

ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
Departamento de Engenharia Mecânica  
Projeto Mecânico

Projeto de Máquina Automatizada para  
Ensaio de Tubos de Aço por Emissão  
Ultrassônica.

Autor: Douglas Haddad

Orientador: Prof. Ettore Bresciani Fº.

1 9 8 3

## Sumário:

Neste trabalho procuramos desenvolver a solução para o problema de ensaio de controle de qualidade em tubos de aço dentro de uma certa faixa de diâmetros, comprimentos e pesos. Para tanto, fazemos um sucinto "estudo de viabilidade", onde aconselhamos e justificamos a adoção do método por ultrassom.

Partimos posteriormente para a análise da formação do projeto no que se refere à especificação generalizada das características das peças que serão ensaiadas, baseando-nos em informações obtidas junto ao mercado de tubos de aço de São Paulo, e das características funcionais relativas ao equipamento, no que nos orientamos por catálogos de fabricantes de equipamentos de ultrassom e pela bibliografia.

De posse do método de ensaio a ser aplicado, ou seja, o ultrassom, e do tipo de corpo-de-prova, fazemos o estudo das técnicas de ensaio mais adequadas para a finalidade em questão dentre uma gama de opções possíveis; adotamos as técnicas mais apropriadas; discutimos particularidades físicas das técnicas adotadas; estabelecemos parâmetros fixos do sistema de ensaio para elaboração dos cálculos. Indicamos, por fim, equipamentos de ultrassom disponíveis no mercado, os quais suprem as necessidades do sistema.

Para que o ensaio em si seja viabilizado, chegamos ao Projeto Executivo, em que propomos uma máquina completa, dotada de diversos sub-conjuntos mecânicos de apoio. Além da concepção física da máquina, realizamos o cálculo dos parâmetros fundamentais da parte mecânica, sempre baseados em hipóteses reais, dados de catálogos específicos, modelos matemáticos extraídos da bibliografia.

A partir desse ponto, isto é, de todos os dados registrados ou calculados até então, desenvolvemos o desenho em escala do sistema mecânico da máquina. Chegamos até a determinação dos componentes mecânicos.

Concluindo, temos em mãos o "traçado piloto" e o "Projeto do produto" de um sistema para uma aplicação universal e específica. Com isso, mantendo-se a idéia básica, ele poderá ser modificado para aplicações similares, porém diferentes.

## Índice dos capítulos e anexos

	pág.
1) Estabelecimento da necessidade	1
2) Formação do projeto-especificações técnicas	2
2.1)	
2.2) Características funcionais	2
2.2.1) Análise relativa à peça ensaiada	2
2.2.2) Análise das características funcionais relativas ao equipamento.	5
2.3) Características construtivas	7
2.3.1) Unidade eletrônica de ensaio por ultrassom	7
2.3.2) Conjunto de transmissão de movimento ao tubo ensaiado	9
2.3.3) Conjunto de sustentação e guia do tubo ensaiado	9
2.3.4) Conjunto de separação das peças testadas	9
2.3.5) Conjunto de manutenção do acoplamento entre o C.P. e os cabeçotes	9
2.3.6) Conjunto de acionamento pneumático.	10
3) Análise das técnicas de ensaio por ultrassom a serem aplicadas nos corpos de prova	11
3.1) Estudo da detectabilidade de defeitos pelo equipamento	11
3.2) Análise da melhor disposição dos cabeçotes	13
3.3) Análise dos ângulos de refração na incidência oblíqua do ultrassom	14
3.4) Cálculo da distância entre os cabeçotes	16

	pág.
3.5) Medição da espessura de parede dos tubos	18
3.6) O padrão de referência ou corpo-padrão	21
4) Descrição do sistema de ensaio, considerando-se todos os agregados interligados	23
4.1) Análise do sistema pneumático	23
4.2) Procedimentos de regulagem do sistema	27
4.3) Sequência de Operação da Máquina de Ensaio	32
5) Análise e cálculos dos sistemas de movimentação do corpo de prova	34
5.1) Cálculos inerentes à transmissão de movimento helicoidal ao C.P., por meio de roda de atrito	34
5.1.1) Hipóteses gerais	34
5.1.2) Cálculo da potência a ser transmitida pela roda motriz	34
5.1.3) Análise dos esforços atuantes na superfície das rodas de atrito	37
5.1.4) Cálculo da transmissão mecânica entre o motor e as rodas de atrito	39
5.1.5) Cálculo dos ângulos de hélice resultantes do movimento helicoidal dos tubos a serem ensaiados	43
5.2) Cálculo do transportador de tubos de movimento de translação	45
5.2.1) Hipóteses gerais	45
5.2.2) Cálculo da potência de acionamento	45
5.2.3) Análise dos esforços atuantes na superfície dos rolos de atrito	46

Obs.: C.P. significa corpo de prova.



	pág.
5.2.4) Cálculo da transmissão mecânica entre o motor e as rodas de atrito	47
5.3) Considerações sobre os rolos de atrito para a transmissão de movimento ao corpo de prova	51
5.4) Cálculo do espaçamento entre dois transportadores de roletes consecutivos.	53
(Figuras ilustrativas)	56 a 63
(Bibliografia)	64

## - ESTABELECIMENTO DA NECESSIDADE

A função dos tubos de parede fina como elementos estruturais e de transporte de fluídos , tanto em elvadas como em baixas temperaturas, torna-os peças que exigem qualidade de fabricação e segurança nas suas aplicações .

É nossa intenção nesse projeto, elaborar uma máquina que realize uma operação completa e automatizada de varredura em tubos de aço por meio de ultrassom e, com isso , sem destruí-lo, localize possíveis defeitos de fabricação e permita a sua classificação como peças boas ou peças defeituosas .

Os tubos de aços que podem ser dos tipos com costura ou sem costura, tendem a apresentar defeitos que os desclassificam para o emprego em funções de responsabilidade, ou seja, em casos em que o dano do tubo incorre em prejuízos econômicos , ou mesmo humanos, como consequências . O teste não-destrutivo de tubos , especialmente para os de pequenos e médios diâmetros, tornou-se de extrema importância, como resultado do crescente emprego desse material nos campos da energia nuclear, química, termodinâmica e outras aplicações críticas .

Ao controle não destrutivo cabe a importante tarefa de detectar e separar, o mais rápido possível, defeitos de material ou de fabricação e através dele eliminar as causas que os originaram. O controle não destrutivo serve tanto para a supervisão interna de qualidade como na inspeção de recebimento para comprovação da manutenção das condições de fornecimento que são estabelecidos com os clientes .

A razão pela qual optamos especificamente pelo ensaio de ultrassom pode ser explicada pelos argumentos que seguem . A técnica do ultrassom fornece indicações ou sinais que podem ser reproduzidos, possui uma sensibilidade suficiente e detecta heterogeneidade de mínimas dimensões . Além disso , o ensaio por ultrassom permite o tratamento de informações colhidas por sistemas eletrônicos e unidades de processamento, aumentando o seu rendimento e utilizando equipamentos mecanizados ou automatizados, em condições de trabalhar de forma contínua .

Some-se aos itens citados a potencialidade do método por ultrassom para resolver um problema crítico dos tubos, principalmente dos tubos sem costura: a medição da espessura de parede em graus de elevada precisão . É grande a quantidade de produtos oferecidos no mercado que visam a eliminar tal dificuldade. Portanto , também para essa medição dimensional de caráter bastante específico, o método por ultrassom é o mais barato e o que melhor se adapta à automatização .

- Prováveis usuários do equipamento :

- . Indústrias de tubos com ou sem costura, a máquina seria empregada no Controle de Qualidade das mesmas .
- . Empresas distribuidoras de tubos de aço, o equipamento permitiria o fornecimento de certificados de qualidade dos produtos por elas comercializados e uma maior garantia dos mesmos produtos .
- . Empresas de consultoria e assistência na área de Controle de Qualidade, Armazenagem e Expedição de Materiais .
- . Empresas consumidoras de tubos de aço com ou sem costura, em quantidades que justifiquem a aquisição do equipamento .
- . Empresas ou entidades de pesquisa onde procura-se desenvolver novos processos para a produção de tubos ou mesmo novos produtos tubulares de aço .

2 - FORMAÇÃO DO PROJETO - ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS

2.2. Características funcionais :

2.2.1. Análise relativa à peça ensaiada

- . O equipamento deve ensaiar tubos de aço de parede fina, com ou sem costura, com diâmetros externo ou interno constantes, das seguintes classes :

Sem costura:

DIN 2240 - Galvanizado - de  $\varnothing$  3/4" a  $\varnothing$  6" (Diâmetro nominal interno)

DIN 2240 - Preto - de  $\varnothing$  3/4" a  $\varnothing$  6" (Diâmetro nominal interno)

DIN 2441 - Preto - de  $\varnothing$  3/4" a  $\varnothing$  6" (Diâmetro nominal interno)

Schedule 40 - aço ASTM-A-120-53-106 - de  $\varnothing$  3/4" a  $\varnothing$  6" (Diâmetro nominal interno)  
API-5LB

Schedule 80 - aço ASTM-A-120-53-106 - de  $\varnothing$  3/4" a  $\varnothing$  6" (Diâmetro nominal interno)

Com costura :

DIN 2440 - Galvanizado - de  $\varnothing$  3/4" a  $\varnothing$  6" (Diâmetro nominal interno)

DIN 2440 - Preto - de  $\varnothing$  3/4" a  $\varnothing$  6" (Diâmetro nominal interno)

DIN 2458 - Parede fina - de  $\varnothing$  1" a  $\varnothing$  4" (Diâmetro nominal interno)

B.S. 1387 - Galvanizado - de  $\varnothing$  3/4" a  $\varnothing$  4" (Diâmetro nominal interno)

ASTM A178 - de  $\varnothing$  2" a  $\varnothing$  4" (Diâmetro nominal interno)

Estas classes de tubos suprem a maior parte do mercado de tubos de parede fina, dentro da faixa de diâmetros que nos interessa . São, também as classes de maior oferta no mercado de tubos em São Paulo .

- . Comprimento mínimo do tubo = 4m
- . Comprimento máximo do tubo = 15m
- . Materiais do tubo ensaiado :
  - . aço baixo carbono, comum ( até 0,2% de carbono)
  - . aço baixo carbono e baixa liga ( até 0,2% de carbono)
  - . aço estrudado ou trifilado

Obs.: O sistema não é aconselhável para aços fundidos .

- . Tolerâncias dimensionais :
  - . Diâmetro externo :  $\pm 1\%$
  - . Espessura de parede :  $\pm 5\%$
  - . Ovalização (  $\varnothing$  máx. -  $\varnothing$  mín. ):
    - para tubos de 3/4" a 1 1/2" - 0,2mm ( valor máximo )
    - para tubos de 2" a 4" - 0,5mm ( valor máximo )
    - para tubos de 5" a 6" - 0,75mm ( valor máximo )
  - . Excentricidade: 
$$\frac{(\text{espessura máx.parede} - \text{esp.mín.parede})}{2}$$
    - em uma única secção :
      - para tubos de 3/4" a 1 1/2" - 0,2mm
      - para tubos de 2" a 4" - 0,4mm
      - para tubos de 5" a 6" - 0,6mm

- . Peso do tubo ensaiado :
  - . Peso mínimo = 6,4Kg ( 4m x 1,6Kg/m )
  - . Peso máximo = 630Kg ( 15m x 42,5Kg/m )
- . Temperatura da peça testada no ponto de ensaio :

150 a 250°C
- . Tipos de defeitos que a máquina deve captar :
  - . trincas longitudinais nas paredes internas e externas
  - . lascas
  - . inclusões



- . defeitos de solda ( tubos com costura )
- . cavidades devido a contração no refriamento
- . dupla laminação
- . variações de espessura

As figuras de 1.1. a 1.4. apresentam como estes defeitos se apresentam nos tubos .

- . Dimensões mínimos de defeitos :
  - . o menor tamanho de uma particular que pode ser detectada ou menor largura de uma descontinuidade: 0,5mm
  - . menor comprimento de uma trinca de orientação longitudinal no tubo ensaiado : 5mm

As justificativas para a adoção desses valores encontram-se mais adiante .

- . Precisão do dispositivo de medição de espessura de parede:  
 $\pm 0,1\text{mm}$

- . Rugosidade de superficial :

de 10  $\mu\text{m}$  a 80  $\mu\text{m}$  ( profundidade máxima de rugosidade )

Importante : se o tubo for muito liso, as ondas circulam por ele várias vezes sem produzir eco de referência ou seja, a onda não consegue sair do tubo .

### 2.2.2) Análise das características funcionais relativas ao e quipamento:

- A máquina realiza varredura completa em todas as partes do tubo. As direções em que os feixes serão emitidos sofrem - análise mais detalhada no item "Características Operacionais".
- Operação da máquina automatizada. O tubo entra na área de teste e é ensaiado automaticamente. O registro do eventual defeito e sua localização na peça, por meio de marcação, - devem ser automáticos.
- Tubo dotado de movimento em espiral, ou seja, movimento de rotação somado a movimento de translação ou avanço.

Esta opção justifica-se dentro da faixa de diâmetros de tubo que o equipamento ensaiará. Para diâmetros maiores, sem dúvida, tornar-se-ia inviável, nesse caso, a solução está em fazer girar os cabeçotes.

Mais adiante, analisaremos os valores de velocidades de rotação e de translação a serem adotados.

- Inspeção ultrassônica a ser empregada segue o "método de - impulso-eco" ou o método de transparência.

Dessa forma registra-se o sinal refletido em uma descontinuidade do material.

O cabeçote pode ser o mesmo que o receptor, mas também, pode-se utilizar emissores e receptores separados.

Mediante a emissão de impulsos de ultrassom pode-se avaliar não somente a intensidade dos sinais refletidos (amplitude do eco), como também o tempo percorrido pelo sinal. Graças a isso, obtem-se informação tanto sobre o tamanho da superfície refletida, como também, sobre sua posição.

- Técnica de acoplamento: ensaio por imersão.

Algumas das dificuldades associadas com o acoplamento acústico são sobrepostas pela técnica da imersão. Se as faces do cabeçote e do tubo inspecionado estão isentas de impurezas isolantes, uma satisfatória transmissão de energia ocorrerá do primeiro para o segundo, através da água.

Deve-se lembrar, entretanto, que quando uma onda ultras-  
sônica encontra a fronteira entre dois meios de impedâncias  
acústicas diferentes, a maior parte da energia é refletida -  
para o primeiro meio e somente uma pequena parte transmite-  
se para o segundo. No caso deste equipamento, em que irá uma  
interface água-aço, aproximadamente 88% da energia incidente  
é refletida, e a energia remanescente, que é transmitida pa-  
ra o aço, deve passar através da interface novamente, retor-  
nando ao cristal receptor apenas 1,5% (aproximadamente) do -  
pulso inicial. Esta considerável perda de energia parece ser  
um alto preço a pagar, entretanto, a melhor sensibilidade -  
fornecida pela instrumentação superior sobrepõe esta desvan-  
tagem facilmente. Como o cabeçote não está em contacto com a  
peça, cristais de alta-frequência e alta-sensibilidade podem  
ser usados, inclusive o sulfato de lítio, desde que muito -  
bem selados contra a umidade.

- Características gerais dos cabeçotes:

- frequência de 4,5 ou 6 MHz
- elevada resolução
- grande profundidade de teste
- para aços de granulação fina

- Avaliação dos resultados:

O sistema separa as peças em três categorias básicas:

- peças boas, sem defeitos estruturais ou sem desvios dimen-  
sionais que ultrapassem as faixas de tolerância
  - peças com defeitos estruturais: trincas, inclusões, lamina-  
ções, defeitos de solda, lascas, cavidades
  - peças com variações de espessuras além das tolerâncias.
- Características gerais do dispositivo de medição de espes-  
sura de parede:
- campo de medição: 2 a 10mm
  - precisão de medição:  $\pm 0,1\text{mm}$

- avaliação dos resultados:- controle dentro dos limites - de tolerância
  - reconhecimento de defeito de laminação
  - avaliação de valores máx/min.
- frequência de repetição de pulso: 3 kHz.
- frequência da onda sonora: 5 MHz.

Vale ressaltar que o dispositivo de medição de espessura pode ser condicionado a detectar, também, defeitos de dupla laminação e lascas.

### 2.3) Características construtivas:

O sistema completo constitui-se basicamente dos seguintes elementos:

2.3.1) Unidade eletrônica de ensaio por ultrassom: dispositivo compacto ou modular para a emissão e elaboração de dados eletrônicos. Seus circuitos lógicos são constituídos pelos seguintes elementos:

2.3.1.1) Grupo de emissão - determina como se desenvolve o ciclo de controle, ou seja, em que instante emite e em instante recebe e analisa os sinais.

2.3.1.2) Gerador de impulsos - produz os impulsos mediante as quais os cabeçotes são excitados para produzir oscilações mecânicas (efeito piezoelétrico).



2.3.1.3) Transdutores - convertem os impulsos elétricos de ex citação em oscilações mecânicas (ultrassom), e reci procamente, as oscilações ultrassônicas em impulsos elétricos. O apalpador emissor e o receptor podem coincidir (operação com um apalpador), ou estar separados (operação em tan-dem ou com SE).

2.3.1.4) Amplificador - amplifica e filtra o sinal recebido e transformado pelo apalpador. Este elemento conta com um campo de ajuste de ganho (em dB) e controle de supressão de interferências, sem influenciar a amplitude do eco.

2.3.1.5) Avaliação dos resultados - as características do am-plificador podem sofrer uma primeira avaliação par-cial dos resultados. Usualmente realiza-se uma separação dos sinais que estejam abaixo de um certo valor e aqueles que o superam. Os equipamentos que realizam esta operação chamam-se "monitores", e aplicam a avaliação da peça por "coincidência" ou por "anti-coincidência". O resultado da avaliação - faz com que o circuito emita um sinal eletrônico que é apro-veitado pelo conjunto automático de seleção das peças.

2.3.1.6) Elemento de tela - formado por um pequeno tubo de - raios catódicos, exibe os sinais de eco e sinais de limitação das faixas de avaliação, fixadas pelo monitor. Es-te circuito conta com controles de brilho da tela, foco, al-tura da linha zero, ajustes fino e grosso do campo de teste (expansão).

2.3.1.7) Elemento de medição de espessura: realiza a avaliação dos sinais enviados pelos cabeçotes de medição de espessura, monitorando tais informações dentro das faixas de tolerância permissíveis para a peça.

2.3.2) Conjunto de transmissão de movimento ao tubo ensaiado:  
parte eletro-mecânica constituída basicamente de:

- motor elétrico de corrente contínua
- dispositivo de variação de rotação
- elementos para transmissão de torque por atrito ou engrenamento
- estrutura metálica.

2.3.3) Conjunto de sustentação e guia do tubo ensaiado - parte mecânica constituída de:

- roletes, rolamentos
- tripês de altura regulável.

2.3.4) Conjunto de separação das peças testadas: conjunto eletro-mecânico constituído por:

- servos-mecanismos (pistões pneumáticos)
- canaletas e guias.

2.3.5) Conjunto de manutenção do acoplamento entre a peça e os cabeçotes, constituído por:

- tanque de armazenamento de fluido de acoplamento
- suportes reguláveis dos cabeçotes ultrassônicos
- dutos flexíveis
- bóias para controle de nível
- pistões pneumáticos.

2.3.6) Conjunto de acionamento pneumático - circuito de ar - comprimido para atuação semi-automatizada constituído basicamente de:

- dutos de ar comprimido.
- válvulas pneumáticas direcionais e de controle
- pistões pneumáticos.

3) Análise das técnicas de ensaio por ultrassom a serem aplicadas nos corpos de prova.

### 3.1) Estudo da detectabilidade de defeitos pelo equipamento.

Quando se procura um defeito, deve-se previamente definir quando uma descontinuidade com um certo tamanho passa a ser realmente um defeito. O importante é não obter ecos distintos de todas as descontinuidades, mas somente daquelas - que excedam o tamanho definido (e não, por exemplo, grãos e segregações normais).

A detectabilidade de defeitos de um sistema deve ser suficiente para mostrar as menores descontinuidades dentro da capacidade desejada. Dentro disso, vale a referência ao fato de que o equipamento de ensaio, composto de emissores de ultrassom, cabeçotes de controle, receptor, máquina de ensaio e elaboração dos sinais, é um sistema de informação no qual, como caso de outros equipamentos, a qualidade e confiabilidade são determinadas pelo elo mais fraco da corrente. Um cabeçote ótimo para um problema específico de controle requer amplificadores e equipamentos de elaboração de dados também ótimos.

Diante da hipótese de que o equipamento de ultrassom supre a necessidade descrita acima, podemos afirmar que a detectabilidade de defeitos depende do comprimento da onda ultrassônica, de acordo com a seguinte expressão:

$$d \cong \frac{\lambda}{2}$$

Isto significa que ainda são detectados defeitos com um diâmetro  $\underline{d}$ , que corresponde à metade do comprimento de onda  $\underline{\lambda}$ .



Quando se ensaia um material definido, ou seja, que possua uma velocidade sônica definida, a frequência  $f$  pode ser escolhida com o auxílio da equação:

$$\lambda \cdot f = c$$

onde o comprimento de onda corresponde ao limite de detectabilidade de defeitos desejado.

É possível estabelecer, por meio da expressão:

$$d = \frac{c}{2f} = \frac{\lambda}{2}$$

uma tabela que relacione as frequências de cabeçotes disponíveis no mercado com as mínimas dimensões de defeitos.

d	0,3	0,5	0,6	0,75	1,5	3,0	mm
$\lambda$	0,6	1,0	1,2	1,5	3,0	6,0	mm
f	10	6	5	4	2	1	MHz

d = menor tamanho de uma partícula que pode ser detectada

c = velocidade do som

f = frequência

No modelo apresentado pressupõe-se a descontinuidade a ser determinada é circular e que sua superfície é atingida perpendicularmente pelo feixe sônico. Esta condição é a responsável pela adoção de diversas direções de varredura ultrassônica sobre a peça.

### 3.2) Análise da melhor disposição dos cabeçotes:

Para a detecção de defeitos de orientação longitudinal, em plano aproximadamente perpendicular à parede do tubo (Fig. 3.1), em princípio, encontramos 6 técnicas de ensaio por - imersão, quatro delas utilizando cabeçotes cilíndricos (ou - normais) e duas outras, utilizando cabeçotes angulares (Figs. 3.2 a 3.7).

Excluimos as disposições que fazem uso de cabeçotes angulares, já que, para a aplicação específica no equipamento automático em questão, não são apropriadas, dada a necessidade de imprimir elevada velocidade ao tubo, o que desgastaria excessivamente o cabeçote, que por sua vez, fica muito próximo da peça. Além disso, há a necessidade de sapatas de assentamento para cada diâmetro de tubo.

Das técnicas que empregam cabeçotes normais, optamos pela técnica de Zöllmer e Grabendörfer (Fig. 3.4). Este arranjo aproveita com vantagens as capacidades dos cabeçotes, seja quanto à profundidade de penetração no material pelo ultrassom, seja quanto à dimensão do diâmetro do feixe emitido pelo cabeçote.

As demais técnicas, por sua vez, não aproveitam suficientemente a capacidade de penetração do feixe ultrassônico, - são de posicionamento mais complexo e necessitam de um número maior de cabeçotes para o mesmo nível de varredura.

A técnica de Zöllmer e Grabendörfer escolhida requer, para a ajustagem dos cabeçotes em relação à peça, somente o deslocamento vertical dos grupos de cabeçotes emissores, de um lado, e receptores de outro. Isso simplifica o dispositivo de fixação dos transdutores e a operação do equipamento.

No sentido longitudinal, em princípio, os cabeçotes são fixos para um determinado valor de avanço do tubo. Do cálculo preciso da disposição entre um cabeçote e outro está a garantia de eficiência do sistema completo.

A técnica de Zöllmer-Grabendörfer escolhida dispõe dois cabeçotes em um plano normal ao eixo do tubo, ambos imprimindo o mesmo ângulo em relação ao tubo. Tanto as trincas internas como as externas são atingidas pelo feixe.

O registro do defeito na tela faz-se da seguinte forma: o feixe ultrassônico, refletido numa descontinuidade é emitido em direção ao cabeçote receptor (Fig. 3.8). Com isso, o eco é registrado na tela por um pico luminoso inclinado, o qual, a cada volta do tubo, viaja da esquerda para a direita ao longo da tela do tubo de raios catódicos (Fig. 3.9).

É importante frisar a necessidade de que o interior dos corpos de prova não possua água. Caso os tubos, durante o ensaio, recebam água no seu interior ao entrarem no tanque de imersão, haverá grande perda do feixe ultrassônico, que não seguirá o curso previsto em zig-zag ao longo de sua parede. Para evitar tal inconveniente recomenda-se a colocação de tampas ou rolhas nos tubos vedando seu diâmetro interno da penetração de água (Fig. 3.10).

### 3.3) Análise dos ângulos de refração na incidência oblíqua - do ultrassom:

Com a disposição de Zöllmer-Grabendörfer adotada (Fig. 3.4) observamos que os feixes de ondas longitudinais ultrassônicas atingem a interface água-aço em ângulos que variam de  $0^{\circ}$  a  $90^{\circ}$ . Contrariamente às leis da óptica, uma onda longitudinal oblíqua não é somente refletida e refratada, mas também dividida. Além da onda longitudinal refletida e refratada obtêm-se adicionalmente uma onda transversal refletida e uma refratada (Fig. 3.11).

Os ângulos de reflexão e refração podem ser calculados com o auxílio da fórmula.

$$\frac{\text{sen } \alpha}{\text{sen } \beta} = \frac{v_1}{v_2}$$



Para determinar os ângulos de refração, as velocidades - sônicas dos materiais formando a interface, devem ser analisadas. Na técnica de imersão temos a interface água (meio<sup>1</sup>)/aço (meio<sup>2</sup>). Como a velocidade da onda refratada é maior do que aquela da onda longitudinal incidente, o feixe é afastado da normal à superfície. No caso do equipamento sob análise:

$$\frac{\text{sen } \alpha}{\text{sen } \beta} = \frac{1480\text{m/s}}{6000\text{m/s}} \quad \therefore \quad \beta > \alpha$$

Existe, por outro lado, um ângulo de incidência limite ( $\alpha_{\text{LIM}_1}$ ) para o qual a onda longitudinal refratada propaga-se na superfície. Para  $\alpha > \alpha_{\text{LIM}_1}$ , somente a onda transversal - refratada permanece na peça (Fig. 3.12). Aumentando ainda o ângulo de incidência, a onda transversal refratada também atinge seu ângulo limite ( $\alpha_{\text{LIM}_2}$ ). (Fig. 3.13). Portanto mantendo a onda incidente entre os ângulos limites  $\alpha_{\text{LIM}_1}$  e  $\alpha_{\text{LIM}_2}$ , uma determinação clara da descontinuidade é possível com a - onda transversal refratada.

Para a interface água/aço, temos:  $\alpha_{\text{LIM}_1} = 27,6^\circ$  e  $\alpha_{\text{LIM}_2} = 57,7^\circ$ . Segundo MacGonagle, recomendam-se ângulos de incidência, em relação ao tubo, num campo de  $10^\circ$  a  $30^\circ$  (Fig. 3.8), em que o campo de  $10^\circ$  a  $16^\circ$  demonstra sensibilidade maior para defeitos no diâmetro interno, e o campo de  $17^\circ$  a  $30^\circ$ , para defeitos no diâmetro externo. Há várias razões que justificam esta limitação dos ângulos. Pequenos ângulos de incidência, particularmente aqueles com menos de  $10^\circ$ , permitem - forte reverberação ao longo da parede do tubo, o que falseia a indicação de defeitos. Ondas de Rayleigh (ou de superfície) indesejáveis, as quais em ocasiões pouco frequentes enfatizam pequenos defeitos no diâmetro externo, devem ser minimizadas pela eliminação ângulos de incidência maiores ou iguais a  $27^\circ$ .

Para interceptar os defeitos em ambos os diâmetros (interno e externo), com a mesma sensibilidade, um compromisso deve ser feito entre os campos angulares mais sensíveis a am - bos.



Isto é obtido por cuidadoso ajuste do campo de ângulos - de incidência a ser usado dentro dos limites ditados acima. Para tanto, necessita-se do uso de padrões de referência, um para cada classe e diâmetro de tubo a ser ensaiado pelo equipamento. Os transdutores devem ser posicionados para "ver" - falhas internas e externas com a mesma clareza quando os sinais dos defeitos de referência estão à mesma distância do receptor. Apesar disso, é raro obter o sinal máximo de cada defeito; entretanto, os sinais indicam os defeitos em seus - tamanhos relativos, independentemente de sua localização na parede do tubo. Os defeitos localizados na superfície interna são os mais difíceis de detectar, e portanto, faz-se necessário "provar" a técnica adotada por meio dos corpos-padrão, que devem ter defeitos na superfície interna.

#### 3.4) Cálculo da distância entre os cabeçotes.

A distância entre os pares de cabeçotes de emissão e recepção, segundo o arranjo de Zöllmer-Grabendörfer adotado depende de:

- avanço do tubo, ou deslocamento longitudinal por volta, do mesmo: 5mm/volta.
- número de pares de cabeçotes: 2 pares
- eficiência desejada no teste: 100% de varredura da peça
- rotação do tubo: variável
- Avanço fixado em 5mm/volta do tubo.

Tal valor justifica-se da seguinte forma: supomos o emprego de cabeçotes cilíndricos de diâmetro de cristal de - 10mm, o menor para esta aplicação disponível no mercado. Supõe-se a existência de um defeito puntual na peça. Tal defeito deve ser focalizado por um dos transdutores pelo menos - uma vez. Garantidamente, todos os pontos de uma mesma espira gerada pelo movimento helicoidal aparecem ao longo do diâmetro do cabeçote de 10mm pelo menos uma vez (Fig. 3.14).

- Número de pares de cabeçotes: 2

Teremos dois pares de cabeçotes distanciados entre si de um modo que permita, no segundo cabeçote, focalizar os pontos que apareciam em regiões extremas do primeiro, nas quais a eficiência do transdutor é baixa. Em outras palavras, os pontos focalizados fora da região central pelo primeiro, devem ser localizados no centro do segundo (Fig. 3.15).

A forma de cumprir esta exigência está em distanciar os transdutores de uma cota múltipla da metade do passo da espira (ou avanço do tubo).

Importante é lembrar que as ondas que partem do cabeçote emissor chocam-se com a parede do tubo em ângulos de incidência que vão de  $0^{\circ}$  a  $90^{\circ}$  no máximo. Entretanto, ondas com ângulo de incidência maior do que  $30^{\circ}$ , aproximadamente, não penetram no tubo. Faz-se necessário, portanto, para aumentar o aproveitamento do diâmetro do transdutor, o uso de um colimador, o qual aumenta a largura efetiva do cristal a um valor - praticamente igual ao de seu diâmetro (Fig. 3.16).

Utilizando-se cabeçotes maiores e mantendo-se o avanço fixo, eleva-se a eficiência do sistema, podendo-se dispensar o uso do colimador.

Além do colimador, faz-se necessária a colocação de anteparos junto aos cabeçotes receptores, o que impede a recepção de ondas perdidas, as quais indicariam defeitos em peças isentas dos mesmos.

Junto aos cabeçotes receptores torna-se necessária a montagem de anteparo de plástico (Fig. 3.8). Esta peça, que deve estar cuidadosamente posicionada à frente e acima dos receptores, tem por fim evitar que cheguem aos mesmos sinais ultrassônicos emergentes do tubo com informações falseadas. Em outras palavras, o anteparo visa a evitar que os receptores recebam pulsos que não são reflexos de descontinuidades.

### 3.5) Medição da espessura de parede dos tubos

A faixa de espessuras medidas pela máquina em questão abrange valores de 2,25mm (tubos de 3/4") a 10,97mm (tubos de 6").

Um processo com capacidade de alcançar tal campo de dimensões com a precisão necessária é o método SE.

#### - Descrição do método:

Os cabeçotes normais e o método dos ecos múltiplos apresentam limitações na medição da espessura de paredes finas e na detecção de defeitos próximos à superfície. As razões principais para tais restrições são a largura do eco inicial, que cobre uma parte considerável da escala, e a necessidade de que o cabeçote normal funcione como transmissor e receptor simultaneamente. Este último caso explica-se da seguinte forma:

O transmissor e o amplificador estão interligados galvanicamente. No momento em que o transmissor emite um pulso (a voltagem é de aprox. 2000V), esta tensão vai também para o amplificador, cuja entrada foi projetada para tensões iguais a milivolts, correspondente às tensões baixas de ecos de pulsos. A alta tensão superpõe-se totalmente ao amplificador, - "apagando-o" por um certo tempo, durante o qual os ecos não aparecem na tela.

O método SE supera este problema devido às seguintes diferenças em relação ao método dos ecos múltiplos.

Não existe mais um único cristal funcionando como transmissor e receptor. Estas funções estão separadas. Um cristal serve como transmissor somente, e um segundo como receptor. Conecta-se um dos cristais ao transmissor do aparelho e o outro ao amplificador (Fig. 3.17). Não é necessária a conexão galvânica entre o transmissor e o amplificador; o bloqueamento no amplificador não ocorre mais.



Para facilitar a operação do sistema, os dois cristais são montados num mesmo cabeçote (Fig. 3.18). Os cristais são montados com uma inclinação que resulta em uma focalização e permite uma maior sensibilidade logo abaixo da superfície do tubo (Fig. 3.19).

Os blocos de retardamento permitem ao feixe sônico entrar na peça com a sua parte divergente, a qual aumenta muito a resolução (Fig. 3.20). Além disso, a face do cabeçote pode ser lixada ou usinada, permitindo contato íntimo com a superfície do corpo de prova em movimento relativo.

A imagem formada da tela quando se trabalha com o cabeçote SE possui um pulso inicial, seguido pelas zonas na tela correspondentes ao bloco de retardamento e à espessura da peça; seguidas pelo primeiro eco de fundo (Fig. 3.21). O ponto zero da escala não é definido, mas deve-se determinar a sua posição e deslocá-lo para a posição mais conveniente. A calibração do equipamento faz-se, portanto, empregando blocos de aço com espessuras conhecidas. O valor de uma divisão da escala é determinado (com uma escala de 50 divisões e uma capacidade de 50mm, uma divisão corresponderá a 1mm), escolhem-se as divisões da escala em que aparecem dois ecos de fundo de distâncias conhecidas (por exemplo, 4 e 8mm). Aplicando-se alternadamente o cabeçote sobre os degraus de 4 e 8mm e girando-se aos controles de escala, colocam-se os ecos correspondentes a 4 e 8mm nas posições escolhidas na tela.

A precisão da medição vai depender da precisão de leitura. Em princípio, a precisão de leitura equivale ao valor de meia divisão da escala. No exemplo acima, seria de 0,5mm. Esta precisão é suficiente somente para as espessuras de parede com mais de 10mm, ou seja, os tubos da classe Schedule 80 de diâmetros 5" e 6".

Para os demais tubos de menor espessura faz-se necessário o recurso da expansão de escala. Nesse caso, uma capacidade menor do que 50mm é expandida na escala com 50 divisões.



Esta expansão é possível por meio do chamado dispositivo de expansão de escala, o qual confere uma precisão de até - 0,1mm de medição, a qual é suficiente para problemas de medição de espessuras, bem como para a detecção de descontinuidades.

Nos equipamentos Krautkramer, caso necessite-se de ajuste, já que sob condições normais a constância do instrumento é muito boa, faz-se uso de um parafuso que torna possível a expansão ou o estreitamento da capacidade de expansão da escala.

Durante o processo de medição de espessura podem surgir ecos pequenos, denominados "ruídos" (Fig. 3.22). É possível suprimi-los com o controle de supressão de ruídos (o qual acompanha todos os equipamentos Krautkramer). Ao operar este controle, os ecos mergulham na linha de base, suprimindo totalmente os ruídos, que deixam inclusive de aparecer na tela. Particularmente quando se usa um cabeçote SE, surgem "ecos - de superfície frontal", produzido por uma porção de energia de transmissão que não passa através da peça, mas passa através do meio acoplante, em volta da separação acústica, atingindo o cristal receptor. O eco de superfície frontal é visto na tela próximo ao ponto zero e pode ser suprimido facilmente pelo controle supressão (Fig. 3.23).

Analisando o campo sônico do cabeçote SE, nota-se que os feixes sônicos cruzam-se logo abaixo da superfície e depois divergem (Fig. 3.24). Quanto mais afastada do ponto de focalização estiver situada uma descontinuidade, menor será a - pressão sônica refletida para o receptor do cabeçote. O centro do feixe transmitido somente poderá atingir p receptor - quando a descontinuidade estiver situada pouco antes ou atrás do ponto de focalização. A parte interessante do campo sônico, por isso, estende-se somente por uma área próxima ao ponto de focalização. Dessa forma, a sensibilidade do SE será pequena na superfície e aumentará até chegar ao máximo no ponto de focalização atrás do ponto focal, diminuindo mais - ou menos de acordo com a inclinação dos osciladores (Fig. - 3.25).

Conclui-se que o cabeçote SE é perfeitamente viável dentro da faixa de espessuras de tubos a serem ensaiados (2,25 a 10,97mm) tanto para a medição de espessuras como para detecção de defeitos.

### 3.6) O padrão de referência ou corpo-padrão:

O corpo-padrão deve ser um tubo com as mesmas dimensões e material que o tubo que será realmente ensaiado. Deve ter a mesma história térmica e mecânica, desde que a estimativa não destrutiva do tamanho do defeito é melhor feita por comparação com um defeito conhecido no mesmo material. As falhas devem incluir alterações na espessura e descontinuidades.

Os defeitos podem ser usinados ou colhidos de amostras reais da linha de produção. Com isso e com uma regulagem adequada do equipamento constitui-se num padrão do tipo Passa-Não Passa. A maior dificuldade em obtê-los está no caso de provocar defeitos na parede interna dos diâmetros menores de tubos, que são inacessíveis. Por esta razão, defeitos ocorridos naturalmente devem ser usados como padrões dos tubos menores do que 2". Comparações com inspeções prévias e exames metalográficos indicam o tamanho de defeito aproximado do padrão.

O corpo-padrão, como se vê, é usado no auxílio do alinhamento inicial dos transdutores, relativamente ao corpo-de-prova, e na regulagem do equipamento. Nesse ponto, os ajustes do equipamento são feitos para assegurar identificação adequada das descontinuidades com interfaces de reflexão equivalentes àsquelas do padrão. Para auxiliar a interpretação qualitativa, um dispositivo de alarme deve ser usado. Com o ajuste apropriado, será este recurso eletrônico que disparará no sistema mecânico da máquina os recursos de marcação do C.P. e de seleção do C.P. quanto ao tipo de defeitos (vide item 4.16 e 4.17).

Por meio desse recurso, é calibrado dentro do aparelho - de ultrassom um patamar que divide a altura da tela. No caso do sistema de detecção de descontinuidades de dois emissores e dois receptores, regula-se o patamar de modo que os ecos - recebidos pelo receptor, cuja intensidade ultrapassa a altura calibrada do patamar, acionem o alarma e, com sinais elétricos de saída, os sistemas automáticos.

4) Descrição da operação do sistema de ensaio considerando-se todos os agregados interligados.

#### 4.1) Análise do sistema pneumático

##### 4.1.1) Considerações gerais

Para que uma máquina ou sistema possa ser qualificado de automático, ou mesmo de semi-automático, necessita de elementos eletro-mecânicos que lhe confirmem um certo grau de movimentos sem a interferência humana. Caso ela não possa ser totalmente excluída, deve ser pelo menos minimizada.

É este o objetivo de nosso projeto. Para tanto, optamos pela pneumática, o que se justifica pela faixa dos esforços a serem realizados pelos servo-mecanismos e pelas velocidades de atuação dos mesmos. Além disso, as propriedades de compressibilidade do ar (no caso de acionamento das rodas de atrito para movimentação dos tubos, isso impede o amassamento dos mesmos), segurança, versatilidade, facilidade de regulação e custos baixos dos elementos fornecem a palavra final, favorecendo a sua escolha.

A máquina em questão apresenta seis subsistemas pneumáticos com funções independentes, porém ligados à mesma fonte de ar comprimido e à mesma chave geral. O bom funcionamento da máquina de ensaios depende da perfeita atuação de cada um dos cinco subsistemas.

Os acionamentos de partida dos subsistemas far-se-ão, no painel de operação, de forma manual, ou eletricamente, quando a operação for sequencial.

A seguir, estabelecemos siglas para cada tipo de componente, e descrevemos cada subsistema.



#### 4.1.2) Sigla dos elementos pneumáticos empregados:

UC - unidade de conservação (filtro, válvula reguladora de pressão, lubrificador e manômetro)  
VAP- válvula de atuação pneumática  
VAM- válvula de atuação manual  
EV - eletro-válvula  
VAB- válvula de alavanca bi-estável  
VRF- válvula reguladora de fluxo (com estrangulamento regulável nos dois sentidos)  
VR - válvula de retardo  
M - manômetro  
CD - cilindro dupla ação  
VRP- válvula reguladora de pressão (sem abertura de escape)  
VA - válvula alternadora (elemento OU)  
CEM- chave elétrica manual (tipo interruptor automático normalmente aberto)

Todos os subsistemas são alimentados pela mesma fonte. - Inicialmente o ar passa pela UC1 , onde sofre regulagem da - pressão primária. Uma VAM1 tem a função de desativar o fornecimento de ar aos subsistemas através da VAP1 modificada.

#### 4.1.3) Subsistema 1 - Translação do tubo a ser ensaiado.

Os pistões CD1 e CD2 fornecem a ação retrátil às rodas de atrito. A roda motriz será ativada pelo CD2 através de - um sistema de barras articuladas, com o efeito de travamento. O CD1 , por sua vez, conta com VRF1 e VRF2 as quais permitem o controle de sua velocidade. O subsistema é acionado manualmente, na bancada, pelas válvulas EV1 e EV2 , com a ajuda das chaves CEM1 e CEM2 . A VAP2 controla o direcionamento de ambos os pistões. A VRP 1 tem papel fundamental pois - mantém constante a pressão de trabalho (secundária), independente da pressão da rede e consumo do ar. A pressão primária tem que ser sempre maior que a secundária; o M1 verifica a - pressão secundária, que não deve exceder o valor necessário para manter as rodas de atrito em perfeita atividade.

#### 4.1.4) Subsistema 2 - Movimento helicoidal do tubo a ser ensaiado.

O pistão do CD3 , operado manualmente exerce a força de contato necessária para o bom funcionamento das rodas de atrito; portanto, tem a pressão regulada pela VRP2 . Além disso, sua velocidade é regulada pelas VRF3 e VRF4 . O M2 aponta a pressão secundária. As ativações ocorrem através das CEM3 e CEM4 , que acionam as EV3 e EV4 . Estas últimas, permitem a pilotagem pneumática da VAP3 . O ar primário aciona igualmente o CD4 , com sentido oposto ao CD3 .

#### 4.1.5) Subsistema 3 e 4 - Abertura e fechamento das portas do tanque.

O pistão do CD5 controla a porta de entrada do tubo no tanque e o CD6 , controla a porta de saída do tanque. Os acionamentos de ambos são feitos pelas válvulas de controle direcional EV5 e EV6 respectivamente, cujos solenóides são excitados por sinais elétricos advindos dos sensores SM1 e SM2 , respectivamente. O SM1 , localizado no curso do tubo, antes que ele chegue ao tanque, ao sentir a presença do tubo de aço, emite o sinal que abre a porta de entrada pelo pistão CD5 ; quando todo o tubo já atravessou a entrada do tanque e se afasta do SM1 , a excitação do solenóide é interrompida, e a EV5 alterna sua posição devido à ação da mola; o pistão do CD5 avança, fechando a porta.

O controle da porta de saída é idêntico e utiliza os elementos CD6 , EV6 e SM2 . A única ressalva é que o SM2 situa-se antes da porta de saída, ou seja, dentro do tanque; - deve, portanto, funcionar em estreito contato com a água.

#### 4.1.6) Subsistema 5 - Marcação dos defeitos sobre os tubos - ensaiados.

Este subsistema é acionado pelo pistão do CD9 ; a EV7 - tem seu solenóide excitado por uma corrente contínua advinda da unidade modular de ensaio ultrassônico no momento em que, em qualquer um dos canais do sistema eletrônico de teste, detecte-se algum defeito. O ar de rede, ao passar pela EV7 , - aciona pneumaticamente a VAP6 , o que faz o pistão avançar. Ao avançar, o pistão percorre primeiramente uma distância em alta velocidade, após o que entra num curso com amortecimento. O amortecimento visa evitar a danificação do elemento para demarcação do tubo. A ativação da VAP6 provoca também a passagem de ar pela VR1 ; desse modo, após o decorrimto de um certo tempo, regulado na VR1 , um sinal de pilotagem movimenta a VAP6 à sua posição original, o que causa o retorno do CD9 . A CEM6 provoca o início do ciclo manualmente para fins de regulagem da posição do lápis marcador.

#### 4.1.7) Subsistema 6 - Seleção dos tubos em classes de defeitos.

Os cilindros CD7 e CD8 são montados em conjunto de modo a formar um cilindro de posição múltipla. Os pistões movimentam-se individualmente e controlados pelas VAP4 e VAP5 , respectivamente. Estas válvulas são pilotadas pelas válvulas EV8 , EV9 , EV10 , com o auxílio de VA1 e VA2 . A ativação de cada uma das três eletroválvulas vai depender dos sinais elétricos advindos da unidade modular de testes. Os dois canais que detectam trincas no tubo excitam o solenóide da EV8; os canais que detectam diferenças de espessura excitam o solenóide da EV10 . Mesmo cessando o sinal elétrico mantem-se a posição dos cilindros. A EV9 é acionada manualmente do - painel de controle para cancelar um possível direcionamento do tubo na condição de defeituoso, ou seja, a posição natural do dispositivo deve ser a que indique "tubo não defeituoso". A EV9 poderia também ser operada automaticamente, mas esta opção fica afastada por enquanto.



Vale ressaltar que o tubo defeituoso será classificado - de acordo com o último defeito detectado pela unidade modular.

#### 4.1.8) Subsistema 7 - Acionamento do cabeçote de medição de espessura.

Nesse subsistema, o CD10 tem por fim levar o cabeçote - ultrassônico de medição de espessura até a superfície externa do tubo a ser ensaiado. O CD10 é acionado manualmente pela VAB2, após o tubo posicionar-se sob o cabeçote; uma outra opção, porém menos segura e mais dispendiosa, seria o acionamento automático do CD10 por sensores magnéticos.

Por ser um cilindro de baixa pressão (2 a 3 atm abs.), o CD10 tem sua pressão controlada pela VRP3 e pelo M3.

Hastes-guias podem ser montadas junto ao CD10 para conferir maior estabilidade ao conjunto.

#### 4.2) Procedimentos de regulagem do sistema.

Pelo fato de que a máquina projetada possui capacidade - para atuar junto a vários diâmetros de corpos de prova, surge a necessidade de uma preparação do sistema para que possa operar uma série de corpos de prova diferente daquela que vi nha sendo ensaiada até então. Tal procedimento inclui os com ponentes mecânicos, hidráulicos, pneumáticos, eletrônicos.

Considerando-se os sistemas mecânicos de movimentação - dos tubos, seja em translação ou em movimento helicoidal, - faz-se necessário adequar a pressão do ar comprimido que age nos cilindros que atuam sobre os rolos de atrito de apoio. A pressão será controlada pelo operador através dos manômetros existentes nos subsistemas pneumáticos 1 e 2. A pressão está diretamente relacionada com os esforços de atrito dos rolos para mover os corpos de prova nas condições pré-estabelecidas.



Uma pressão insuficiente pode resultar em deslizamento dos rolos motrizes junto aos C.Ps., ou em operação deficitária; por outro lado, o excesso de pressão pode sobrecarregar os mancais dos rolos desnecessariamente, ou pior, amassar os tubos sob prova.

Os corpos de prova, após deslocarem-se sobre os roletes em movimento de translação até o dispositivo de movimentação helicoidal, serão assentados sobre os discos de aço de apoio. Estes discos, por sua vez, devem estar distanciados entre si numa cota que permita a seguinte condição: o ponto mais baixo do C.P. deve estar na mesma cota que o ponto mais alto do rolo de atrito 39, por toda a extensão do C.P.. Para que isso seja obtido com todos os diâmetros de C.P. ensaiados é necessário que o operador regule a distância entre centros dos discos através dos manípulos, antes que cada diâmetro diferente de C.P. seja posto na máquina para ensaiar.

O sistema mecânico de movimentação helicoidal visa dar - ao C.P. um movimento de translação somado a um movimento de rotação. Para tanto, antes que cada série de C.P. de um mesmo diâmetro seja ensaiada, a plataforma 2 deve ser solta pelas 4 porcas 12, tal que todo o conjunto motriz do sistema - possa girar sobre a base 1 num ângulo correspondente ao ângulo de hélice  $\alpha$  previsto para cada diâmetro externo de tubo. O rolo de apoio 20 deve ser girado igualmente no mesmo ângulo  $\alpha$ , só que em sentido oposto ao rolo motriz. Tal procedimento é feito desatarraxando os parafusos 27, e girando a - placa 26 em relação à placa fixa 21, num ângulo  $\alpha$ . Por fim, as porcas devem ser todas novamente apertadas.

Ao ser introduzido no tanque de imersão o C.P., observa-se que uma razoável quantidade de água escapará pela folga - entre o C.P. e as paredes anterior e posterior do tanque. Para que essa vazão seja minimizada, deve ser prevista a instalação de uma chapelona de borracha em cada uma das paredes - atravessadas pelo C.P., sendo que cada diâmetro externo de - C.P. deve possuir um par de chapelonas que com ele se "casam".

O operador fixa os pares de chapelonas com 4 pares de parafuso-porca em cada parede. As chapelonas tem a função de diminuir a área por onde esco<sup>t</sup>a a água quando as porças estiverem abertas, esteja ou não o tanque sendo atravessado pelo C.P..

Com a alteração de diâmetro de C.P. a ser ensaiado, deve-se alterar também o par de chapelonas para o diâmetro de furo adequado, com o que evita-se a danificação das mesmas.

Os cilindros pneumáticos CD10 e CD9 possuem a função de por o cabeçote SE e o elemento riscador, respectivamente, em contato com o C.P.. Para cada diâmetro do C.P., o ponto mais alto do mesmo varia, o que força um ajuste do posicionamento dos cilindros CD10 e CD9 sempre que os diâmetros dos C.P. forem alterados.

O operador deve soltar os parafusos que prendem os cilindros à placa de suporte de cilindros. Com os parafusos soltos os cilindros podem ser deslocados verticalmente até que se encontre a posição adequada de contato dos mesmos com o ponto superior do C.P.. Os cilindros devem estar na posição expandida.

Os parafusos de fixação dos cilindros devem ser reapertados.

A pressão do CD10 deve ser regulada pelo manômetro a um valor apropriado.

O nível da água contida no tanque de imersão dependerá do diâmetro externo do C.P.: quanto maior for o diâmetro, mais elevado deve ser o nível, não só pela altura do ponto mais alto do mesmo, como pela maior vazão de água pelas folgas entre o C.P. e as chapelonas, ou ainda, pela maior dimensão do furo por onde a água vai escapar no instante em que as portas do tanque abrem-se e o C.P. ainda não se posiciona junto às chapelonas.

O operador deve fazer a regulação do nível de água através de dois componentes: controlador de nível e válvula de registro.

A altura em que o controlador de nível é posicionado determina um nível preciso da água quando a vazão estiver estabilizada em valores praticamente nulos. O controlador de nível adotado possui um bulbo com a função de bóia, o qual, ao ser levantado pela água acima de um certo nível, desativa um solenóide. Este controla, por sua vez, uma válvula de gaveta binária de atuação automática. Desse modo, cessa o fluxo de água para o enchimento do tanque.

Quando o nível baixa devido aos vazamentos e à abertura das portas, o bulbo acompanha-o. Com isso, o solenóide é acionado, abrindo novamente o fluxo de enchimento do tanque.

O operador deve regular o registro de gaveta numa abertura que permita o enchimento do tubo no tempo adequado para cada diâmetro de C.P.. Quanto maior o C.P., em geral, maiores os escapes de água do tanque; portanto, maior a abertura do registro.

Os cabeçotes ultrassônicos SE apresentam sua superfície de contato plana. Por outro lado, estamos tratando de uma máquina que ensaia diversas bitolas de tubos, na faixa de diâmetros externos 25,4 mm a 168,3 mm. Para que haja melhor assentamento do cabeçote SE sobre os tubos de diversos diâmetros, deve ser adaptada ao cabeçote uma sapata correspondente a cada diâmetro externo. Cada sapata possui uma superfície plana e outra com superfície côncava, na curvatura da parede externa do tubo. A sapata é confeccionada em material plástico, mais precisamente em acrílico.

Ao operador compete substituir a sapata sempre que o diâmetro externo do C.P. for alterado. Para isso, basta soltar os parafusos que prendem as sapatas ao suporte do cabeçote.

Os cabeçotes normais de ultrassom para operação em imersão devem ser fixados nos suportes de cabeçotes do tanque. Os cabeçotes são fixos, em princípio, em pares (o par de emissores num mesmo suporte e o par de receptores, no outro suporte) devidamente espaçados para fornecer a varredura prevista (vide item 3.4).



O operador, ao fixar um cabeçote no suporte, deve observar o seguinte procedimento importante:

- colocar cada um dos cabeçotes em posição ortogonal ao eixo do C.P..
- posicionar os pares de cabeçotes correspondentes, ou seja, emissor e receptor, num mesmo plano perpendicular ao eixo do C.P..

As alturas de posicionamento dos suportes dos cabeçotes emissores e dos cabeçotes receptores vão depender do diâmetro do C.P.. A regra geral é de que os cabeçotes sejam posicionados seguindo o procedimento acima, somando-se a condição de que o feixe ultrassônico incida na superfície do C.P. a um ângulo dentro da faixa compreendida entre  $\alpha_{LIM_1}$  e  $10^\circ$ . (vide item 3.3).



#### 4.3) Sequência de operação da máquina de ensaio:

Consideremos o caso em que vai ser ensaiado um tubo de 4", com 15 metros de comprimento, por exemplo. A máquina de ensaio já está devidamente regulada para trabalhar com essa bitola (vide ítem 4.2).

Há dois operadores que operam o sistema: operador A, que aciona os controles, acompanha o teste ultrassônico, interrompe o processo em caso de emergência; operador B, cuja ação consiste em colocar os tubos no transportador 1 de rolos, para que o C.P. chegue ao tanque de imersão. O operador B, - em suma, recebe o C.P. e o prepara para o ensaio. Devido ao grande comprimento dos C.Ps., estes devem ser amontoados já alinhados com a máquina, próximos ao transportador 1.

O operador B suspende o C.P. com o auxílio de talha, ou manualmente para os C.Ps. mais leves. Coloca os 50cm iniciais do C.P. sobre o rolo inferior do transportador 1. O operador A aciona o cilindro pneumático CD1, que abaixa o rolo de atrito superior; em seguida, aciona o motor do transportador, até que o C.P. atravesse a linha de roletes. Quando o C.P. estiver a aproximadamente 50mm da porta de entrada do tanque de imersão, o operador A desliga o motor elétrico do transportador 1 e provoca a retração dos cilindros CD1 e CD2, com o que cessa o contato físico entre o mesmo e o C.P.. Em seguida, o operador B aciona o pistão hidráulico CH1 de modo a abaixar os roletes transportadores retratáveis. Em consequência, o C.P. assenta-se sobre os discos de sustentação rolamentados. O operador A aciona o CD3, do transportador 2 a fim de comprimir, com uma pressão controlada, o C.P. (o operador A regula e controla esta pressão).

A seguir, tem início o ensaio propriamente dito. O operador A aciona o motor C.C. do transportador 2, que imprime ao C.P. o movimento conjunto de avanço e de rotação. Ao aproximar-se da porta de entrada do tanque, esta última abre-se automaticamente devido à ação do SM1 e do CD5.

Quando o C.P. está dentro do tanque, a uma distância de 200mm da entrada, o operador aciona o CD10, provocando a descida do cabeçote SE para medição de espessura, o qual entra em contato físico com o C.P.. Caso detectem-se defeitos no C.P., o CD9 automaticamente aciona o marcador. Quando a extremidade do C.P. aproxima-se da porta de saída, o SM2 e o CD6 abrem-na automaticamente.

Quando a extremidade final do C.P. atravessa as portas de entrada e de saída, estas fecham-se automaticamente, no momento adequado. O operador A deve, ao fim do ensaio no tanque retroceder o CD10.

O C.P., ao sair do tanque de imersão é sustentado por um transportador de roletes. Este transportador conduz o C.P. para três caminhos diferentes: a aprovação do C.P. pela ausência de defeitos detectados; condução do C.P. para uma área onde ficam armazenadas peças com defeitos detectados pelos cabeçotes normais; condução do C.P. para uma área onde ficam armazenadas peças com defeitos detectados pelo cabeçote SE. As direções citadas acima são fornecidas pelos cilindros CD7 e CD8, que movimentam uma derivação ao fim do curso dos roletes, automaticamente, segundo sinal elétrico enviado pela unidade modular de ensaio por ultrassom. Cabe ao operador A acionar a chave CEM5 para que, após a passagem do C.P. pela derivação, o subsistema CD7/CD8 volte à posição normal. O operador cuida para que o C.P. seja devidamente armazenado após o trajeto completo pelo sistema.

O operador A, ao fim do ensaio, deve avançar o CD2 e acionar o CH1 de modo que os 14 roletes sejam simultaneamente reerguidos. O sistema, dessa forma, está pronto para o reinício do ciclo.

## 5) ANÁLISE E CÁLCULOS DOS SISTEMAS DE MOVIMENTAÇÃO DO CORPO DE PROVA.

5.1) Cálculos à transmissão de movimento helicoidal ao corpo de prova (tubo), por meio de roda de atrito:

### 5.1.1) Hipóteses gerais:

- 1- Consideramos a transmissão de movimento por atrito entre dois corpos cilíndricos: a roda motriz - com superfície de borracha, e o tubo (ou roda movida), com superfície de aço liso.  
A superfície da roda motriz será considerada cilíndrica.
- 2- Os cálculos consideram operação do sistema em regime.
- 3- A resolução do problema segue o critério segundo Niemann, Vol. III, em que todas as transmissões - por roda de atrito podem ser representadas por uma associação de superfícies cônicas com ângulos de inclinação  $\alpha_1$  e  $\alpha_2$ , os quais, no caso limite - em questão (rodas cilíndricas), são retos ( $90^\circ$ ).
- 4- Por questões técnicas inerentes ao ensaio por ultrassom, a velocidade tangencial dos tubos no diâmetro externo é fixa e igual a 1,5 m/s, em regime.
- 5- A área de contato é linear, com coeficiente de atrito  $\mu=0,8$ , e formato aproximadamente retangular, onde adota-se a relação largura/comprimento de 0,4.
- 6- A máxima força de atrito resistente atuante sobre a roda movida ser considerada:

$$F_{at \text{ m\acute{a}x}} = \mu_{a\acute{o}/a\acute{o}} \times P_{m\acute{a}x} = 0,15 \times 630 \text{ kgf} = 94,5 \text{ kgf}$$

Multiplicando-se por um fator de segurança.

$$f_s = 1,2, \text{ vem:}$$

$$F_{at \text{ m\acute{a}x}} = 1,2 \times 94,5 \text{ kgf} = 113,4 \text{ kgf}$$

5.1.2) Cálculo da potência a ser transmitida pelo rolo de -  
atrito motriz.

- Energia cinética de rotação:  $E = [N.m]$   
 $I_d = [kg.m^2]$   
 $\omega = [rd/s]$

- Momento de inércia de um corpo tubular:

$$I_d = [kg.m^2]$$

$$m = [kg] = \text{massa do tubo}$$

$$R, r = [m]$$

$$I_d = m \cdot \frac{R^2 + r^2}{2} =$$

5.1.2.1) Potência de rotação pura do tubo (ou esforço para  
vencer a inércia na partida)

O tubo é acelerado, num mov. de rotação, de 0rd/s a

$$\omega_f = \frac{n_f}{60} \times 2\pi [rd/s] \text{ em 2 segun-}$$

dos

$$P_{rot} = \frac{(E_f^{rot} - E_i^{rot})}{t} = \left( \frac{I_d \cdot \omega_f^2}{2t} \right) = m \cdot \frac{R^2 + r^2}{2} \times \left( \frac{2\pi \times n_f}{60} \right) \times \frac{1}{2 \cdot t}$$

Cálculo para o peso máximo do maior tubo ensaiado:

$$P_{rot} = 630 \text{ kg} \times \frac{(0,165^2 + 0,152^2)m^2}{2} \times \left( \frac{170}{60} \times 2\pi \right)^2 \frac{rd^2}{s^2} \times -$$

$$\times \frac{1}{2 \times 2s}$$

$$P_{rot} = 1256,1 \text{ J/s} = \frac{1256,1 \text{ W}}{735,5 \text{ W/CV}} = 1,71 \text{ CV}$$

Considerando perdas na transmissão por correntes ( $\eta = 0,97$ )  
nos mancais ( $\eta = 0,98$ )

$$P_{rot} = \frac{1,71}{0,97 \times 0,98^2} = 1,83 \text{ CV}$$



5.1.2.2) Potência de translação do tubo: cálculo para o peso máximo do maior tubo:

$$P_{\text{transl.}} = P_{\text{atrito}} + P_{\text{aceleração}}$$

Supondo que os tubos terão avanço de 5 mm/revolução  $\pm 10\%$ , teremos uma potência de atrito agindo em sentido oposto.

$P_{\text{atrito}} = (m \cdot g \cdot \mu_{\text{aço/aço}}) \cdot v_{\text{transl.}}$  onde nota-se uma independência em relação à área atuante, logo:

$$P_{\text{atrito}} = (m_{\text{máx.}} \times g \times \mu_{\text{aço/aço}}) \cdot \left( \frac{n}{60} \times \text{passo} \right)$$

$$P_{\text{atrito}} = (630 \text{ kg} \times 9,8 \text{ m/s}^2 \times 0,15) \times \left( \frac{170}{60} \text{ rps} \times 0,005 \text{ m} \right) = 13,1 \text{ J/s} = 0,02 \text{ CV}$$

5.1.2.3) Potência de atrito atuante sobre o tubo em rotação, ao deslocar-se sobre o transportador de rolos (eixos ortogonais em relação ao eixo do tubo):

- material dos rolos do transportador: aço ( $\mu_{\text{aço/aço}} = 0,15$ )

$$P_{\text{at.rot.}} = F_{\text{at.}} \times v_{\text{tangencial}}$$

$$P_{\text{at.rot.}} = (630 \text{ kg} \times 9,8 \text{ m/s}^2 \times 0,10) \times (\pi \times 0,168 \text{ m} \times \frac{170}{60} \text{ rps}) = 923 \text{ J/s} = 1,26 \text{ CV}$$

5.1.2.4) Potência total necessária no motor:

$$P_T = P_{\text{rot}} + P_{\text{transl.}} + P_{\text{at.rot.}}$$

$$P_T = 1,83 + 0,02 + 1,26$$

$$P_T = 3,11 \text{ CV}$$

Na adoção de um motor elétrico, tomaremos um modelo de 5 CV, que supre com reserva de potência os requisitos do sistema.

### 5.1.3) Análise dos esforços atuantes na superfície das rodas de atrito.

#### 5.1.3.1) Cálculo da pressão de rolamento (segundo Niemann)

$$K = \frac{F}{\rho_L \cdot B \cdot 2}$$

F = força normal ao par de atrito [kgf]

$\rho_L$  = raio equivalente para o contato linear [mm]

$$\rho_L = \frac{1}{\frac{1}{\rho_1} + \frac{1}{\rho_2}} = \frac{1}{\frac{1}{270} + \frac{1}{168}} = 103,6 \text{ mm}$$

B = comprimento da linha de compressão [mm].

Este valor de fundamental importância seria igual ao próprio comprimento da roda motriz caso o movimento do tubo fosse unicamente de rotação; entretanto, como este é dotado de movimento helicoidal, faz-se necessária a aplicação de um giro ao eixo da roda correspondente ao ângulo de hélice da helicóide gerada. Com isso, o comprimento de contato cai a 40% do comprimento da roda motriz.

$$\therefore B = 0,4 \times L_{\text{roda}} = 0,4 \times 300 \text{ mm} = 120 \text{ mm}$$

5.1.3.2) Cálculo de  $F_{tg}$  (força tangencial) através da potência transmitida ao tubo:

$$F_{tg} = \frac{M_t}{\rho_{cil.}} = 71620 \times \frac{P_{EF}}{\eta_{cil.}} \times \frac{1}{\rho_{cil.}}$$

$$P_T = [CV]$$

$$\rho_l = [cm]$$

$$\eta_l = [rpm]$$

$$M_t = [kgf.cm]$$

$$F_{tg} = 71620 \times \frac{3,11}{170} \times \frac{2}{27} = 97,2 \text{ k}_p$$

5.1.3.3) Cálculo de  $N$  (força normal) que deve ser exercida sobre o tubo para permitir a ação do atrito entre o tubo e a roda motriz.

$$N = \frac{F_{tg} \times S_R}{\mu_{borracha/aço}} = \frac{97,2 \text{ kgf} \times 1,4}{0,8} = 169,8 \text{ k}_p$$

$S_R$  = coeficiente de segurança ao atrito, segundo Niemann

5.1.3.4) Pressão de rolamento no contato linear:

$$K = \frac{N}{2 \cdot \rho_L \cdot B} \leq k_{lim} \quad , \text{ onde: } k_{lim} = 0,02 \text{ (borracha/aço)}$$

segundo Niemann

$$K = \frac{169,8 \text{ kgf}}{2 \times 103,6 \text{ mm} \times 120 \text{ mm}} = 0,006 < k_{lim}$$

#### 5.1.4) Cálculo da transmissão mecânica entre o motor e as - rodas de atrito.

##### 5.1.4.1) Hipóteses:

- 1) Velocidade periférica da roda de atrito é fixa em 1,5m/s (aconselhado por Krautkramer).
- 2) O diâmetro da roda de atrito motriz é fixo em 270 mm -  $(1,5 \times D_{\text{tubo máx.}})$ .
- 3) A rotação máxima de regime do motor de corrente contínua será de 1050 rpm (rotação máxima para o motor do tipo adotado, segundo catálogo KUPER).
- 4) A transmissão por engrenagens é feita através de redutor com engrenagens cilíndricas helicoidais, sendo suas dimensões e características calculadas segundo catálogo RED-VAR.
- 5) A transmissão por correntes emprega correntes de aço tipo Renold e os cálculos serão feitos conforme catálogo HC e manual Protec
- 6) Os mancais são de rolamentos de contato angular, 1 carreira de esferas.

##### 5.1.4.2) Cálculo da rotação do rolo de atrito:

$$n_{\text{rolo}} = \frac{v_{\text{perif.}}}{\pi \cdot D} \times 60 \times 1000 = \frac{1,5 \text{ m/s}}{\pi \times 270 \text{ mm}} \times 60 \times 1000$$

$$n_{\text{rolo}} = 106 \text{ rpm}$$

Cálculo da relação total de transmissão:

$$i_T = \frac{n_{\text{motor}}}{n_{\text{rolo}}} = \frac{1050}{106} = 9,9$$



#### 5.1.4.3) Escalonamento da transmissão:

$$i_T = i_{\text{correntes}} \times i_{\text{engren.}} = 1,25 \times 8,0 = 10$$

Obs.: Correntes de aço são preferíveis às correias de borracha devido aos requisitos de rotação, torque e rigidez.

#### 5.1.4.4) Processo de seleção do redutor:

1- Tipo de máquina motora: motor de corrente contínua

2- Tipo de máquina movida: rolos de atrito

3- Capacidade efetiva em CV exigida pela máquina movida: -  
5,0 CV

4- Rotação do eixo de entrada do redutor: 1050 rpm (máxima)

5- Potência em CV da transmissão; 7,5 CV

6- Rotação do eixo de saída do redutor:  $\sim 131$  rpm

7- Relação de transmissão: 8

a) Fator de serviço ( $F_s$ ): 1,10, segundo catálogo RED-VAR, -  
para operação de 10 horas

b) Rendimento do redutor ( $\eta$ ) 0,97 - redução dupla

c) Potência nominal do redutor

$$P_{\text{NOM.}} = \frac{F_s \times P_{\text{EF}}}{\eta} = \frac{1,10 \times 5,0}{0,97} = 5,7 \text{ CV}$$

d) Para redução  $i = 8$  temos o redutor tipo ZHD-317

e) O valor da potência máxima suportada a 1050 rpm é:

$$P_{1050} = \frac{1050}{1140} \times 9,1 = 8,4 \text{ CV, superior à potência exi-}$$

gida para trabalho

f) A relação real de transmissão para o modelo ZHD-317 é:

7,94

#### 5.1.4.5) Dimensionamento do sistema de transmissão por correntes:

Potência máxima transmitida:  $5,0 \text{ CV} \times 1,5 = 7,5 \text{ CV} \cong 7,5 \text{ HP}$  (sobrecarga de 50%)

Segundo catálogo de correntes HC, para a potência acima e para a rotação do eixo da roda motriz em torno de 131 rpm, aconselha-se corrente standard "simples", com as seguintes características:

$$\text{passo (p)} = 1\frac{1}{4}'' = 31,75 \text{ mm}$$

$$\text{número mínimo de dentes (Z}_{\text{mín}}) = 17$$

- Cálculo do diâmetro primitivo da roda motriz:

$$d_p = \frac{p}{\sin \frac{180^\circ}{z}} =$$

Devido à limitação de espaço físico a que estamos sujeitos, adotaremos o diâmetro primitivo mínimo, correspondente ao número de dentes.

$$d_{p1} = d_{p\text{mín}} = \frac{31,75}{\sin \frac{180^\circ}{17}} = 172,8 \text{ mm}$$

- Cálculo do esforço a que está sujeita a corrente:

$$F = \frac{M_t}{R} = 71620 \times \frac{p}{\eta} \times \frac{2}{d_p} = 71620 \times \frac{7,5 \text{ CV}}{131 \text{ rpm}} \times \frac{2}{17,28 \text{ cm}} =$$

$$= 475 \text{ kgf}$$

$$F = 475 \text{ K}_p < F_{\text{adm}} = 9300 \text{ kgf}$$

- Características geométricas da corrente:

diâmetro dos rolos:  $\frac{3}{4}''$

largura entre placas:  $\frac{3}{4}''$

largura total: 39 mm

espessura das placas: 4,0 mm

altura das placas: 28 mm

- Características geométricas das rodas dentadas:

Roda movida:

- Número de dentes:  $Z_2 = 1,25 \times Z_1 = 21,25$   
 logo:  $Z_2 = 21$  dentes

- Diâmetro primitivo:

$$d_{p2} = \frac{p}{\sin 180^\circ / Z_2} = \frac{31,75}{\sin 180^\circ / 21} =$$

$$= 213,0 \text{ mm}$$

- diâmetro externo:  $d_{e2} = p \cdot (0,6 + \cotg \frac{180^\circ}{Z_2}) = 229,7 \text{ mm}$

- diâmetro interno:  $d_{i2} = d_{p2} - d' = 213,0 - 19,05 = 193,95 \text{ mm}$

- espessura axial do dente:  $\ell = 0,95 \cdot L - 0,25 = 0,95 \times 10,05 - 0,25 = 17,85 \text{ mm}$

Roda motriz:

- diâmetro externo:  $d_{e1} = p \cdot (0,6 + \cotg \frac{180^\circ}{Z_1}) = 188,9 \text{ mm}$

- diâmetro interno:  $d_{i1} = d_{p1} - d' = 172,8 - 19,05 = 153,75 \text{ mm}$

- Cálculo do comprimento da corrente: segundo Dobrovolski.

Distância entre centros:  $A = \sqrt{510^2 + 107,5^2} = 521,2 \text{ mm}$

Número de elos:

$$y = \frac{Z_1 + Z_2}{2} + \frac{2 \cdot A}{p} + \left( \frac{Z_2 - Z_1}{2\pi} \right)^2 - \frac{p}{A} =$$

$$= 51,8 \text{ ou } 52 \text{ elos}$$

Distância entre centros corrigida:

$$A' = \frac{p}{4} - \left[ y - \frac{Z_1 + Z_2}{2} + \sqrt{\left( y - \frac{Z_1 + Z_2}{2} \right)^2 - 8 \cdot \left( \frac{Z_2 - Z_1}{2\pi} \right)^2} \right] =$$

$$= 523,5 \text{ mm}$$

5.1.4.6) Esforços atuantes nos eixos (segundo Dobrovolski):

$$F_{\text{eixo}_2} = F_2 + 2 \times k \times q \times A$$

onde:  $k = 1$  (coefic. que considera a posição da linha entre centros)

$$q = 3,2 \text{ Kg/m}$$

$$F_2 = 71620 \times \frac{7,5 \text{ CV}}{131 \text{ rpm}} \times \frac{2}{21,3} + 2 \times 1 \times 3,2 \times 0,524 =$$

$$= 388 \text{ Kgf}$$

5.1.5) Cálculo dos ângulos de hélice resultantes do movimento helicoidal dos tubos a serem ensaiados.

Como os tubos movimentar-se-ão segundo um movimento helicoidal, calculam-se os ângulos de hélice para a definição da posição dos rolos de atrito, de função motriz.

Os dados disponíveis são:

- avanço fixo em 5 mm por volta, para todos os tubos
- diâmetros conhecidos, porém variáveis.

O ângulo de hélice é dado por:

$$\text{tg } \alpha = \frac{\text{passo}}{\text{perímetro externo}} = \frac{5 \text{ mm}}{\pi \cdot D}$$

$$\therefore \alpha = \text{arc tg } \frac{5 \text{ mm}}{\pi \cdot D}$$



Em função dos diâmetros externos, temos:

D <sub>nominal</sub> (pol.)	D <sub>ext</sub> (mm)	$\alpha$ (grau)	V <sub>perif.</sub> (m/s)	Rotação (rpm)
3/4	26,9	3,4	1,0	710
1	33,7	2,7	1,0	567
1 1/4	42,4	2,1	1,0	450
1 1/2	48,3	1,9	1,0	395
2	60,3	1,5	1,5	475
2 1/2	76,1	1,2	1,5	376
3	88,9	1,0	1,5	322
3 1/2	101,6	0,9	1,5	282
4	114,3	0,8	1,5	251
5	141,3	0,6	1,5	203
6	168,3	0,5	1,5	170

Classe DIN 2458 - Parede fina

Diâmetro nominal (pol.)	D <sub>ext.</sub> (mm)	$\alpha$ (grau)	V <sub>perif.</sub> (m/s)	Rot. do tubo (rpm)
1	25,40	3,6	1,0	567
1 1/4	31,75	2,9	1,0	450
1 1/2	38,10	2,4	1,0	395
2	50,80	1,8	1,5	475
2 1/2	63,50	1,4	1,5	376
3	76,20	1,2	1,5	322
4	101,60	0,9	1,5	251

## 5.2) Cálculo do transportador de tubos de movimento de translação:

### 5.2.1) Hipóteses gerais:

1) Cálculos prevendo aplicação no caso de peso máximo:

$$F = 630 \text{ Kg}$$

2) Movimento de translação dos tubos, unicamente, portanto, o tubo sofre atrito de deslizamento quando em contato com os suportes.

3) Velocidade para o tubo de peso máximo: 1,0 m/s

4) O sistema funciona por meio de rolos de atritos com superfície de borracha vulcanizada de alta resistência e de superfície ligeiramente côncava. Os rolos são retráteis, acionadas por pistões pneumáticos.

5)  $\mu_{\text{aço temperado/aço}} = 0,1$  (movimento de translação)

6) Os mancais são de bronze, recobertos de metal patente.

### 5.2.2) Cálculo da potência de acionamento:

#### 5.2.2.1) Potência de atrito de deslizamento (hipótese 2)

$$P = F_{\text{at}} \cdot v = \mu \cdot F \cdot v$$

$$P = 0,1 \times (630 \text{ kg} \times 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}) \times 0,5 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 308,7 \frac{\text{J}}{\text{s}} = 0,45 \text{ CV}$$

Obs.: A perda por atrito decorrente do atrito entre o rolo e o tubo é mínima, o que demonstra-se pela fórmula abaixo, segundo Niemann:

$$P_R = P \times q_R \times \frac{B}{R}$$

$P_R$  = potência de atrito

$q_R$  = coeficiente p/ rodas com contato linear = 1,5

B = comprimento da linha de contato

R = raio de atrito no plano de contato

$$\text{Mas: } R = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}} = \frac{r^2 \cdot r^1}{r_1 \cdot \cos \alpha_2 + r_2 \cdot \cos \alpha_1} = \infty$$

$\therefore P_R = 0$  (rolamento perfeito)

#### 5.2.2.2) Potência de aceleração do tubo:

O tubo é acelerado num movimento de translação do repouso à velocidade de 1,0 m/s em 0,5 segundo, em aceleração linear no tempo.

$$P_{ac.} = \frac{(E_F - E_i)}{t} = \frac{(m \cdot V_f^2 - 0)}{2 \cdot t} = \frac{630 \text{ kg} \cdot (1,0 \text{ m/s})^2}{2 \times 0,5} = 630 \text{ W} = 0,86 \text{ CV}$$

#### 5.2.2.3) Potência total:

$$P_{TOTAL} = 0,45 \text{ CV} + 0,86 \text{ CV} = 1,31 \text{ CV}$$

Considerando as perdas na transmissão por correia, nos mancais de atrito, teremos  $\eta = 0,9$ , donde:

$$P_{EFET.} = \frac{1,31 \text{ CV}}{0,9} = 1,45 \text{ (máquina movida)}$$

#### 5.2.3) Análise dos esforços atuantes na superfície dos rolos de atrito.

##### 5.2.3.1) Cálculo da força tangencial através da potência transmitida ao tubo:

$$F_{tg} = \frac{M_t}{\rho_{cil.}} = 71620 \times \frac{P_T}{\eta_{cil}} \times \frac{1}{\rho_{cil}} = 71620 \times \frac{1,31 \text{ CV}}{105 \text{ rpm}} \times \frac{2}{19,1 \text{ cm}} = 98,2 \text{ Kgf}$$

5.2.3.2) Força normal atuante sobre o tubo, pelos rolos de atrito, para a transmissão da potência necessária.

$$N = \frac{F_{tg} \times S_R}{\mu_{borr./aço}} = \frac{98,2 \text{ kgf} \times 1,4}{0,8} = 171,8 \text{ kgf}$$

5.2.4) Cálculo da transmissão mecânica entre o motor e as rodas de atrito:

5.2.4.1) Hipóteses:

- 1) A velocidade periférica do rolo de atrito é fixa em - 1 m/s.
- 2) A rotação do rolo de atrito é fixa em 105 rpm.
- 3) A rotação máxima de regime do motor de C.C. é de 1050 rpm, segundo catálogo KUPER.
- 4) A transmissão por engrenagens é feita através de redutor coroa/sem-fim, sendo suas dimensões e características calculadas segundo catálogo RED-VAR.
- 5) A transmissão por correntes emprega correntes de aço tipo Renold e os cálculos serão feitos conforme catálogo HC, manual Protec e Dobrovolski.

5.2.4.2) Cálculo do diâmetro do rolo motriz:

$$v_{periférica} = v_{tubo} = 1 \text{ m/s}$$

rotação do rolo: 105 rpm

$$D = \frac{v_{per.} \times 60000}{\pi \times n} = 182 \text{ mm (diâmetro no centro do rolo de atrito motriz)}.$$



5.2.4.3) Cálculo da relação total de transmissão:

$$i_T = \frac{n_{\text{motor}}}{n_{\text{rolo}}} = \frac{1050}{105} = 10,0$$

Escalonamento da transmissão

$$i_T = i_{\text{correntes}} \times i_{\text{redutor}} = 1,0 \times 10,0 = 10,0$$

5.2.4.4) Processo de seleção do redutor com sem-fim-coroa, - de redução simples.

- 1- Tipo de máquina motora: motor C.C.
- 2- Tipo de máquina movida: rodas de atrito
- 3- Capacidade efetiva em CV exigida pela máquina movida:  
1,45 CV
- 4- Rotação do eixo de entrada do redutor: 1050 rpm (máx.)
- 5- Potência em CV da transmissão: 1,5 CV (máxima)
- 6- Rotação do eixo de saída do redutor: 105 rpm
- 7- Relação de transmissão: 10,0

a) Fator de serviço ( $F_S$ ): 1,10, segundo catálogo RED-VAR, operação de 10 horas

b) Rendimento de redutor: ( $\eta$ ) = 0,83 - redução simples

$$c) P_E = F_S \times P_{EF} = 1,10 \times 1,45 = 1,6 \text{ CV} =$$

= capacidade efetiva no eixo de saída do redutor.

d) Para redução  $i = 10$  temos o redutor ZX - 80

e) O valor da potência máxima suportada a 1050 rpm é:

$$P_{1050} = \frac{1050}{1140} \times 2,16 = 1,9 \text{ CV, superior à potência}$$

exigida para o trabalho.

f) A relação real de transmissão para o modelo ZX - 80 é:  
10,0

g) Por outro lado, o catálogo indica que o motor deve -  
ter:

$$P_{\text{motor}} = \frac{P_E}{\eta} = \frac{1,6}{0,83} = 1,91 \text{ CV}$$

Portanto, adotaremos motor KUPER de 2,0 CV, C.C., 1050rpm.

5.2.4.5) Dimensionamento do sistema de transmissão por correntes:

Potência máxima transmitida:  $1,5 \text{ CV} \times 1,5 \approx 1,97 \text{ HP}$  (sobrecarga de 50%)

Conforme catálogo de correntes HC, para a potência acima e para a rotação do eixo da roda motriz em torno de 105 rpm, aconselha-se corrente standard "simples" com as seguintes características:

$$\text{passo } (p) = 1" = 25,4 \text{ mm}$$

$$\text{número mínimo de dentes } (Z_{\text{mín}}) = 19$$

- Cálculo do diâmetro primitivo da roda motriz:

$$d_p = \frac{p}{\sin \frac{180^\circ}{z}}$$

Devido à limitação de espaço físico a que estamos sujeitos adotaremos o diâmetro primitivo mínimo, correspondente a  $Z_{\text{mín}}$ :

$$d_{p1} = d_{p\text{mín}} = \frac{25,4}{\sin \frac{180^\circ}{19}} = 154,3 \text{ mm}$$

- Cálculo do esforço a que está sujeita a corrente:

$$F = \frac{M_t}{R} = 71620 \times \frac{p}{n} \times \frac{2}{d_p} = 71620 \times \frac{1,97 \text{ CV}}{167 \text{ rpm}} \times \frac{2}{9,02 \text{ cm}} = 187,3 \text{ Kgf}$$

$$F = 187,3 \text{ Kgf} < F_{\text{adm}} = 5500 \text{ Kgf}$$

- Características geométricas da corrente:

diâmetro dos rolos:  $5/8"$

largura entre placas:  $5/8"$

largura total: 34 mm  
 espessura das placas: 1/8"  
 altura das placas: 23 mm

- Características geométricas das rodas dentadas:

- Roda movida:

- número de dentes:  $Z_2 = 1,0 \times Z_1 = 19$

- diâmetro primitivo:

$$d_{p2} = \frac{p}{\sin 180^\circ/Z_2} = \frac{25,4}{\sin 180^\circ/19} = 154,3 \text{ mm}$$

- diâmetro externo:  $d_{e2} = p \cdot (0,6 + \cotg \frac{180^\circ}{Z_2}) = 167,4 \text{ mm}$

- diâmetro interno:  $d_{i2} = d_{p2} - d' = 154,3 - 15,875 = 138,425 \text{ mm}$

- Roda motriz:

- diâmetro externo:  $d_{e1} = p \cdot (0,6 + \cotg \frac{180^\circ}{Z_1}) = 105,4 \text{ mm}$

- diâmetro interno:  $d_{i1} = d_{p1} - d' = 90,2 - 15,875 \cong 74,325 \text{ mm}$

- Cálculo do comprimento da corrente, segundo Dobrovolski

- distância entre centros:  $A = 692,5 \text{ mm}$

- Número de elos

$$y = \frac{Z_1 + Z_2}{2} + \frac{2 \cdot A}{p} + \left( \frac{Z_2 - Z_1}{2\pi} \right)^2 \cdot \frac{p}{A} = 73,5 \text{ ou } 73 \text{ elos}$$

- Distância entre centros corrigida:

$$A' = \frac{p}{4} \left[ y - \frac{Z_1 + Z_2}{2} + \sqrt{\left( y - \frac{Z_1 + Z_2}{2} \right)^2 - 8 \left( \frac{Z_2 - Z_1}{2\pi} \right)^2} \right] = 685,8 \text{ mm}$$

### 5.3) Considerações sobre os rolos de atrito para a transmissão de movimento ao corpo de prova.

Devido aos requisitos de potências, velocidades e cuidados no contato entre elemento motriz e elemento movido (corpo de prova), optamos pela transmissão de movimento por meio de rodas de atrito.

As rodas de atrito representam um dos pontos mais sensíveis e de extrema importância para o bom funcionamento do sistema mecânico da máquina em estudo. Realizamos pesquisa de mercado junto a empresas capazes de fornecer tais produtos dentro das solicitações mecânicas previstas em cálculos. Como resultados de tais levantamentos temos a perfeita viabilização de nossas previsões técnicas e hipóteses. Os relatos a seguir especificam os procedimentos a seguir e os materiais a serem adotados.

As rodas de atrito estão projetadas para movimentar os corpos de prova tanto em movimento helicoidal como em movimento de translação. Em ambos os casos constituem-se de cilindros de aço ABNT 1045 usinados formando sulcos controlados (profundidade da rugosidade de 100 a 160  $\mu\text{m}$ ; raio da ponta da ferramenta de 1,0 mm) e de geratriz em segmento circular, dando uma forma levemente côncava. Sobre o aço é feito recobrimento com borracha sintética de marca Adiprene, da Dupont, ou seja, poliuretano de dureza 70 a 75 Shore A. A espessura do recobrimento é de 20 mm.

O recobrimento com o elastômero deve ser feito por vazamento de goma líquida diretamente sobre os cilindros da alma metálica. Tal processo é o mais indicado para o Adiprene por dar enorme resistência e por impedir o "desfolhamento" da capa de borracha. No recobrimento, as almas metálicas giram a 10 rpm; devem estar devidamente limpos e isentos de óleos, graxas e outros resíduos que impeçam a aderência do elastômero.

O Adiprene constitui uma família de elastômeros de poliuretano que apresenta combinação única de dureza, resiliência e capacidade de suportar cargas, aliadas a uma resistência -



excepcional à abrasão. Os diâmetros e rotações estabelecidos, assim como as forças de compressão definidas para estas rodas de atrito viabilizam-nas para as aplicações propostas, inclusive estando os esforços bem abaixo dos valores limites inerentes ao material.

Outras propriedades do Adiprene podem ser citadas como - complementação de forma qualitativa:

- excelente adesão a metais
- excelente resistência ao rasgamento
- extraordinária resistência à abrasão
- boa resistência à deformação
- boa resiliência à temperatura ambiente
- excelente resistência química a hidrocarbonetos alifáticos aromáticos, óleo, gasolina
- boa resistência à absorção de água.

Após a cura, as rodas devem ser retificadas por rebolo, o que dispensa o balanceamento dinâmico e confere o formato côncavo ao cilindro nas dimensões especificadas.

#### 5.4) Cálculo do espaçamento entre dois transportadores de roletes consecutivos.

Ao ser transladado até o tanque de imersão, o C.P. percorrerá uma distância de 15 metros. Prevê-se facilmente que esta distância considerável será coberta pelo C.P. sobre roletes que facilitem sua locomoção e que devem estar espaçados de modo a minimizar o número de roletes, sem que isso - signifique algum prejuízo ao C.P.

Um espaçamento excessivo entre os roletes pode causar um choque do C.P. sobre os mesmos. Isso deve-se ao fato de que, quanto maior o vão, maior a deflexão sofrida pelo tubo, que sofre flexão. Conforme for esse impacto, pode haver amassamento da ponta do C.P. a danificação dos roletes.

O número mínimo de roletes igualmente espaçados pode ser dado pela expressão:

$$N_{\min} = \frac{15000}{\ell_{\max}} \quad [\text{mm/mm}]$$

O valor de  $\ell_{\max}$  advem das hipóteses abaixo:

- o C.P. é considerado uma viga em balanço, engastada no apoio, com carregamento uniformemente distribuído  $p_e$ , que lhe causa flexão pura.
- desprezam-se as vibrações
- a flecha na extremidade livre do C.P. pode ser calculada - pela expressão:

$$f = \frac{F_V \times \ell^3}{8.E.I}$$

onde:  $f$  = flecha  $[\text{mm}]$

$F_V$  = força vertical =  $p_e \times \ell = [\text{Kgf/mm} \times \text{mm}]$

$\ell$  = vão  $[\text{mm}]$

$E$  = módulo de elasticidade do material do C.P. =  
 $= 21000 \text{ Kgf/mm}^2$

$I$  = momento de inércia da secção transversal do C.P.

$$I_{C.P.} = \frac{\pi}{64} \times (D^4 - d^4) \quad [mm^4]$$

- a flecha máxima permissível para qualquer um dos tubos é:

$$f_{m\acute{a}x} = 1 \text{ mm.}$$

Pelas hipóteses acima, vamos calcular o vão máximo entre os roletes para o C.P. de menor resistência. Este será o menor vão permissível junto a todos os outros C.Ps.

O C.P. menos resistente é aquele que apresenta a menor - relação de resistência (RR), tal que:

$$RR = \frac{I}{p_e} \quad [cm^5/Kgf]$$

Dentre os C.Ps. ensaiados, os que apresentam condições - críticas são:

$$\text{Tubo 6": } D = 168,3 \text{ mm} \quad \therefore I = 1,29 \times 10^7 \text{ mm}^4$$

$$d = 152,4 \text{ mm}$$

$$p_e = 42,5 \text{ Kg/m}$$

$$RR = 3035,3 \text{ cm}^5/Kgf$$

$$\text{Tubo } \frac{3}{4}: D = 26,9 \text{ mm} \quad \therefore I = 1,86 \times 10^4 \text{ mm}^4$$

$$d = 19,5 \text{ mm}$$

$$p_e = 1,6 \text{ Kg/m}$$

$$RR = 116,25 \text{ cm}^5/Kgf$$

$$\text{Tubo 1" (parede fina): } D = 25,4 \quad \therefore I = 1,11 \times 10^4 \text{ mm}^4$$

$$d =$$

$$p_e = 1,28 \text{ Kg/m}$$

$$RR = 86,72 \text{ cm}^5/Kgf$$

Conclui-se que o tubo de 1" é o "menos resistente"; logo, será por ele que calculamos o vão:

$$l_{\text{m}\ddot{a}\text{x}} = \sqrt[4]{\frac{f_{\text{m}\ddot{a}\text{x}} \cdot 8 \cdot E \cdot I}{p_e}} = \sqrt[4]{\frac{1,0 \times 8 \times 2,1 \times 10^4 \times 1,11 \times 10^4}{0,00128}} = 1100 \text{ mm}$$

O número de roletes será:

$$n_{\text{m}\ddot{i}\text{n}} = \frac{15000}{1100} = 13,6 \text{ ou } \underline{14 \text{ roletes.}}$$

O vão entre os roletes será:

$$l = \frac{15000}{14} \approx 1071 \text{ mm}$$



trinca longitudinal  
externa

dupla  
laminação

trinca  
long. interna

lasca

rechupe

inclusões

fig. 1.1

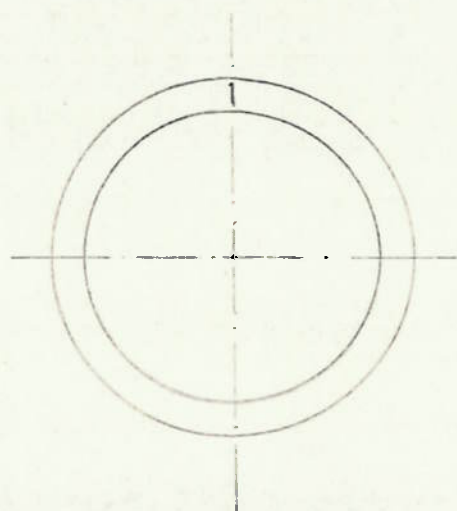


fig. 1.2

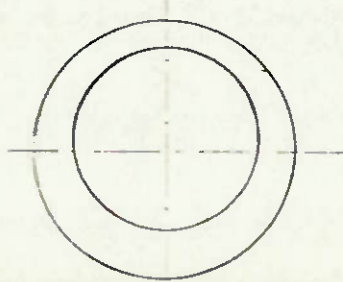


fig. 1.3

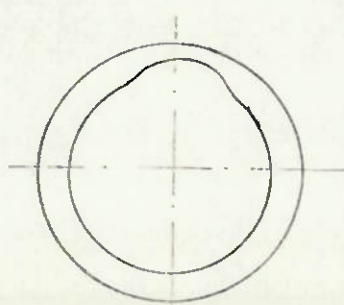


fig. 1.4

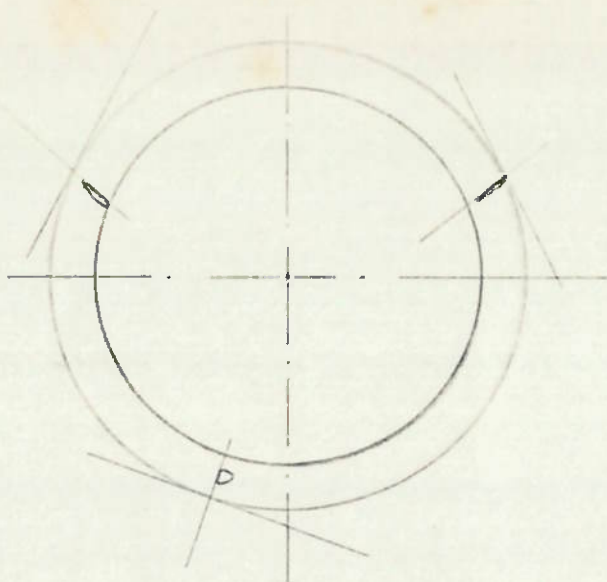


fig. 3.1

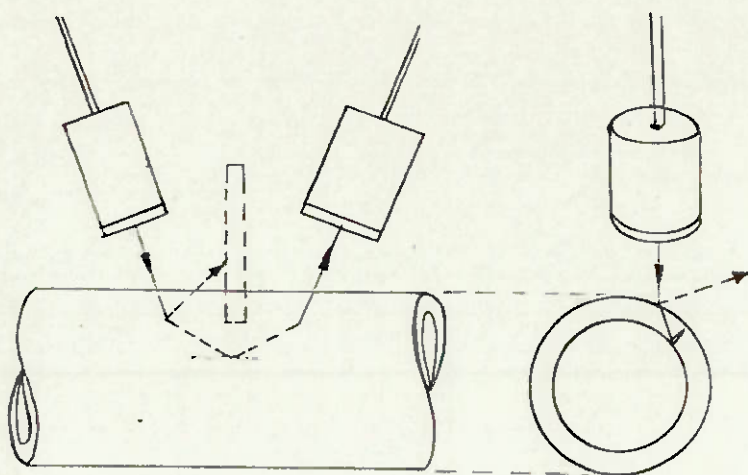


fig. 3.2

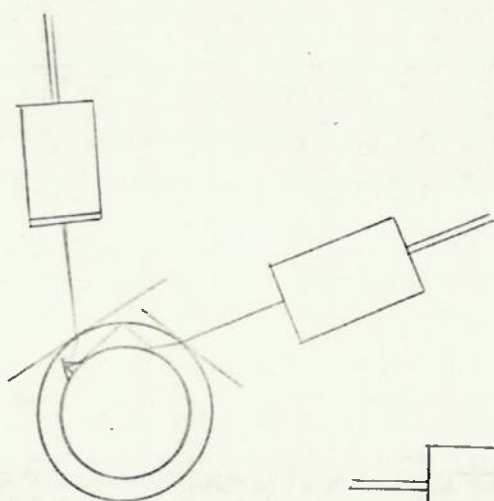


fig. 3.3

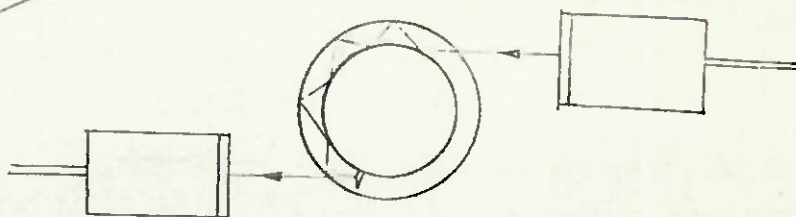


fig. 3.4

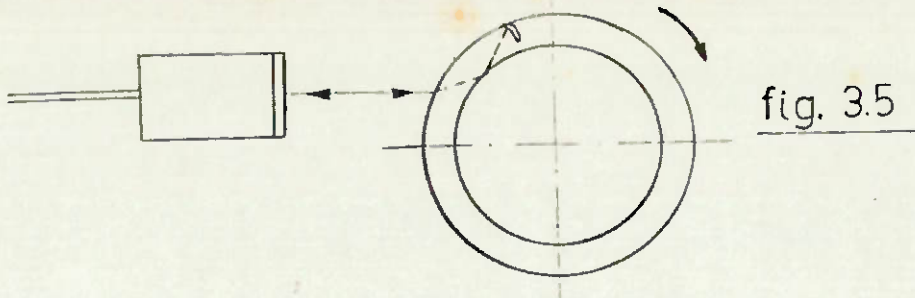


fig. 3.5

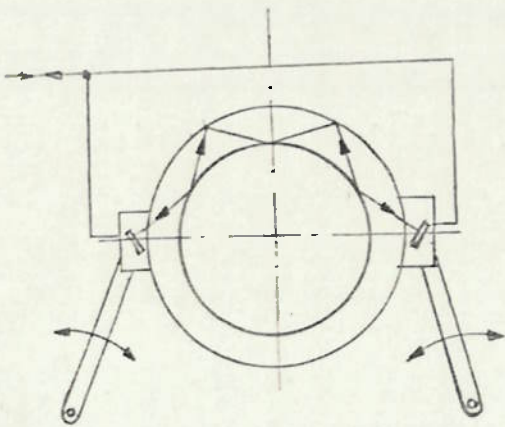


fig. 3.6

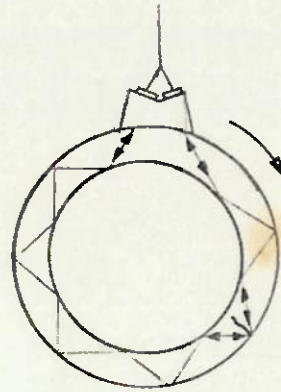
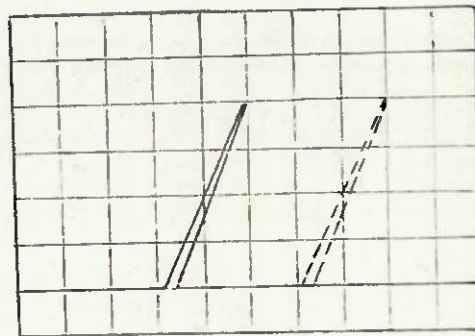


fig. 3.7



deslocamento do pico

fig. 3.9

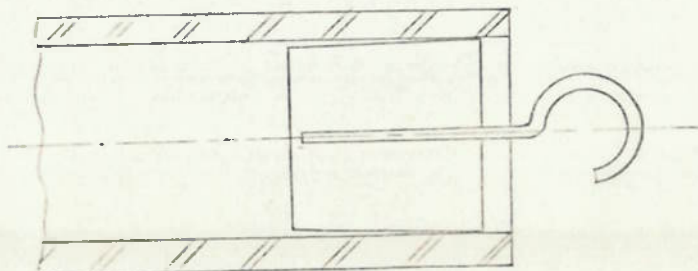


fig. 3.10



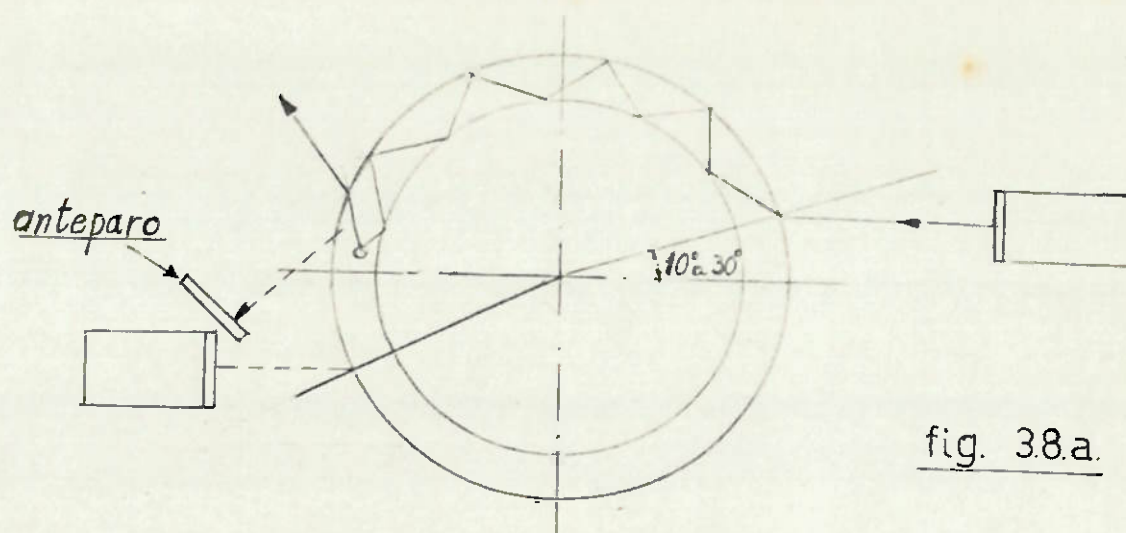


fig. 38.a.

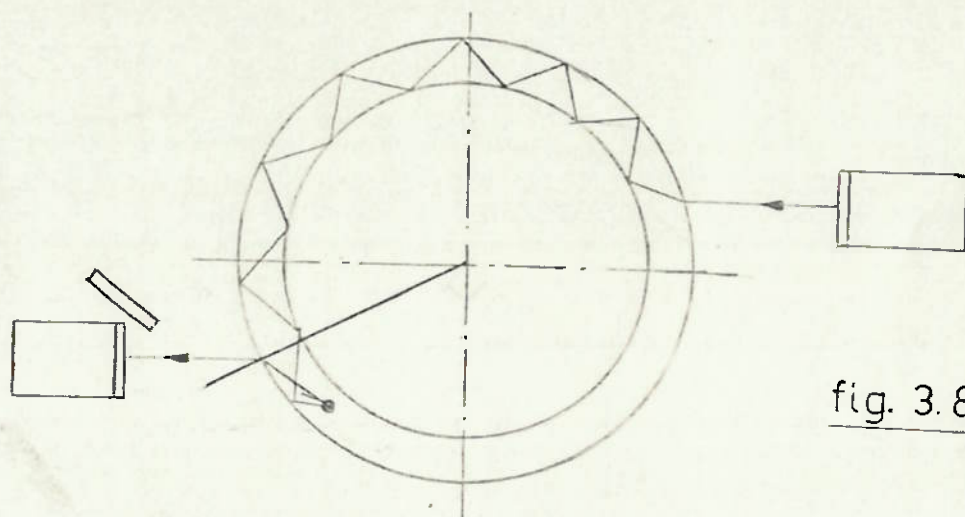


fig. 38.b.

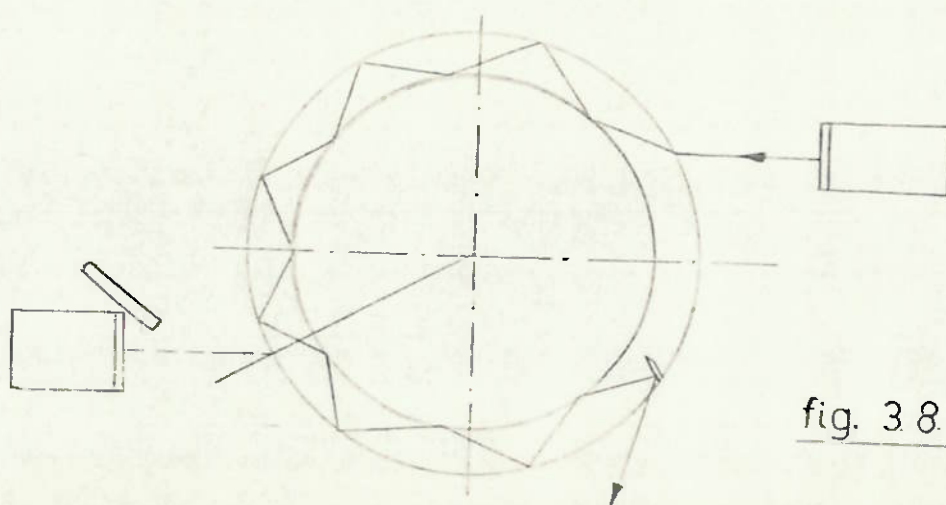


fig. 38.c.



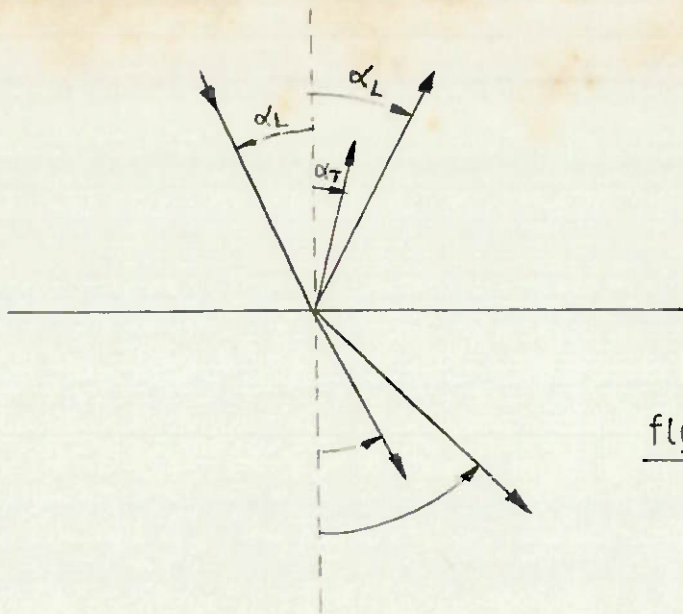


fig. 3.11

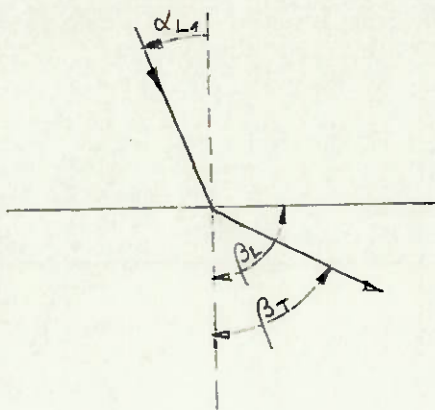


fig. 3.12

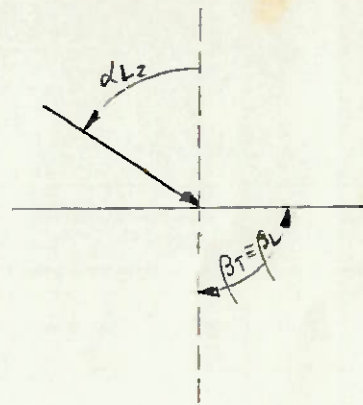


fig. 3.13

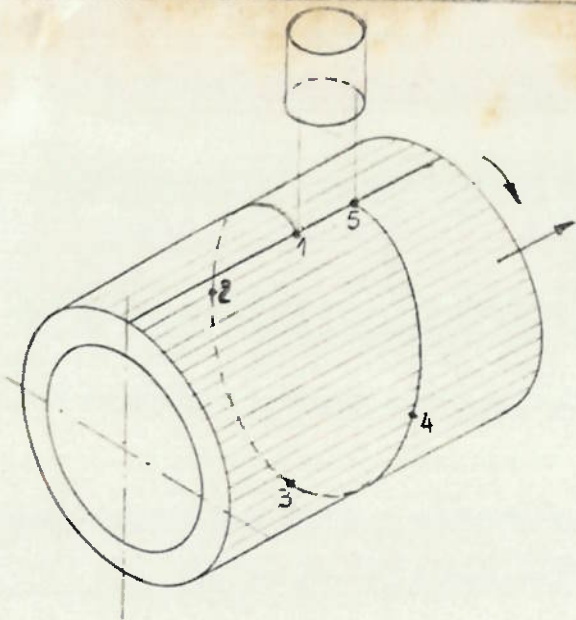


fig. 3.14.a

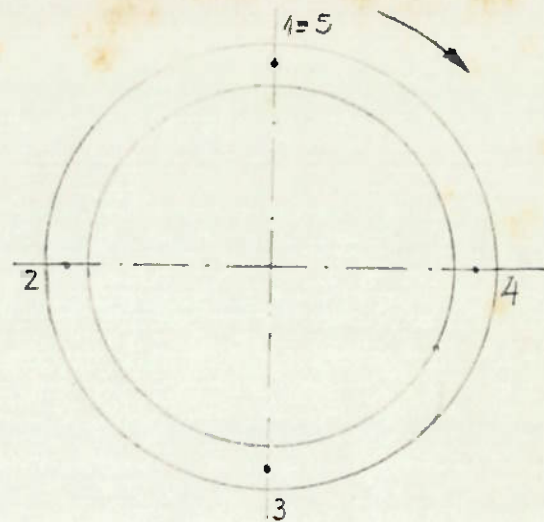


fig. 3.14.b

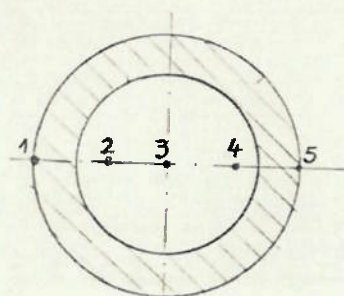
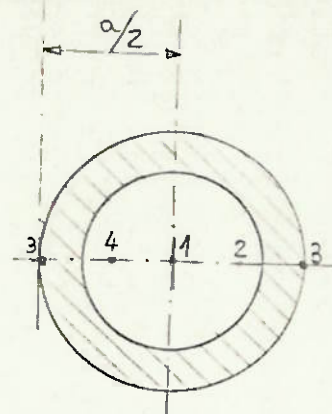


fig. 3.15



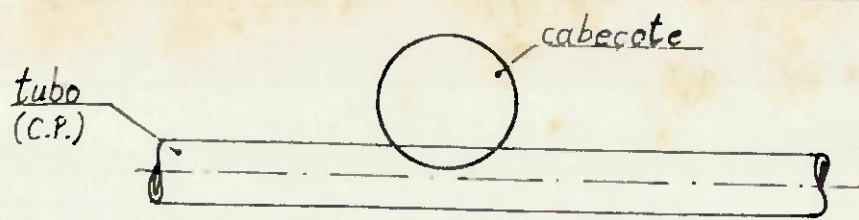


fig. 3.16.a

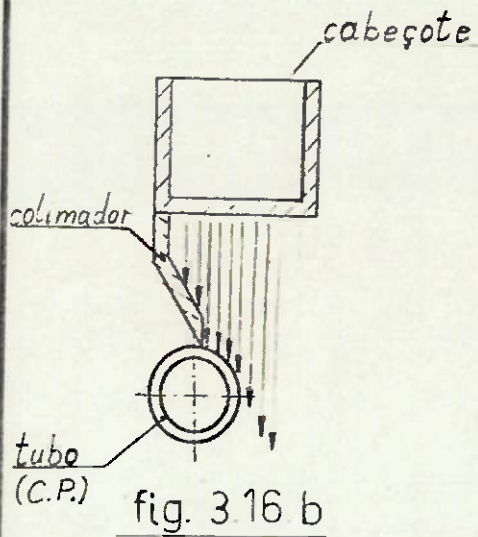


fig. 3.16 b

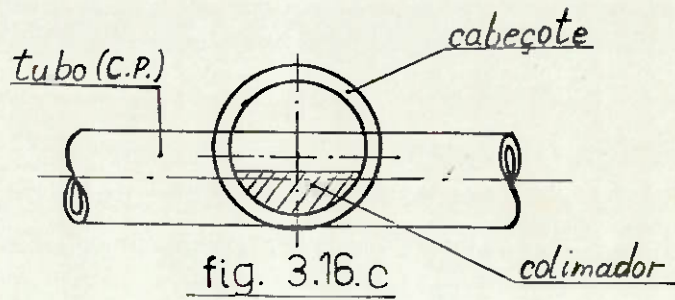


fig. 3.16.c

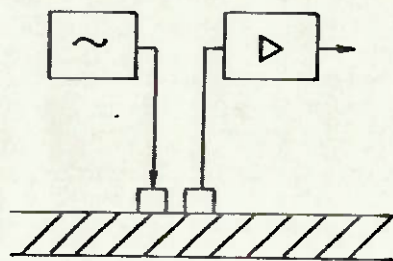


fig. 3.17

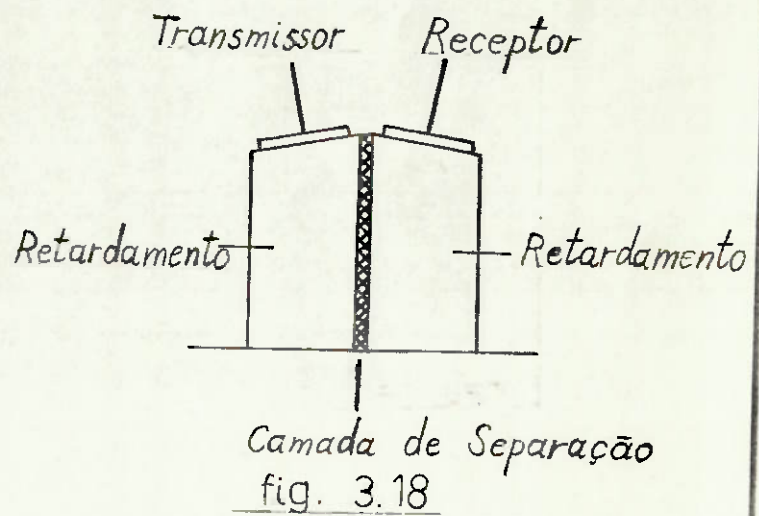


fig. 3.18

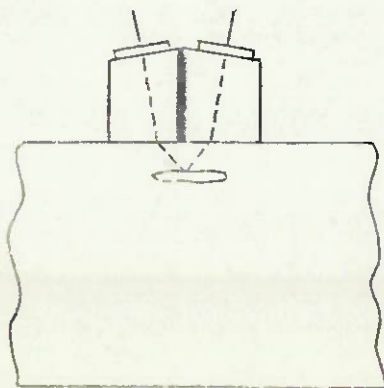
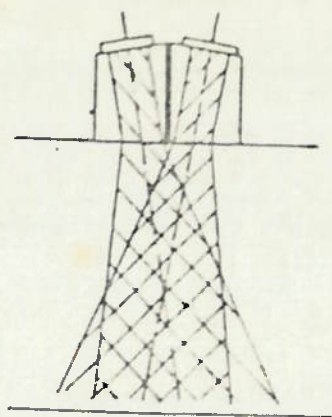
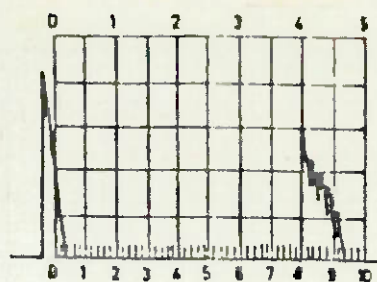


fig. 3.19

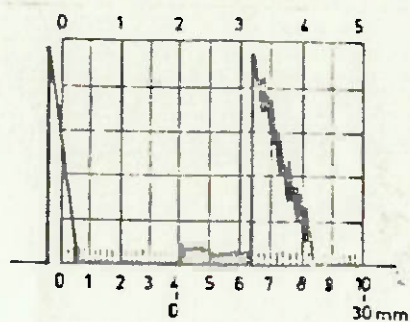




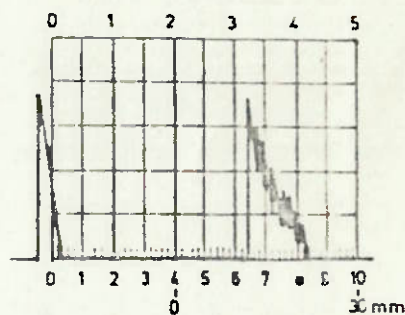
3.20



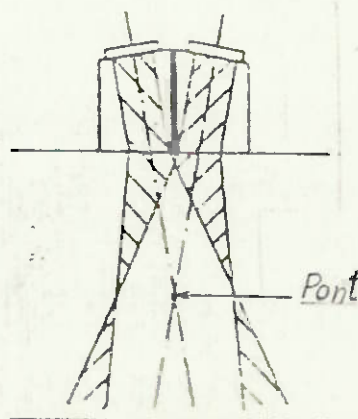
3.21



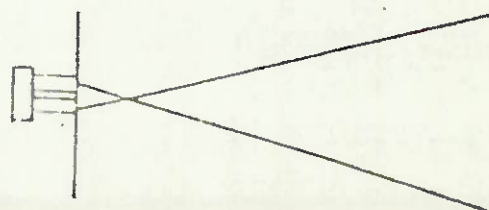
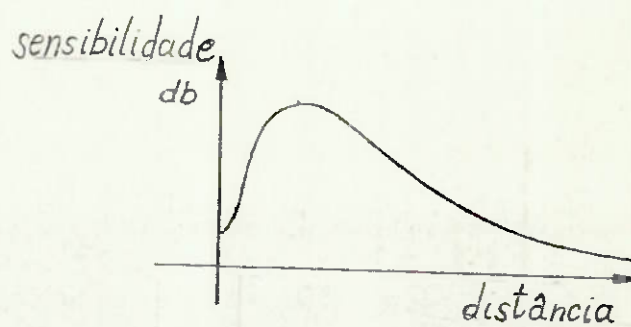
3.22



3.23



3.24



3.25

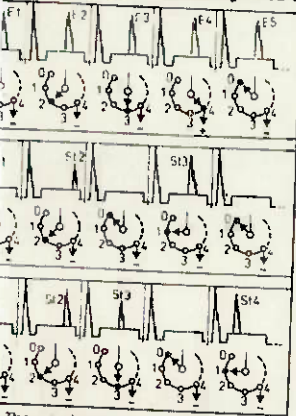


**Bibliografia:**

- NIEMANN, G. - Elementos de Máquinas - Vol. III - Edgard  
Blucher, São Paulo, 1971
- BANKS, B. et alii - Ultrasonic Flaw Detection in Metals:  
Theory and Practice. Iliffe Books, London, 1962.
- BABIKOV, O.I. - Ultrasonic and Its Industrial Applications.  
Consultants Bureau, New York, 1960.
- MACGONNAGLE, W.J. - Non Destructive Testing -  
Gordon & Breach, New York, 1961.
- KRAUTKRAMER, J. - Ultrasonic Testing of Materials -  
Springer-Verlag, New York, 1969.
- APOSTILA BRASITEC - Curso de Ensaio por Ultrassom  
- tradução da matéria do curso de treinamento dado pela -  
firma J.U.H. Krautkramer, Colônia, Alemanha
- EL MANUAL - KRAUTKRAMER  
- com a colaboração de U.Schlengergermann  
Krautkramer GmbH, Colônia, 1977
- DOBROVOLSKI, V. - Elementos de Máquinas -  
Editorial Mir, Moscou, 1970.
- MEISENER, H. e KOBLER, R. - Introdução à Pneumática -  
Festo Didatic, São Paulo, 1977.

# Testing safety by means of important additional functions

The standard version of the KSE electronic package already offers a series of functions by means of which a high degree of testing safety can be attained. Quite frequently it is impossible to carry out a perfect automatic test without these automatic functions.



The principle of interference blanking  
Signal sequence counter  
Transmitter pulse E = echo  
Interference pulse

## Interference blanking

The monitor channel is equipped with a signal sequence counter for statistical interference blanking. This signal sequence counter routes those multiple occurring echoes which are in rhythm with the pulse repetition frequency and the other (interference) pulses which occur at irregular intervals.

Release of a monitor signal by interference pulses (e.g. from timing relays, crane motors) is thus extensively ruled out. Count rate can be adjusted from 1 - 9 so that the most suitable setting can be selected depending on the test assignment and the degree of interference.

## Low pulse repetition frequency

For smaller discontinuities can be struck by an increased number of sound pulses. At high testing speeds an increased number of sound pulses must be transmitted per unit of the test has to be carried out at a higher transmission repetition frequency.

Testing thick parts or parts with thick walls a small

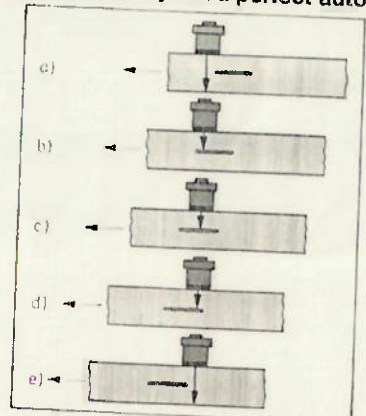


Fig. 18  
Good flaw detectability due to high pulse repetition frequency

pulse repetition frequency is necessary in view of the long sound paths, especially if the test specimens are made of a good sound transmissive material; a pulse sequence which is too short occasionally leads to what are known as "phantom echoes" which can be mistaken for flaw echoes.

For this reason with every version of the KSE system the pulse repetition frequency can be varied within wide limits.

## Individual pulse evaluation

At high testing speeds or when searching for very small discontinuities it can be important that the monitor will already respond to a single pulse (e.g. when phantom echoes prohibit a higher pulse repetition frequency).

Otherwise the danger exists that flaws will be overlooked. For this reason all versions of the KSE are equipped with "rapid" monitors which, provided that the signal sequence counter is on position 1, also definitely respond to individual echo pulses, and that, both when setting to "coincidence" (a signal is released as soon as the echo exceeds the

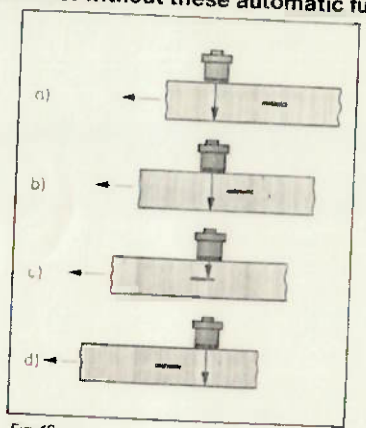


Fig. 19  
The detection of a discontinuity by only one pulse

previously given response threshold), and when setting to "anti-coincidence" (a signal is released as soon as the echo fails to reach the previously given response threshold, Fig. 19).

## Echo start device

This is necessary if automatic immersion tests (e.g. with immersion tank and probe manipulator) are to be carried out with varying lengths of water delay paths (Fig. 20). As long as the entry echo E is inside the echo start gate EB the monitor gate MB retains the previously given distance to the entry echo i.e. it monitors the same depth range (flaw expectancy range C) in the test specimen independent of changes in the water delay path.

All versions of the KSE are equipped with this type of echo device.

## Independent display programming

Reliable testing also means a positive and accurate adjustment of the "test parameters" namely the testing range, position of the gate, the width of the gate, the test channel sensitivity, the basic gain, the monitor response sensitivity and all that taking into con-

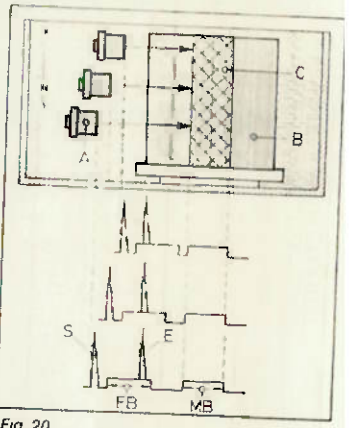
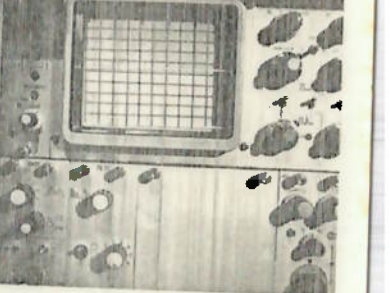


Fig. 20  
The function of the echo start device

sideration a possibly unclear configuration of the individual functions with the test cycles and the evaluating cycles.

Thus all versions of the KSE have 8 display programs at their disposal which, independent from the allocation of the test cycles and the evaluating cycles, gather all those signals which are to be displayed together on the CRT screen. Each individual display cycle is selected by means of a selector control. In addition to this the large double-beam screen (in the KSE 24) offers the possibility, if required, of dividing up the signals of any optional display cycle into two individual displays one above the other. The tester is "in the picture" all the time and can carry out the necessary settings effortlessly.

Fig. 21  
Double display on the CRT screen of the KSE 24





## Standard modules of the KSE system

### Transmitter module SD 21

pulse transmitters for the identical operation of up to 4 channels with 4 controls for delay-transmission pulse of the transmitter as opposed to the release pulse of the generator, by 0...60 mm (long).

### Pre-amplifier module CA 21

pre-amplifiers for connecting a probe (each) whose frequency is in the 1 - 6 MHz range; with 4 controls for the gain sensitivity adjustment of the 4 "test channels" (range: 40 dB).

### Amplifier module AM 1

central amplification of the pulses of all 4 test channels, frequency range 2 - 6 MHz, the adjusting range from 0 to 100 dB in stages of 2 dB, stepless setting and partial suppression (suppression of interference indications without influencing the echo amplitude).

### Receiver and evaluating module SA 21

with 4 response thresholds which can be adjusted independently from each other by means of coding switches, for the individual evaluation of the echo signals occurring in the 4 test cycles; with 2 gates, whose position and width are adjustable and which mark the sections of the range (flaw expect-

tancy range) which are to be monitored, optionally with "coincidence evaluation" (a signal is released if the echo signals exceed the correlated response threshold) or "anti-coincidence evaluation" (release of a signal if the echo signals do not reach the correlated threshold)); with 4 signal sequence counters for the special interference blanking of each evaluating channel; with 4 interface amplifiers (YES/NO outputs) and a recorder amplifier (recorder output).

### Control and programming module PG 21

for energizing the pulse generators, for selecting the respective pre-amplifier and evaluating channel in cycle with the pulse repetition frequency (cycling) as well as for synchronizing the CRT screen indications, with program fields for the multiple configuration of the individual functions of the designed overall function; with steplessly adjustable pulse repetition frequency (0.1 to 25.6 MHz) with a selector switch for selecting the display program required as well as with an echo start device for the immersion test.

### Screen element ST 11

with a small CRT screen (single beam CRT tube) for displaying the echo and gate signals which are correlated to the individual display programs; with controls for the

brightness of the display, the sharpness of the display, the height of the zero line, coarse and fine setting of the test range (expansion), the pulse delay and switching over to "echo start".

### Screen element ST 2

with large screen and double-beam CRT tube, switchable to (normal) single display or to "double display" (two displays each of which uses half the CRT screen height and which are displayed one above the other) of the signals which are, respectively, correlated to one display program.

Accordingly the controls for calibrating the test range and for setting the gain have been provided in duplicate (see description ST 11).

### Special modules

The modules described belong to the KSE standard program. In addition a number of KS 3000 modules are available which, if necessary, can be used for modifying a KSE electronic package (occupying the vacant places in the KSE 24).



SD 21



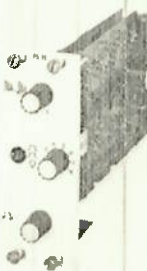
CA 21



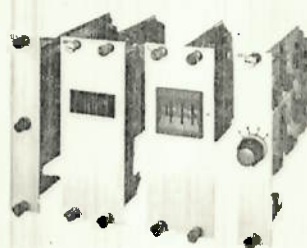
AM 1



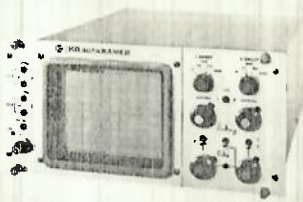
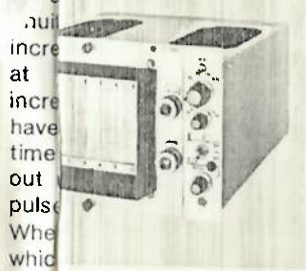
SA 21



ST 11

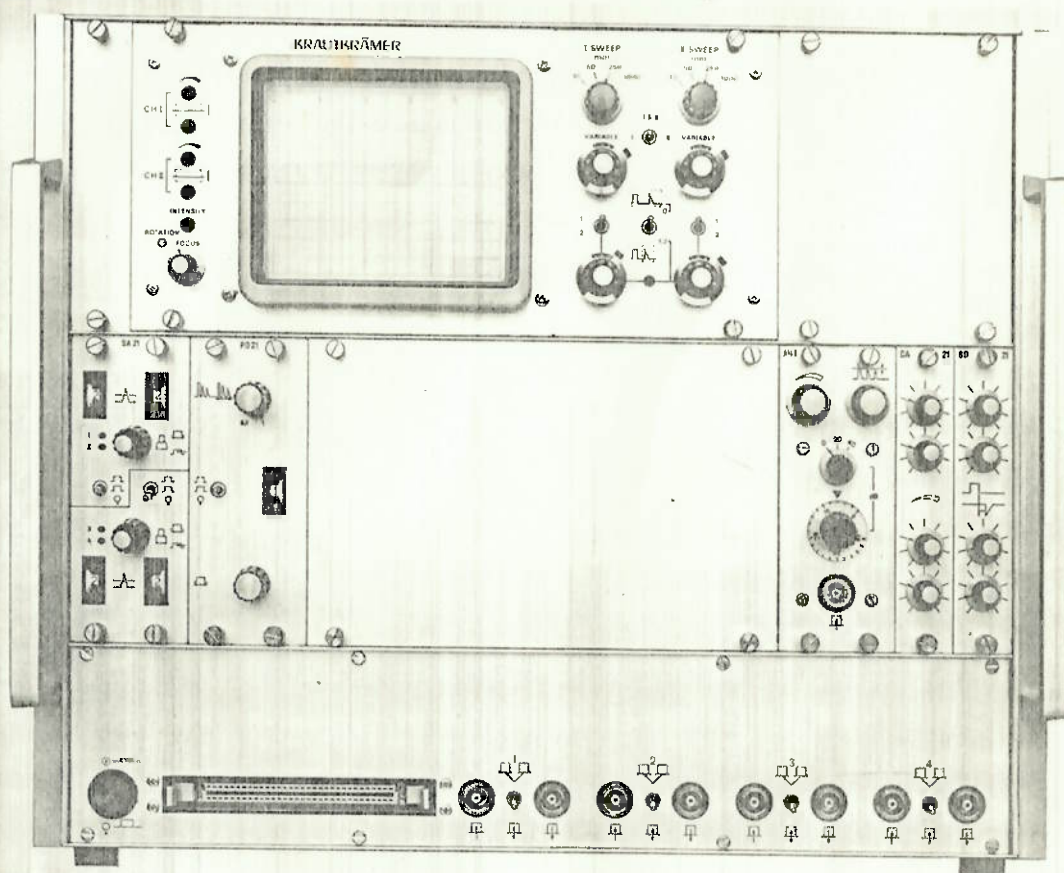


PG 21



ST 2

## E 24 the large 4 channel electronic package



This expandable, 4 channel KSE electronic package contains the same standard equipment as the KSE 14 with the exception of the screen element: by having been designed as two 19" module levels, the KSE 24 offers sufficient place for the double-beam screen element ST 2 whose large screen element can be used optionally for either a "single display" or a "double display". With the "single display" the echo indications can be displayed up to the full height of the CRT screen and with the "double display" the displays are shown one on top of the other i.e. the echo displays each take up at the most, approximately one half of the CRT screen height (the top half and the bottom half).

The testing ranges of the upper and lower displays can be adjusted independently from each other – naturally a synchronous display is also possible. Single and double displays, in conjunction with the 8 freely-programmable display cycles, can be optionally configured with the test cycles and the evaluating cycles and can be called-up in sequence in all programmed configurations by means of the selector switch of module PG 21.

The second essential difference to the KSE 14 is the expandability of the KSE 24. This is a particular advantage if the evaluating devices of the monitor and evaluating module SA 21 (the number of gates and the thresholds as well as their configuration possibilities) are insufficient for the necessary echo evaluation. In such instances the complementary equipment of the KSE 24 with gate modules from the KS 3000 system can be used.

Furthermore, if accurate transit time measurements (wall thickness measurements) have to be included in the test the use is recommended of the corresponding modules from the KS 3000 system as the "com-

plementary wall thickness measuring package" (Fig. 19).

The increased ease of display and the expandability of the KSE 24 make this 4 channel electronic package a most interesting proposition for all those who use ultrasonics and who wish to build up an automatic testing system with a relatively low expenditure but who depend on "unusual" configurations and, furthermore, who wish to immediately include certain functions from the KS 3000 system or who wish to include them in plans for a future expansion.

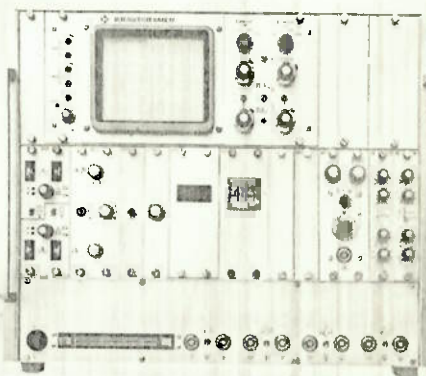


Fig. 31  
The special equipping of a KSE 24 with a „wall thickness measuring package" of KS 3000 modules





Fig. 33  
Four-track immersion testing device with the KSE 14 for testing pistons (Mahle GmbH, Stuttgart)

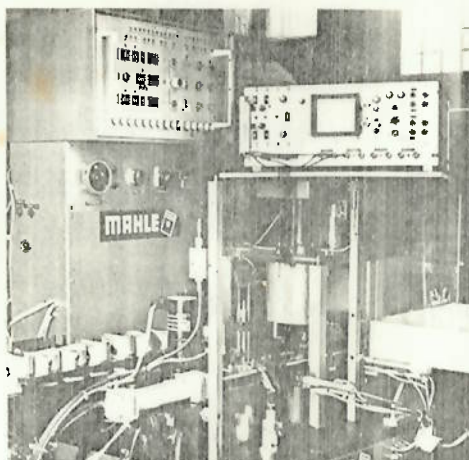


Fig. 34  
Fully automatic two-track immersion testing device with the KSE 14 for testing for laminar defects on ring holder type pistons (Mahle GmbH, Stuttgart)

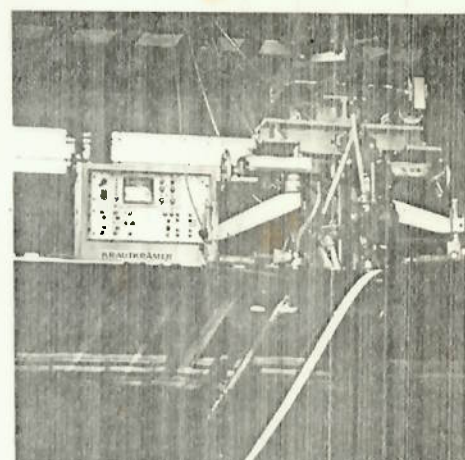


Fig. 35  
Test installation with KSE 28 for controlling the welds of spirally welded tubes (Peine-Salzgitter AG)

Technical Data	KSE 14	KSE 24	KSE 28
Frequency range	1 - 6 MHz	1 - 6 MHz	1 - 6 MHz
Testing range	10 mm - 5 m (St)	10 mm - 5 m (St)	10 mm x 5 m (St)
CRT screen dimensions	6 x 7 cm	8 x 10 cm	8 x 10 cm
CRT screen display	single	double	single
Echo start	yes	yes	yes
Gain factor	20 dB (preamplifier) 80 dB (main amplifier)	20 dB (preamplifier) 80 dB (main amplifier)	20 dB (preamplifier) 80 dB (main amplifier)
Max. adjustable attenuation	120 dB	120 dB	120 dB
Suppression	(partial suppression) 0 - 4/5 CRT screen height without falsifying the echo amplitudes which are to be evaluated		
Pulse repetition frequency	100 Hz - 25,6 KHz adjustable	100 Hz - 25,6 KHz adjustable	100 Hz - 25,6 KHz adjustable
No. of clock pulses per cycle	2 - 8 adjustable	2 - 8 adjustable	2 - 8 adjustable
No. of testing channels	4	4	8
External triggering	possible	possible	possible
Monitor gates	2	2	4
Monitor thresholds	4	4	8
Signal sequence counter	4	4	8
Switching outputs	4	4	8
Recording outputs	1	1	2
Extendable by means of KS 3000 modules	no	yes	yes
Dimensions	436 mm x 193 mm x 492 mm	436 mm x 370 mm x 560 mm	436 mm x 370 mm x 560 mm
Weight	18,7 kg	27,5 kg	28,5 kg