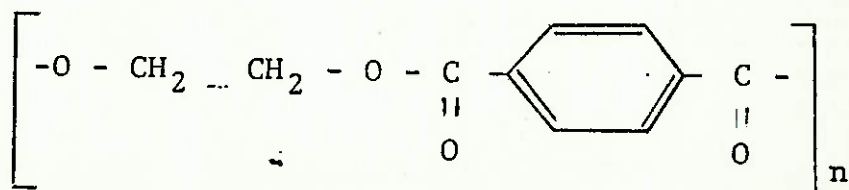
Carothers, o químico americano inventor do Nylon, estudou em 1930 largo campo das poliamidas e poliésteres. Os inúmeros poliésteres que ele estudou apresentaram duas vantagens: eram suscetíveis à hidrólise, o que danificava as fibras na lavagem, e tinham um ponto de fusão muito baixo, o que impossibilitava passá-los a ferro.

Em 1940, a partir das pesquisas de Carothers, dois químicos ingleses, Whinfield e Dickson, descobriram um poliéster com uma excelente resistência à hidrólise e um alto ponto de fusão.

Um estudo completo mostrou que esse poliéster, quimicamente conhecido como tereftalato de polietileno, tinha uma gama de outras propriedades que poderiam colocá-lo entre as fibras mais importantes do século.

4. Síntese do Polímero

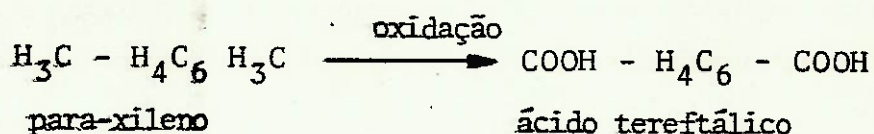
O polímero é uma molécula de cadeia grande, que se pode conceber como resultado da disposição consecutiva em fila de um certo número de elementos constituintes com a fórmula seguinte:



O Polímero é feito pela poliesterificação em cadeia de um diácido (ácido tereftálico) em um diol (etileno glicol).

O etileno glicol ou glicol, tem sido industrializado já há bastante tempo, pois é usado como principal componente de uma mistura anti-congelante para radiadores de automóveis.

O ácido tereftálico é produzido especialmente para a síntese do polímero. Há várias maneiras de prepará-lo, já que a matéria prima geralmente usada é o hidrocarbono paraxileno, que pode ser fornecido em grandes quantidades pela indústria do petróleo. Ele é oxidado em um diácido.



O ácido tereftálico deve ser cuidadosamente purificado antes de ser convertido em poliéster e por essa razão é geralmente convertido sob a ação do álcool metil em seus diésteres: dimetil-tereftalato.

Como o ácido tereftálico, esse produto reage com o etileno glicol e forma o polímero por policondensação.

O peso molecular do polímero gira em torno de 15.000.

5. Comportamento do Poliéster

O Poliéster, na forma que se apresenta no presente trabalho, isto é, fundido em torno de 300°C, comporta-se como um fluido não Newtoniano, isto é, não apresenta proporcionalidade entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deslizamento. Engloba-se ainda no grupo dos pseudo-plásticos, que apresentam um decréscimo de viscosidade com o aumento da taxa de deslizamento.

Existem várias expressões que descrevem o comportamento dos pseudo-plásticos, apesar de não serem universalmente aplicáveis.

Neste trabalho será adotado o modelo de Ostwald-de Waele - Nutting:

$$\tau = K \dot{\gamma}^n \quad (1)$$

Ele envolve apenas 2 parâmetros reológicos: o índice de consistência "K" e o índice de comportamento de fluxo - "n". Esses parâmetros são o número mínimo necessário para descrever o escoamento não Newtoniano.

Note que o fluido Newtoniano pode ser considerado um caso especial no qual $n = 1$ e K é viscosidade.

Para o trabalho será adotado $K = 3000$ e $n = 0,8$.

6. Comprovação da Necessidade do Projeto e Soluções Possíveis

Estudos de mercado revelaram que existe uma demanda do produto fio Poliéster que não é totalmente satisfeita - pelos produtores. De forma a suprir o mercado como também conquistar novos mercados, torna-se necessário aumentar a produção de fio, o que pode ser conseguido por pelo menos duas - maneiras:

- . aumentar o número de máquinas de fiação
- . aumentar a capacidade das máquinas existentes.

O investimento necessário para a primeira solução, não é compatível com a defasagem de demanda e produção existente, pois essa última não é suficiente para amortizar o investimento num tempo conveniente.

Partir para a segunda solução (aumento da capacidade produtiva da máquina), é a maneira que apresenta um custo de oportunidade mais satisfatório, com um tempo de retorno compatível com as diretrizes da empresa.

Uma vez adotada a segunda solução, percebe-se que se aumentarmos a vazão em massa das fieiras, haverá um aumento na perda de carga do circuito de transporte de polímero,

o que nos obriga a elevar a pressão do mesmo para vencer a nova perda de carga. Uma análise estrutural do circuito existente, revelou que o mesmo não suportaria o novo nível de pressões sendo necessário redimensioná-lo.

7. Formulação Técnica do Problema

Antes da formulação do problema em termos numéricos, gostaria de esclarecer que a finalidade do presente trabalho é fornecer um roteiro de cálculo para o dimensionamento de uma linha de transporte de um fluido não-Newtoniano. Dessa forma, o valor das variáveis de processo envolvidas, têm a ordem de grandeza dos números usados nos processos industriais. Os valores exatos variam de indústria para indústria e pesquisá-los, não é finalidade deste estudo.

Isto posto, o problema pode ser descrito do seguinte modo:

Deve-se determinar o diâmetro de uma linha para transporte de polímero fundido, entre a saída da extrusora e as ffeiras, de forma que por ela escoe 40 ± 2 g/s de fluido a $300 \pm 5^\circ\text{C}$, sem que haja pontos de estagnação e de forma que a degradação do produto seja mínima. (veja adiante comentário sobre degradação). A pressão na saída da extrusora deve ser limitada em 50 bar e na entrada das bombas de título em 30 bar. A posição dos elementos é mostrada no item 9 Projeto Básico.

Deve-se prever um filtro com perda de carga igual a 15 bar e volume útil igual a 2940 cm^3 .

8. Encaminhamento da Solução e Exequibilidade Física

Para encaminhar corretamente a solução, é necessário ter em mente o conceito de degradação e reconhecer sua importância na qualidade do produto.

8.1 - Degradação

A degradação está relacionada com a formação de radicais COOH que se formam durante a policondensação e quebram a cadeia do polímero, diminuindo seu tamanho.

Esse fenômeno é dependente basicamente de 2 variáveis: temperatura do fluido e tempo de permanência do fluido - no circuito a essa temperatura.

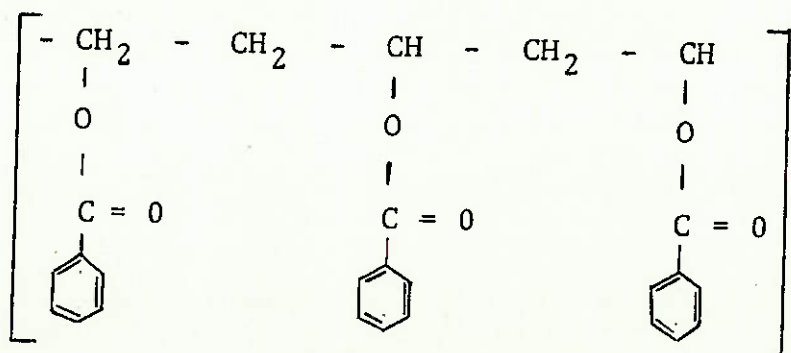
8.2 - Reações de Degradação

A reação de degradação térmica ou térmica oxidante do poliéster, é uma reação concorrente e simultânea da policondensação. É uma cisão de macromoléculas em 2 frações de massa moleculares mais baixas (despolimerização).

Admite-se que ao nível da cisão apareçam 2 novos - grupamentos terminais:

- um grupamento - COOH
- um grupamento vinílico transitório.

Este último chega a uma ponta de cadeia não reativa (limitadora de cadeia). Os grupos terminais vinílicos tendem a polimerizar formando gel vinílico,



Gel vinílico

As partículas de Gel que venham a ser arrastadas pelo polímero poliéster são mais prejudiciais que as partículas carbonizadas por uma pirólise intensa. Essas últimas são

sólidas e podem ser retidas por filtros de fieira, enquanto que o gel extremamente plástico atravessa qualquer filtro e só se manifesta como ponto fraco e quebra no fio.

Admite-se ao mecanismo das reações de degradação um efeito autocatalítico, isto é, quanto mais um polímero é degradado, mais a sua degradação posterior é rápida.

Durante muito tempo considerou-se que este efeito autocatalítico era imputado aos grupamentos terminais COOH que apareciam durante a degradação.

Parece que na realidade o fenômeno é mais complexo. É necessário distinguir os grupamentos terminais COOH que aparecem por degradação daqueles que estão presentes no poliéster por esterificação incompleta do ácido tereftálico. Estes últimos não são certamente catalizadores de degradação.

A aparição dos COOH de degradação, não tem nenhuma consequência sobre a degradabilidade do poliéster, mas eles constituem um reflexo mensurável da aparição de outros grupamentos (estes não dosáveis) responsáveis do mecanismo autocatalítico da degradação.

8.3 - Configuração da Solução

É conveniente que os dutos tenham a seção circular, devido a pelo menos 3 fatores:

- Essa geometria diminui os eventuais pontos de estagnação do fluido;
- O tubo é um elemento que se encontra com facilidade no mercado, com preços vantajosos, em vários materiais e com prazos de entrega pequenos;
- Há maior facilidade de adaptação do tubo nos equipamentos (bomba, filtro, etc.).

Para determinar o diâmetro ótimo do tubo, poderíamos escolher vários critérios, como por exemplo: mínima perda

de carga, menor custo da instalação, etc; entretanto, o critério preponderante é o da mínima degradação, devido à sua importância no processo, refletindo na qualidade final do produto.

Convém lembrar da necessidade da inclusão de um filtro para separar as eventuais impurezas que, como o gel formado na degradação, também se refletem como pontos fracos e quebra do fio.

É também importante que se tenha uma pressão mínima na entrada das fieiras. Dessa forma, quem fornece essa pressão, bem como a pressão para o fluido vencer as perdas de carga do circuito é a extrusora, que não é um elemento adequado para essa finalidade. Devido ao seu baixo rendimento, gera muito calor nessa operação, aumentando consideravelmente a degradação, além de exigir um grupo hidráulico de grande potência. Para eliminar esses problemas é aconselhável colocar-se uma bomba antes do filtro. A bomba e seu acionamento serão determinados por duas imposições do processo:

- pressão na saída da extrusora;
- pressão de alimentação das bombas de título.

É também importante providenciar em vários trechos da tubulação a inclusão de misturadores estáticos para homogeneização do fluxo e melhoria na transmissão de calor, uma vez que o polímero tem uma baixa condutividade térmica.

Devido à sua pequena divulgação será interessante ver rapidamente o princípio de operação do misturador estático ou STATIC MIXER que se encontra no sub-ítem Definição da Solução do ítem Projeto Básico.

É imprescindível que a instalação tenha um sistema de aquecimento, que deve entrar em operação antes do lançamento da mesma pois, caso contrário, o polímero se solidificaria antes de chegar às fieiras e formaria uma "rolha" que comprometeria a integridade física do conjunto.

Atualmente, a energia elétrica não é suficientemente barata para se optar por uma bateria de resistências elétricas em detrimento de um sistema que opere com óleo combustí-

vel. Dessa forma, é interessante usar uma tubulação tipo duplo envelope ou encamisada.

A temperatura de operação da instalação (em torno - de 300°C), desaconselha o emprego de vapor de água no lado externo do duplo envelope, devido à pressão do vapor. Nesse caso é indicado o uso de um fluido calorit $\acute{e}$ rmico, que possibilita - altas temperaturas com baixas pressões.

É bastante interessante sob o ponto de vista econô- mico que se calorífugue a instalação para a segurança e econo- mia de energia da mesma. Deve-se usar um isolante incombustí- vel e com espessura tal que possibilite um retô $\acute{r}$ no do investi- mento em um tempo compatível (por exemplo, até 1 ano).

9. Projeto Básico

9.1 - Escolha da melhor solução

Do estudo de viabilidade, tem-se praticamente carac- terizada a melhor solução devido:

- manutenção e operação idênticas à da solução já existente
- menor custo
- maior confiança.

9.2 - Definição da Solução

9.2.1 - Cálculo do diâmetro ótimo

Como já foi mencionado, o diâmetro será determinado de forma que propicie a menor degradação possível.

Podemos esquematizar o circuito conforme a figura 1:

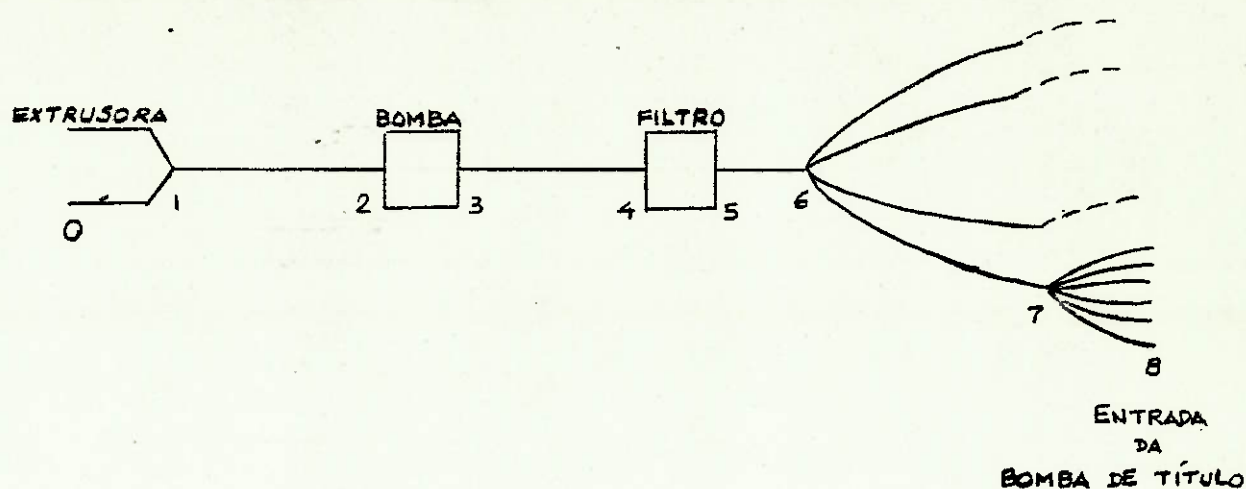


Fig.1 - Esquema de Circuito.

Porém, de forma a simplificar o circuito vamos simular a parte ramificada que vai desde a saída do filtro até a entrada das bombas de título por um trecho reto equivalente. Esse trecho equivalente deve ter um diâmetro e comprimento - tais que propiciem a mesma perda de carga (o que implica no - mesmo acréscimo de temperatura) e o mesmo tempo de permanência que o trecho ramificado, uma vez que a degradação depende basicamente dessas variáveis.

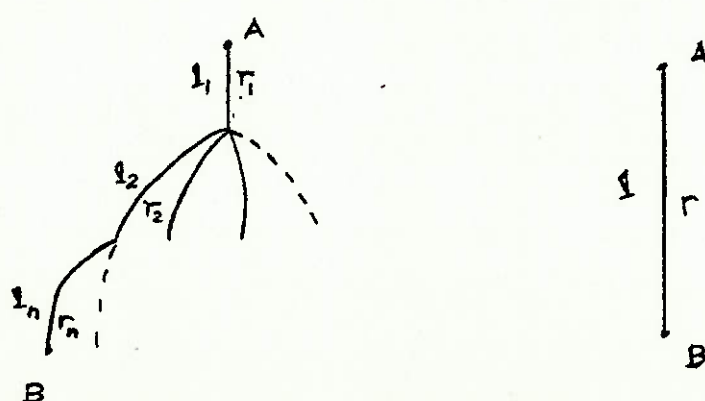


Fig.2 - Simulação do trecho ramificado por trecho pelo equivalente.

Das condições de equivalência temos:

a) tempo de permanência

$$\tau = \frac{V}{Q} \quad (2)$$

$$\frac{\rho \pi r^2 \ell}{\dot{m}} = \frac{\rho \pi r_1^2 \ell_1}{\dot{m}_1} + \frac{\rho \pi r_2^2 \ell_2}{\dot{m}_2} + \dots + \frac{\rho \pi r_n^2 \ell_n}{\dot{m}_n} \quad (3)$$

$$\text{chamando } z_i = \frac{\dot{m}_i}{\dot{m}} \quad (4)$$

$$\text{vem: } r^2 \ell = \sum_{i=1}^n \frac{r_i^2 \ell_i}{z_i} \quad n = n^\circ \text{ ramificações} \quad (5)$$

b) acréscimo de temperatura

$$\text{Sabe-se que } \Delta T = \frac{\Delta P}{\rho c J} \quad \text{para um tubo} \quad (6)$$

É necessário agora obter uma expressão que relacione a perda de carga com as propriedades do Políester e as características do circuito. É a equação de Poiseuille desenvolvida para fluidos pseudo-plásticos.

Essa equação pode ser encontrada em livros de Mecânica dos Fluidos e deduzi-la não é objeto desse trabalho.

A expressão procurada é:

$$\Delta p = \frac{2K \ell}{r} \left| \frac{(3n + 1) \dot{m}}{\rho n \pi r^3} \right|^n \quad (7)$$

como o produto $\rho c J$ é constante, podemos escrever a igualdade de acréscimo de temperatura como:

$$\frac{2K \ell}{r} \left| \frac{(3n+1)\dot{m}}{\rho n \pi r^3} \right|^n = \frac{2K \ell_1}{r_1} \left| \frac{(3n+1)\dot{m}_1}{\rho n \pi r_1^3} \right|^n + \frac{2K \ell_2}{r_2} \left| \frac{(3n+1)\dot{m}_2}{\rho n \pi r_2^3} \right|^n + \dots \quad (8)$$

ou

$$\frac{\ell}{r^{3n+1}} = \sum_{i=1}^{n^{\circ}\text{ram.}} \frac{\ell_i z_i^n}{r_i^{3n+1}} \quad (9)$$

Isolando ℓ em (5):

$$\ell = \frac{1}{r^2} \sum_{i=1}^{n^{\circ}\text{ram.}} \frac{r_i^2 \ell_i}{z_i} \quad (10)$$

Isolando ℓ em (9):

$$\ell = r^{3n+1} \sum_{i=1}^{n^{\circ}\text{ram.}} \frac{\ell_i z_i^n}{r_i^{3n+1}} \quad (11)$$

Igualando (10) e (11):

$$\sum_{i=1}^{n^{\circ}\text{ram.}} \frac{r_i^2 \ell_i}{z_i} = r^{3n+3} \sum_{i=1}^{n^{\circ}\text{ram.}} \frac{\ell_i z_i^n}{r_i^{3n+1}} \quad (12)$$

Como no lado esquerdo da equação existem termos que dependem de parâmetros exclusivos de cada trecho isoladamente e como para cada termo deste, existe um correspondente no lado direito, pode-se escrever:

$$\frac{r_i^2 \ell_i}{z_i} = r^{3n+3} \frac{\ell_i z_i^n}{r_i^{3n+1}} \quad (13)$$

ou
$$r_i^{3n+3} = r^{3n+3} z_i^{n+1} \quad (14)$$

que, extraída a raiz $(3n + 3)$ resulta em:

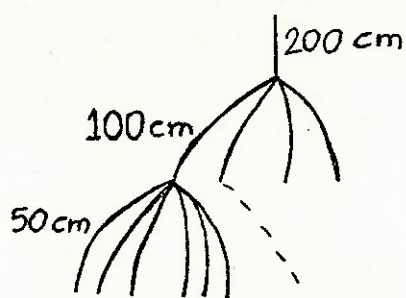
$$r_i = r z_i^{1/3} \quad (15)$$

Finalmente, substituindo (15) em (11) vem:

$$l = \sum_{i=1}^{n^{\circ} \text{ram.}} \frac{l_i}{z_i^{1/3}} \quad (16)$$

Esse é o comprimento do trecho reto equivalente, - em função do comprimento dos trechos ramificados e das razões das vazões em massa.

Admitindo a seguinte instalação:



$$\text{temos: } l_{eq} = \frac{200}{1^{1/3}} + \frac{100}{(0,25)^{1/3}} + \frac{50}{(0,0417)^{1/3}}$$

$$l_{eq} = 503 \text{ cm.}$$

É importante notar que após definido o raio r do - circuito, todos os raios do trecho ramificado já estarão definidos pela equação (15).

Quando o polímero passa por um equipamento que lhe fornece energia (como a extrusora e a bomba), parte dessa - energia se transforma em calor e resulta em acréscimo de temperatura do fluido.

Assim, precisamos descobrir que parcela da energia útil (que no fundo é traduzida como acréscimo de pressão) se transforma em calor:

$$N = N_{\mu} + P \quad (17)$$

$$e \quad \eta = \frac{N_{\mu}}{N} \quad (18)$$

de (17) vem

$$P = N - N_{\mu} \quad (19)$$

dividido por N_{μ} e substituindo (18):

$$\frac{P}{N_{\mu}} = \frac{1 - \eta}{\eta} \quad (20)$$

Se multiplicarmos $N_{\mu} (\Delta P)$ por $(1-\eta)/\eta$, teremos as perdas ou:

$$\Delta T = \frac{\Delta P}{\rho c J} \frac{1 - \eta}{\eta} \quad (21)$$

para os equipamentos que aumentam a pressão do fluido.

Usando o esquema simplificado da instalação, conforme figura 3, podemos formular as seguintes hipóteses, para simplificação do problema:

- O acréscimo de pressão ocorrido na extrusora corresponde à perda de carga no trecho 1-2
- O acréscimo de pressão ocorrido na bomba, corresponde à perda de carga no filtro, somada às perdas para o escoamento nos trechos 3-4 e 5-8.

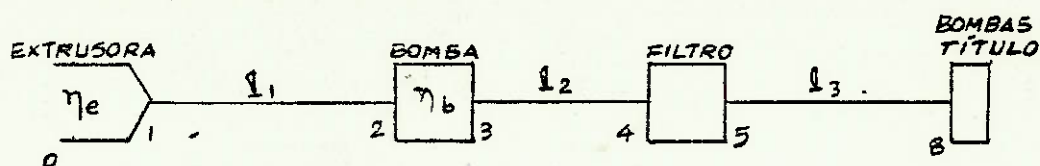


Fig.3 - Esquema Simplificado do Circuito.

- Como o escoamento é acentuadamente laminar, podemos desprezar as perdas de carga devido às singularidades.

Da primeira hipótese temos:

$$\frac{p_1 - p_0}{\rho \cdot c \cdot J} = \frac{p_1 - p_2}{\rho \cdot c \cdot J} \quad (22)$$

Da segunda hipótese temos:

$$\frac{p_3 - p_2}{\rho \cdot c \cdot J} = \frac{p_3 - p_4}{\rho \cdot c \cdot J} + \frac{p_4 - p_5}{\rho \cdot c \cdot J} + \frac{p_5 - p_8}{\rho \cdot c \cdot J} \quad (23)$$

É mais prático calcular a degradação por trechos e para obter a degradação total, somar as degradações de cada trecho.

Para proceder ao cálculo, é ainda necessário conhecer o perfil de temperatura $T = T(x)$ para cada trecho.

Para o trecho 0 - 2 :

$$T = T_o + \frac{p_1 - p_o}{\rho c J} \frac{1 - \eta_e}{\eta_e} + \frac{p_1 - p_2}{\rho c J} \quad (24)$$

Substituindo (22) vem:

$$T = T_o + \frac{p_1 - p_2}{\rho c J} \frac{1}{\eta_e} \quad (25)$$

Substituindo (7) vem:

$$T = T_o + \frac{2K x}{\rho c J r \eta_e^{1+3n}} \left| \frac{(3n+1) \dot{m}}{\rho n \pi} \right|^n \quad (26)$$

Para simplificar, chamaremos

$$\Delta_1 = \frac{2K}{\rho c J} \left| \frac{(3n+1) \dot{m}}{\rho n \pi} \right|^n \quad (27)$$

Assim:

$$T = T_o + \frac{\Delta_1 x}{\eta_e r^{1+3n}} \quad (28)$$

Para o trecho 0 - 4 :

$$T = T_o + \frac{\Delta_1 \ell_1}{\eta_e r^{1+3n}} + \frac{\Delta_1 x}{\eta_b r^{1+3n}} \quad (29)$$

Para o trecho 0 - 5 :

$$T = T_o + \frac{\Delta_1 \ell_1}{\eta_e r^{1+3n}} + \frac{\Delta_1 \ell_2}{\eta_b r^{1+3n}} + \frac{\Delta_{pf}}{\rho c J} \quad (30)$$

Para o trecho 0 - 8 (usando (23)):

$$T = T_o + \frac{\Delta_1 \ell_1}{\eta_e r^{1+3n}} + \frac{\Delta_1 \ell_2}{\eta_b r^{1+3n}} + \frac{\Delta_{pf}}{\rho c J} + \frac{\Delta_1 x}{r^{1+3n}} \quad (31)$$

Finalmente, a degradação é calculada pela expressão:

$$\frac{D}{a} = \int e^{bT} \frac{dx}{\mu} \quad (32)$$

usando a equação:

$$\frac{1}{\mu} = \frac{\dot{m}}{\rho \pi r^2} \quad (33)$$

Para o trecho 0-2 :

$$\frac{D_o - 2}{a} = \frac{\rho \pi r^2}{\dot{m}} \text{EXP}(bT_o) \int_0^{\ell_1} \left| \text{EXP}\left(\frac{b \Delta_1 x}{\eta_e r^{1+3n}}\right) \right| dx$$

$$\frac{D_o - 2}{a} = \frac{\eta_e \rho \pi r^{3(1+n)}}{\dot{m} b \Delta_1} \left| \text{EXP}(b T_o) \right| \left| \text{EXP}\left(\frac{b \Delta_1 \ell_1}{\eta_e r^{1+3n}}\right) - 1 \right| \quad (34)$$

Para o trecho 0 - 4 :

$$\frac{D_{0-4}}{a} = \frac{\eta_b \rho \pi r^{3(1+n)}}{\dot{m} b \Delta_1} \left| \exp\left(b T_o + \frac{b \Delta_1 \ell_1}{\eta_e r^{1+3n}}\right) \left| \exp\left(\frac{b \Delta_1 \ell_2}{\eta_b r^{1+3n}}\right) - 1 \right| \right| \quad (35)$$

Para o trecho 0 - 5 :

$$\frac{D_{0-5}}{a} = \frac{\rho V}{\dot{m}} \exp\left(b T_o + \frac{b \Delta_1 \ell_1}{\eta_e r^{1+3n}} + \frac{b \Delta_1 \ell_2}{\eta_b r^{1+3n}} + \frac{b \Delta_{pf}}{\rho c J}\right) \quad (36)$$

Para o trecho 0 - 8 :

$$\frac{D_{0-6}}{a} = \frac{\rho \pi r^{3(1+n)}}{b \dot{m} \Delta_1} \left| \exp\left(b T_o + \frac{b \Delta_1 \ell_1}{\eta_e r^{1+3n}} + \frac{b \Delta_1 \ell_2}{\eta_b r^{1+3n}} + \frac{b \Delta_{pf}}{\rho c J}\right) \right| \cdot \left| \exp\left(\frac{b \Delta_1 \ell_3}{r^{1+3n}}\right) - 1 \right| \quad (37)$$

A degradação total será:

$$\begin{aligned}
\frac{D_{tot}}{a} = & \frac{\rho \pi e^{bT_o}}{\dot{m} b \Delta_1} \left[\eta_e r^{3(1+n)} \left(\text{EXP} \left(-\frac{b \Delta_1 \ell_1}{\eta_e r^{1+3n}} \right) - 1 \right) + \right. \\
& + \eta_b r^{3(1+n)} \left[\text{EXP} \left(-\frac{b \Delta_1 \ell_1}{\eta_e r^{1+3n}} \right) \left(\text{EXP} \left(-\frac{b \Delta_1 \ell_2}{\eta_n r^{1+3n}} \right) - 1 \right) + \right. \\
& + \frac{b \Delta_1 V}{\pi} \text{EXP} \left(\frac{b \Delta_1 \ell_1}{\eta_e r^{1+3n}} + \frac{b \Delta_1 \ell_2}{\eta_b r^{1+3n}} + \frac{b \Delta_{pf}}{\rho c J} \right) + \\
& \left. \left. + r^{3(1+n)} \left[\text{EXP} \left(\frac{b \Delta_1 \ell_1}{\eta_e r^{1+3n}} + \frac{b \Delta_1 \ell_2}{\eta_b r^{1+3n}} + \frac{b \Delta_{pf}}{\rho c J} \right) \left(\text{EXP} \left(\frac{b \Delta_1 \ell_3}{r^{1+3n}} \right) - 1 \right) \right] \right] \right]
\end{aligned}
\tag{38}$$

Como se está procurando o diâmetro (ou raio) de tubo, que minimize a degradação, este deve ser tal que satisfaça

$$\frac{d D}{d r} = 0
\tag{39}$$

Para diminuir o trabalho da derivação, é conveniente reagrupar a equação (38), usando a simplificação

$$\text{EXP} \left(\frac{b \Delta_{pf}}{\rho c J} \right) = A
\tag{40}$$

Assim temos:

$$\begin{aligned}
 \frac{D_{tot}}{a \rho \pi \exp(B T_o)} &= r^{3(1+n)} \left| \exp\left(\frac{b \Delta_1 \ell_1}{\eta_e r^{1+3n}}\right) \right| (\eta_e - \eta_b) - \eta_e r^{3(1+n)} + \\
 &+ \left| \exp\left(\frac{b \Delta_1 \ell_1}{\eta_e r^{1+3n}} + \frac{b \Delta_1 \ell_2}{\eta_b r^{1+3n}}\right) \right| r^{3(1+n)} (\eta_b + A \exp\left(\frac{b \Delta_1 \ell_3}{r^{1+3n}}\right) - A) + \frac{A b \Delta_1 V}{\pi} \left| \right. \\
 e \frac{d D}{d r} &= 0 \quad \text{fica:} \\
 0 &= 3(1+n) r^{2+3n} (\eta_e - \eta_b) \exp\left(\frac{b \Delta_1 \ell_1}{\eta_e r^{1+3n}}\right) - \\
 &- \frac{r^{3(1+n)}}{r^{2+3n}} (\eta_e - \eta_b) \frac{b \Delta_1 \ell_1}{\eta_e} (1+3n) \exp\left(\frac{b \Delta_1 \ell_1}{\eta_e r^{1+3n}}\right) - \\
 &- 3(1+n) \eta_e r^{2+3n} - \frac{(1+3n)}{r^{2+3n}} \left(\frac{b \Delta_1 \ell_1}{\eta_e} + \frac{b \Delta_1 \ell_2}{\eta_b} \right) \cdot \\
 &\cdot \exp\left(\frac{b \Delta_1 \ell_1}{\eta_e r^{1+3n}} + \frac{b \Delta_1 \ell_2}{\eta_b r^{1+3n}}\right) \left| r^{3(1+n)} (\eta_b + A \exp\left(\frac{b \Delta_1 \ell_3}{r^{1+3n}}\right) - A) + \right. \\
 &+ \frac{A b \Delta_1 V}{\pi} \left| + \exp\left(\frac{b \Delta_1 \ell_1}{\eta_e r^{1+3n}} + \frac{b \Delta_1 \ell_2}{\eta_b r^{1+3n}}\right) \cdot \right. \\
 &\cdot \left| 3(1+n) r^{2+3n} (\eta_b + A \exp\left(\frac{b \Delta_1 \ell_3}{r^{1+3n}}\right) - A) - \right. \\
 &- A r b \Delta_1 \ell_3 (1+3n) \exp\left(\frac{b \Delta_1 \ell_3}{r^{1+3n}}\right) \left| \right. \quad (42)
 \end{aligned}$$

Para tornar essa expressão mais manipulável, é conveniente - que sejam introduzidas as seguintes notações:

$$A_1 = b \Delta_1 \ell_1 \quad (43)$$

$$A_2 = \frac{b \Delta_1 \ell_1}{n_e} \quad (44)$$

$$A_3 = n_e - n_b \quad (45)$$

$$A_4 = \frac{b \Delta_1 \ell_2}{n_b} \quad (46)$$

$$A_5 = \frac{\alpha \Delta_1 b V}{\pi} \quad (47)$$

$$A_6 = b \Delta_1 \ell_3 \quad (48)$$

$$A_7 = \Delta_2 + \Delta_4 \quad (49)$$

$$A_8 = 3(1 + n) \quad (50)$$

$$A_9 = 1 + 3n \quad (50)$$

$$A_{10} = 2 + 3n \quad (52)$$

$$G_1 = r^{1+3n} \quad (53)$$

$$G_2 = r^{2+3n} \quad (54)$$

$$G_3 = r^{3+3n} \quad (55)$$

$$G_4 = \text{EXP} \left(-\frac{A_2}{G_1} \right) \quad (56)$$

$$G_5 = \text{EXP} \left(-\frac{A_7}{G_1} \right) \quad (57)$$

$$G_6 = \text{EXP} \left(-\frac{A_6}{G_1} \right) \quad (58)$$

$$G_7 = n_b + A G_6 - A \quad (59)$$

$$G_8 = G_5 (G_3 G_7 + A_5) \quad (60)$$

$$G_9 = A A_6 A_9 G_6 \quad (61)$$

Assim:

$$\begin{aligned} \frac{dD}{dr} = & G_4 A_3 (A_8 G_2 - A_9 r A_2) - A_8 G_2 n_e - \frac{A_9 G_8 A_7}{G_2} + \\ & + G_5 (A_8 G_2 G_7 - G_9 r) \end{aligned} \quad (62)$$

Para achar o raio que satisfaz esta equação, pode-se usar preferencialmente dois métodos:

- Substituição Numérica: é um método bastante trabalhoso pois exige várias substituições até que se chegue a um valor de "r" com precisão razoável.
- Método das tangentes ou algoritmo de Newton: é um método que, através de iterações sucessivas, localiza rapidamente a raiz da equação, a partir de um valor inicial (aqui chamado r_0). Esse é o método que será empregado.

- Algoritmo de Newton

A função que gerará as raízes será:

$$R = r_{i-1} - \frac{F(r_{i-1})}{F'(r_{i-1})} \quad (63)$$

onde

$$F = \frac{dD}{dr} \quad (64) \quad \text{e} \quad F' = \frac{d^2D}{dr^2} \quad (65)$$

Dessa forma, precisamos derivar a equação (64):

$$\begin{aligned} -\frac{d^2D}{dr^2} = & A_8 A_3 G_4 (A_{10} G_{11} - r A_2 A_9) - A_9 A_3 A_2 G_4 \left(1 - \frac{A_9 A_2}{G_1}\right) - \\ & - A_8 n_e A_{10} G_1 + G_8 A_9 A_7 \left(\frac{A_9 A_7}{G_2^2} + \frac{A_{10}}{G_3}\right) - \\ & - \frac{2 A_9 G_5 A_7}{G_2} (A_8 G_2 G_7 - r G_9) + \\ & + G_5 \left| A_8 A_{10} G_1 G_7 - A_8 G_9 - G_9 + \frac{G_9 A_9 A_6}{G_1} \right| \end{aligned} \quad (66)$$

Veja no anexo Pl o programa ^{EM}FORTTRAN IV usado para determinar o valor de r . Dessa forma, obremos $r = 14,4\text{mm}$, ou seja, $d = 28,8\text{ mm}$ que será o diâmetro interno do tubo. Como o tubo não é feito sob encomenda, devemos procurar o diâmetro comercial mais próximo do teórico calculado. Assim, o diâmetro real será definido juntamente com a espessura no item seguinte.

9.2.2 - Cálculo da espessura do tubo de polímero

Antes do cálculo da espessura, vamos discorrer brevemente sobre os misturadores estáticos que deverão ser introduzidos no circuito.

Os misturadores estáticos são um desenvolvimento relativamente recente que se constitui na inserção no tubo de elementos helicoidais contra postos que dividem e turbilhonam o fluido. Sem partes móveis e acionados apenas pela perda de carga no fluido, são precisos, rápidos, dão resultados estritamente reprodutíveis e se caracterizam por baixas perdas e pela sua auto-limpeza.

Provocam apenas um pequeno cisalhamento e podem servir de trocador de calor, bem como de reator químico para sólidos, líquidos ou gases ou qualquer combinação dos mesmos, não importando com qual grau de viscosidade ou quais sejam as porções a obter.

No escoamento laminar o misturador estático é de uma eficiência constante, independente da velocidade do escoamento. Basta que o fluido escoe pelo tubo para o primeiro elemento dividir o fluxo em 2 partes. A forma helicoidal produz a rotação da corrente a 90° , de forma a entrar na borda perpendicular do 2º elemento.

Cada uma das duas correntes é novamente dividida em duas, guiada e repartida da mesma maneira até o terceiro elemento.

Ao contrário de todos os sistemas de turbulência o misturador estático agita pela divisão em camadas. O número delas está em progressão geométrica de razão 2. Assim o número de estratificações é $S = 2^n$, onde n é o número de elementos helicoidais.

Para o cálculo da perda de carga do misturador, - usa-se a seguinte fórmula, extraída da literatura:

$$K = 3,24 (1,5 + 0,21 \sqrt{R_e}) \quad (67)$$

$$\text{onde } K = \frac{\Delta P_{\text{mist. estát.}}}{\Delta P_{\text{tubo liso}}} \quad (68)$$

Como o número de Reynolds é muito pequeno, tomaremos $K = 5$ para os cálculos.

Usaremos unidades de misturadores com comprimentos de 200mm nos trechos (1)-(2), (3)-(4), (5)-(6) e (6)-(7).

Agora já temos todos os elementos para o levantamento do perfil de pressões e temperaturas no circuito:

Com as equações (7), (15) e (21), sabendo que na saída da extrusora a pressão é 50 bar e na entrada da bomba de título é 30 bar e admitindo $\eta_e = 0,15$ e $\eta_b = 0,25$ temos:

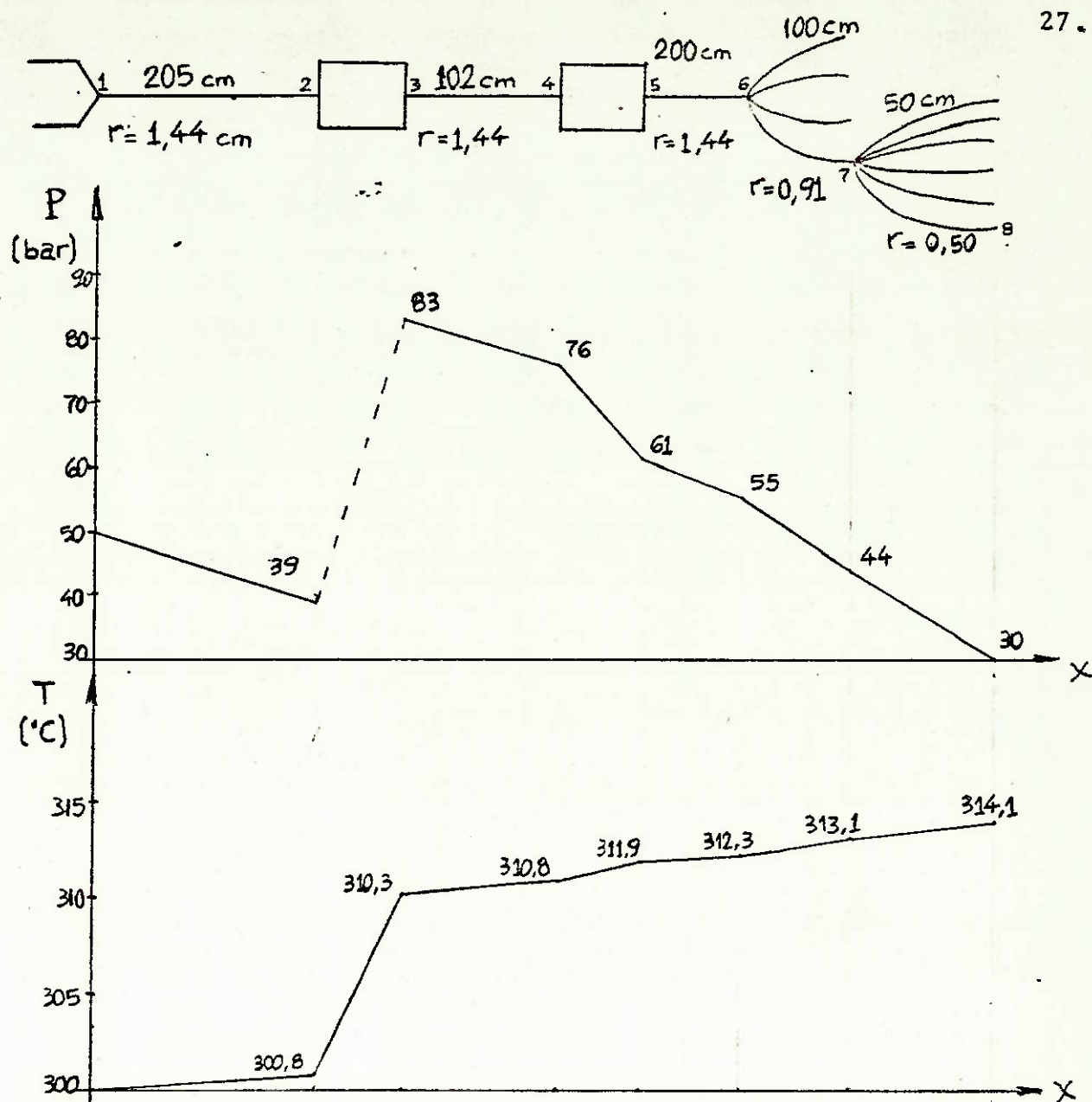


Fig.4 - Perfis de pressão e temperatura para diâmetro teórico.

Dessa forma está definido o acréscimo de pressão que a bomba deve proporcionar.

A espessura do tubo é determinada pela Resistência dos Materiais, em função dos esforços atuantes.

Fazendo um corte longitudinal passando pelo diâmetro temos:

$$\sigma = \frac{N}{t L} \quad (69)$$

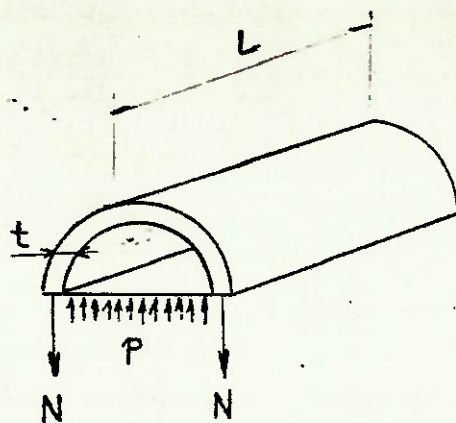


Fig.5 - Corte longitudinal no tubo.

$$\text{mas } 2N = p d L \quad (70)$$

Substituindo (70) em (69):

$$\sigma = \frac{p d}{2t} < \sigma_{adm} \quad (71)$$

$$\text{ou } t \geq \frac{p d}{2\sigma_{adm}} \quad (72)$$

Aplicando (72) nos vários trechos vem:

Trecho	Pressão (bar)	Temp. (°C)	Espessura Mínima (mm)
(1) - (2)	50	300	0,8
(3) - (4)	83	310	1,2
(5) - (6)	61	312	0,9
(6) - (7)	55	313	0,5
(7) - (8)	44	314	0,2

Tabela 1 - Espessuras Mínimas da instalação.

$$\text{Tensão Admissível} = 960 \text{ kgf/cm}^2$$

A tensão admissível foi tirada do ASME Div.I - Seção VII para um aço ao carbono comum (em torno de 0,2% C e alto Mn).

O circuito em questão pode ser confeccionado numa ampla faixa de materiais, uma vez que não há problemas de contaminação.

Pode-se agora definir os diâmetros e espessuras comerciais para a instalação.

Trecho	Diâmetro Interno (mm)	Espessura (mm)	Especificação Comercial
1 - 2	27,9	2,8	Ø 1" Sch 10
3 - 4	27,9	2,8	Ø 1" Sch 10
5 - 6	27,9	2,8	Ø 1" Sch 10
6 - 7	17,1	2,1	Ø 1/2" Sch 10
7 - 8	10,4	1,7	Ø 3/8" Sch 10

Tabela 2 - Especificação dos tubos internos do duplo envelope.

Para a configuração comercial tem-se o seguinte perfil de pressão e temperatura:

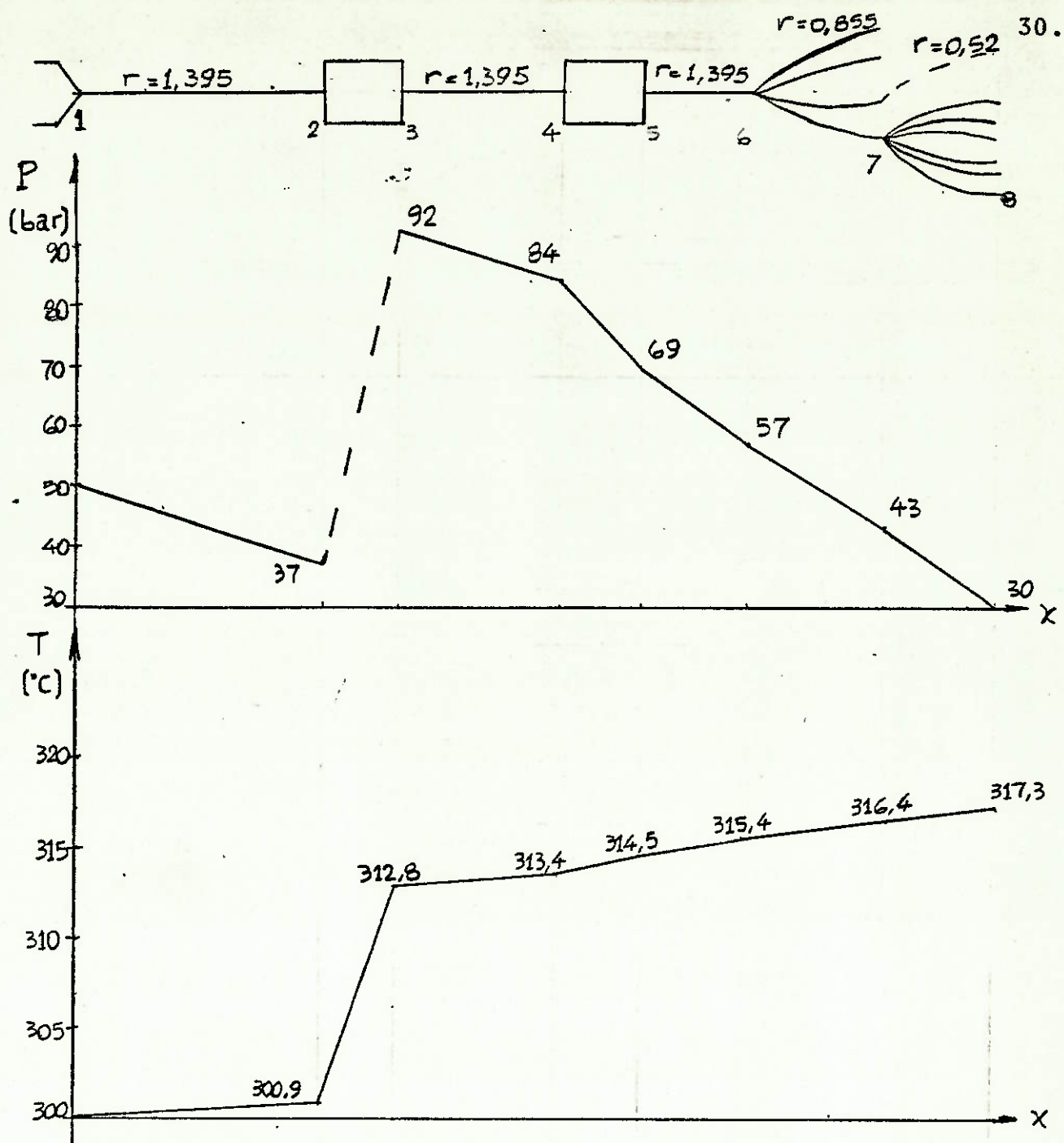


Fig.6 - Perfis de pressão e temperatura para configuração comercial.

Verificação das espessuras para a configuração comercial (usando equação (71)).

Trecho	Pressão (bar)	Espessura (mm)	Tensão atuante ₂ (kgf/cm ²)	Coeficiente de seguran- ça
1 - 2	50	2,8	249	3,9
3 - 4	92	2,8	458	2,1
5 - 6	69	2,8	344	2,8
6 - 7	57	2,1	232	4,1
7 - 8	43	1,7	132	7,3

Tabela 3 - Coeficientes de Segurança.

9.2.3 - Tubo externo do duplo envelope

A dimensão do tubo externo do duplo envelope será definida pela vazão em massa necessária de fluido calorimétrico.

Devido às suas características e campo de aplicação, será usado o Dowtherm A.

O fluido escoará no circuito sempre na fase líquida.

A vazão calculada será a necessária para retirar o calor gerado no escoamento do polímero fundido e será adotada a temperatura de entrada igual 290°C para o Dowtherm. Essa temperatura não pode ser muito baixa pois o duplo envelope tem a finalidade de pré-aquecer o circuito, nem pode ser muito alta pois senão não haveria troca de calor entre Dowtherm e massa.

O calor gerado no circuito é:

$$Q = \dot{m} C \Delta T \quad (73)$$

$$= 144.0,3(317 - 300) = 735 \text{ kcal/h}$$

Admitindo a temperatura de saída do DWT = 300°C temos:

$$\dot{m}_{DWT} = \frac{Q}{C \Delta T} \quad (74)$$

Das tabelas de propriedades do DWT o calor específico médio - entre 290 e 300°C é 0,565 kcal/kg°C

então

$$\dot{m}_{DWT} = \frac{735}{0,565(10)} = 130 \text{ kg/h}$$

Como a densidade média é 0,811 g/cm³ temos a vazão em volume:

$$\dot{V} = \frac{\dot{m}}{\text{densidade}} \quad (75)$$

$$\dot{V} = \frac{130}{0,811 \cdot 10^3} = 0,16 \text{ m}^3/\text{h}$$

Adotando a velocidade média de escoamento = 15 m/min temos:

$$S = \frac{\dot{V}}{v} \quad (76)$$

$$S = \frac{0,16}{15 \cdot 60} = 1,8 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

que é a área necessária para o escoamento.

Dessa forma os diâmetros dos tubos externos nos -
vários trechos será:

Trecho	Vazão DWT no ramo (m ³ /h)	Diâmetro interno teórico (mm)	Especificação do tubo
1 - 2	0,16	36,7	Ø 1 1/4" Sch 10
3 - 4	0,16	36,7	Ø 1 1/4" Sch 10
5 - 6	0,16	36,7	Ø 1 1/4" Sch 10
6 - 7	0,04	26,2	Ø 1" Sch 10
7 - 8	0,0067	22,9	Ø 3/4" Sch 10

Tabela 4 - Especificação dos tubos externos do duplo envelope.

Foi escolhido Schedule 10 porque a pressão na linha de DWT ficará em torno de 1 kgf/cm² manométrica.

O DWT deve escoar em circuito fechado, devendo -
ser providenciada uma bomba.

9.2.4 - Análise de Flexibilidade

A instalação será, agora submetida a uma análise de flexibilidade para aprovação final dos diâmetros e espessuras calculados.

A teoria empregada é muito extensa para ser descrita aqui, mas corresponde ao Método Analítico Geral apresentado no livro "Design of Piping Systems" da M.W.Kellogg Company.

A análise foi feita através de um computador que já tinha o set na sua biblioteca. Foi necessário apenas introduzir os dados e rodar o set.

Uma explicação detalhada da entrada de dados encontra-se no Apêndice P2: Instruções para Operação do Programa para Análise de Flexibilidade de Tubulações.

O duplo envelope foi simulado como sendo um único tubo com diâmetro externo igual ao maior diâmetro do duplo envelope e espessura tal, que resulte num tubo com o mesmo módulo de resistência à flexão que o duplo envelope.

A bomba e o filtro foram simulados como sendo elementos inflexíveis.

A instalação foi considerada de interesse para análise até o ponto 6, pois daí para frente, admite-se que ela forme um bloco único com o resto do corpo da máquina.

As tensões atuantes que aparecem na listagem final do programa, devem ser comparadas com as calculadas conforme AISI B 31.3 e não devem ultrapassá-las.

$$S = f(1,25 S_c + 0,25 S_h) \quad (77)$$

$$f = 1 \quad (< 7000 \text{ ciclos de operação})$$

$$\begin{aligned} S_c &= \text{tensão admissível à temperatura ambiente} \\ &= 960 \text{ kgf/cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_h &= \text{tensão admissível à temperatura de} \\ &\quad \text{operação} = 960 \text{ kgf/cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S &= 1(1,25.960 + 0,25.960) = 1440 \text{ kgf/cm}^2 \\ &= 20500 \text{ psi} \end{aligned}$$

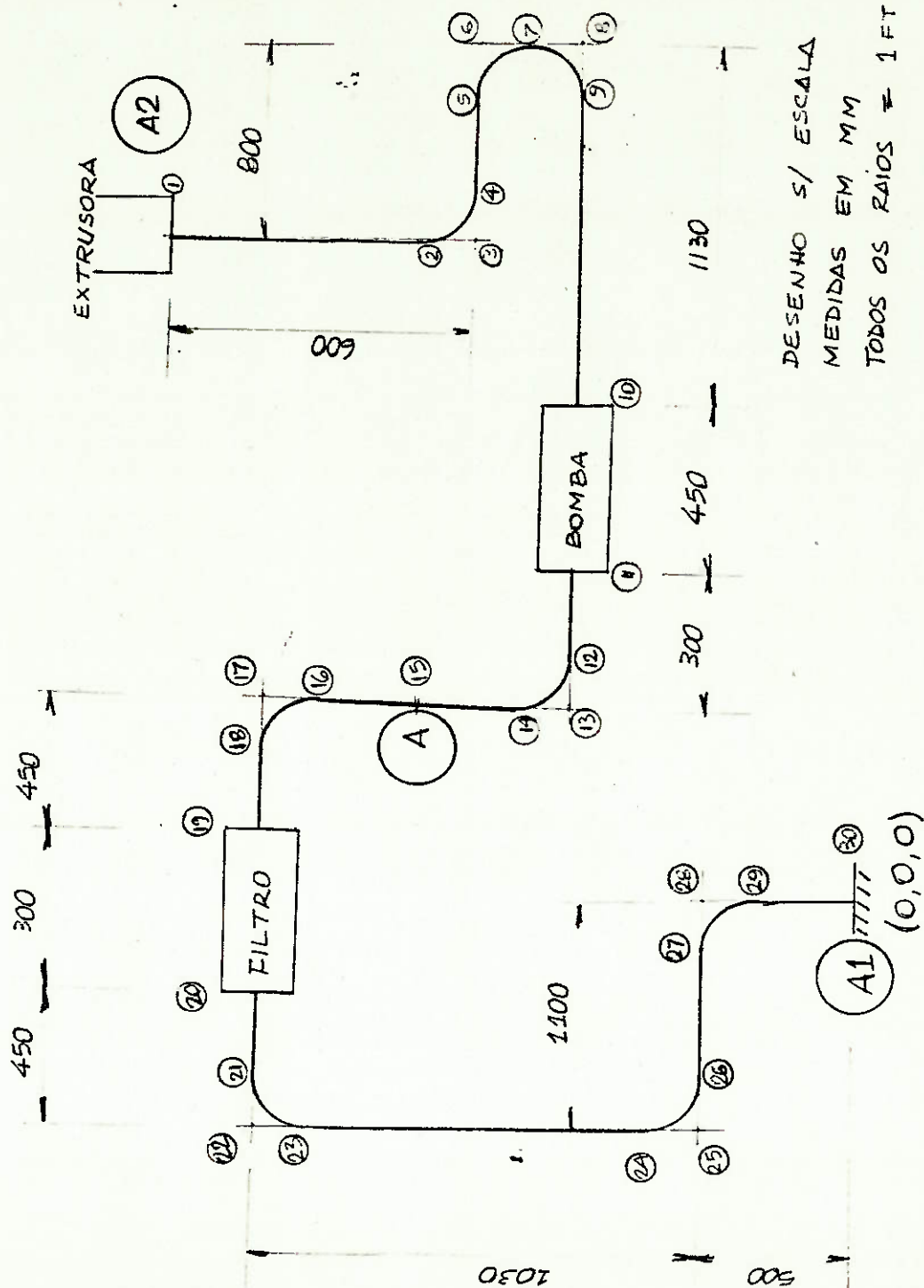


Fig.7 - Esquema da instalação para Análise de Flexibilidade.

9.2.5 - Isolamento Térmico

É conveniente fazer o isolamento térmico da instalação basicamente por dois motivos:

- O local onde se situa o equipamento é geralmente área onde circulam pessoas e por motivos de segurança, não se deve deixar um tubo a 300°C exposto.
- . A isolação térmica vai permitir uma boa economia de energia que em pouco tempo amortiza o investimento e depois ajuda a amortizar a instalação.

Existe uma gama muito grande de materiais que podem ser empregados. Podemos usar, por exemplo, o hidrosilicato de cálcio.

A Norma DIN 4754 Cap.3.3 regulamenta a isolação de instalações de fluidos caloritêrmicos. Para determinação da espessura ideal do isolamento, foi escrito um programa para a máquina de calcular Texas TI59. A listagem do programa, bem como as instruções para o uso encontram-se no Apêndice P3.

No cálculo da resistência térmica foi considerada apenas a condução através do isolante e a convecção natural com o ar ambiente.

As equações para determinação do coeficiente de convecção natural foram tirados do Manual de Termodinâmica - do Prof. Remi Bendito Silva.

Valores usados

- . Diâmetro externo da tubulação: 42 mm
- . Comprimento : 5,07 m
- . Temperatura da parede do tubo: 300°C
- . $K \text{ a } T = 300^{\circ}\text{C} \Rightarrow 0,07 \text{ kcal/h m } ^{\circ}\text{C}$
- . Temperatura ambiente = 20°C

- . $K \text{ a } T = 20^{\circ}\text{C} \Rightarrow 0,03 \text{ kcal/h m } ^{\circ}\text{C}$
- . $T = 100^{\circ}\text{C}$
- . $K \text{ a } T = 100^{\circ}\text{C} \Rightarrow 0,05 \text{ kcal/h m } ^{\circ}\text{C}$
- . Posição da instalação: horizontal (o)
- . Custo da energia: 0,0052 Cr\$/kcal
- . Regime de operação: 8750 horas/ano

Espessura (pol.)	Custo (Cr\$/m ²)	Temp.parede (^o C)	Prazo amortiz. (meses)
1 1/2	12540	59,3	2,8
2	14440	48,5	3,0
2 1/2	16340	41,9	3,2
3	18240	37,6	3,4

Tabela 5 - Amortização do isolamento.

Podemos escolher a espessura 2 1/2" que apresenta a melhor combinação temperatura da parede - prazo de amortização.

9.2.6 - Seleção da Bomba de Massa e Seu Acionamento

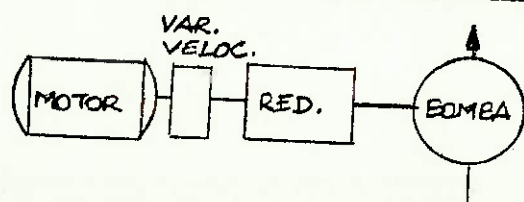


Fig.8 - Esquema do acionamento da bomba.

Pela bomba devem passar 40 g/s de massa, ou seja, $3,42 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$, com um diferencial de pressão de 55bar ($\sim 5,4 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2$). Como o rendimento da bomba é 0,25, a potência no eixo da mesma será:

$$N = \frac{Q \cdot \Delta P}{\eta} \quad (78)$$

$$N = \frac{3,42 \cdot 10^{-5} \cdot 5,4 \cdot 10^6}{0,25} = 739 \text{ W}$$

Se admitirmos que seja uma bomba de deslocamento positivo com capacidade de $11,4 \text{ cm}^3/\text{volta}$, para obter essa vazão a bomba - deve girar a 180 rpm.

Como o motor deve ser de corrente contínua, pois o sistema tem também a função de dosador das fieiras, pode-se optar por um redutor com redução 1:5 pois assim o motor trabalhará a 900 rpm, que é uma boa rotação para esse tipo de motor.

Admitindo o rendimento do redutor igual a 0,9, a potência nominal do motor deverá ser maior ou igual a 820 W.

10. Considerações Finais

Pelo exposto pode-se perceber que o desenvolvimento teórico do problema é bastante complexo, sendo que a de terminação dos acessórios se faz pelas teorias tradicionais.

Se fosse desejado, poder-se-ia continuar indefi-
nidamente o detalhamento da instalação, dimensionando válvu-
las de segurança, suportes para a tubulação, circuito fechado
de DWT líquido, suportes para bomba e filtro, etc. No entanto,
como já foi dito, a finalidade principal do projeto foi desen-
volver a teoria para o dimensionamento da tubulação. Assim -
sendo, considero-me satisfeito com os resultados obtidos.



Carlos Thomsem Jr.

Novembro/1982.

11. Bibliografia

1. A.S.M.E. BOILER AND PRESSURE VESSEL CODE -
"Pressure Vessels - Section VIII
Rules for Construction of Pressure Vessels -
Division I, 1980".
2. CHEMICAL ENGINEERING - Publicação da McGraw-Hill.
 - Designing for Non-Newtonian Fluids 15 Jan.1968 pg.148
 - Rheology of Non-Newtonian Materials 12 fev.1968 pg.130
 - Instruments for Viscosimetry 25 Mar 1968 pg.99
 - Isothermal Laminar Flow of Non-Newtonian Fluids in Pipes 08 Abr. 1968 pg. 143
 - Dynamics of Flow Between Parallel Plares and in Non-circular Ducts 06 Mai 1968 pg. 183
 - Isothermal Turbulent Flow in Pipes 03 jan. 1968 pg 95
 - Heat Transfer in Laminar Flow 01 Jul 1968 pg. 81
 - Heat Transfer to Non Newtonian Fluids 15 jul 1968 pg. 127
 - Mixing of Non-Newtonian Fluids 26 Ago 1968 pg. 113
 - Motionless Mixers for Viscous Polimers 19 Mar 1973 pg. 105
3. CROCKER e KING, "Piping Handbook" McGraw-Hill 5^a ed.
4. DOW CHEMICAL COMPANY, "Engineering Manual for Dowtherm Heat Transfer Fluids
5. ITT GRINNEL INDUSTRIAL PIPING INC., "Piping Design and Engineering" 5^a Ed. 1976.
6. KENICS CORPORATION "Kenics Static Mixer Engineering"

7. M.W.KELLOG COMPANY "Design of Piping Systems" John Wiley and Sons, 2^a Ed.
8. SHAMES, I.H. "Mecânica dos Fluidos" Vols. 1 e 2 Editada Edgard Blucher 1973
9. SILVA, REMI B. "Manual de Termodinâmica e Transmissão de Calor" Grêmio Politécnico DLP 5^a Ed.
10. VIEIRA, RUI C.C. "Atlas de Mecânica dos Fluidos - Fluidodinâmica". EPUSP.

Apêndice 1: Listagem e Descrição do Programa para Cálculo do Diâmetro Ótimo da Instalação.

Programa para determinar o valor de r

O programa para determinar o raio ótimo do tubo em função da degradação, foi escrito em FORTRAN IV e usa o método iterativo de Newton para achar a raiz da equação (42), a partir de um certo valor de r_0 .

A resposta é obtida com uma divergência de 0,1% (escolhida arbitrariamente).

Inicialmente são lidos esimpessos os seguintes dados:

- Constante "b" usada no cálculo da degradação
- Rendimento da Extrusora η_e
- Rendimento da Bomba η_b
- Comprimento desenvolvido do trecho (1)-(2) - ℓ_1
- Comprimento desenvolvido do trecho (3)-(4) - ℓ_2
- Comprimento desenvolvido do trecho (5)-(6) - ℓ_3
- Volume útil do filtro - V
- Densidade do fluido - ρ
- Calor específico do fluido - c
- Vazão em massa - $\dot{m}$
- Índice de comportamento do fluido - n
- Índice de consistência - K
- Temperatura na saída da extrusora - T_0
- Valor inicial de r - r_0
- Perda de carga no filtro - Δ_{pf}
- Equivalente mecânico do calor - J

- Constante de degradação - a

A seguir são calculados:

$A, A_1, A_2, A_3, A_4, A_5, A_6, A_7, A_8, A_9, A_{10}$ conforme equações (40), (27) e (43) a (52).

Então um contador é especificado (K CONT) para registrar o nº de iterações até se obter a raiz.

Agora são calculadas todas as variáveis dependentes de r_0 , ou seja:

$G_1, G_2, G_3, G_4, G_5, G_6, G_7, G_8, G_9$ conforme equações (53) a (61).

A seguir são calculados:

$F = \frac{d D}{d r}$ conforme (62), e $F_{LIN} = \frac{d^2 D}{d r^2}$ conforme (66).

O novo valor de r é obtido com a equação (63) e a divergência entre $r_i - r_{i-1}$ é obtida por

$DIF = \frac{R - R_0}{R}$ e tomado seu valor absoluto $ABS(DIF)$. Esse valor é comparado com a divergência máxima especificada (0,1%) e se for maior, incrementa o contador de uma unidade e repete os cálculos para o novo valor de r . Se for menor ou igual, calcula a degradação conforme (38) para o valor final de r e imprime os valores de r , do contador e da degradação.

O programa ainda calcula a perda de carga do circuito e o tempo de permanência. Para a perda de carga, é calculado um fator (FAT) que, multiplicado por cada trecho, fornece a respectiva perda de carga (DELP 1, DELP 2, DELP 3). A perda de carga total é a soma das perdas acima com a perda de carga no filtro. No programa, essa soma é chamada DELT e o fator

$$FAT = \left| \frac{A_9 \dot{m}}{\rho n \pi r^3} \right|^n \frac{2K}{r}$$

Para o tempo de permanência também é calculado um fator (FAT 1) que, multiplicado por cada trecho, fornece os respectivos tempos de permanência (TP1, TP2, TP3). A esses tempos é somado o tempo de permanência no filtro $TPF = \frac{V\rho}{\dot{m}}$ para obter-se o tempo de permanência total (TPT).

$$FAT\ 1 = \frac{\rho\ \pi\ r^2}{\dot{m}}$$

A seguir são impressas as perdas em cada trecho, a perda total e o tempo de permanência total.

Relação entre a Nomenclatura do Programa e a do Trabalho

no Trabalho	no Programa	Significado	Unidade
a	A	constante de degradação	$\frac{\text{meq}}{\text{kg s}}$
b	B	idem	K^{-1}
c	C	calor específico do fluido	$\frac{\text{cal}}{\text{g } ^\circ\text{C}}$
D	D	degradação	meq/kg
J	EJ	equivalente mecânico do calor	erg/cal
K	AK	índice de consistência	$\frac{\text{g s}^{n-2}}{\text{cm}}$
ℓ	EL	comprimento	cm
$\dot{m}$	EMASH	vazão em massa	g/s
n	ENE	índice de comportamento de fluxo	-
r	R	raio ótimo	cm
r_0	RO	valor inicial de R para iteração	cm
τ	TP	tempo de permanência	s
T_0	TO	temperatura na saída da extrusora	$^\circ\text{C}$
V	V	volume útil do filtro	cm^3

VALOR DA CONSTATANTE B= 0.07500
 RENDIMENTO DA ESTUFOSA= 0.45000
 RENDIMENTO DA BOMBA= 0.25000
 COMPRIMENTO DO TRECHO 1= 205.00000
 COMPRIMENTO DO TRECHO 2= 102.00000
 COMPRIMENTO DO TRECHO 3= 503.00000
 VOLUME UTIL DO FILTRO=2940.00000
 DENSIDADE DO FLUIDO= 1.40000
 CALOR ESPECIFICO DO FLUIDO= 0.30000
 VALOR EM MASSA DO FLUIDO= 40.00000
 INDICE DE COMPORTAMENTO DE FLUXO N= 0.80000
 INDICE DE CONSISTENCIA K=3000.00000
 TEMPERATURA DO FLUIDO= 300.00000
 CONSTATANTE DE DEGRADACAO A= 0.225E-05
 VALOR INICIAL DE R= 1.50000
 PERDA DE CARGA NO FILTRO= 0.150E 03
 VALOR DO EQUIVALENTE CALOR TRABALHO= 0.419E 03
 VALOR FINAL DE R= 1.43978
 NUMERO DE TEMPERATURAS EXECUTADAS= 3
 DEGRADACAO= 0.780E-03
 PERDA DE CARGA TRECHO 1= 8042628.0
 PERDA DE CARGA TRECHO 2= 4001697.0
 PERDA DE CARGA TRECHO 3= 15733856.0
 PERDA DE CARGA TOTAL= 46779476.0
 TEMPO TOTAL DE PERMANENCIA= 225.8

Apêndice 2: Instruções para operação Programa para Análise de Flexibilidade de Tubulações.

- Aplicabilidade e Restrições

O programa analisa instalações tri-dimensionais com até 30 ramos, 15 nós e qualquer número de Loops e ancoragens.

É possível simular batentes rígidos, batentes elásticos, forças externas, membros inflexíveis, movimento de extremidades e variações de dimensões e propriedades em qualquer ramo da instalação.

Esse programa trabalha com unidades inglesas e deve-se tomar cuidado na transformação de unidades, devido à limitação do número de casas decimais.

Convém sempre checar as coordenadas dos pontos e fazer os ajustes necessários nas conversões de unidades. Qualquer erro de coordenada interrompe o programa.

- Dados Necessários

- | | |
|-------------------------------------|----------|
| - Diâmetros externos dos tubos | (pol.) |
| - Espessura dos tubos | (pol.) |
| - Comprimentos, raios de dobramento | (pé) |
| - Módulo de Young | (psi.) |
| - Coeficiente de expansão dos tubos | (pe/pe). |

- O Programa

O Programa foi desenvolvido por um usuário da IBM, baseado no método analítico geral do livro Design of Piping Systems da Kellogg Company.

O programa se divide em duas partes: Checagem de Dados (FF55) e Produção (FF 56). Inicialmente deve ser rodado o set FF 55 e se nenhum erro for detectado, roda-se o set FF 56. O código dos erros encontra-se no manual do programa. Antes do set FF 56 ser rodado, todos os erros devem ser corrigidos e rodado o set FF 55 novamente.

- Preparação da Instalação

Deve-se providenciar desenhos detalhados da instalação ou, se possível, uma perspectiva contendo: comprimento dos tubos, raios de dobramento, diâmetros, espessuras, material, comprimento de válvulas, etc.

Inicialmente escolhe-se um sistema de eixos triortogonais - (de preferência com as direções principais da instalação) - com uma origem qualquer (pode ser um ponto da instalação). Dá-se nome aos nós usando as letras de A a Z. Cada nó deve ser chamado com apenas 1 letra. Um nó, além de ser um ponto de encontro de ramos, também pode ser o ponto de aplicação de uma força, o ponto onde há uma ancoragem ou um batente - que não seja na extremidade da instalação, etc.

Dá-se nome aos pontos de ancoragem e de extremidade usando uma letra e um número de 1 a 9 (ex: A1, B7, X4, etc).

Determinam-se os pontos que devem ser numerados. A numeração pode ser em qualquer sequência, sendo que deve ser observada uma numeração crescente de 1 unidade dentro de cada ramo, exceto nas extremidades do mesmo. Devem ser numerados os seguintes pontos:

- intersecção trecho reto-curva
- intersecção curva-curva
- intersecção trecho inflexível-trecho reto
- intersecção trecho inflexível-curva
- extremidades
- pontos onde se tenha interesse em conhecer os esforços
- pontos onde haja variação de diâmetro ou propriedade do tubo.

- Tipos de Cartões

Existem cartões para descrever a topologia do sistema e para descrever as propriedades dos tubos. Além do cartão título, existem os seguintes:

BPD

Base Pipe Data (informação básica do tubo). Serve apenas como referência para o desenvolvimento das matrizes de flexibilidade. Quando há tubos de vários tamanhos, pode-se usar o - que ocorre mais frequentemente. Esse cartão só deve ser usado uma vez por instalação e seguir imediatamente o cartão-título.

NBR

Number of BRanches (número de ramos). Deve ser usado uma vez para cada nó.

ORG

ORiGin (origem). É usado um por ramo e contém as coordenadas da origem do ramo.

TPD

This Pipe Data (informação deste tubo). É usado sempre que houver variação nas propriedades ou dimensão do tubo. É usado também após o cartão ORG.

MVA

MoVements at Branch Beginning A (movimentos no início do ramo). Usa-se um por ramo e permite introduzir os recalques e rotações na extremidade inicial do tubo.

BRANCO

O cartão que não tem nada escrito nesse local, permite introduzir o caminho percorrido pelo tubo (circuito).

INF

INFlexible. Cartão para identificar os membros retos inflexíveis (válvulas, filtros, etc).

MVB

MoVements at Branch end B (movimentos no fim do ramo). Usa-se um por ramo e permite introduzir os recalques e rotações na extremidade final do tubo.

END

END of System: É o último cartão que se coloca. Usa-se um por sistema.

RGD

RiGiD restraint (batente rígido). Um por nó.

SPR

SPRing restraint (batente elástico). Um por nó .

FOR

FORce restraint (ponto de aplicação de força ou momento). Um por nó.

- Sequência dos Cartões e Detalhes de Preenchimento

Os cartões devem obedecer a seguinte sequência:

TÍTULO						NOME DO SISTEMA											
CAMPO						1	2	3	4	5	6	7	8				
						1	2	3	4	5	6	7	8				
						1	2	3	4	5	6	7	8				
						1	2	3	4	5	6	7	8				
						1	2	3	4	5	6	7	8				
						1	2	3	4	5	6	7	8				
						1	2	3	4	5	6	7	8				
						1	2	3	4	5	6	7	8				
						1	2	3	4	5	6	7	8				
						1	2	3	4	5	6	7	8				
						1	2	3	4	5	6	7	8				
						1	2	3	4	5	6	7	8				
						1	2	3	4	5	6	7	8				
						1	2	3	4	5	6	7	8				
						1	2	3	4	5	6	7	8				
						1	2	3	4	5	6	7	8				
						1	2	3	4	5	6	7	8				
						1	2	3	4	5	6	7	8				
						1	2	3	4	5	6	7	8				
						1	2	3	4	5	6	7	8				
						1	2	3	4	5	6	7	8				
						1	2	3	4	5	6	7	8				
						1	2	3	4	5	6	7	8				
						1	2	3	4	5	6	7	8				
						1	2	3	4	5	6	7	8				
						1	2	3	4	5	6	7	8				
						1	2	3	4	5	6	7	8				
						1	2	3	4	5	6	7	8				
						1	2	3	4	5	6	7	8				
						1	2	3	4	5	6	7	8				
						1	2	3	4	5	6	7	8				
						1	2	3	4	5	6	7	8				
						1	2	3	4	5	6	7	8				
						1	2	3	4	5	6	7	8				
						1	2	3	4	5	6	7	8				
						1	2	3	4	5	6	7	8				
						1	2	3	4	5	6	7	8				
						1	2	3	4	5	6	7	8				
						1	2	3	4	5	6	7	8				
						1	2	3	4	5	6	7	8				
						1	2	3	4	5	6	7	8				
						1	2	3	4	5	6	7	8				
						1	2	3	4	5	6	7	8				
						1	2	3	4	5	6	7	8				
						1	2	3	4	5	6	7	8				
						1	2	3	4	5	6	7	8				
						1	2	3	4	5	6	7	8				
						1	2	3	4	5	6	7	8				
						1	2	3	4	5	6	7	8				
						1	2	3	4	5	6	7	8				
						1	2	3	4	5	6	7	8				
						1	2	3	4	5	6	7	8				
						1	2	3	4	5	6	7	8				
						1	2	3	4	5	6	7	8				
						1	2	3	4	5	6	7	8				
						1	2	3	4	5	6	7	8				
						1	2	3	4	5	6	7	8				
						1	2	3	4	5	6	7	8				
						1	2	3	4	5	6	7	8				
						1	2	3	4	5	6	7	8				
						1	2	3	4	5	6	7	8				
						1	2	3	4	5	6	7	8				
						1	2	3	4	5	6	7	8				
						1	2	3	4	5	6	7	8				
						1	2	3	4	5	6	7	8				
						1	2	3	4	5	6	7	8				
						1	2	3	4	5	6	7	8				
						1	2	3	4	5	6	7	8				
						1	2	3	4	5	6	7	8				
						1	2	3	4	5	6	7	8				
						1	2	3	4	5	6	7	8				
						1	2	3	4	5	6	7	8				
						1	2	3	4	5	6	7	8				
						1	2	3	4	5	6	7	8				
						1	2	3	4	5	6	7	8				
						1	2	3	4	5	6	7	8				
						1	2	3	4	5	6	7	8				
						1	2	3	4	5	6	7	8				
						1	2	3	4	5	6	7	8				
						1	2	3	4	5	6	7	8				
						1	2	3	4	5	6	7	8				
						1	2	3	4	5	6	7	8				
						1	2	3	4	5	6	7	8				
						1	2	3	4	5	6	7	8				
						1	2	3	4	5	6	7	8				
						1	2	3	4	5	6	7	8				
						1	2	3	4	5	6	7	8				
						1	2	3	4	5	6	7	8				
						1	2	3	4	5	6	7	8				
						1	2	3	4	5	6	7	8				
						1	2	3	4	5	6	7	8				
						1	2	3	4	5	6	7	8				
						1	2	3	4	5	6	7	8				
						1	2	3	4	5	6	7	8				
						1	2	3	4	5	6	7	8				
						1	2	3	4	5	6	7	8				
						1	2	3	4	5	6	7	8				
						1	2	3	4	5	6	7	8				
						1	2	3	4	5	6	7	8				
						1	2	3	4	5	6	7	8				
						1	2	3	4	5	6	7	8				
						1	2	3	4	5	6	7	8				
						1	2	3	4	5	6	7	8				
						1	2	3	4	5	6	7	8				
						1	2	3	4	5	6	7	8				
						1	2	3	4	5	6	7	8				
						1	2	3	4	5	6	7	8				
						1	2	3	4	5	6	7	8				
						1	2	3	4	5	6	7	8				
						1	2	3	4	5	6	7	8				
						1	2	3	4	5	6	7	8				
						1	2	3	4	5	6	7	8				
						1	2	3	4	5	6	7	8				
						1	2	3	4	5	6	7	8				
						1	2	3	4	5	6	7	8				
						1	2	3	4	5</							

Ao se especificar um nó com o cartão NBR, deve-se procurar -
descrever prioritariamente todos os ramos desse nó, de forma
a diminuir o tempo de processamento do programa.

Os cartões INF; RGD, FOR e SPR só devem ser escritos se ne-
cessários. Já os cartões MVA e MVB, mesmo não havendo movi-
mento nas extremidades, devem ser escritos e os campos 3 a 8
devem ser deixados em branco.

Os cartões RGD e SPR, quando usados, devem aparecer no fim -
do ramo (após cartão MVB) quando o nó no qual estão localiza-
dos está sendo eliminado, ou seja, o ramo em questão é o -
único que falta ser especificado no referido nó.

No cartão BPD, o módulo de elasticidade E é entrado como XX.X
(o fator 10^6 é providenciado pelo programa).

NBR deve proceder a primeira aparição do nó em ORG ou TPD. TPD
pode aparecer no ramo tantas vezes quantas o tubo muda de -
dimensão. Os campos 1 e 8 devem ficar em branco a não ser no
primeiro TPD do ramo.

MVA; MVB, FOR: os números expressos nesses cartões não são -
relativos à origem do sistema tri-ortogonal, mas sim relati-
vos ao início do ramo (no caso do MVA), ao fim do ramo (no -
caso do MVB) e ao nó especificado no campo 1 (no caso do FOR).

BRANCO, INF: as distâncias são expressas entre intersecções
de tangentes e o raio de dobramento é especificado, quando -
houver.

- Dados de Saída

A saída do programa de checagem de dados é auto explicativa.
Para cada ponto de cada ramo, são impressas as coordenadas -
referentes ao sistema global de origem. Membros retos, cur-
vas e membros inflexíveis são identificados com TANG, BEND
e INFL. São impressos os comprimentos dos membros retos e
inflexíveis e os ângulos das curvas.

São checadas as coordenadas das extremidades dos ramos com -

as coordenadas dos nós (nessa parte é importante a aproximação correta das conversões de unidades).

Se não ocorrerem erros, a parte de Produção do Programa fornece um resumo do sistema, indicando o número de ramos, anco_{ra}gens e nós, o tamanho da matriz que será construída e o número de cartões que foram introduzidos. Ainda são fornecidas reações, tensões do sistema, soma das reações em cada nó e ponto onde ocorre a máxima tensão.

NOME JFESCA155 COM IMP FOM
 PAG EXEC 09/11/82
 //JFESCA1 JOB (JF01,12,3720000),TKR,MSCLASS=F,CLASS=B,
 //MSGLFURL=(2,0)
 //SFFPRG EXEC PGM=CF55000,TIME=2
 //STEPIB DD DSN=SYS1.PATXOFF,DISP=SHR
 // DD DSN=SYS1.ROUJNK,DISP=SHR
 //TODI001 DD SYSOUT=A
 //TODI001 DD * SEQUEM-SE CARTOES DE DADOS *
 TRANSP. POLIMERO POLIESTER - FLEXIBILIDADE DA INSTALACAO

IN

RFD 1.66 .174 26.

A NBE 2.

01 ORG 0. 0. 0. 1. .0036

A TPD 1.66 .174 26.

HVA

60 1.64

NOME JFESCA155 COM IMP FOM
 PAG EXEC 09/11/82
 //JFESCA1 JOB (JF01,12,3720000),TKR,MSCLASS=F,CLASS=B,
 //MSGLFURL=(2,0)
 //SFFPRG EXEC PGM=CF55000,TIME=2
 //STEPIB DD DSN=SYS1.PATXOFF,DISP=SHR
 // DD DSN=SYS1.ROUJNK,DISP=SHR
 //TODI001 DD SYSOUT=A
 //TODI001 DD * SEQUEM-SE CARTOES DE DADOS *
 TRANSP. POLIMERO POLIESTER - FLEXIBILIDADE DA INSTALACAO

RFD 1.66 .174 26.

A NBE 2.

01 ORG 0. 0. 0. 1. .0036

A TPD 1.66 .174 26.

HVA

60 1.64

NOME JFESCA155 COM IMP FOM
 PAG EXEC 09/11/82
 //JFESCA1 JOB (JF01,12,3720000),TKR,MSCLASS=F,CLASS=B,
 //MSGLFURL=(2,0)
 //SFFPRG EXEC PGM=CF55000,TIME=2
 //STEPIB DD DSN=SYS1.PATXOFF,DISP=SHR
 // DD DSN=SYS1.ROUJNK,DISP=SHR
 //TODI001 DD SYSOUT=A
 //TODI001 DD * SEQUEM-SE CARTOES DE DADOS *
 TRANSP. POLIMERO POLIESTER - FLEXIBILIDADE DA INSTALACAO

RFD 1.66 .174 26.

A NBE 2.

01 ORG 0. 0. 0. 1. .0036

A TPD 1.66 .174 26.

HVA

60 1.64

NOME JFESCA155 COM IMP FOM
 PAG EXEC 09/11/82
 //JFESCA1 JOB (JF01,12,3720000),TKR,MSCLASS=F,CLASS=B,
 //MSGLFURL=(2,0)
 //SFFPRG EXEC PGM=CF55000,TIME=2
 //STEPIB DD DSN=SYS1.PATXOFF,DISP=SHR
 // DD DSN=SYS1.ROUJNK,DISP=SHR
 //TODI001 DD SYSOUT=A
 //TODI001 DD * SEQUEM-SE CARTOES DE DADOS *
 TRANSP. POLIMERO POLIESTER - FLEXIBILIDADE DA INSTALACAO

RFD 1.66 .174 26.

A NBE 2.

01 ORG 0. 0. 0. 1. .0036

A TPD 1.66 .174 26.

HVA

60 1.64

R E
 0004
 0005
 0006
 0007
 0008
 0009
 0010
 0011
 0012
 0013
 0014
 0015
 0016
 0017
 0018
 0019
 0020
 0021
 0022
 0023
 0024
 0025
 0026
 0027
 0028
 0029
 0030
 0031
 0032
 0033
 0034
 0035
 0036
 0037
 0038
 0039
 0040
 0041
 0042
 0043
 0044
 0045
 0046
 0047
 0048
 0049
 0050
 0051
 0052
 0053
 0054
 0055
 0056
 0057
 0058
 0059
 0060
 0061
 0062
 0063
 0064
 0065
 0066
 0067
 0068
 0069
 0070
 0071
 0072
 0073
 0074
 0075
 0076
 0077
 0078
 0079
 0080
 0081
 0082
 0083
 0084
 0085
 0086
 0087
 0088
 0089
 0090
 0091
 0092
 0093
 0094
 0095
 0096
 0097
 0098
 0099
 0100
 0101
 0102
 0103
 0104
 0105
 0106
 0107
 0108
 0109
 0110
 0111
 0112
 0113
 0114
 0115
 0116
 0117
 0118
 0119
 0120
 0121
 0122
 0123
 0124
 0125
 0126
 0127
 0128
 0129
 0130
 0131
 0132
 0133
 0134
 0135
 0136
 0137
 0138
 0139
 0140
 0141
 0142
 0143
 0144
 0145
 0146
 0147
 0148
 0149
 0150
 0151
 0152
 0153
 0154
 0155
 0156
 0157
 0158
 0159
 0160
 0161
 0162
 0163
 0164
 0165
 0166
 0167
 0168
 0169
 0170
 0171
 0172
 0173
 0174
 0175
 0176
 0177
 0178
 0179
 0180
 0181
 0182
 0183
 0184
 0185
 0186
 0187
 0188
 0189
 0190
 0191
 0192
 0193
 0194
 0195
 0196
 0197
 0198
 0199
 0200
 0201
 0202
 0203
 0204
 0205
 0206
 0207
 0208
 0209
 0210
 0211
 0212
 0213
 0214
 0215
 0216
 0217
 0218
 0219
 0220
 0221
 0222
 0223
 0224
 0225
 0226
 0227
 0228
 0229
 0230
 0231
 0232
 0233
 0234
 0235
 0236
 0237
 0238
 0239
 0240
 0241
 0242
 0243
 0244
 0245
 0246
 0247
 0248
 0249
 0250
 0251
 0252
 0253
 0254
 0255
 0256
 0257
 0258
 0259
 0260
 0261
 0262
 0263
 0264
 0265
 0266
 0267
 0268
 0269
 0270
 0271
 0272
 0273
 0274
 0275
 0276
 0277
 0278
 0279
 0280
 0281
 0282
 0283
 0284
 0285
 0286
 0287
 0288
 0289
 0290
 0291
 0292
 0293
 0294
 0295
 0296
 0297
 0298
 0299
 0300
 0301
 0302
 0303
 0304
 0305
 0306
 0307
 0308
 0309
 0310
 0311
 0312
 0313
 0314
 0315
 0316
 0317
 0318
 0319
 0320
 0321
 0322
 0323
 0324
 0325
 0326
 0327
 0328
 0329
 0330
 0331
 0332
 0333
 0334
 0335
 0336
 0337
 0338
 0339
 0340
 0341
 0342
 0343
 0344
 0345
 0346
 0347
 0348
 0349
 0350
 0351
 0352
 0353
 0354
 0355
 0356
 0357
 0358
 0359
 0360
 0361
 0362
 0363
 0364
 0365
 0366
 0367
 0368
 0369
 0370
 0371
 0372
 0373
 0374
 0375
 0376
 0377
 0378
 0379
 0380
 0381
 0382
 0383
 0384
 0385
 0386
 0387
 0388
 0389
 0390
 0391
 0392
 0393
 0394
 0395
 0396
 0397
 0398
 0399
 0400
 0401
 0402
 0403
 0404
 0405
 0406
 0407
 0408
 0409
 0410
 0411
 0412
 0413
 0414
 0415
 0416
 0417
 0418
 0419
 0420
 0421
 0422
 0423
 0424
 0425
 0426
 0427
 0428
 0429
 0430
 0431
 0432
 0433
 0434
 0435
 0436
 0437
 0438
 0439
 0440
 0441
 0442
 0443
 0444
 0445
 0446
 0447
 0448
 0449
 0450
 0451
 0452
 0453
 0454
 0455
 0456
 0457
 0458
 0459
 0460
 0461
 0462
 0463
 0464
 0465
 0466
 0467
 0468
 0469
 0470
 0471
 0472
 0473
 0474
 0475
 0476
 0477
 0478
 0479
 0480
 0481
 0482
 0483
 0484
 0485
 0486
 0487
 0488
 0489
 0490
 0491
 0492
 0493
 0494
 0495
 0496
 0497
 0498
 0499
 0500
 0501
 0502
 0503
 0504
 0505
 0506
 0507
 0508
 0509
 0510
 0511
 0512
 0513
 0514
 0515
 0516
 0517
 0518
 0519
 0520
 0521
 0522
 0523
 0524
 0525
 0526
 0527
 0528
 0529
 0530
 0531
 0532
 0533
 0534
 0535
 0536
 0537
 0538
 0539
 0540
 0541
 0542
 0543
 0544
 0545
 0546
 0547
 0548
 0549
 0550
 0551
 0552
 0553
 0554
 0555
 0556
 0557
 0558
 0559
 0560
 0561
 0562
 0563
 0564
 0565
 0566
 0567
 0568
 0569
 0570
 0571
 0572
 0573
 0574
 0575
 0576
 0577
 0578
 0579
 0580
 0581
 0582
 0583
 0584
 0585
 0586
 0587
 0588
 0589
 0590
 0591
 0592
 0593
 0594
 0595
 0596
 0597
 0598
 0599
 0600
 0601
 0602
 0603
 0604
 0605
 0606
 0607
 0608
 0609
 0610
 0611
 0612
 0613
 0614
 0615
 0616
 0617
 0618
 0619
 0620
 0621
 0622
 0623
 0624
 0625
 0626
 0627
 0628
 0629
 0630
 0631
 0632
 0633
 0634
 0635
 0636
 0637
 0638
 0639
 0640
 0641
 0642
 0643
 0644
 0645
 0646
 0647
 0648
 0649
 0650
 0651
 0652
 0653
 0654
 0655
 0656
 0657
 0658
 0659
 0660
 0661
 0662
 0663
 0664
 0665
 0666
 0667
 0668
 0669
 0670
 0671
 0672
 0673
 0674
 0675
 0676
 0677
 0678
 0679
 0680
 0681
 0682
 0683
 0684
 0685
 0686
 0687
 0688
 0689
 0690
 0691
 0692
 0693
 0694
 0695
 0696
 0697
 0698
 0699
 0700
 0701
 0702
 0703
 0704
 0705
 0706
 0707
 0708
 0709
 0710
 0711
 0712
 0713
 0714
 0715
 0716
 0717
 0718
 0719
 0720
 0721
 0722
 0723
 0724
 0725
 0726
 0727
 0728
 0729
 0730
 0731
 0732
 0733
 0734
 0735
 0736
 0737
 0738
 0739
 0740
 0741
 0742
 0743
 0744
 0745
 0746
 0747
 0748
 0749
 0750
 0751
 0752
 0753
 0754
 0755
 0756
 0757
 0758
 0759
 0760
 0761
 0762
 0763
 0764
 0765
 0766
 0767
 0768
 0769
 0770
 0771
 0772
 0773
 0774
 0775
 0776
 0777
 0778
 0779
 0780
 0781
 0782
 0783
 0784
 0785
 0786
 0787
 0788
 0789
 0790
 0791
 0792
 0793
 0794
 0795
 0796
 0797
 0798
 0799
 0800
 0801
 0802
 0803
 0804
 0805
 0806
 0807
 0808
 0809
 0810
 0811
 0812
 0813
 0814
 0815
 0816
 0817
 0818
 0819
 0820
 0821
 0822
 0823
 0824
 0825
 0826
 0827
 0828
 0829
 0830
 0831
 0832
 0833
 0834
 0835
 0836
 0837
 0838
 0839
 0840
 0841
 0842
 0843
 0844
 0845
 0846
 0847
 0848
 0849
 0850
 0851
 0852
 0853
 0854
 0855
 0856
 0857
 0858
 0859
 0860
 0861
 0862
 0863
 0864
 0865
 0866
 0867
 0868
 0869
 0870
 0871
 0872
 0873
 0874
 0875
 0876
 0877
 0878
 0879
 0880
 0881
 0882
 0883
 0884
 0885
 0886
 0887
 0888
 0889
 0890
 0891
 0892
 0893
 0894
 0895
 0896
 0897
 0898
 0899
 0900
 0901
 0902
 0903
 0904
 0905
 0906
 0907
 0908
 0909
 0910
 0911
 0912
 0913
 0914
 0915
 0916
 0917
 0918
 0919
 0920
 0921
 0922
 0923
 0924
 0925
 0926
 0927
 0928
 0929
 0930
 0931
 0932
 0933
 0934
 0935
 0936
 0937
 0938
 0939
 0940
 0941
 0942
 0943
 0944
 0945
 0946
 0947
 0948
 0949
 0950
 0951
 0952
 0953
 0954
 0955
 0956
 0957
 0958
 0959
 0960
 0961
 0962
 0963
 0964
 0965
 0966
 0967
 0968
 0969
 0970
 0971
 0972
 0973
 0974
 0975
 0976
 0977
 0978
 0979
 0980
 0981
 0982
 0983
 0984
 0985
 0986
 0987
 0988
 0989
 0990
 0991
 0992
 0993
 0994
 0995
 0996
 0997
 0998
 0999
 1000

TRABALHO POLÍMERO POLIÉSTER - FLEXIBILIDADE DA INSTALAÇÃO

PTNO	BRANCH	Y	Z	TYPE	ANG/LETH
15	0.0	0.0	0.0	TANG	0.640
17	0.0	0.640	0.0	TANG	90.000
25	0.0	1.640	0.0	TANG	9.640
26	-1.000	1.640	0.0	TANG	90.000
27	-2.610	1.640	0.0	TANG	1.380
28	-2.610	2.640	0.0	TANG	90.000
29	-2.610	4.020	0.0	TANG	0.480
30	-3.610	5.020	0.0	TANG	90.000
31	-2.610	5.020	0.0	TANG	0.480
32	-1.150	5.020	0.0	TANG	90.000
33	-0.670	5.020	0.0	TANG	0.480
34	0.330	4.020	0.0	TANG	90.000
35	0.330	3.020	0.0	TANG	0.480
36	0.330	2.020	0.0	TANG	90.000
37	0.330	1.020	0.0	TANG	0.480
38	0.330	0.020	0.0	TANG	90.000
39	0.330	0.020	0.0	TANG	0.480
40	0.330	0.020	0.0	TANG	90.000
41	0.330	0.020	0.0	TANG	0.480
42	0.330	0.020	0.0	TANG	90.000
43	0.330	0.020	0.0	TANG	0.480
44	0.330	0.020	0.0	TANG	90.000
45	0.330	0.020	0.0	TANG	0.480
46	0.330	0.020	0.0	TANG	90.000
47	0.330	0.020	0.0	TANG	0.480
48	0.330	0.020	0.0	TANG	90.000
49	0.330	0.020	0.0	TANG	0.480
50	0.330	0.020	0.0	TANG	90.000
51	0.330	0.020	0.0	TANG	0.480
52	0.330	0.020	0.0	TANG	90.000
53	0.330	0.020	0.0	TANG	0.480
54	0.330	0.020	0.0	TANG	90.000
55	0.330	0.020	0.0	TANG	0.480
56	0.330	0.020	0.0	TANG	90.000
57	0.330	0.020	0.0	TANG	0.480
58	0.330	0.020	0.0	TANG	90.000
59	0.330	0.020	0.0	TANG	0.480
60	0.330	0.020	0.0	TANG	90.000
61	0.330	0.020	0.0	TANG	0.480
62	0.330	0.020	0.0	TANG	90.000
63	0.330	0.020	0.0	TANG	0.480
64	0.330	0.020	0.0	TANG	90.000
65	0.330	0.020	0.0	TANG	0.480
66	0.330	0.020	0.0	TANG	90.000
67	0.330	0.020	0.0	TANG	0.480
68	0.330	0.020	0.0	TANG	90.000
69	0.330	0.020	0.0	TANG	0.480
70	0.330	0.020	0.0	TANG	90.000
71	0.330	0.020	0.0	TANG	0.480
72	0.330	0.020	0.0	TANG	90.000
73	0.330	0.020	0.0	TANG	0.480
74	0.330	0.020	0.0	TANG	90.000
75	0.330	0.020	0.0	TANG	0.480
76	0.330	0.020	0.0	TANG	90.000
77	0.330	0.020	0.0	TANG	0.480
78	0.330	0.020	0.0	TANG	90.000
79	0.330	0.020	0.0	TANG	0.480
80	0.330	0.020	0.0	TANG	90.000
81	0.330	0.020	0.0	TANG	0.480
82	0.330	0.020	0.0	TANG	90.000
83	0.330	0.020	0.0	TANG	0.480
84	0.330	0.020	0.0	TANG	90.000
85	0.330	0.020	0.0	TANG	0.480
86	0.330	0.020	0.0	TANG	90.000
87	0.330	0.020	0.0	TANG	0.480
88	0.330	0.020	0.0	TANG	90.000
89	0.330	0.020	0.0	TANG	0.480
90	0.330	0.020	0.0	TANG	90.000
91	0.330	0.020	0.0	TANG	0.480
92	0.330	0.020	0.0	TANG	90.000
93	0.330	0.020	0.0	TANG	0.480
94	0.330	0.020	0.0	TANG	90.000
95	0.330	0.020	0.0	TANG	0.480
96	0.330	0.020	0.0	TANG	90.000
97	0.330	0.020	0.0	TANG	0.480
98	0.330	0.020	0.0	TANG	90.000
99	0.330	0.020	0.0	TANG	0.480
100	0.330	0.020	0.0	TANG	90.000

ELIMINATE BRANCH POINT A
END THIS SYSTEM
0 BRANCHES
1 BRANCH POINTS
0 FOR SAVE ARRAY
26 CARDS

10

TABLE 1. POLIESTER FLEXIBILITY - FLEXIBILIDADE DA INSTALACAO
 REACTIONS AND SYSTEM STRESSES
 REACTIONS AT 10° END ARE REFERRED TO EACH POINT IN BRANCH
 BRANCH 1, FROM A1 TO A

POINT	AX	AY	AZ	FX	FY	FZ	PSI STRESS
1	0.	0.	37.	-13.5	-3.7	0.0	1617.
2	0.	0.	28.	-13.5	-3.7	0.0	1288.
3	0.	0.	15.	-13.5	-3.7	0.0	644.
4	0.	0.	14.	-13.5	-3.7	0.0	583.
5	0.	0.	5.	-13.5	-3.7	0.0	223.
6	0.	0.	1.	-13.5	-3.7	0.0	62.
7	0.	0.	12.	-13.5	-3.7	0.0	532.
8	0.	0.	24.	-13.5	-3.7	0.0	1354.
9	0.	0.	44.	-13.5	-3.7	0.0	1944.
10	0.	0.	44.	-13.5	-3.7	0.0	1783.
11	0.	0.	35.	-13.5	-3.7	0.0	1705.
12	0.	0.	34.	-13.5	-3.7	0.0	1547.
13	0.	0.	30.	-13.5	-3.7	0.0	1470.
14	0.	0.	16.	-13.5	-3.7	0.0	1309.
15	0.	0.	40.	-13.5	-3.7	0.0	715.
16	0.	0.	40.	-13.5	-3.7	0.0	418.

BRANCH 2, FROM A2 TO A

POINT	AX	AY	AZ	FX	FY	FZ	PSI STRESS
1	0.	0.	20.	13.5	3.7	0.0	1343.
2	0.	0.	17.	13.5	3.7	0.0	797.
3	0.	0.	3.	13.5	3.7	0.0	443.
4	0.	0.	0.	13.5	3.7	0.0	48.
5	0.	0.	3.	13.5	3.7	0.0	118.
6	0.	0.	0.	13.5	3.7	0.0	229.
7	0.	0.	0.	13.5	3.7	0.0	873.
8	0.	0.	29.	13.5	3.7	0.0	1466.
9	0.	0.	59.	13.5	3.7	0.0	4385.
10	0.	0.	30.	13.5	3.7	0.0	869.
11	0.	0.	20.	13.5	3.7	0.0	744.
12	0.	0.	14.	13.5	3.7	0.0	472.
13	0.	0.	40.	13.5	3.7	0.0	418.

10

TABLE 2. POLIESTER FLEXIBILITY - FLEXIBILIDADE DA INSTALACAO
 SUM OF RESTRAINING REACTIONS AT EACH BRANCH POINT

POINT	AX	AY	AZ	FX	FY	FZ
1	0.	0.	0.	0.0	-0.0	0.0
2	0.	0.	1944.	1944.	1944.	1944.

ROTATIONS IN RADIANS

BRANCH POINT	SPOT	SPOT	TRANSLATIONS IN INCHES	TRANSLATIONS IN INCHES
1	0.0	0.0	0.0	0.0
2	0.0	0.0	0.000508	0.0024
3	0.0	0.0	0.001702	0.0052
4	0.0	0.0	0.001524	0.0148
5	0.0	0.0	0.001450	0.0356
6	0.0	0.0	0.000718	0.2052
7	0.0	0.0	-0.000751	0.1842
8	0.0	0.0	-0.001204	0.1430
9	0.0	0.0	-0.001704	0.1014
10	0.0	0.0	-0.001609	0.0309
11	0.0	0.0	-0.002614	0.0652
12	0.0	0.0	-0.002772	0.0047
ROTATIONS AT END POINT 5 FROM SOLUTION AS CHECK				
1	0.0	0.0	-0.002772	0.0047
2	0.0	0.0	-0.002772	0.0047

BRANCH 2, FROM A2 TO A

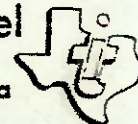
BRANCH POINT	SPOT	SPOT	TRANSLATIONS IN INCHES	TRANSLATIONS IN INCHES
1	0.0	0.0	0.0	0.0
2	0.0	0.0	0.000508	0.0024
3	0.0	0.0	0.000815	0.0553
4	0.0	0.0	0.000772	0.0201
5	0.0	0.0	0.000634	0.1327
6	0.0	0.0	-0.000634	0.0203
7	0.0	0.0	-0.000772	0.1283
8	0.0	0.0	-0.000815	0.0553
9	0.0	0.0	-0.000508	0.0024
10	0.0	0.0	-0.000508	0.0024
11	0.0	0.0	-0.000508	0.0024
12	0.0	0.0	-0.000508	0.0024
ROTATIONS AT END POINT 6 FROM SOLUTION AS CHECK				
1	0.0	0.0	-0.000508	0.0024
2	0.0	0.0	-0.000508	0.0024

PAGE 5

PAGE 1

FTH DO 1 D1D0

Apêndice 3: Listagens e Instruções para operação do Programa para Cálculo de Espessura Econômica de Isolamento Térmico.



DESCRIÇÃO DO PROGRAMA

O programa calcula o custo de amortização de um isolamento térmico. Se o programa for executado para várias espessuras, pode-se determinar a espessura econômica. A tecla Lincadora 9' foi introduzida para permitir a mudança de dados pelo teclado e repetir o cálculo da economia. O programa é específico para tubulações, não considerando superfícies planas. É aplicado geralmente para tubulações já existentes, pois é necessário conhecer, ou pelo menos poder estimar, a temperatura da parede externa do tubo.

INSTRUÇÕES DE USO

SSO	PROCEDIMENTO	INTRODUZA	PRESSIONE			VISOR
1	Divida a memória do calculadora	S	2nd	CE	17	559.49
2	Leia os 3 lados dos 3 cartões na sequência 1, 2, 3	1, 2, 3				1, 2, 3
3	Introduza o diâmetro externo da tubulação (mm)	Dt		A		Dt
4	Introduza o comprimento da tub. (m)	L		R/S		L
5	Introduza a temperatura da parede externa da tubo (°C)	To		R/S		To
6	Introduza o coeficiente de condutibilidade térmica do isolante escolhido e/ $T = T_0$ (Kcal/h.m.°C)	Ka		R/S		Ka
7	Introduza a temperatura do ar amb. (°C)	Ta		R/S		Ta

ECLAS LOCALIZADORAS ESPECIAIS		REGISTROS DE DADOS (INV INV)			LOCALIZADORES (Op 08)						
X	0	Dt	10	a	c/ isol.	INV	Inv	CE	X CLR	X SET	X ²
X	1	L	11	b		CE	Inv	STO	X RCL	X SUM	X ³
X	2	To	12			EE	X	X	X	X	X
X	3	Ka	13	Ta	, Ti	SBR	X	X	X	X	X
X	4	T	14	1	, 2, L	X	X	X	X	X	X
	5	Ka	15	1/2	, 1/3	X	X	X	X	X	X
	6	T	16		CE	X	X	X	X	X	X
	7	K	17	0,5	(Ta + Ti)	X	X	X	X	X	X
X	8		18	00000000		X	X	X	X	X	X
X	9		19	00000000		X	X	X	X	X	X
ALIZAS		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9

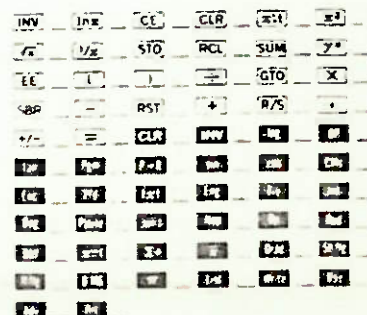
DESCRIÇÃO DO PROGRAMA

Devido às equações empregadas para determinar as propriedades do ar, a temperatura média da película, para efeitos de convecção, deve estar entre -17°C e 425°C . Também devido a um problema de validade das equações do coeficiente de convecção, deve-se aplicar esse programa a instalações com pelo menos 5 m de comprimento. As equações da troca de calor levam em conta apenas a condução através do isolante e a convecção natural do ar ambiente.

INSTRUÇÕES DE USO

SSO	PROCEDIMENTO	INTRODUZA	PRESSIONE	VISOR
8	Introduza o coeficiente de condutibilidade térmica do isolante $k / T = T_c$ ($^{\circ}\text{C}$)	K	3/3	K
9	Introduza uma temperatura qualquer T entre T_c e T_a , na qual se conheça o coef. de condut. térmica ($^{\circ}\text{C}$)	T	3/3	T
10	Introduza o coef. de condut. térmica do isolante à temp. T	K	3/3	K
11	Posição da instalação. Introduza "0" se a tubulação for horizontal. Introduza "1" para vertical.	0, 1	1/3	0, 1
12	Pressione 8 para obter o calor trocado pela tubulação $q / \text{isol.}$ (Kcal/h)		8	Kcal/h
13	Pressione 7/7 para obter o coef. de			

TECLAS LOCALIZADORAS ESPECIAIS	REGISTROS DE DADOS (INV INT)	LOCALIZADORES (Op 08)
A	20 e	0
B	21 q s/ isol.	1
C	22 $\frac{1}{2k} \ln \left(1 + \frac{22}{T_c} \right)$	2
D	23 $0,5 (T_c + T_p)$	3
E	24 $Cr \# / \text{Kcal}$	4
A'	25 horas/aro	5
B'	26 $Cr \# / \text{aro}$	6
C'	7	7
D'	8	8
E'	9	9
BALIZAS	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9	



DESCRIÇÃO DO PROGRAMA

INSTRUÇÕES DE USO

SSO	PROCEDIMENTO	INTRODUZA	PRESSIONE	VISOR
	convecção usada. Esse passo pode ser omitido (Kcal/h.m ² .°C)		7/3	W
	Se você quiser calcular o calor trocado em isolamento com outros dados, basta introduzir os novos dados nas variáveis correspondentes e pressionar 3			
14	Introduza a espessura do isolamento e pressione 8 para determinar o calor trocado m ² /tub. Isol. Esse passo só pode ser executado após o passo 12 (mm)	e	3	Kcal/h
	Pressione 7/3 e/ obter a temperatura da parede externa do isolante (°C)		7/3	Ti
15	Introduza o custo da energia e pressione 9 para iniciar o cálculo da economia decorrente da isolação (¢/Kcal)	¢/Kcal	9	¢/Kcal
16	Introduza o regime de operação da iso-			

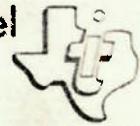
TECLAS LOCALIZADORAS ESPECIAIS	REGISTROS DE DADOS (INV DEL)		LOCALIZADORES (Op 08)					
0	0	0	INV	DEL	CE	CLR	ST	ST
1	1	1	1/x	1/x	STO	RCL	SUM	Y*
2	2	2	EE	EE	1	1	GTO	X
3	3	3	SRP	SRP	WT	+	R/S	.
4	4	4	1/x	1/x	CLR	END	END	END
5	5	5	1/x	1/x	1/x	1/x	1/x	1/x
6	6	6	1/x	1/x	1/x	1/x	1/x	1/x
7	7	7	1/x	1/x	1/x	1/x	1/x	1/x
8	8	8	1/x	1/x	1/x	1/x	1/x	1/x
9	9	9	1/x	1/x	1/x	1/x	1/x	1/x

DESCRIÇÃO DO PROGRAMA

INSTRUÇÕES DE USO

SSO	PROCEDIMENTO	INTRODUZA	PRESSIONE	VISOR
	calorão (horas / ano) e Pressione 4/5 para determinar a econ. result. (20/ano) Se você quiser mudar 20/ano ou horas/ano, introduza o(s) novo(s) valor(s) no(-s) variável(is) correspondente(s) e pressione 0' o/ obter 20/ano. O passo 17 só pode ser executado após os passos 13 e 15.	horas/ano	4/5	20/ano
17	a) Introduz. o custo do isolamento (mat. e mão de obra) para a dada espessura por metro linear de tubo e press. E o/ obter preço de quart. em pesos b) se o custo for em 10/1², press. E' o/ obter o preço	20/m lin. 10/1²	E E'	preço preço
17	para o início de calcular com novo preço unit. vá ao passo 14 e na segunda press. 0' e E ou E'			

TECLAS LOCALIZADORAS ESPECIAIS	REGISTROS DE DADOS: (INV LUR)		LOCALIZADORES (Op 08)					
0	0	0	INV	INV	CE	CLR	DEL	2nd
1	1	1	1/x	1/y	STO	RCL	SUM	Y*
2	2	2	EE	1	1	1	GTO	X
3	3	3	SBR	1	RST	+	6/5	1
4	4	4	1	1	CLR	1	1	1
5	5	5	1	1	1	1	1	1
6	6	6	1	1	1	1	1	1
7	7	7	1	1	1	1	1	1
8	8	8	1	1	1	1	1	1
9	9	9	1	1	1	1	1	1



AMADOR

CÓD.	TECLA	COMENTÁRIOS	LOC.	CÓD.	TECLA	COMENTÁRIOS	LOC.	CÓD.	TECLA	COMENTÁRIOS
000	76	LBL		055	75	-		110	77	GE
001	11	H		056	43	RCL		111	42	STD
002	55	+		057	01	04		112	01	1
003	01	1		058	54	)		113	43	STD
004	00	0		059	55	=		114	14	14
005	00	0		060	42	STU		115	03	3
006	00	0		061	10	10		116	35	1/X
007	58	=		062	50	1X1		117	42	STD
008	42	STD		063	59	FRT		118	15	15
009	00	00		064	91	R/S		119	43	RCL
010	31	R/S		065	43	RCL		120	09	09
011	42	STD		066	11	11		121	67	EQ
012	01	01		067	59	FRT		122	43	RCL
013	91	R/S		068	91	R/S		123	01	1
014	42	STD		069	76	LBL		124	93	.
015	02	02		070	22	INV		125	01	1
016	42	STD		071	53	(		126	03	3
017	13	13		072	53	(		127	42	STD
018	91	R/S		073	43	RCL		128	16	16
019	42	STD		074	13	13		129	61	GTO
020	03	03		075	85	+		130	44	SUM
021	91	R/S		076	43	RCL		131	76	LBL
022	42	STD		077	04	04		132	43	RCL
023	04	04		078	54	)		133	01	1
024	91	R/S		079	50	-		134	00	.
025	42	STD		080	02	2		135	00	0
026	05	05		081	54	)		136	07	7
027	91	R/S		082	42	STD		137	42	STD
028	42	STD		083	17	17		138	16	16
029	06	06		084	53	(		139	61	GTO
030	91	R/S		085	53	(		140	44	SUM
031	42	STD		086	71	SBR		141	76	LBL
032	07	07		087	35	1/X		142	42	STD
033	91	R/S		088	65	X		143	04	4
034	42	STD		089	43	RCL		144	35	1/X
035	09	09		090	01	01		145	42	STD
036	91	R/S		091	45	YX		146	15	15
037	76	LBL		092	03	3		147	43	RCL
038	12	B		093	65	X		148	09	09
039	71	SBR		094	53	(		149	67	EQ
040	22	INV		095	43	RCL		150	45	YX
041	42	STD		096	13	13		151	01	1
042	11	11		097	15	-		152	03	.
043	50	X		098	43	RCL		153	02	2
044	94	4		099	04	04		154	04	4
045	65	X		100	54	)		155	42	STD
046	43	RCL		101	54	)		156	16	16
047	00	00		102	73	-		157	43	RCL
048	65	X		103	01	01		158	01	01
049	43	RCL		104	52	EE		159	42	STD
050	01	01		105	09	9				
051	65	X		106	54	)				
052	53	(		107	22	INV				
053	43	RCL		108	52	EE				
054	02	02		109	22	INV				

CÓDIGOS INTEGRADOS

62	72	83
63	73	84
64	74	92

TEXAS INSTRUMENTS
ELECTRÔNICA S.A. BRASIL

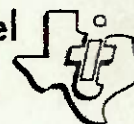


CÓD.	TECLA	COMENTÁRIOS	LOC.	CÓD.	TECLA	COMENTÁRIOS	LOC.	CÓD.	TECLA	COMENTÁRIOS
160	14	14		215	05	5		270	65	X
161	61	GTO		216	00	0		271	43	RCL
162	44	SUM		217	04	4		272	20	20
163	76	LBL		218	02	2		273	55	+
164	45	YX		219	00	0		274	43	RCL
165	01	1		220	04	4		275	00	00
166	93	.		221	00	0		276	74	)
167	01	1		222	03	3		277	20	LNK
168	05	5		223	94	+/-		278	05	+
169	42	STD		224	65	X		279	42	STD
170	16	16		225	01	1		280	22	22
171	43	RCL		226	90	.		281	53	(
172	00	00		227	00	3		282	53	(
173	42	STD		228	02	2		283	43	RCL
174	14	14		229	00	0		284	00	00
175	76	LBL		230	07	7		285	85	+
176	44	SUM		231	02	2		286	02	2
177	53	(		232	02	2		287	65	X
178	53	(		233	52	EE		288	43	RCL
179	53	(		234	01	1		289	20	20
180	43	RCL		235	09	9		290	54	)
181	13	13		236	54	)		291	65	X
182	75	-		237	92	RTN		292	43	RCL
183	43	RCL		238	76	LBL		293	11	11
184	04	04		239	13	C		294	54	)
185	54	)		240	39	PRT		295	35	1/X
186	55	+		241	55	+		296	35	=
187	43	RCL		242	01	1		297	35	1/X
188	14	14		243	00	0		298	65	X
189	54	)		244	00	0		299	89	π
190	45	YX		245	00	0		300	65	X
191	43	RCL		246	95	=		301	43	RCL
192	15	15		247	42	STD		302	01	01
193	65	X		248	20	20		303	65	X
194	43	RCL		249	43	RCL		304	53	(
195	16	16		250	02	02		305	43	RCL
196	54	)		251	42	STD		306	02	02
197	92	RTN		252	13	13		307	75	-
198	76	LBL		253	76	LBL		308	43	RCL
199	35	1/X		254	55	+		309	04	04
200	53	(		255	71	8BR		310	54	)
201	53	(		256	42	INV		311	35	=
202	43	RCL		257	42	STD		312	42	STD
203	17	17		258	11	11		313	21	21
204	95	+		259	71	8BR		314	65	X
205	01	1		260	80	(		315	43	RCL
206	07	7		261	65	X		316	32	32
207	03	3		262	02	2		317	65	+
208	93	.		263	95	=		318	89	π
209	01	1		264	35	1/X		319	55	+
210	05	5		265	65	X				
211	54	)		266	53	(				
212	45	YX		267	01	1				
213	04	4		268	35	+				
214	90	.		269	02	2				

CÓDIGOS INTEGRADOS

62	57	83	GTO
63	73	84	RCL
64	74	92	INV SUM

TEXAS INSTRUMENTS
ELETROELETRÔNICOS DO BRASIL LTDA



NOMADADOR _____

DATA _____

Formulário de Códigos

CÓD.	TECLA	COMENTÁRIOS	LOC.	CÓD.	TECLA	COMENTÁRIOS	LOC.	CÓD.	TECLA	COMENTÁRIOS
320	43	RCL		375	43	RCL		430	43	RCL
321	01	01		376	13	13		431	05	05
322	94	+/-		377	99	PRT		432	54	)
323	85	+		378	91	R/S		433	92	RTN
324	43	RCL		379	43	RCL		434	76	LBL
325	02	02		380	11	11		435	61	GTO
326	95	=		381	99	PRT		436	53	(
327	42	STD		382	91	R/S		437	53	(
328	13	13		383	76	LBL		438	43	RCL
329	75	-		384	53	(		439	03	03
330	43	RCL		385	53	(		440	75	-
331	04	04		386	53	(		441	43	RCL
332	95	=		387	53	(		442	07	07
333	85	1.0X		388	43	RCL		443	54	)
334	65	X		389	13	13		444	65	X
335	43	RCL		390	85	+		445	53	(
336	21	21		391	43	RCL		446	43	RCL
337	55	+		392	02	02		447	23	23
338	89	+		393	54	)		448	75	-
339	55	+		394	55	+		449	43	RCL
340	43	RCL		395	02	2		450	06	06
341	01	01		396	54	)		451	54	)
342	55	+		397	42	STD		452	55	+
343	53	(		398	23	23		453	53	(
344	43	RCL		399	75	-		454	43	RCL
345	00	00		400	43	RCL		455	03	03
346	85	+		401	06	06		456	75	-
347	02	2		402	34	)		457	43	RCL
348	65	X		403	77	GE		458	06	06
349	43	RCL		404	61	GTO		459	54	)
350	20	20		405	53	(		460	85	+
351	54	)		406	53	(		461	43	RCL
352	95	=		407	43	RCL		462	07	07
353	75	-		408	07	07		463	54	)
354	43	RCL		409	75	-		464	92	RTN
355	11	11		410	43	RCL		465	76	LBL
356	95	=		411	05	05		466	14	14
357	65	X		412	54	)		467	42	STD
358	01	1		413	65	X		468	24	24
359	00	0		414	53	(		469	91	R/S
360	00	0		415	43	RCL		470	42	STD
361	00	0		416	23	23		471	25	25
362	95	=		417	75	-		472	76	LBL
363	52	INT		418	43	RCL		473	19	19
364	67	EQ		419	04	04		474	43	RCL
365	54	)		420	54	)		475	10	10
366	61	STD		421	53	(		476	75	-
367	55	+		422	53	(		477	43	RCL
368	76	LBL		423	43	RCL		478	21	21
369	54	)		424	04	04		479	95	+
370	43	RCL		425	75	-				
371	21	21		426	43	RCL				
372	50	143		427	04	04				
373	99	PRT		428	54	)				
374	91	R/S		429	25	+				

CÓDIGOS INTEGRADOS

62	63	64	72	73	74	83	84	92
STO	STO	STO	STO	STO	STO	STO	STO	STO
STO	STO	STO	STO	STO	STO	STO	STO	STO
STO	STO	STO	STO	STO	STO	STO	STO	STO

TEXAS INSTRUMENTS

COPROCESSOR BRASIL LTD



VADOR _____

DATA _____

Formulário de Códigos

DD.	TECLA	COMENTÁRIOS	LOC.	CÓD.	TECLA	COMENTÁRIOS	LOC.	CÓD.	TECLA	COMENTÁRIOS
480	65	X								
481	43	RCL								
482	24	24								
483	65	X								
484	43	RCL								
485	25	25								
486	95	=								
487	50	IXI								
488	42	STD								
489	26	26								
490	99	PRT								
491	91	R/S								
492	76	LBL								
493	15	E								
494	65	X								
495	43	RCL								
496	01	01								
497	55	+								
498	43	RCL								
499	26	26								
500	65	X								
501	01	1								
502	02	2								
503	95	=								
504	99	PRT								
505	91	R/S								
506	76	LBL								
507	10	E*								
508	65	X								
509	43	RCL								
510	00	00								
511	65	X								
512	09	9								
513	65	X								
514	43	RCL								
515	01	01								
516	55	÷								
517	43	RCL								
518	26	26								
519	65	X								
520	01	1								
521	02	2								
522	95	=								
523	99	PRT								
524	91	R/S								

CÓDIGOS INTEGRADOS

62	62	72	STD	83	GTO
63	63	73	PR	84	IN
64	64	74	PR	92	INV

TEXAS INSTRUMENTOS
ELETRÔNICOS DO BRASIL LTDA

Apêndice 4: Simbologia e Unidades

Símbolo	Significado	Unidade
a	constante de degradação	meq/kg min
b	constante de degradação	$^{\circ}\text{K}^{-1}$
c	calor específico	cal/g $^{\circ}\text{C}$
d	diâmetro	cm
D	degradação	meq/kg
J	equivalente mecânico do calor	erg/cal
K	índice de consistência	$\text{g s}^{n-2}/\text{cm}$
l	comprimento	cm
$\dot{m}$	vazão em massa	g/s
n	índice de comportamento de fluxo	-
N	Potência	KW
N_u	Potência útil	
p	pressão	bar, dina/cm ²
P	Perdas	
Q	Calor	Kcal
r	raio	cm
S	tensão	psi
t	espessura	cm
T	temperatura	$^{\circ}\text{C}$
T_0	Temperatura inicial	$^{\circ}\text{C}$
$\bar{u}$	velocidade média	cm/s
v	velocidade	cm/s
V	volume	cm ³

Simbologia	Significado	Unidade
x	deslocamento	cm
Z	relação de vazão em massa	-
τ	tempo	s
$\dot{\gamma}$	taxa de cisalhamento	1/s
ρ	densidade	g/cm ³
σ	tensão atuante	kgf/cm ²
σ_{adm}	tensão admissível	kgf/cm ²
ΔT	variação de temperatura	°C
Δp	variação de pressão	bar
η	rendimento	