

" MÉTODO SEMI-AUTOMÁTICO PARA MEDIDAS ESPECTROSCÓPICAS "

Este é a redação final da Tese do aluno Roberto Ennes da Fonseca defendida em 24 de novembro de 1989. Foram feitas todas as modificações propostas pela banca examinadora.

Aluno: Roberto Ennes da Fonseca

Orientador: Prof. Dr. Antonio Gomes Trigueiros

*C.U. "Zefenio Vaz",
21 de dezembro de 1989*

Banca: Prof. Dr. Antonio Gomes Trigueiros

Prof. Dr. Geraldo Ferreira Mendes

Prof. Dr. Angel Alberto Tagliaferri



Tese apresentada no Instituto de Física "Gleb Wataghin" da Universidade Estadual de Campinas como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Mestre em Ciências.

Campinas - Novembro - 1989

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE FÍSICA
BIBLIOTECA

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE FÍSICA
BIBLIOTECA CENTRAL

CLASSIF.

AUTOR

V. EX

TOMBO BC/11929

I. FÍSICA - UNICAMP

F 733m
+ UNICAMP / M

n.º tombo

TM/977

17.06.90

cm 000/86587

AGRADECIMENTOS.

Ao prof. Dr. Antonio Gomes Trigueiros pela orientação recebida.

A Universidade Federal Fluminense pelo empréstimo do comparador Zeiss Abbe , sem o qual esta tese seria impossível .

A Fapesp e Finep pelo suporte financeiro .

Ao Departamento de Raios Cósmicos pelo empréstimo do microscópio óptico para medição da placa .

Ao professor Dr. Edson Shibuya do Departamento de Raios Cósmicos pelo auxílio e sugestões apresentadas .

Ao Centro de Metrologia da Unicamp pela medição da placa fotográfica .

A Oficina Mecânica do Instituto de Física pelos trabalhos prestados para a realização dessa tese .

Aos professores Dr Paulo H. Sakanaka e Dr José B. Neto pelo apoio ligado às partes burocrática e financeira para a realização dessa pesquisa .

Aos colegas e amigos do Grupo de Plasmas: Honda , Peterson , César ,Emília e Luis , pela amizade , companheirismo e sugestões apresentadas .

Aos técnicos e funcionários do Grupo de Plasmas :Cristina , Paulinho , Douglas e Valquíria pela dedicação nos trabalhos burocráticos e técnicos e sobretudo pela amizade .

A todos os meus amigos , e a todos aqueles que diretamente ou indiretamente contribuíram para a realização desse trabalho , muito obrigado .

RESUMO

Fizemos a semi-automatização de um comparador manual modelo Zeiss Abbe ,utilizado para medição das distâncias entre linhas espectrais contidas numa placa fotográfica , utilizando para isso um método foto elétrico .Foi feito também o acoplamento de um transdutor , para medição de posição , no carro móvel do comparador . Deste transdutor fizemos uma interface para um microcomputador para armazenamento das distâncias entre as linhas para posteriores cálculos os quais determinarão os comprimentos de onda das mesmas .

Foram feitas medições com o equipamento descrito acima sendo obtidos resultados satisfatórios dentro da precisão que o equipamento fornece.

INDICE

1 - INTRODUÇÃO	1
2 - APARELHOS PARA MEDIÇÃO DA PLACA FOTOGRAFICA E TÉCNICA DE MEDIÇÃO.	5
3 - DESCRIÇÃO DO COMPARADOR MANUAL ZEISS ABBE	13
4 - PRINCÍPIO DE SEMI-AUTOMATIZAÇÃO DO COMPARADOR ZEISS ABBE UTILIZANDO O PROCESSO FOTO-ELÉTRICO	20
5 - RESULTADOS	35
6 - CONCLUSÕES	42
7 - APENDICE I	44
8 - APENDICE II	46
9 - REFERÊNCIAS	53

O método de medição de linhas espectrais contidas numa placa fotográfica utilizando-se o processo manual , ou seja , através de um comparador por exemplo , é cansativo , tedioso , longo e principalmente sujeito a grandes erros , se realizado por um operador não treinado , devido as várias dificuldades para as medições das linhas , conforme será visto mais adiante .

Com o propósito de tornar essa medição de linhas mais fácil , rápida e precisa , mesmo para uma pessoa não treinada , é que procuramos um método alternativo .

A solução por nós encontrada foi a de se fazer uma semi-automatização de um comparador manual Zeiss Abbe já existente utilizando para isso um processo foto-elétrico como será visto detalhadamente mais adiante na tese .

O processo de semi-automatização ao invés de automatização total foi o escolhido devido a ser este o mais interessante para o tipo de linhas que basicamente vamos medir , ou seja , linhas produzidas por plasma obtido através de Theta Pinch , Tokamak , como também linhas obtidas através da incidência da radiação de laser de alta potência sobre superfícies metálicas . Espectros obtidos dessas fontes de luz espectroscópicas são de difícil medição no qual o julgamento do operador ainda se faz necessário em alguns casos , devido à complexidade das linhas desses espectros , ou seja : linhas largas , assimétricas , difusas e sobrepostas . Obviamente uma automatização total podia ter sido tentada mas a um preço de uma complexidade tanto de hardware como de software muito maior e a um custo bem mais alto (ref. 6 e 7

)A princípio , tal investimento para uma automatização total ainda não se justifica ,nada impedindo porém que a mesma não seja feita posteriormente.

Damos a seguir para o leitor não familiarizado uma pequena idéia geral sobre espectroscopia .

O aparelho espectral realiza uma análise integral harmônico da emissão incidente .Esta análise , em óptica , se leva a cabo geralmente por meio de um elemento dispersivo que desvia em ângulos distintos os raios de diferentes comprimentos de onda .

Existem também outros tipos de análise espectral da emissão . Mencionaremos os filtros seletivos , que só transmitem a luz numa região espectral estreita pré fixada , diferentes aparelhos , cujo funcionamento se baseia na interferência de muitos feixes , e novos tipos de aparelhos , baseados em modulação seletiva de frequência e de amplitude da emissão (espectrômetros de fourier).

Um aparelho espectral pode considerar-se ideal se a distribuição da energia em sua saída se determina só pelas qualidades do elemento emissor , independentemente da sua construção e peculiaridades .Na prática , o aparelho espectral e o receptor da emissão provocam alterações no espectro .

Examinemos o esquema típico de uma instalação espectral (fig. 1) .Esta consta de uma fenda (1) , o elemento dispersivo (2) , a óptica enfocadora (3) .O espectro , que é uma sucessão discreta ou bem contínua de imagens da fenda , produzidas por raios de diferentes comprimentos de onda (λ_1 , λ_2 , $\lambda_3...$) se forma na superfície focal (4) .Estas imagens são captadas por um receptor (5) , que pode ser o olho , uma placa fotográfica , um

fotoelemento , um par termoeletrico , etc .Segundo o tipo de registro - visual , fotografico ou fotoeletrico - o aparelho espectral denomina-se espectroscopio , espectrografo ou espectrometro , respectivamente , sendo que o numero de investigacoes por processos fotograficos constitui , ainda hoje em dia , o metodo mais usado .Por isso , espectrografos ocupam o primeiro lugar entre outros aparelhos espectrais , com uma grande variedade de estruturas , tamanhos e parametros opticos .

Os espectrografos classificam-se em aparelhos destinados a regiao infravermelha , visivel , e ultra-violeta ,sendo que no ultimo tipo a regiao de 10 a 2000 \AA no vacuo e uma das mais importantes para o estudo de plasma .

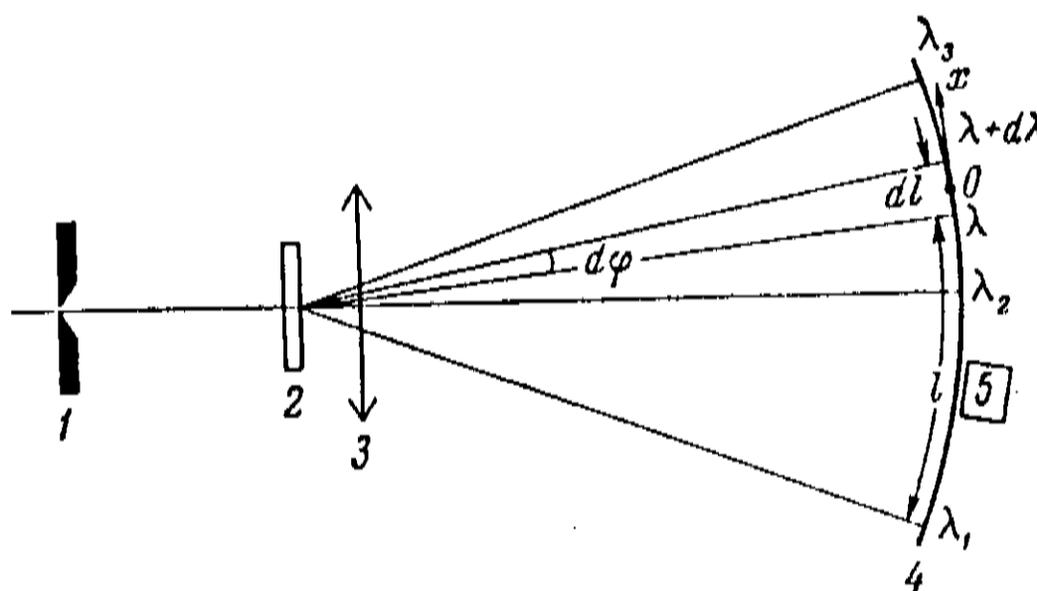


Fig 1

No caso do espectrometro , o receptor n~ao possui poder resolutivo espacial de elementos por separado do espectro e na superficie focal situam-se um ou mais diafragmas para a sua separacao .

A variacao do angulo de desvio do raio φ ao variar o comprimento de onda λ caracteriza a dispersao angular do aparelho

$$D_{\varphi} = \frac{d\varphi}{d\lambda}$$

O aparelho também caracteriza-se pela dispersão linear D_l , denominada "dispersão a secas". A dispersão linear, segundo sua definição será:

$$D_l = \frac{dl}{d\lambda}$$

sendo "l" o comprimento do arco, calculado a partir de um ponto qualquer da superfície focal até o lugar de sua intersecção com o raio. Frequentemente o aparelho caracteriza-se não por essa magnitude mas sim pela sua inversa (dispersão inversa).

$$\frac{1}{D_l} = \frac{d\lambda}{dl}$$

A dispersão inversa geralmente mede-se em angstroms por milímetros.

Ao receptor chega só uma pequena parte da energia total emitida pela fonte que deixa passar o aparelho espectral. Esta parte caracteriza-se pela magnitude que se denomina luminosidade do aparelho, distintas em emissões de diferentes comprimentos de onda. A sensibilidade dos receptores também depende do comprimento de onda. A capacidade do aparelho de separar as linhas espectrais próximas determina-se por seu *poder resolutivo*.

2 - APARELHOS PARA MEDIÇÃO DA PLACA FOTOGRAFICA E TECNICA DE MEDIÇÃO.

APARELHOS DE MEDIÇÃO

Para medir as distâncias entre as linhas espectrais contidas na placa fotográfica empregam-se basicamente microscópios de medição e comparadores .

Nos primeiros , o deslocamento do microscópio de aumento ou do espectrograma que se mede realiza-se mediante um parafuso micrométrico .

O valor do deslocamento conta-se pela quantidade de revoluções do parafuso .A fig. 2 mostra um microscópio de medição típico .

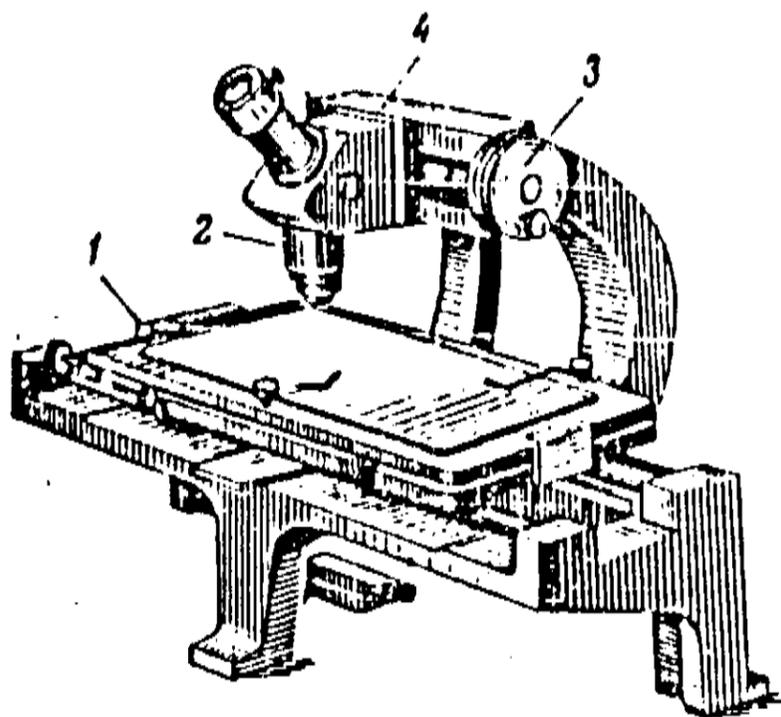


Fig. 2

O espectrograma a ser medido é fixado sobre uma mesa (1) . O microscópio de medição (2) desloca-se ao girarmos a cabeça do parafuso (3) . O número de revoluções conta-se na escala (4) . Os centésimos de milímetro contam-se na cabeça do parafuso (5) . A

precisão das medidas é de aproximadamente de 0.01 mm .

O comparador , como o próprio nome diz , compara o deslocamento da placa fotográfica com igual deslocamento de uma escala de precisão , sendo que ambos estão acoplados numa superfície comum .Maiores detalhes serão vistos no capítulo 3 .

Um outro tipo de aparelho que também mede as distâncias entre as linhas é o projetor de espectros .O mesmo projeta sobre uma tela a imagem ampliada , de 15 a 20 vezes , de uma pequena parte da placa fotográfica . Para medir as distâncias será então suficiente uma boa escala em milímetros (fig. 3) .

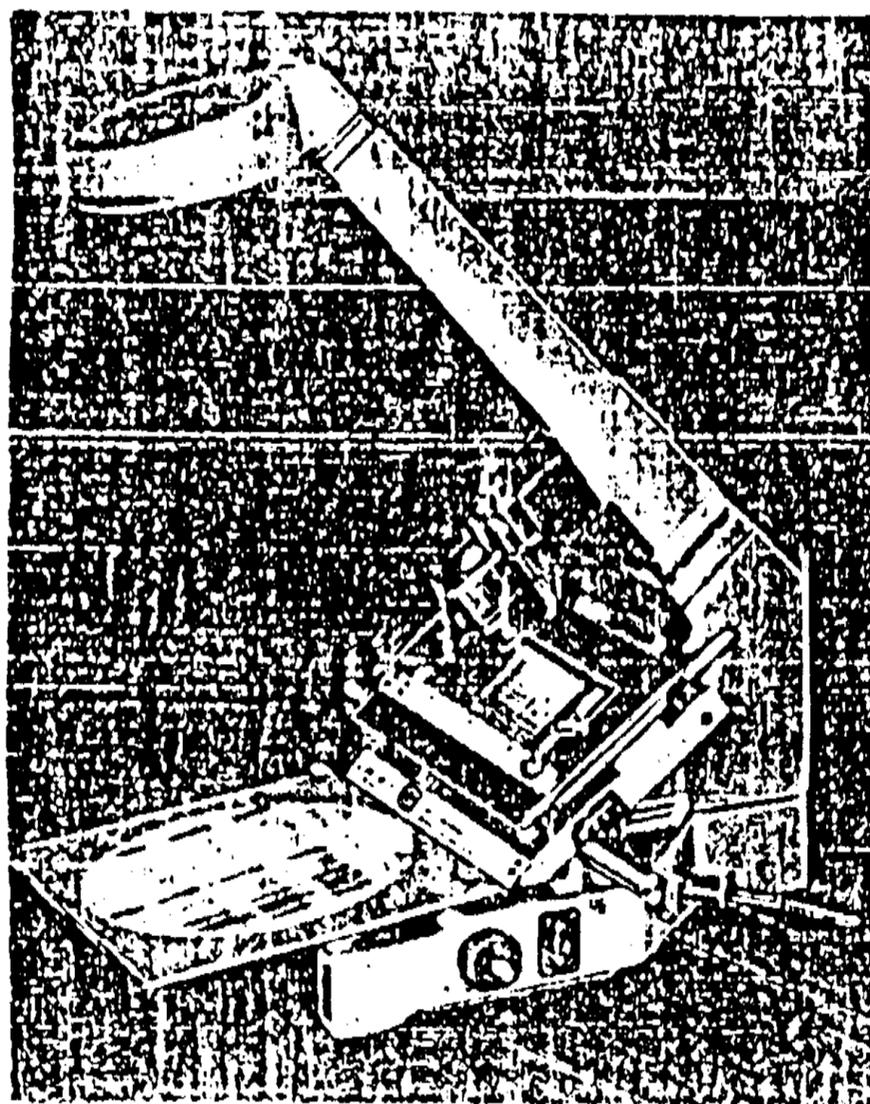


Fig. 3

Tal aparelho contudo não permite medidas com precisão muito grande e só permite a medida de linhas próximas ,pois a distância máxima na placa que se determina para o espectroprojetor é de 10 a 20 mm .Deve-se comprovar que a distorção do objetivo , a placa ,

não causa grandes deformações de escala .

As vezes resulta suficientemente exato a interpolação visual do comprimento de onda da linha medida entre as linhas de referência mais próximas a ela .Utilizando como espectro de comparação o de ferro , pode-se deste modo , na maioria dos casos , determinar o comprimento de onda com uma precisão de 0,1 a 0,3 \AA , o que é geralmente suficiente para problemas referentes a identificação das linhas espectrais .Para tais medições é também útil uma lupa com escala de medição mas , em trabalhos de larga duração é melhor empregar espectroprojetores .

Ao termos um grande volume de medições pode ser mais racional o uso de comparadores automáticos pois , ainda que nem sempre garantam uma precisão muito boa , permitem medir com relativa rapidez o comprimento de onda de um grande número de linhas .

INSTALAÇÃO E ILUMINAÇÃO DO ESPECTROGRAMA

O espectrograma , ou placa foptográfica , deve situar-se de forma que o deslocamento do espectro se realise na direção da dispersão do aparelho .Isto se consegue fixando a linha horizontal ou a cruz das linhas da ocular do microscópio de alinhamento nos extremos das linhas espectrais .Ao deslocar-se a mesa do comparador a cruz das linhas não deve desviar-se da horizontal a qual está fixada .

O aspecto da placa fotográfica e a precisão do alinhamento da linha espectral em grande parte deve-se à iluminação do campo visual .Os melhores resultados obtem-se com uma iluminação uniforme de luz difusa .Uma iluminação muito intensa ou muito fraca piora os resultados .

Espectrogramas muito densos requerem iluminação mais intensa .A luz não deve incidir diretamente sobre os olhos do observador .O melhor é empregar uma lâmpada de 40-60 W sobre um fundo opaco .

ESCOLHA DO AUMENTO .

Existe um aumento ótimo com o qual a precisão para as medidas das linhas é máximo .Quanto mais estreita e mais nítida é a linha , tanto mais conveniente será escolher um aumento maior .Pelo contrário , ou seja , para linhas largas de contornos indefinidos , melhor a precisão da medida para um aumento menor .Frequentemente temos que medir espectros com linhas de diversos tipos : linhas finas , largas , bem visíveis , pouco visíveis , etc , como em nosso caso .Para estes casos temos que escolher um aumento médio , se não queremos medir separadamente as linhas nítidas e as difusas .

Não é vantajoso escolher aumentos demasiadamente grandes , com os quais se fazem visíveis a granulação da emulsão fotográfica , já que neste caso o olho encontra com dificuldade o máximo da densidade dos grãos que corresponde ao centro da linha espectral .Os aumentos cómodos para trabalhar encontram-se na faixa de 5 a 100 vezes .

DIMINUIÇÃO DA INFLUENCIA DA GRANULOSIDADE .

As linhas espectrais fracas já se fragmentam em grãos separados quando o aumento é ainda relativamente pequeno .Quando o número de grãos não é grande se nota mais as flutuações de sua quantidade .Durante a microfotometria da placa toma-se o valor médio das flutuações ao longo do segmento da linha que corta a

fenda do microfotômetro .

Um efeito análogo pode conseguir-se também por observação visual .Para isso se conhecem dois métodos .Nos anos 30 , V. P. Linnic propôs equipar o microscópio de medição com um objetivo oscilante , fixado sobre um eixo horizontal perpendicular à direção das linhas espectrais .O objetivo em forma de um pêndulo realiza um movimento oscilatório pouco amortecido de pequena amplitude .As linhas fracas , nesse caso , são muito mais nítidas sendo mais preciso o alinhamento da linha espectral com a linha do microscópio de medição neste caso .Todavia , este dispositivo não se emprega em aparelhos comerciais , sendo que a modificação de um microscópio por conta é bastante difícil .Pode-se conseguir o mesmo resultado se no sistema óptico do microscópio corrente introduz-se astigmatismo .Para tanto pode-se fabricar-se uma lente astigmática auxiliar tanto para o objetivo quanto para a ocular .Pode-se empregar tanto uma lente positiva quanto uma lente negativa , cujo eixo dioptra-se ao longo da dispersão .A distância focal da lente escolhe-se de forma que sobreponham-se as imagens de dois pontos ao longo de 0,1 a 0,3 mm da linha espectral .Não é conveniente introduzir maior astigmatismo .

TECNICA DE MEDIÇÃO

Para medir-se bem a posição da linha , esta deve dispor-se de forma que possa repetir-se com respeito a posição do microscópio .

Para isso a ocular tem um sistema de linhas com o qual se realiza o alinhamento .Em diferentes tipos de microscópios as linhas são de diferentes modos .Com a maior frequência empregam-se o sistema que aparece na fig. 4a .A prática mostra que uma linha

estreita situa-se com maior precisão entre duas linhas que no centro de uma delas .Por isso o alinhamento realiza-se como nas fig. 4b e 4c para uma linha estreita e larga respectivamente .Quanto mais larga é a linha a ser medida maior deverá ser a distância das linha paralelas da ocular do microscópio de alinhamento , o que permite fazer facilmente o alinhamento deixando igual espaços para ambos os lados da linha espectral .Em alguns casos resulta mais apropriado o emprego de linhas em forma de cruz como na fig. 4d .Uma linha espectral , por exemplo de absorção , deve então coincidir com o centro da cruz .

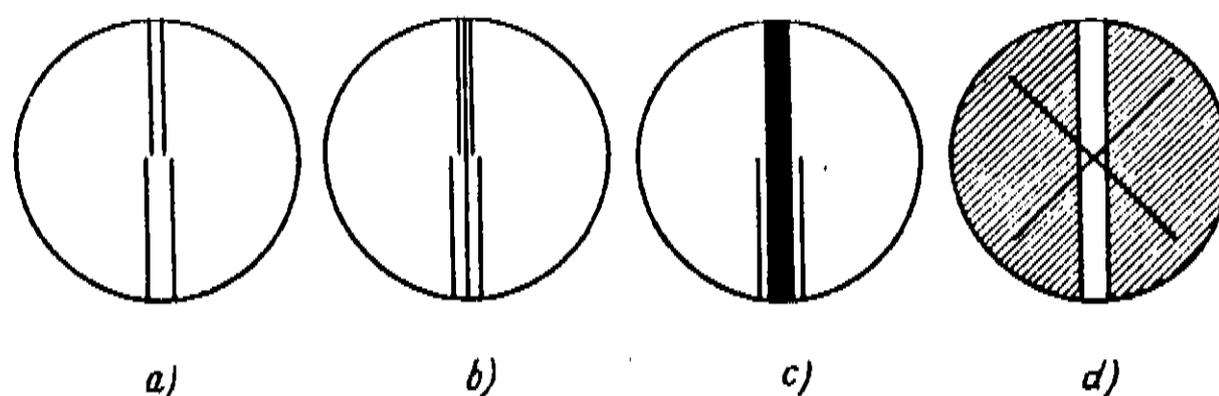


Fig. 4

A vista tende a falhar ao medir linhas com contorno assimétrico e o alinhamento realiza-se não no máximo da linha mas sim com um certo desvio para a parte menos abrupta do contorno .

Se ao redor da linha a medir por um lado ha outra muito brilhante e pelo outro lado não há nenhuma , a vista tende a desviar do máximo da linha a ser medida .

Uma vez escolhido o aumento conveniente temos em primeiro lugar que instalar a ocular do microscópio de modo que se veja as linhas da ocular com a maior nitidez .Em seguida colocamos no meio

das linhas do microscópio qualquer linha espectral estreita e , deslocando o tubo do microscópio ao longo do eixo óptico , busca-se a imagem mais nítida da linha espectral .

Os observadores que sofrem de miopia não muito grande não devem trabalhar com óculos , já que a correção necessária se alcança enfocando a ocular .

As medições de distâncias entre as linhas espectrais realizam-se enfocando-se consecutivamente no microscópio as linhas espectrais medidas e as linhas espectrais de referência .

Quando trabalha-se com microscópio de medição é necessário medir-se as linhas espectrais sempre pelo mesmo lado , para eliminar o erro da folga do parafuso micrométrico .Ao trabalharmos com um comparador não é necessário fazermos isso .Após medirmos todas as linhas num sentido , deveremos medi-las no sentido contrário e tomarmos o valor médio das medidas com o propósito de diminuirmos os erros de leitura .Esta operação de leitura num sentido e no outro pode ser repetido até 3 ou 5 vezes .O que não se deve fazer é medir cada linha varias vezes consecutivamente pois , ao repetirmos a medida de uma linha consecutivamente , o olho sempre se recorda do quadro do campo de visão e a operação seguinte depende sempre , involuntariamente , da anterior .Se repetirmos as medidas depois de termos medido todo o espectro se borram as impressões do quadro visto e todas as operações serão praticamente independentes entre si .

O mínimo erro com que se pode medir as distâncias entre as linhas espectrais determina-se pelo erro da escala e este é de aproximadamente 1μ .Na pratica é quase impossível conseguir tal precisão já que a largura da linha espectral não é menor do que

10 μ e se consegue determinar a posição do centro da linha com uma precisão de até 2 μ a 3 μ .Para linhas largas os erro de medição são muito maiores .

Para maiores informações sobre esta parte consultar referência 8 .

3.1 - Introdução

Mostramos nesse capítulo o princípio de funcionamento e forma de utilização do comparador Zeiss Abbe procurando mostrar ao leitor as vantagens e desvantagens de uma aparelho manual desse tipo .

O princípio de funcionamento do comparador Zeiss Abbe é de que a distância a ser medida na placa e a distância na escala de comparação estão alinhadas na direção da medida , isto é , exatamente acopladas uma ao lado da outra , num mesmo nível num suporte comum .Portanto , conforme pode ser visto através da fig. 5 , qualquer pequeno desalinhamento entre a escala de comparação e a placa a ser medida terá um erro desprezível uma vez que para ângulos pequenos $\cos(\theta) \cong 1,0$.

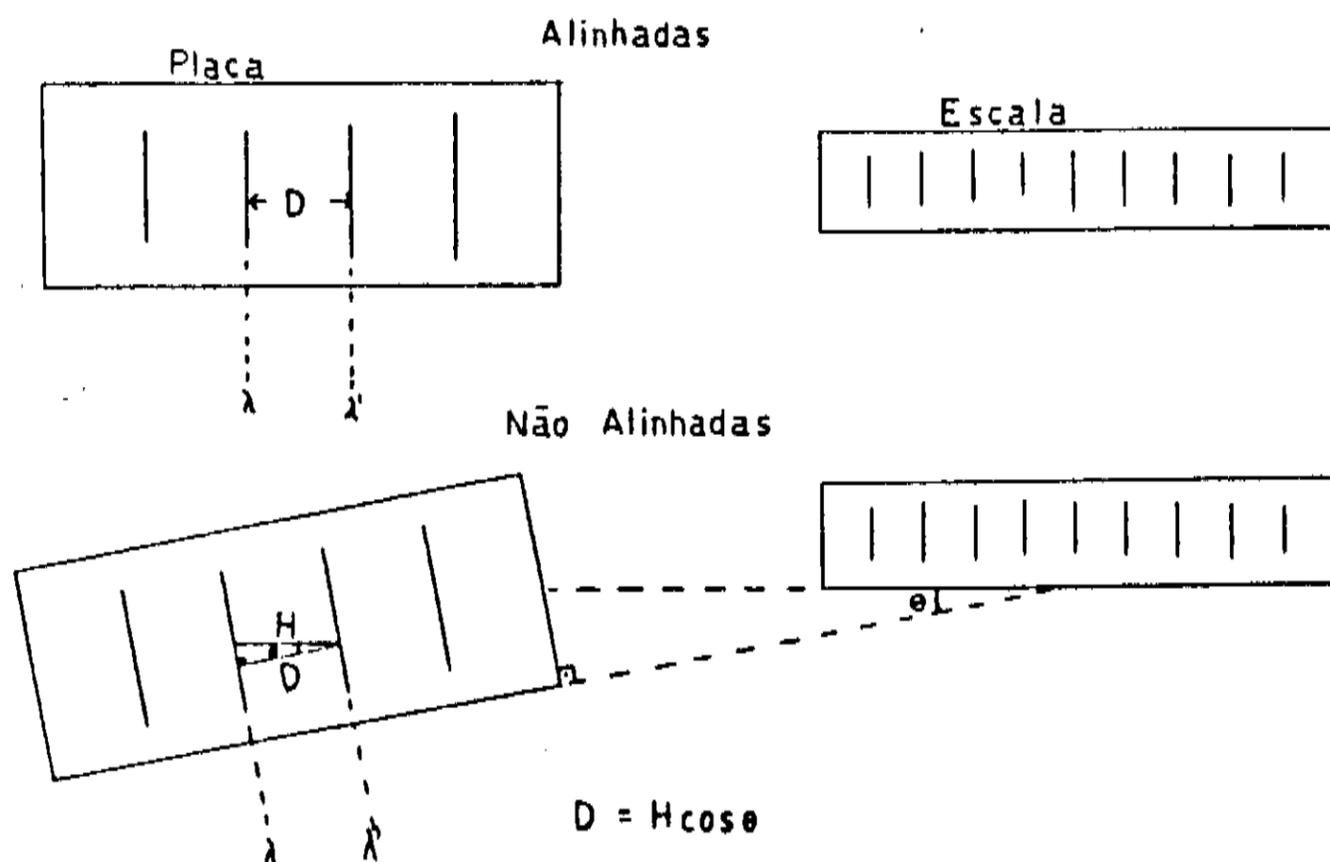


Fig. 5

3.2 - Estrutura Mecânica e Utilização

Toda a estrutura mecânica do comparador Zeiss Abbe é precisamente acoplada a uma sólida base de ferro permitindo que o mesmo seja usado tanto na posição horizontal como na inclinada (45°) .Ver fig. 6 .

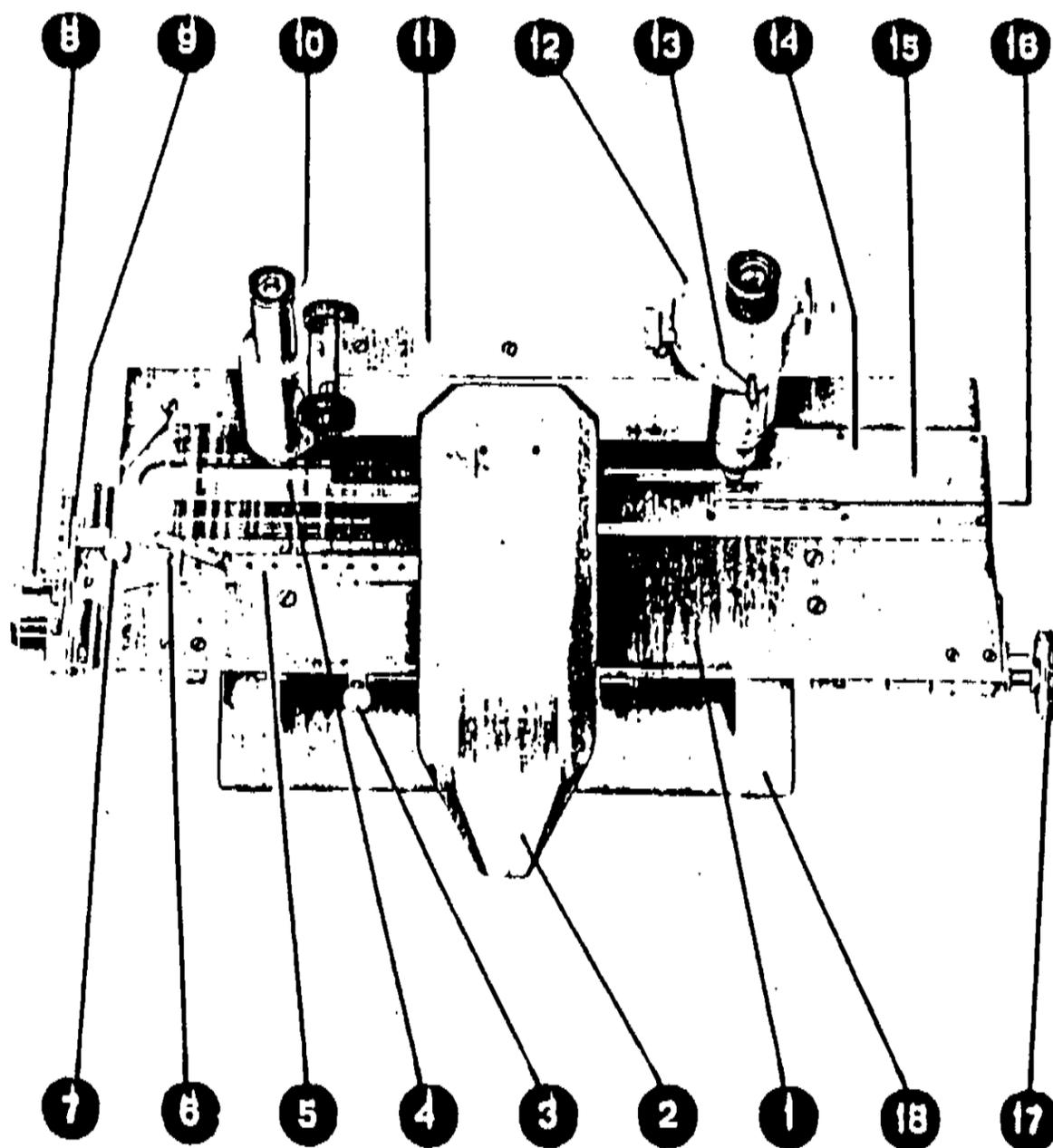


Fig. 6

Uma placa de aço transporta no seu lado esquerdo o objeto a ser medido (4) e no seu lado direito a escala de precisão de 200 mm (15) . Acima do objeto a ser medido está o microscópio de alinhamento (10) e acima da escala de precisão o microscópio de medição (12) , ambos presos por uma robusta estrutura feita de aço

Toda a estrutura móvel do comparador (suporte da placa e da escala) assim como a que sustenta os microscópios são cobertas com material não condutor térmico para evitar que o calor do corpo da pessoa que mede as placas interfira com a precisão das medidas da mesma .

Para iluminação tanto do objeto a ser medido como da escala de medição são utilizados dois espelhos (27 e 22 da fig. 7) .

Segue abaixo uma descrição e pequena explicação das partes do comparador Zeiss Abbe .Ver figs. 6 e 7 .

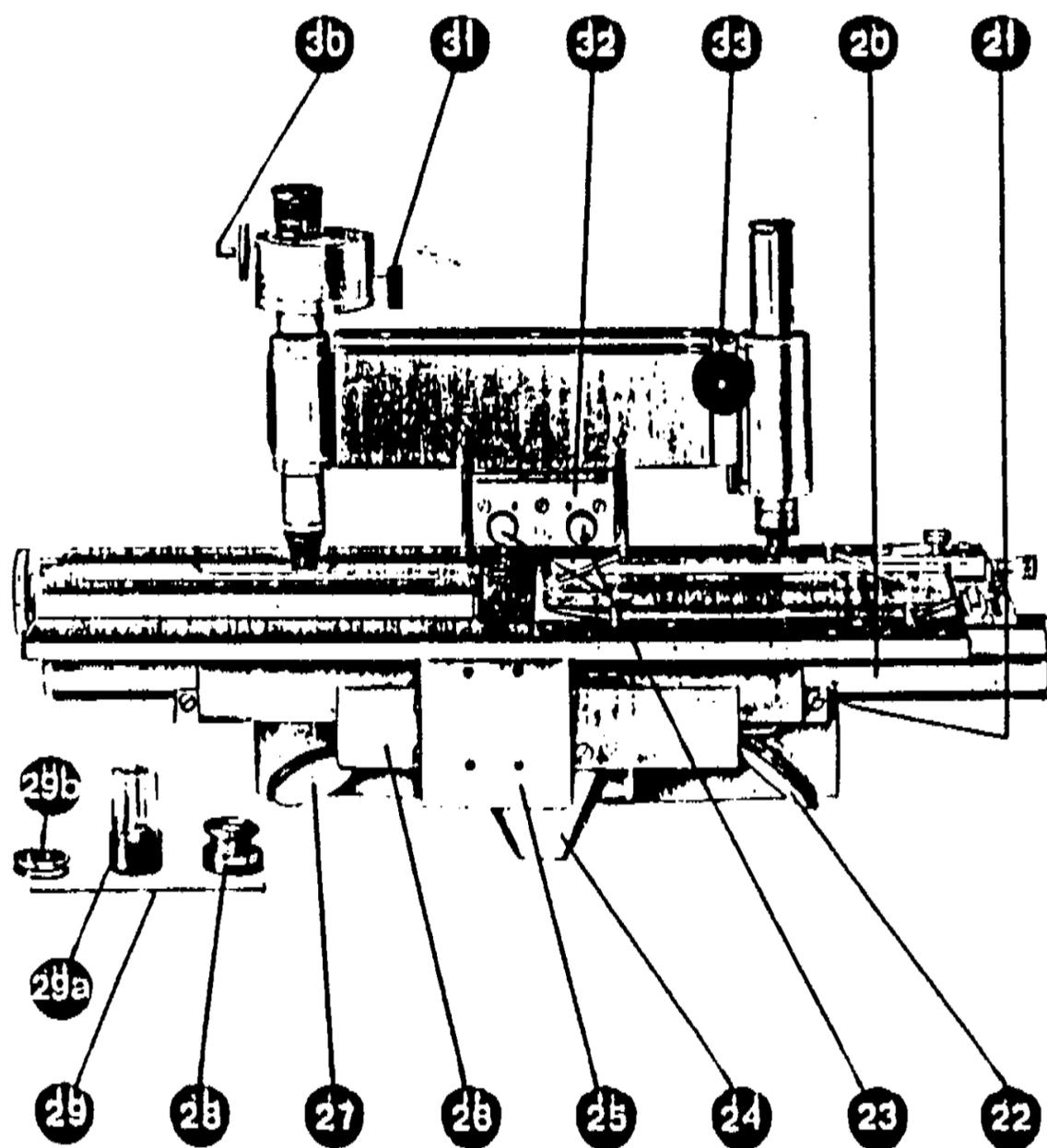


Fig. 7

- 1 - Mesa suporte móvel da placa e escala
- 2 - Suporte para que o comparador possa ser usado na posição inclinada
- 3 - Parafuso que fixa a mesa suporte móvel da placa e escala 1 .

Quando solto permite que a mesa suporte seja deslocada com a mão .

- 4 - Objeto a ser medido .Placa fotográfica no nosso caso .
- 5 - Suporte guia para a placa fotográfica . Permite ajustar o paralelismo entre a placa fotográfica e a escala de precisão .
- 6 - Ponto de rotação do suporte guia 5 .
- 7 - Parafuso que fixa o suporte guia 5 .
- 8 - Parafuso para deslocamento transversal da placa fotográfica .
- 9 - Escala transversal de 90 mm .
- 10 - Microscópio de alinhamento .
- 11 - Suporte para os microscópios .
- 12 - Microscópio de medição .
- 13 - Fixa a mudança de zero na escala quando esta é acionada por 31 .
- 14 - Fixador da escala de cristal .
- 15 - Escala de cristal .
- 16 - Termômetro .
- 17 - Parafuso micrométrico para movimentação longitudinal da mesa suporte móvel 1 .
- 18 - Base .
- 20 - Barra guia para o carro móvel 1 .
- 21 - Rolamento .
- 22 - Espelho para iluminação da placa fotográfica .
- 23 - Parafusos fixadores .
- 24 - Pé para a posição horizontal .
- 25 - Tampa de 26 .
- 26 - Trilho guia para o carro móvel 1 .
- 27 - Espelho para a iluminação da escala de cristal .

A escala de medição é como como vimos uma escala de cristal com 200 mm de comprimento com marcas em intervalos de 1,0 mm gravadas sobre um lado da mesma . Em cima dessa escala existe uma outra placa de cristal com o objetivo de proteger a escala gravada .Ao lado dessa escala está um termômetro com divisões de 0,5 ° C . As medições na placa fotográfica devem ser feitas a uma temperatura de aproximadamente 20 °C registrada no termômetro do comparador . Caso a temperatura varie muito além desses 20 °C existe uma tabela de correção da escala gravada no cristal em função da temperatura .A medição da posição de uma linha usando o comparador é feita como segue abaixo .

A -) A linha a ser medida é alinhada entre as duas linhas de referência (36) do microscópio de alinhamento conforme fig. 8 abaixo .Este alinhamento deve ser bem preciso .O maior erro de medida comete-se neste passo .

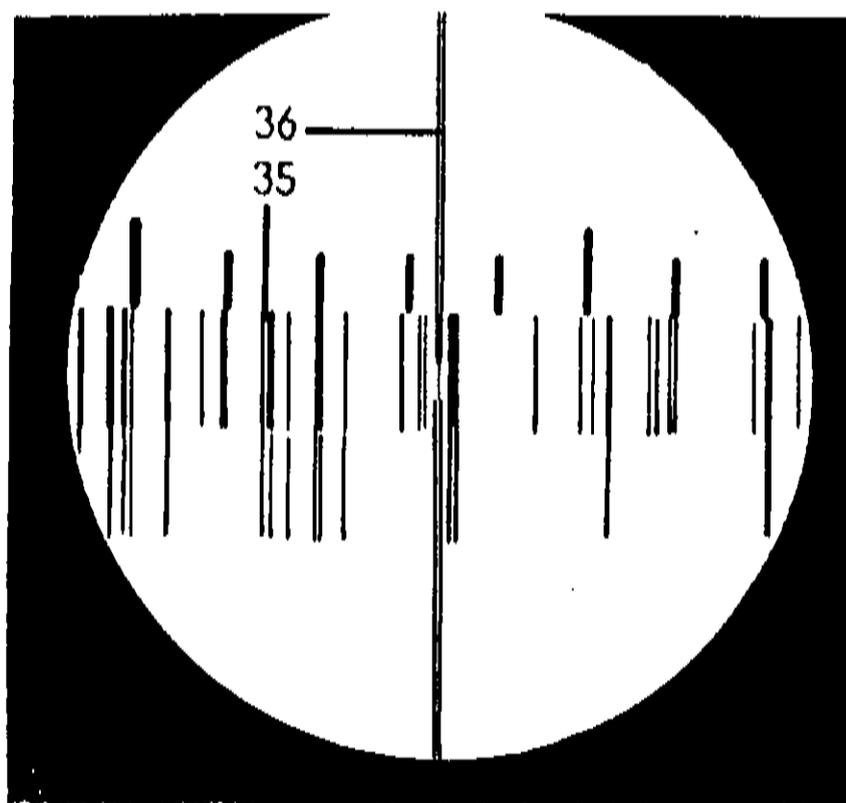


Fig. 8

B -) É lida a posição da linha conforme esquema a seguir . ver fig. 9 .

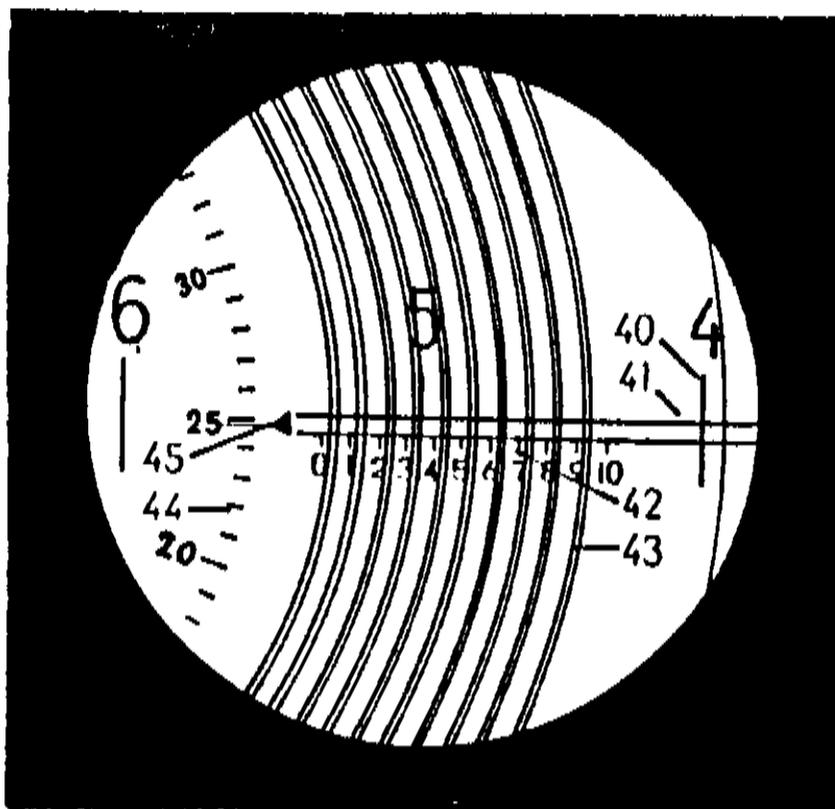


Fig. 9

Fazendo o ajuste fino (30 da fig. 7) uma linha dupla da espiral (43 da fig. 9) é alinhada simetricamente com a linha com o número " 5 " marcado acima desta de tal forma que esta linha fique dentro da linha espiral dupla , não importando se esse alinhamento é feito pela esquerda ou pela direita .A precisão para a 3^a e 4^a decimais depende do cuidado dispensado a esse alinhamento .O número da escala de milímetros que se encontra dentro da espiral é então lido (" 5 " na fig. 9) .

Os décimos de milímetro são lidos na escala de décimos (42 da fig. 9) ,pegando o menor valor que esta mais próximo da marca da escala de milímetros que esta entre as duas linhas duplas da espiral (na fig. 9 é o número " 3 ") .O círculo graduado (44) mostra os centésimos e milésimos de mm (são " 24 " na fig. 9) .Os décimos de milésimo de mm são estimados (\cong " 8 " na fig. 9)

Na fig. 9 temos portanto a leitura de :

milímetros	5,0000
décimos de milímetro	0,3000
centésimos e milésimos de milímetro	0,0240
décimos de milésimo de milímetro	0,0008
resultado	<u>5,3248 mm</u>

O erro máximo de medida usando o comparador é garantido pelo fabricante como sendo de $1,5 \mu$.Valor típico para esse tipo de aparelho .

Como vemos é um instrumento de alta precisão , sendo por isso um dos mais usados para medição das placas fotográficas .Todavia , o maior erro de medida está no alinhamento que o operador deve fazer ao centrar a linha da placa fotográfica a ser medida exatamente no meio das duas linhas paralelas no microscópio de medição .O segundo erro , todavia menor que o primeiro , está no alinhamento da marca da escala de mm exatamente no meio das espirais duplas .

Essas duas operações requerem uma certa prática e , portanto , um operador treinado a fim de minimizar os erros e aproveitar ao máximo toda a precisão que este tipo de aparelho pode fornecer .

Maiores detalhes sobre o comparador podem ser vistos no manual do mesmo .

4.1 - DIFICULDADES DE MEDIÇÃO UTILIZANDO UM COMPARADOR MANUAL

Pelo que vimos nos capítulos anteriores uma pessoa que faz a medição de uma placa fotográfica utilizando um comparador manual deve executar basicamente 3 operações , a saber :

1-) O observador olha no microscópio de alinhamento e alinha a linha da placa o melhor possível no meio das duas linhas paralelas existentes na ocular desse microscópio .Esse alinhamento como vimos deve ser o mais preciso possível .

2-) Ele então remove os olhos do microscópio de alinhamento e lê a posição da linha no microscópio de medição

3-)Ele então remove seus olhos do microscópio de medição e anota o valor medido .

O operador repetirá cada uma dessas operações algumas centenas de vezes , visto ser de algumas centenas o número mínimo de linhas contidas numa placa fotográfica .Após ter lido a placa toda num sentido , a mesma deverá ser lida no sentido contrário a fim de minimizar os erros de leitura , sendo então tomado o valor médio de cada medida para cada posição de linha .

Como já havíamos mencionado no início da tese todo esse processo é longo , cansativo e tedioso sendo que até mesmo um operador treinado leva cerca de 12 horas para medir uma placa comum .

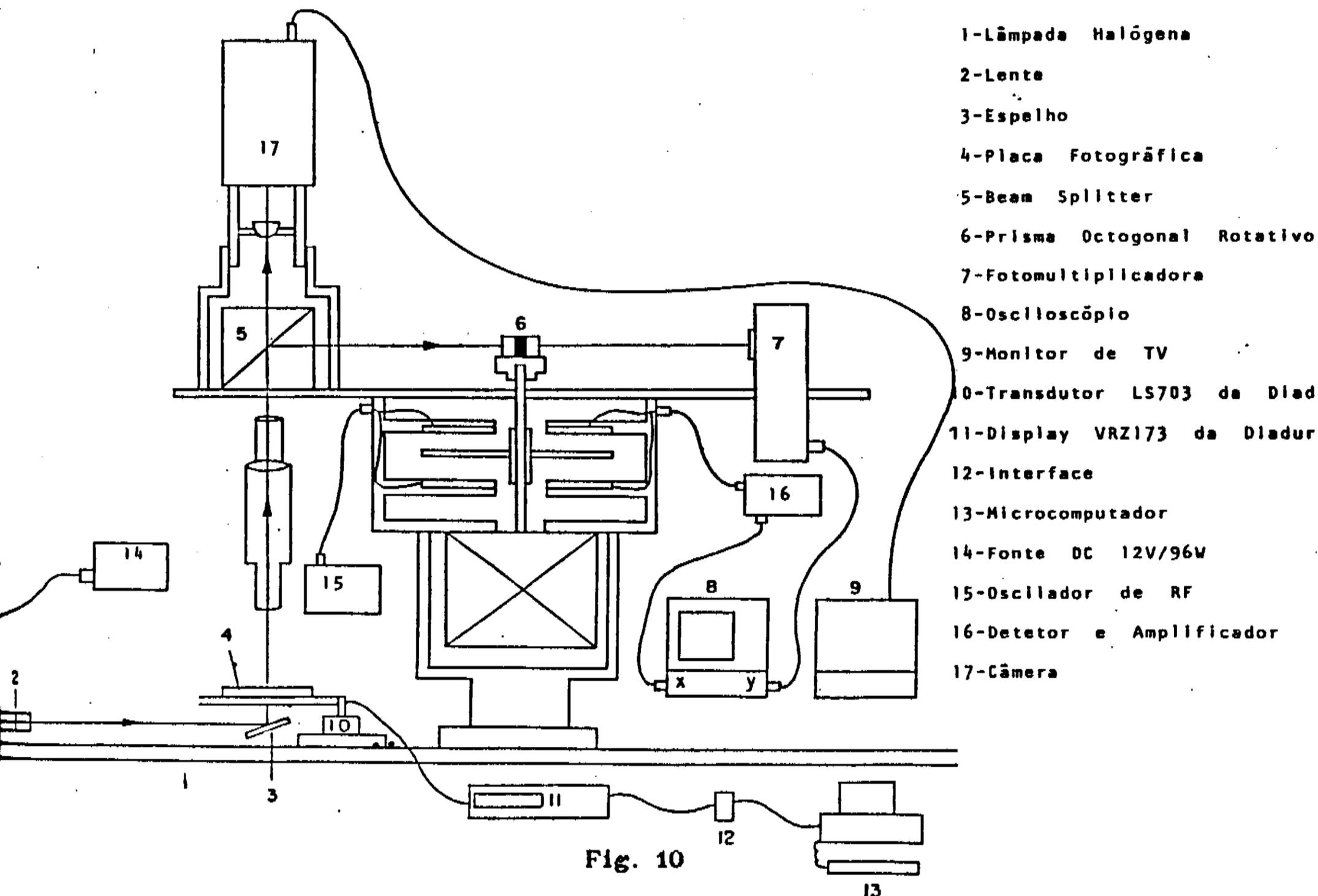
É bom lembrar também que a experiência mostra que a medição

de toda a placa deve ser feita toda de uma só vez pois se a mesma for interrompida e reiniciada posteriormente , mesmo que pelo mesmo operador , os erros de medição tendem a ser maiores que seriam caso a placa fosse medida toda de uma vez só .

4.2 - PROCESSO FOTO-ELETRICO PARA SEMI-AUTOMATIZAÇÃO DO COMPARADOR

ZEISS ABBE

A montagem básica esta esquematizada na fig.10 abaixo .



Como vemos pela fig.10 , um feixe de luz , proveniente de uma lâmpada de halógena (Philips-12V/75-6853-EFN A1/230), alimentada por uma fonte DC de baixo ripple (ref.4), incide sobre um espelho e a luz refletida ilumina de forma uniforme uma pequena parte da

placa fotográfica , passa através do microscópio de alinhamento do comparador e incide sobre um beam splitter .

O feixe 1 serve para que a pessoa que mede a placa veja a parte da mesma que está sendo explorada pelo feixe de luz .O feixe 2 que é desviado incide sobre um prisma octogonal , o qual esta acoplado ao eixo de um motor síncrono que gira a uma frequência constante de 1800 rpm (30 Hz).Este prisma tem as faces alternadas pintadas de preto , ou seja , uma sim e outra não , de forma que a luz passa por quatro faces e pelas outras quatro não .

Após esse prisma existe uma fenda atrás da qual está colocada uma fotomultiplicadora .Esta transforma a variação da intensidade luminosa que incide nela num sinal elétrico o qual alimenta a entrada vertical de um osciloscópio .

Usamos uma fotomultiplicadora RCA 1P21 cuja curva de resposta em frequência pode se vista na fig. 11 (curva S4) abaixo (ref. 5 e 15).

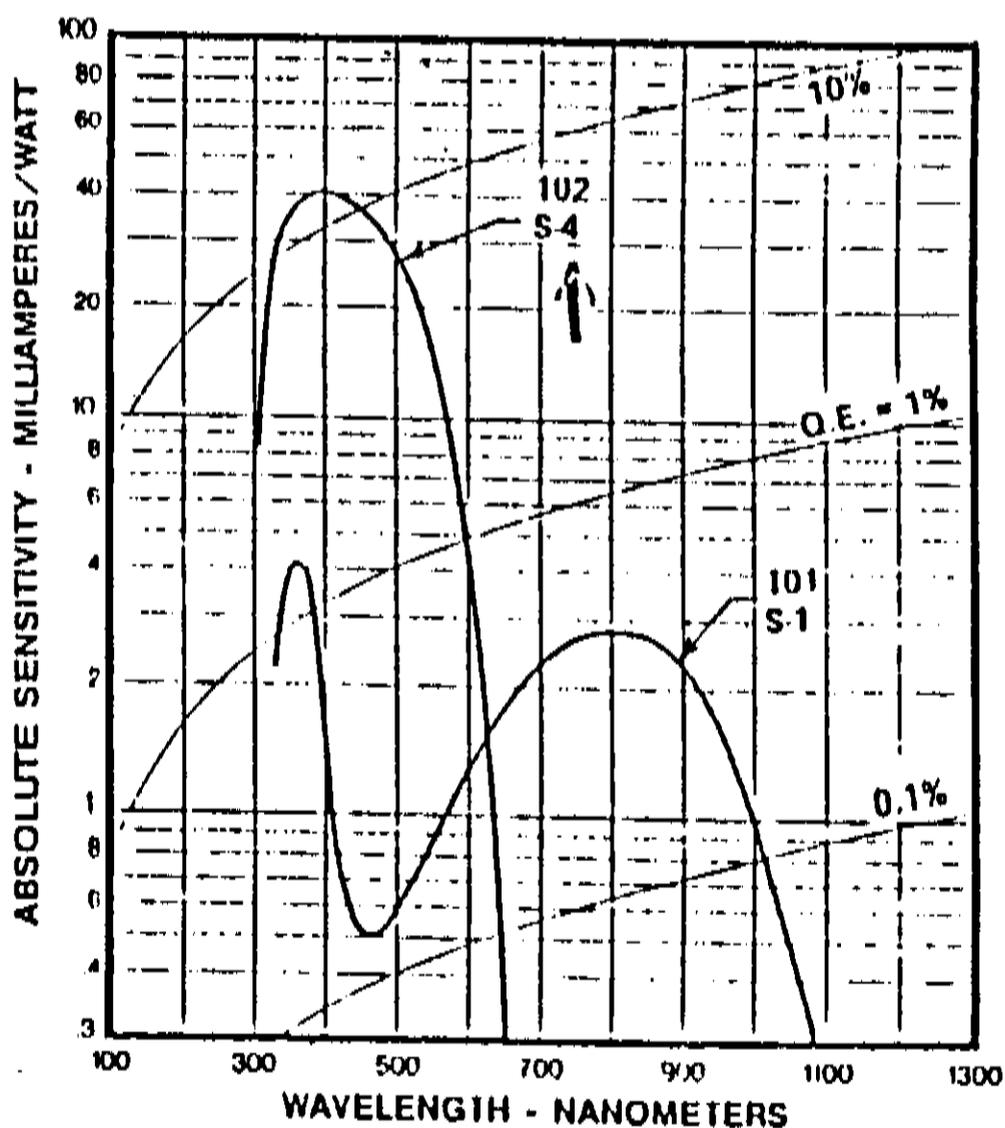


Fig. 11

Como vemos pela fig. 11 a fotomultiplicadora apresenta uma curva de resposta em frequência com o máximo bem no meio do espectro visível .

A função do prisma octogonal descrito acima é de produzir o deslocamento diante da fenda daquela pequena parte da imagem da placa iluminada pelo feixe de luz .Obviamente um prisma quadrado podia ter sido usado mas , devido a problemas de reflexões internas , um prisma octogonal foi o escolhido como a melhor solução (ref. 3).Este prisma deve ter faces bem paralelas para evitar distorções no sinal que chega a fotomultiplicadora (ref. 3).

Vemos ,portanto , que uma imagem de uma linha na placa fotográfica é feita incidir na fenda numa frequência de 120 Hz (30 Hz X 4) .

O deslocamento da imagem produzida pelo prisma é facilmente deduzido como segue .Da fig.12 temos que :

$$(1) \quad n_1 \cdot \text{sen}(\theta) = n \cdot \text{sen}(\alpha) \quad \text{onde } n_1 \cong 1,0 \text{ (ar)}$$

$$(2) \quad n \cdot \text{sen}(\beta) = n_1 \cdot \text{sen}(\gamma)$$

Como a reta A é paralela a reta B temos :

$$(3) \quad \beta = \alpha$$

Usando (3) em (1) e (2) vem :

$$(1') \quad \text{sen}(\theta) = n \cdot \text{sen}(\beta)$$

$$(2') \quad n \cdot \text{sen}(\beta) = \text{sen}(\gamma) \rightarrow \text{sen}(\beta) = \frac{\text{sen}(\gamma)}{n}$$

Usando (2') em (1') achamos :

$$(4) \quad \theta = \gamma$$

$$(5) \quad \text{sen}(\theta - \alpha) = \frac{d}{H}$$

$$(6) \quad \text{cos}(\alpha) = \frac{a}{H}$$

$$(7) \quad d = \frac{a}{\text{cos}(\alpha)} \text{sen}(\theta - \alpha)$$

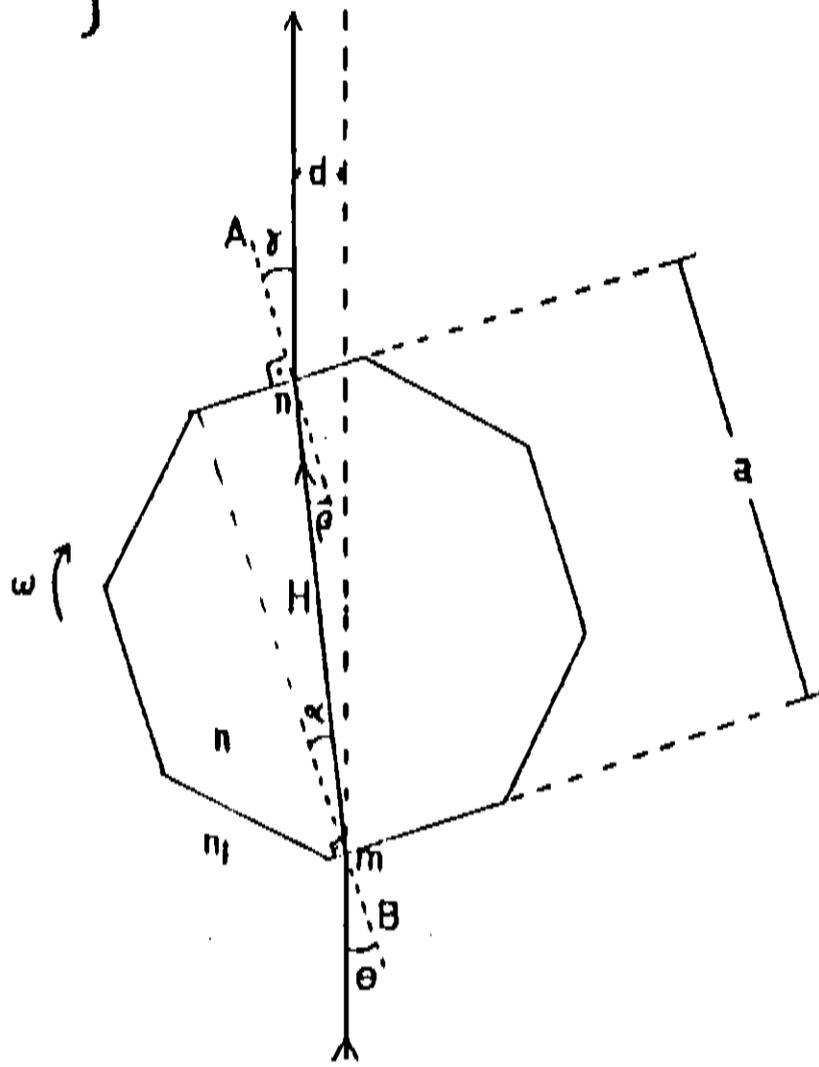


Fig. 12

* Mas $\text{sen}(\theta - \alpha) = \text{sen}(\theta) \text{cos}(\alpha) - \text{cos}(\theta) \text{sen}(\alpha)$ e tambem

$$** \quad \text{cos}(\alpha) = \sqrt{1 - \text{sen}^2(\alpha)}$$

Usando (1), * e ** em (7) temos :

$$d = \frac{a}{\sqrt{1 - \frac{\text{sen}^2(\theta)}{n^2}}} X$$

$$X \left[\text{sen}(\theta) \sqrt{1 - \frac{\text{sen}^2(\theta)}{n^2}} - \text{cos}(\theta) \frac{\text{sen}(\theta)}{n} \right]$$

$$d = a \left[\text{sen}(\theta) - \frac{\cos(\theta) \text{sen}(\theta)}{n \sqrt{1 - \frac{\text{sen}^2(\theta)}{n^2}}} \right]$$

$$(8) \quad d = a \text{sen}(\theta) \left[1 - \frac{\cos(\theta)}{n} \left(1 - \frac{\text{sen}^2(\theta)}{n^2} \right)^{-1/2} \right]$$

Para θ pequeno e tomando termos até 3ª ordem temos :

$$\text{sen}(\theta) = \theta - \frac{\theta^3}{6} + \dots$$

$$\cos(\theta) = 1 - \frac{\theta^2}{2} + \dots$$

$$\left(1 - \frac{\text{sen}^2(\theta)}{n^2} \right)^{-1/2} = 1 + \frac{1}{2} \cdot \frac{\theta^2}{n^2} + \dots$$

Portanto (8) fica :

$$\frac{d}{a} = \theta \left(1 - \frac{1}{n} \right) - \theta^3 \left(\frac{1}{6} - \frac{2}{3n} + \frac{1}{2n^3} \right)$$

Para θ bem pequeno ($\theta \ll 22,5^\circ$) o deslocamento é aproximadamente linear e dado por :

$$(8) \quad \frac{d}{a} = \theta \left(1 - \frac{1}{n} \right)$$

Como varredura no canal horizontal do osciloscópio é utilizado um sinal como mostra o desenho da fig. 13 .

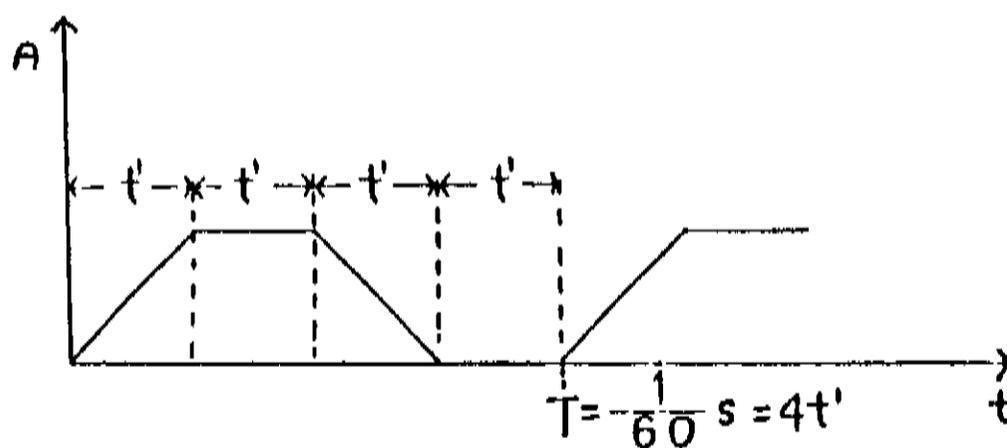


Fig 13

Esse sinal é produzido da seguinte forma :

Um sinal de RF numa frequência de aproximadamente 300 Khz é gerado num oscilador tipo Hartley cujo circuito aparece na fig. 14 .

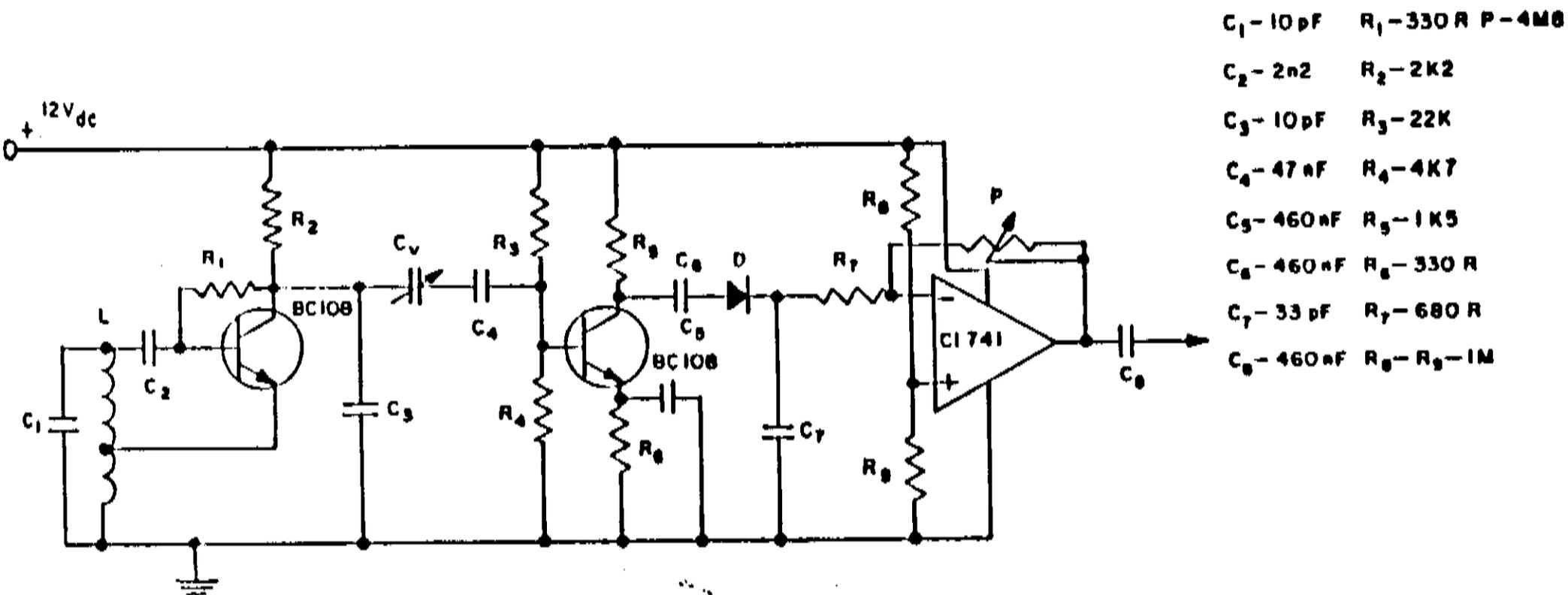


Fig. 14

Esse sinal é modulado em amplitude por um capacitor variável acoplado ao eixo do motor (C_v na fig. 14) que faz girar o prisma octogonal .O sinal resultante é deduzido como segue :

Seja V_{osc} a tensão do sinal de RF dada por $V_{osc} = E \cdot \text{sen}(\omega t + \varphi)$ onde φ é uma fase qualquer .

A capacitância de um capacitor variável é dada por :

$$C(t) = \frac{Q(t)}{V_c(t)} \rightarrow Q(t) = V_c(t) \cdot C(t) , \text{ onde a tensão no capacitor}$$

(V_c) é a própria tensão do oscilador V_{osc} .

$$(n - 1) \cdot \epsilon_0$$

$$\text{Mas } C(t) = \frac{\quad}{D} \cdot A(t) \rightarrow C(t) = K \cdot A(t), \text{ onde } n \text{ é o}$$

número de placas do capacitor , A é a área das placas , D a distância entre elas e ϵ_0 e K duas constantes.

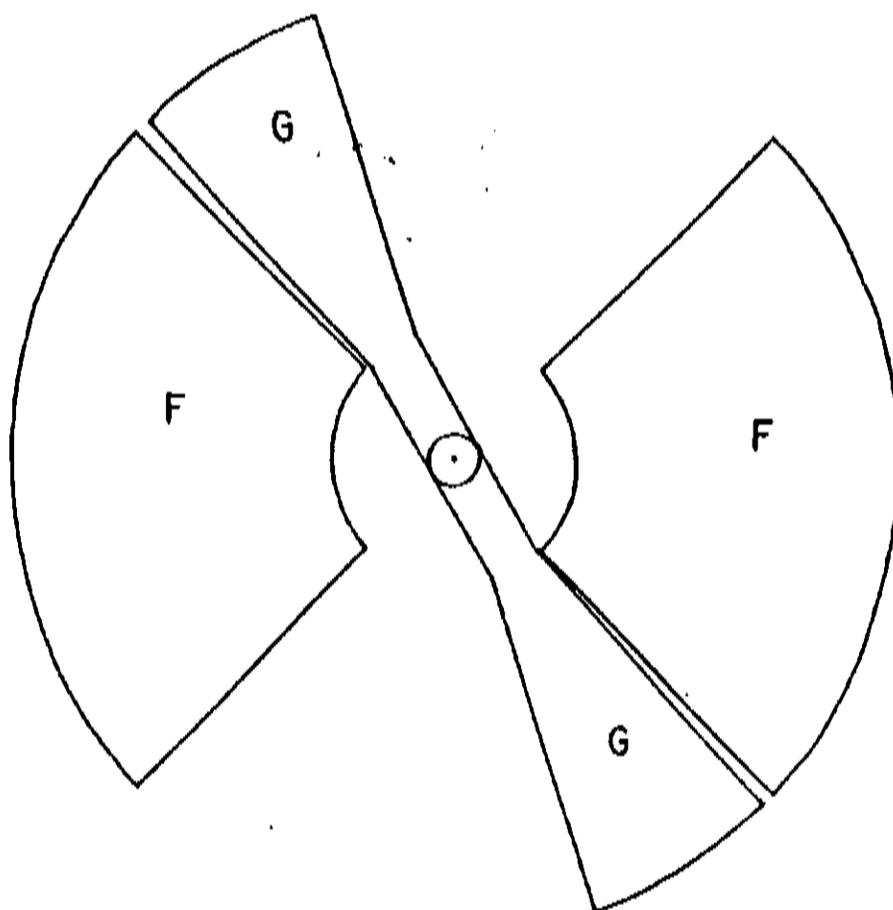
Da relação $i = \frac{dQ(t)}{dt}$ temos :

$$i(t) = K.V_{osc.}(t) \cdot \frac{dA(t)}{dt} + C(t).E.\omega.\cos(\omega t + \phi) , \text{ ou seja :}$$

$$i(t) = i_1(t) + i_2(t)$$

Já que a tensão é proporcional a corrente vemos , portanto , que a tensão resultante é igual a um termo senoidal cuja amplitude varia linearmente com o tempo ($i_1(t)$) e um termo que nada mais é do que o sinal de RF a menos de uma fase (i_2) .

Usando placas de capacitor como as mostradas na fig. 15 abaixo conseguimos , após a demodulação do sinal de RF , o sinal da fig. 13 .



F - Placas fixas

G - Placas móveis

Fig. 15

A área das placas é a área de um pedaço de uma coroa circular

, como mostra a figura 16 a seguir. Esta área é dada por :

$$A = \varphi \frac{\pi}{360} (R^2 - r^2) , \text{ onde } \varphi , R \text{ e } r \text{ são como indicados na fig.16.}$$

Como temos um prisma com oito lados , devemos ter para cada lado do prisma um período t' como indicado na fig. 13 .Isto significa que , para h devemos ter $\varphi = \frac{360}{8} = 45^\circ$ e que $H = H' = 2h \rightarrow \varphi = 90^\circ$.Valores de R e r são então escolhidos arbitrariamente.

Este arranjo permite um perfeito sincronismo entre o movimento do prisma octogonal e o sinal de varredura horizontal do osciloscópio pois , qualquer variação na velocidade de rotação do motor ,devido a aquecimento por ex. , será compensado com igual variação no período do sinal de varredura horizontal .Isto significa que não ocorrerá diferença de fase entre o sinal horizontal e o vertical do osciloscópio , o que poderia ocasionar uma medição errada (ref. 4).

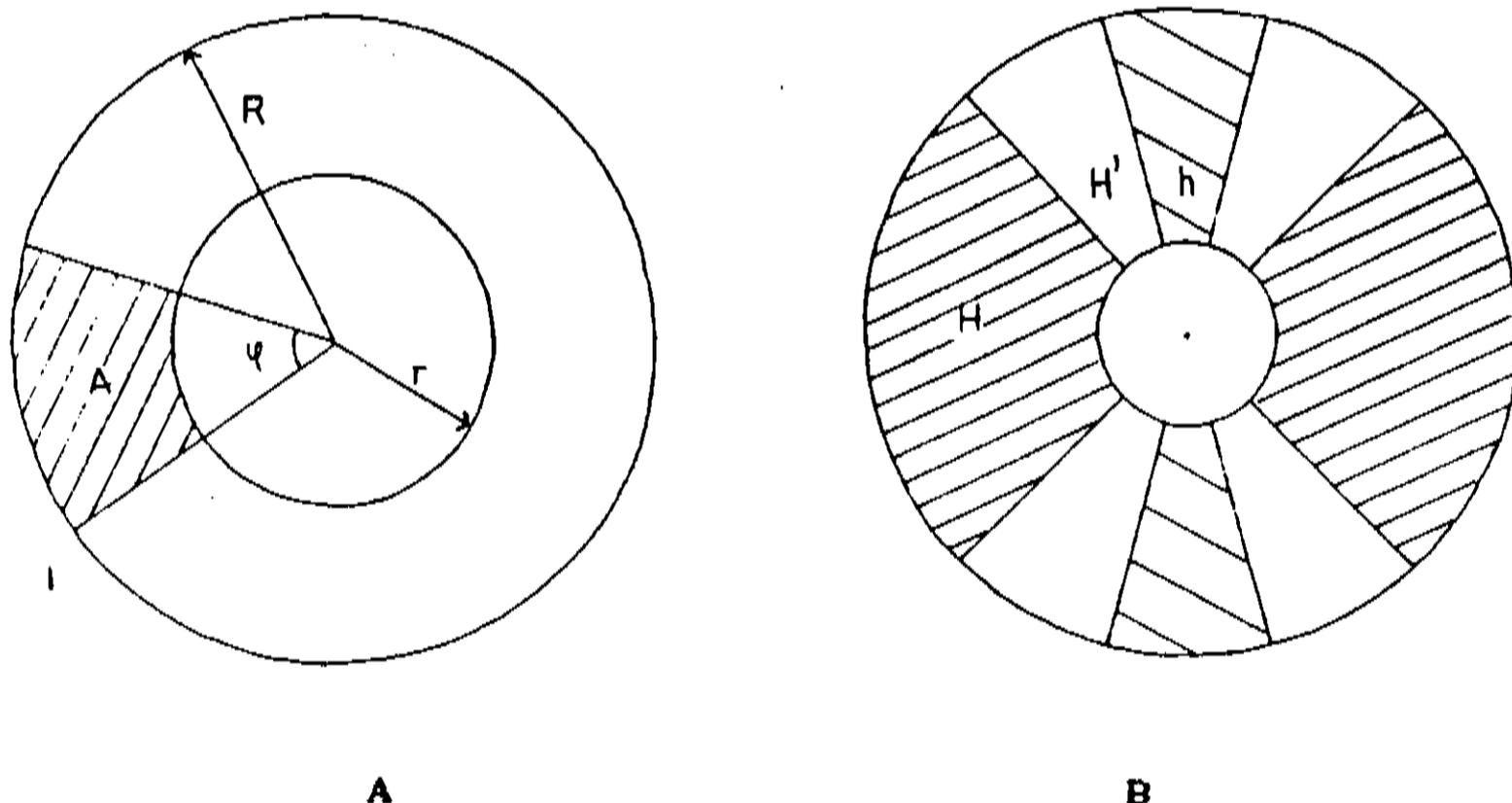


Fig. 16

Na fig. 17 está esquematizado o que acontece na tela do osciloscópio quando a imagem de uma linha passa diante da fenda atrás da qual está a fotomultiplicadora .

Ao passar a imagem da linha pela primeira vez diante da fenda , o feixe de varredura horizontal estará indo num sentido e produzirá na tela do osciloscópio uma sinal correspondente a imagem da linha numa certa posição (por ex. A da fig. 17) correspondente a um tempo t' do período de varredura horizontal .

Ao passar a imagem da mesma linha pela segunda vez na fenda , o feixe de varredura horizontal estará voltando e será produzido um sinal na tela do osciloscópio no mesmo período t' mas numa posição diferente (por ex. C da fig. 17) porém simétrica em relação a primeira vez .

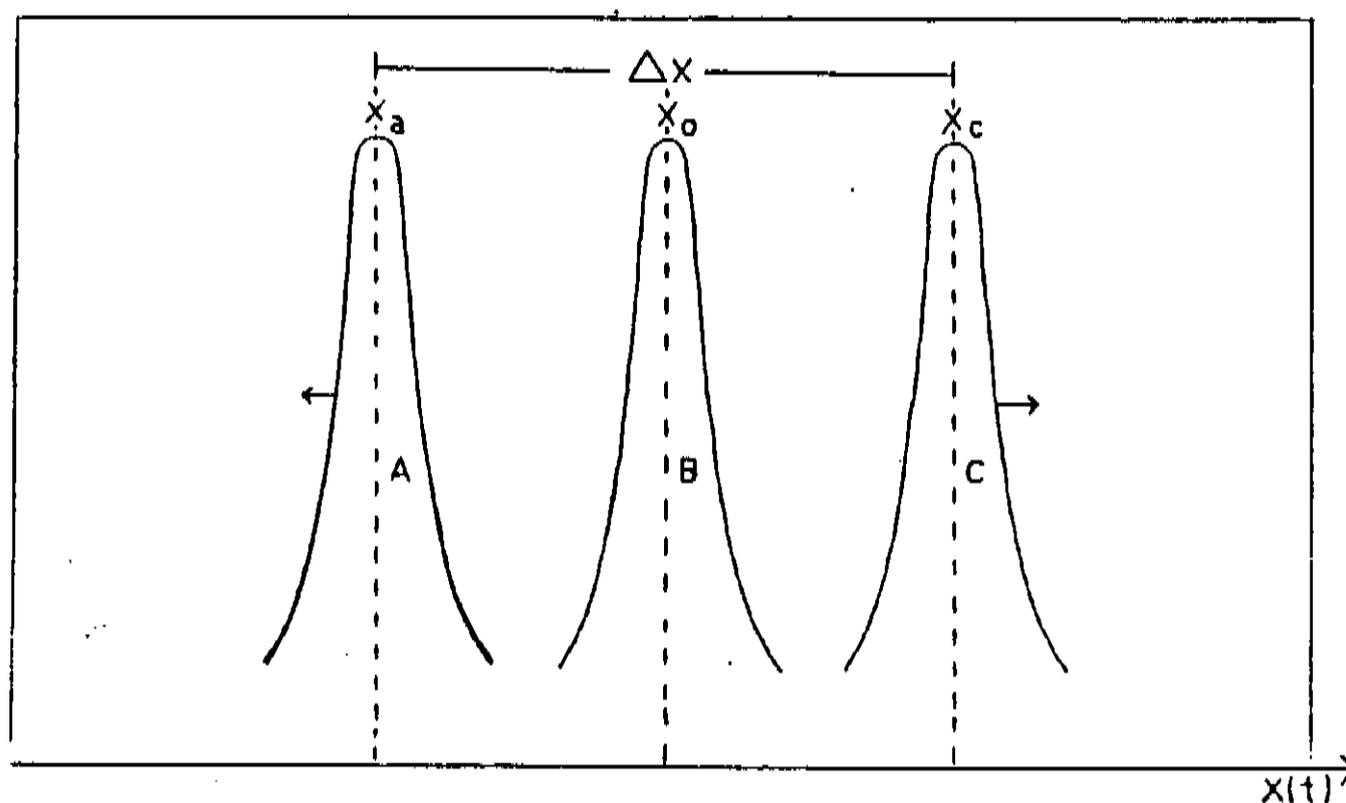


Fig. 17

Ao movermos a placa fotográfica mudamos o tempo em que a linha incide na fenda e , conseqüentemente , a posição da imagem

da mesma na tela do osciloscópio .Portanto ,ao continuarmos a deslocar a placa fotográfica ,faremos com que a linha que estamos vendo passe na fenda num período de tempo cada vez mais próximo da metade do período de varredura horizontal do osciloscópio .Como resultado , veremos na tela do mesmo as duas imagens da mesma linha cada vez mais próximas entre si , até que , quando a imagem da linha passar pela fenda bem no meio do período de varredura horizontal do osciloscópio , as duas imagens da mesma linha irão coincidir exatamente ,uma sobre a outra ,e teremos na tela uma só imagem (caso de uma linha simétrica) como vemos em B da mesma figura .

Usamos este fato da sobreposição das duas imagens como uma posição de referência para fazermos a medida das distâncias entre as linhas .Ou seja , este é o nosso método de fazermos o "alinhamento" da linha que queremos medir .

Para vermos a precisão deste método vejamos qual é o deslocamento relativo das duas imagens na tela do osciloscópio para um deslocamento pequeno da placa fotográfica .

Vimos que o deslocamento da imagem produzida pelo prisma é dado aproximadamente por :

$$(8) \quad d(t) = a.\theta(t).\left(1 - \frac{1}{n}\right) \text{ onde } \theta(t) \text{ é dado por :}$$

$$(9) \quad \theta(t) = 2\pi t f , \text{ sendo } f \text{ a frequência de rotação do prisma .}$$

Substituindo (8) em (9) e isolando "t" obtemos :

$$(10) \quad t = \frac{d}{2\pi a f \left(1 - \frac{1}{n}\right)} , \text{ sendo este "t" o tempo que a imagem}$$

da linha demora para passar em frente a fenda .Este é ,como vimos , o mesmo tempo em que o feixe do osciloscópio percorre uma certa

distância x na tela do mesmo pois o movimento do prisma esta perfeitamente sincronizado com o sinal de varredura horizontal .

O tempo que o feixe do osciloscópio demora para percorrer toda a tela é como pode ser observado pela fig. 13 igual a :

$$(11) \quad t' = \frac{T_{Osc}}{4} = \frac{1/60}{4} = \frac{1}{240} \text{ segundos .}$$

A velocidade com que o feixe do osciloscópio desloca-se na tela é então (ref. 16) :

$$(12) \quad V_{Osc} = \frac{S}{t'} \text{ onde } S \text{ é igual a } 7,2 \cdot 10^{-2} \text{ m .}$$

A posição horizontal do ponto na tela será dada por :

$$(13) \quad x(t) = V_{Osc} \cdot t$$

Para "A" e "C" da fig. 17 teremos :

$$x_a(t) = x_o - V_{Osc} \cdot t \quad \text{e} \quad x_c(t) = x_o + V_{Osc} \cdot t$$

Portanto Δx será:

$$(14) \quad \Delta x = x_a - x_c = 2 \cdot V_{Osc} \cdot t$$

Isolando t na equação acima e substituindo em (10) obtemos :

$$(15) \quad \Delta x = \frac{V_{Osc} \cdot d}{\pi a f \left(1 - \frac{1}{n} \right)} \quad \text{sendo que "d" é a distância na}$$

placa Δs , multiplicada pela ampliação da imagem "A" .Portanto temos , finalmente :

$$(16) \quad \Delta x = \frac{V_{Osc} \cdot A}{\pi a f \left(1 - \frac{1}{n} \right)} \cdot \Delta s$$

Usando $V_{Osc} = 17,28 \text{ m/s}$, $A \cong 13$, $n \cong 1,5$, $f = 30 \text{ Hz}$ e $a = 27 \cdot 10^{-3} \text{ m}$ obtemos para $\Delta x = 0,5 \text{ mm}$ o valor de $\Delta s = 1,89 \mu$.Os valores medidos foram de $\Delta x = 2,4 \text{ cm}$ e $\Delta s = 108 \mu$ o que resulta para cada $\Delta x = 0,5 \text{ mm}$ o valor de $\Delta s = 2,25 \mu$.Valores esses que concordam satisfatoriamente bem com os resultados calculados

teoricamente.

Vemos ,portanto , que qualquer pequeno deslocamento da placa produzirá um deslocamento na tela do osciloscópio bem visível .

Este método permite que qualquer pessoa faça a medição da placa fotográfica , pois qualquer pessoa pode fazer facilmente o alinhamento de duas imagens na tela do osciloscópio , sendo que este alinhamento é rápido , preciso e não necessita ser repetido .

Para automatizarmos mais o processo de medição da placa fotográfica foi , como dissemos ,acoplado ao carro móvel do comparador um transdutor digital da Diadur .A figura 18 mostra o princípio de funcionamento do mesmo (ref. 18).

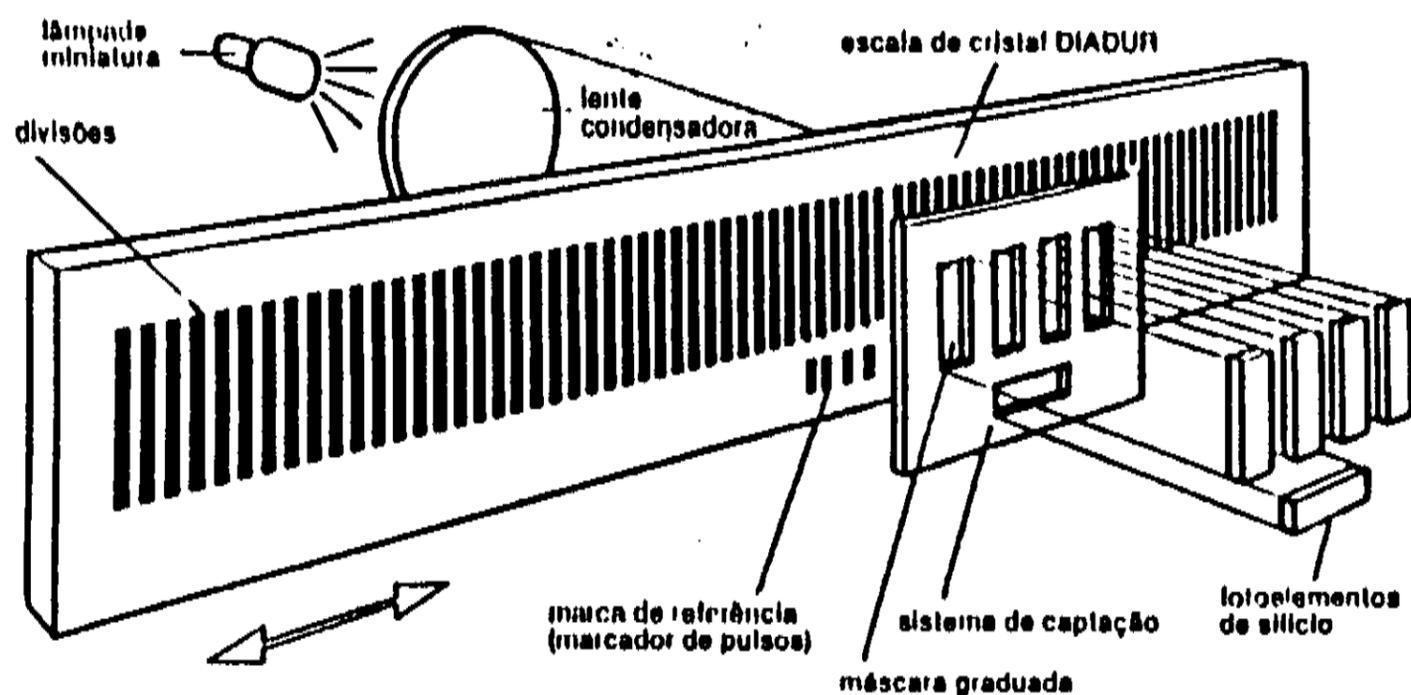


Fig. 18

A base de medição do transdutor é uma escala de cristal gravada , à prova de ranhuras e líquidos nocivos , pelo processo Diadur .A graduação dessa escala ,modelo LS 703 em nosso caso , é constituída por um conjunto de traços e espaços de 20 μm de

largura cada um com marca de referência absoluta (marcador de pulsos) .A medição é realizada por uma varredura de um fecho de luz condensado na escala de cristal pelo deslocamento sobre a mesma de um cabeçote sensor .Este possui uma máscara graduada e células foto-elétricas .Com o movimento da escala em relação ao sensor , os foto-elementos emitem sinais .A luz , transformada pelos foto-elementos em corrente elétrica , é conduzida através de um cabo flexível blindado para o indicador digital (modelo VRZ 173) .

Portanto , para lermos a posição da linha , ao invés de lermos a escala do comparador , que como vimos é uma escala de difícil leitura , lemos um mostrador digital , no qual a leitura é direta e não sujeita a erros como seria se usássemos a escala do comparador .Na verdade nem sequer precisamos ler o mostrador digital pois , como teríamos que ler e anotar cada medida feita para depois introduzir esses valores num microcomputador para efetuarmos os cálculos para acharmos o comprimento de onda de cada linha em ângstrons , fizemos uma interface para um micro PC para o armazenamento direto desses valores (ref. 10 a 14).

O circuito dessa interface pode ser vista na fig. 19 .

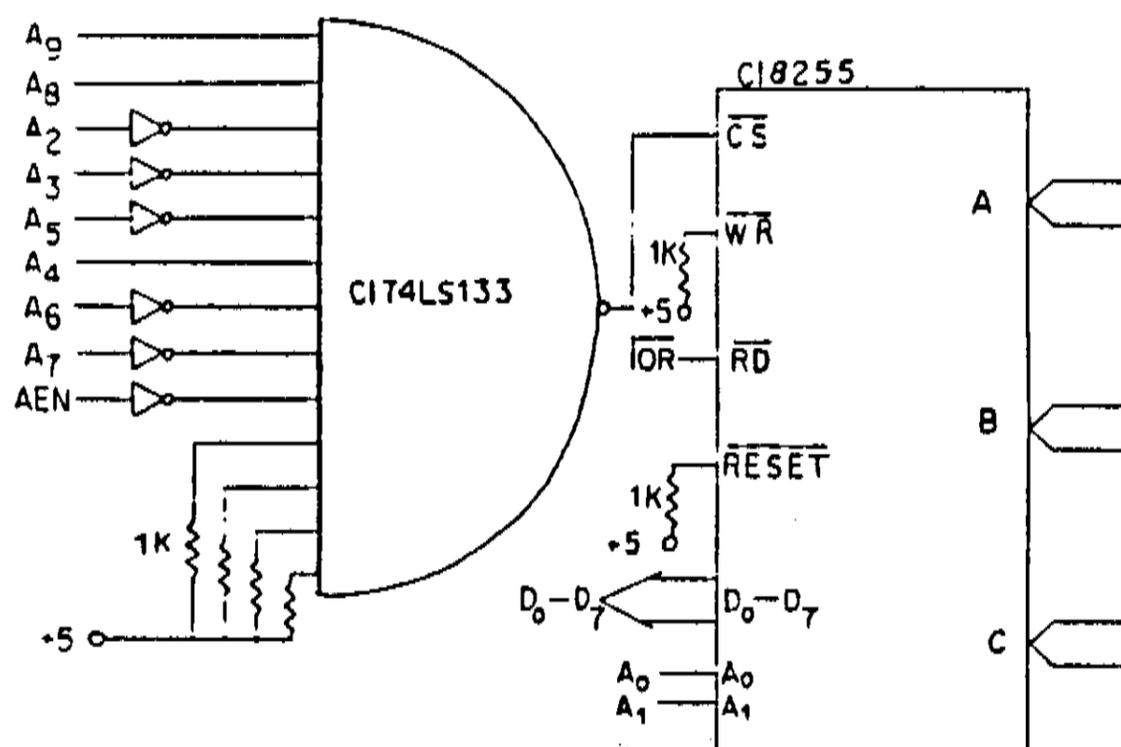


Fig. 19

Tudo que a pessoa faz , portanto , é digitar no micro dados sobre a linha que esta medindo , como amplitude relativa , se linha larga ou estreita , difusa ou não e , ao teclar "Enter" ,esses dados , mais a posição dessa linha , são armazenados num arquivo .Uma listagem do programa em Basic que faz isso é dada no apêndice I .

Para testarmos nosso equipamento , foi pedido ao Instituto de Física de Lúnd , na Suécia , duas placas fotográficas já medidas com equipamento similar ao nosso .Pedimos essas placas pois nosso orientador , professor Dr. Trigueiros ,já possuía em mãos uma listagem das medidas dessas placas , com todas as características da cada linha medida , como intensidade relativa , posição , etc. , devido a trabalhos feito por ele utilizando as medidas dessas placas .Pensávamos comparar nossas medidas com as deles .Infelizmente isso não foi possível pois ambas as placas , que foram enviadas pelo correio , quebraram no caminho .Ainda assim tentamos usá-las mas as medidas que obtínhamos em nada concordavam com os valores que tínhamos na listagem em nosso poder .Obviamente as duas placas devem ter se alterado durante a viagem e muito provavelmente também devido ao longo tempo de vida das mesmas pois cada uma já tem em média cerca de cinco anos .

Medimos as mesmas placas várias vezes e conseguimos reproduzir nossas medidas constatando dessa forma que apesar das alterações sofridas pelas mesmas elas estavam agora estáveis o suficiente para que pudéssemos usá-las para efetuarmos nossas medidas .

Medimos uma certa quantidade de linhas usando nosso equipamento e essas mesmas linhas usando um microscópio óptico para comparação .Não pudemos usar o comparador para medir as linhas pois a escala do mesmo encontra-se quase que totalmente apagada , só sendo visível numa pequena região central .

Os resultados aparecem nas duas tabelas dadas a seguir .

Número de linhas medidas com o microscópio óptico = 340

TEMPO DE MEDIÇÃO = 4 h 20 min.

Número de linhas medidas com o sistema foto elétrico = 446

TEMPO DE MEDIÇÃO = 1 h 30 min.

TABELA I

Δ	E	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	*
N	24	43	34	46	34	26	22	16	17	10	8	9	6	8	35	2
%	7	13	10	14	10	8	7	5	5	3	2	3	2	2	10	-

62%

84%

Δ → Discrepância (μ) das medições entre os dois sistemas ,ou seja ,
foto-elétrico e microscópio óptico .

N → Número de linhas .

E → Linhas cuja medida de posição foi exatamente a mesma para os
dois sistemas .

* → Linhas não identificadas com o sistema foto-elétrico mas que
foram identificadas com o sistema óptico .

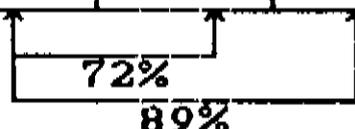
* → Linhas identificadas com o sistema foto-elétrico mas que não
foram identificadas com o sistema óptico .

% → % percentagem do total de linhas medidas com os dois sistemas
(338 linhas) .

É bom frisarmos aqui que os números da última coluna da tabela I foram arredondados .Por isso a soma resulta em 101% e não 100% .

TABELA II

Discrepância (μ)	E	1	2	3	4	*	*	Total
N ^o de linhas	150	169	74	29	22	2	2	446
% de 444	34	38	17	7	5	-	-	101%



TEMPO DE MEDIÇÃO PARA A TABELA II = 1 h 30 min.

E → linhas que coincidiram exatamente nas duas medições .

* → Linhas identificadas na 1^a leitura mas não identificadas na 2^a leitura .

* → Linhas identificadas na 2^a leitura mas não identificadas na 1^a leitura .

Total → refere-se ao total de linhas medidas na 2^a medição .

Na tabela I temos uma comparação de medidas feitas com o microscópio óptico e com o nosso sistema .Tentamos comparar quais as dificuldades que uma pessoa sem prática , no caso eu , teria ao medir a placa utilizando os dois processos .

Os erros de medição utilizando o microscópio óptico varia em função da largura da linha .Um operador bem treinado pode conseguir uma precisão de até 1μ .No nosso caso , o de um operador não treinado , erros em média de 10μ são cometidos para linhas muito largas .

Uma das nossas maiores dificuldades ao fazermos as medidas

utilizando o microscópio óptico é de que algumas linhas eram quase impossíveis de serem vistas devido as mesmas serem muito difusas .Obviamente várias linhas foram perdidas por causa disso

Vemos pela tabela I que a discrepância para as posições de cada linha estão , em 84% do casos , dentro do erro médio de medição feita com o microscópio óptico que é de 10μ .Podemos ver , portanto , que nossa montagem está medindo as distâncias com boa precisão .

Com o objetivo de ver se conseguíamos medidas mais precisas foi pedido ao Centro de Metrologia da Unicamp para que efetuasse algumas medidas em nossa placa .Porém , vejamos o que disse a pessoa que fez a medição de algumas dessas linhas :

"A placa vista ao microscópio apresenta tantas linhas difusas e tênues como linhas nítidas mas muito largas com relação às outras , tornando-se difícil efetuar medições precisas (o grifo é meu) por falta de referências exatas nessas linhas .Contudo , procurou-se , visualmente , centralizar ao máximo o retículo de referência do aparelho sobre a posição média dessas linhas largas ou esfumaçadas ".

A pessoa que fez tais medidas , e que suponho seja bem mais experiente do que eu , simplesmente não conseguiu identificar algumas linhas que eu havia assinalado como referência , assim como eu também não consegui identificar algumas linhas que essa pessoa disse em seu relatório ter identificado .

Comparei as medidas feitas pelo Centro de Metrologia com as feitas com o meu sistema foto-elétrico e encontrei discrepâncias da mesma ordem de grandeza que as que encontrei quando eu mesmo medi a placa usando o sistema óptico .

Vemos , portanto , que medidas de tal natureza não são tão fáceis de serem feitas .

Na tabela II medimos novamente com nosso sistema foto-elétrico a mesma região que a da tabela I .Conseguimos encontrar 2 linhas a mais que na 1ª medição mas , porém , perdemos duas linhas . Estas quatro linhas perdidas em uma medição e encontradas em outra eram linhas de intensidade quase a nível do ruído portanto , uma perda plenamente justificável .

Vemos da tabela II que , para 89% dos casos , a discrepância entre a primeira medida feita com nosso sistema foto-elétrico e a segunda medida feita com o mesmo sistema é de apenas 2μ .Erro esse muito menor do que se as medidas fossem feitas com um sistema óptico .

É bom ressaltarmos também o tempo em que essas medidas foram feitas .Para tabela I foi de 1h 30 min. assim como também para a tabela II usando o sistema foto-elétrico .Já com o microscópio óptico esse tempo foi de 3h e 40 minutos .

No apêndice II são mostradas as medidas feitas com os dois métodos .Na coluna do meio estão as medidas feitas com o microscópio óptico .Na coluna da esquerda , primeira coluna ,a primeira medida feita com o sistema foto-elétrico e , na última coluna , a da direita , a segunda medida feita com o sistema foto-elétrico .As medidas estão em milímetros e os W indicam a largura da linha .Por ex. : W + linha larga , WW + linha muito larga , etc .Os n° a esquerda indicam comprimento de onda em angstrom de linhas de referência .Por ex. : $580.63 \overset{\circ}{\text{A}}$.

Mostramos a seguir o xeróx de algumas fotos de algumas linhas tal qual aparecem na tela do osciloscópio .

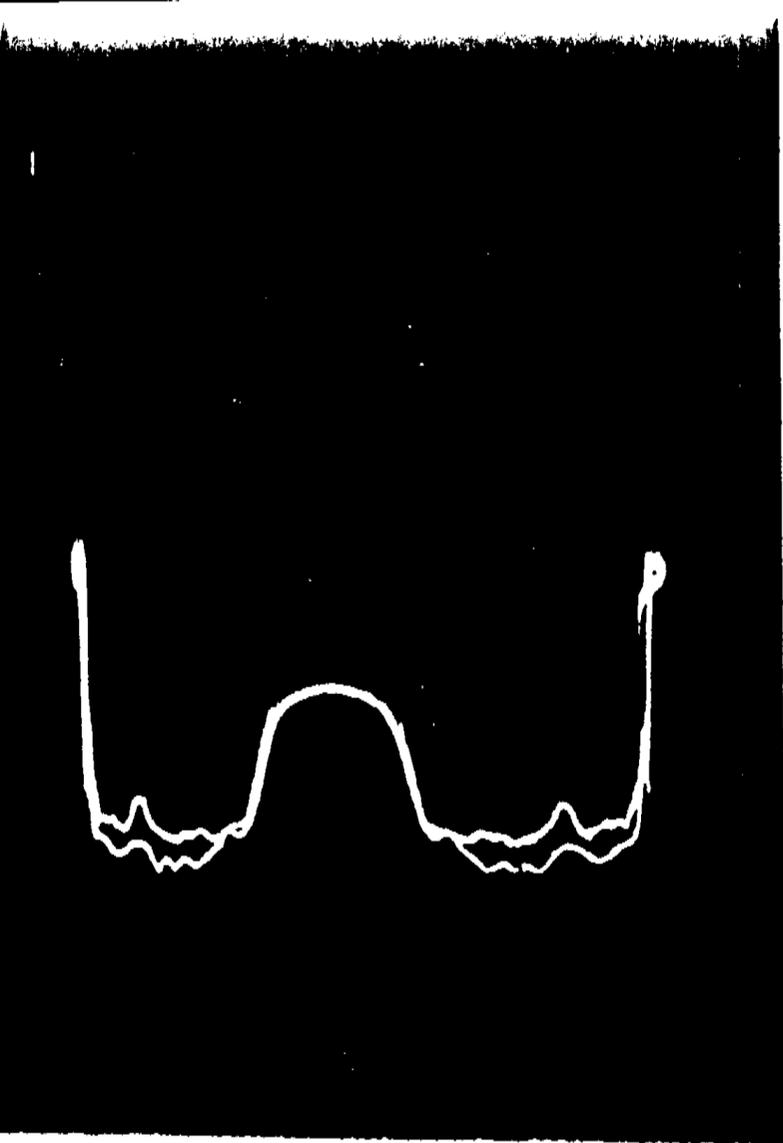


FOTO 1

LINHA LARGA SIMÉTRICA
ALINHADA

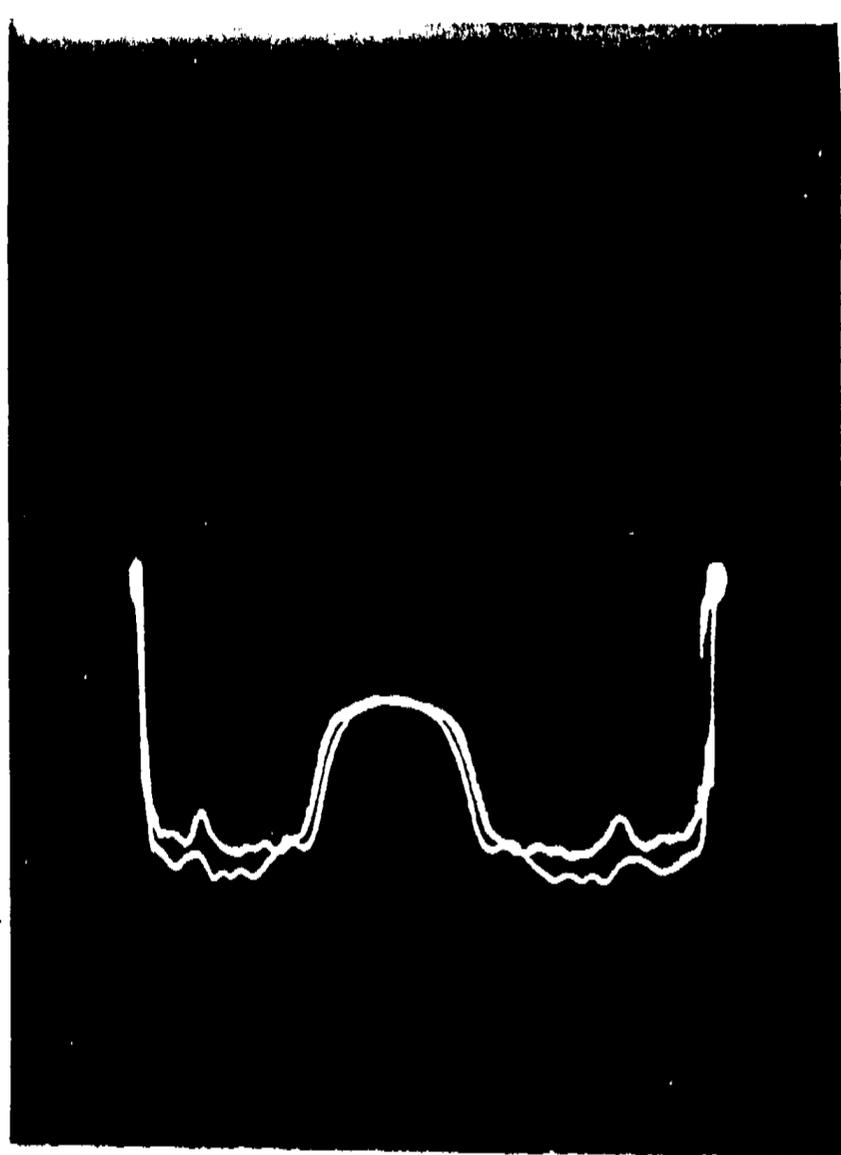


FOTO 2

LINHA LARGA SIMÉTRICA 5μ
FORA DE ALINHAMENTO

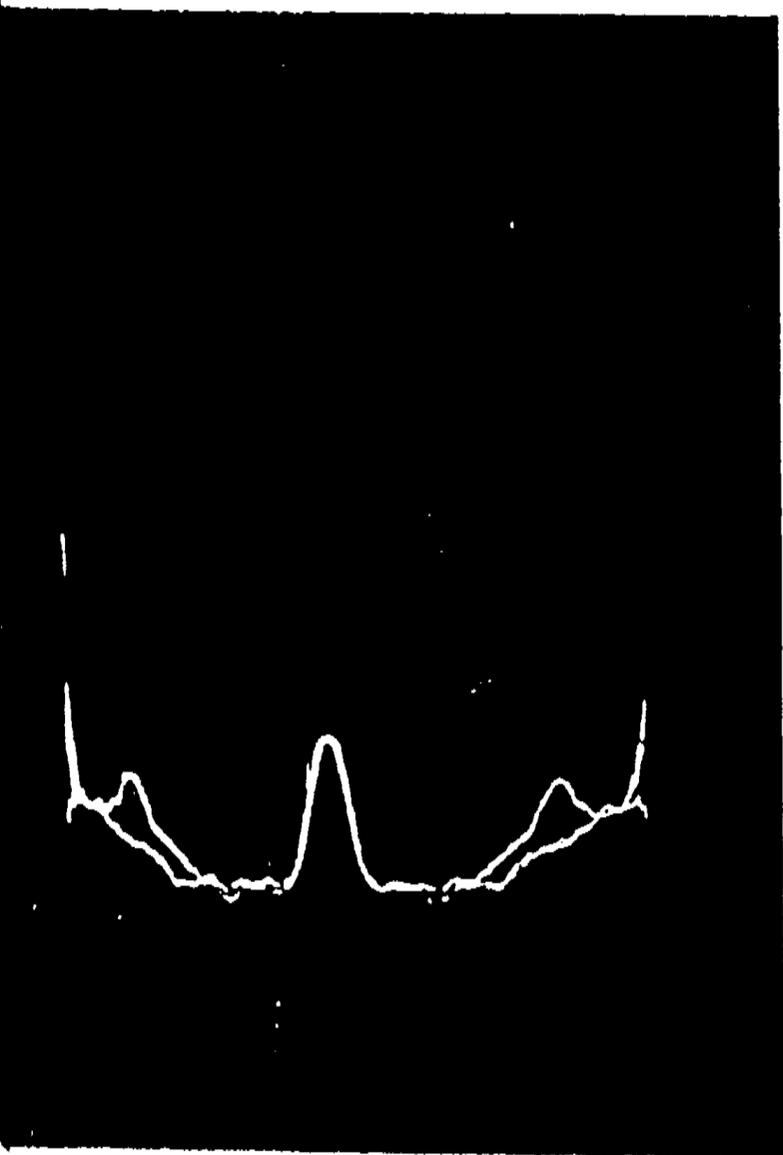


FOTO 3

LINHA ESTREITA SIMÉTRICA
ALINHADA

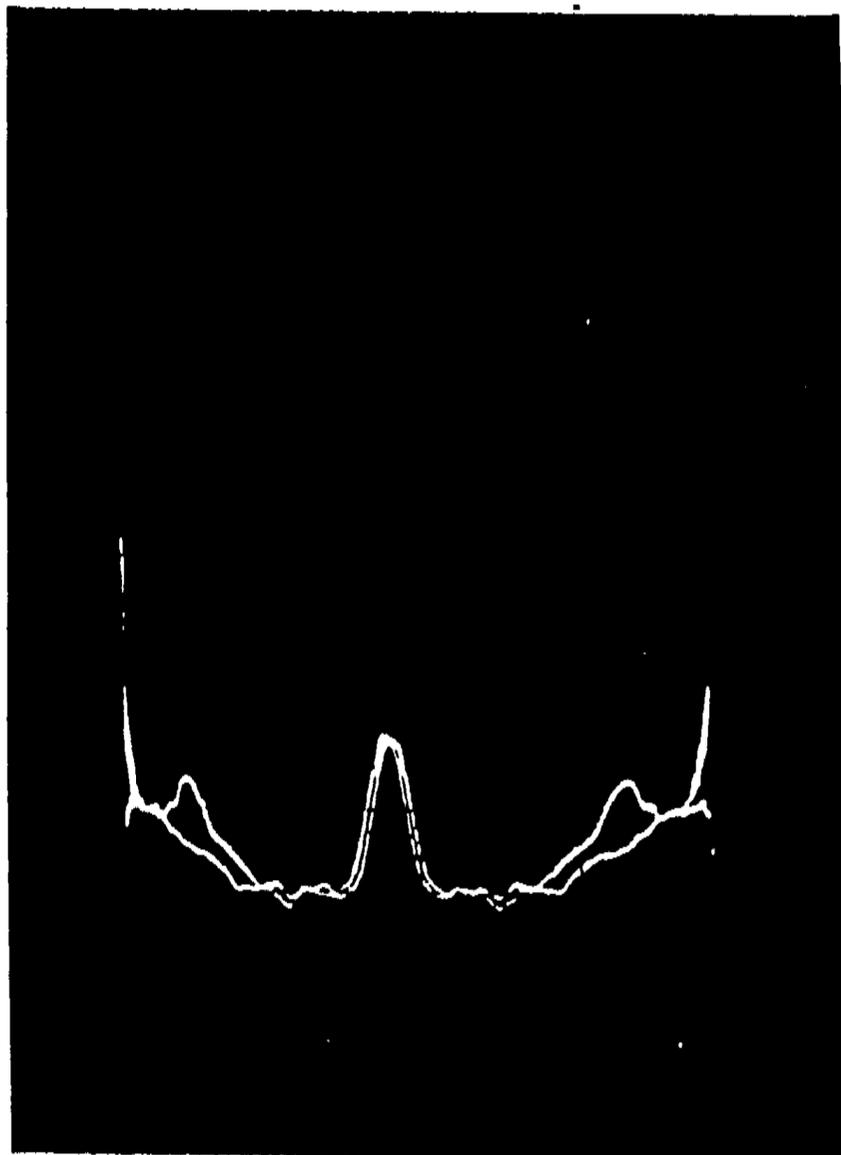


FOTO 4

LINHA ESTREITA SIMÉTRICA 2μ
FORA DE ALINHAMENTO

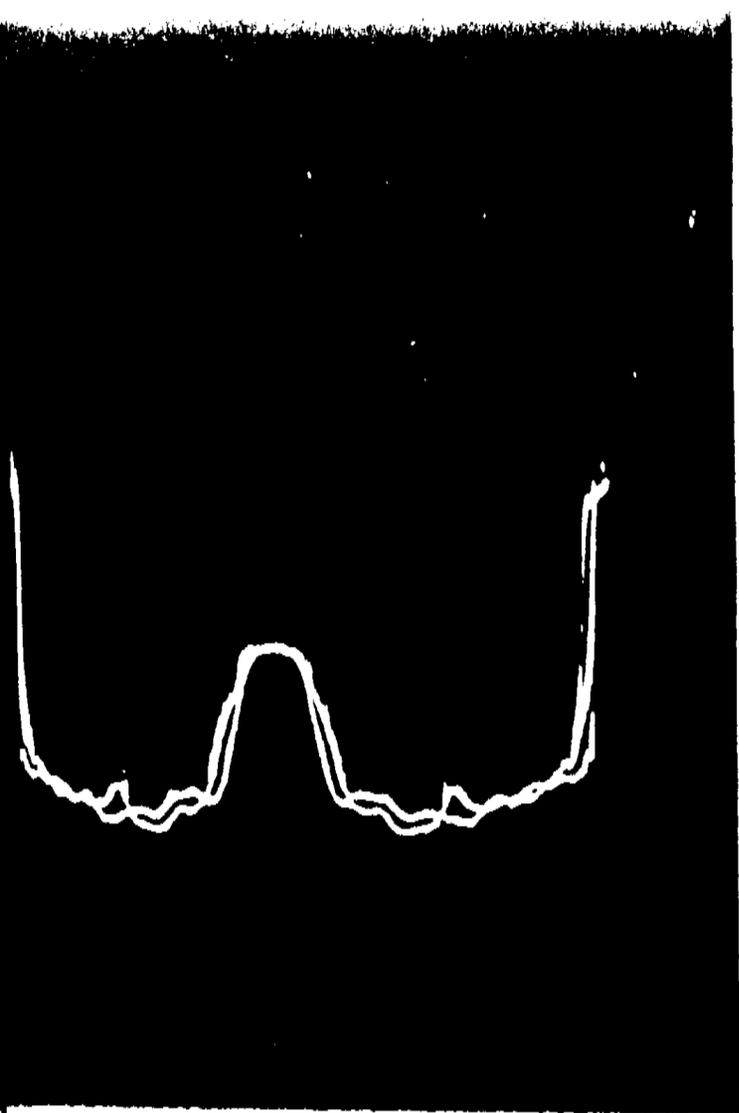


FOTO 5

LINHA LARGA ASSIMÉTRICA
ALINHADA

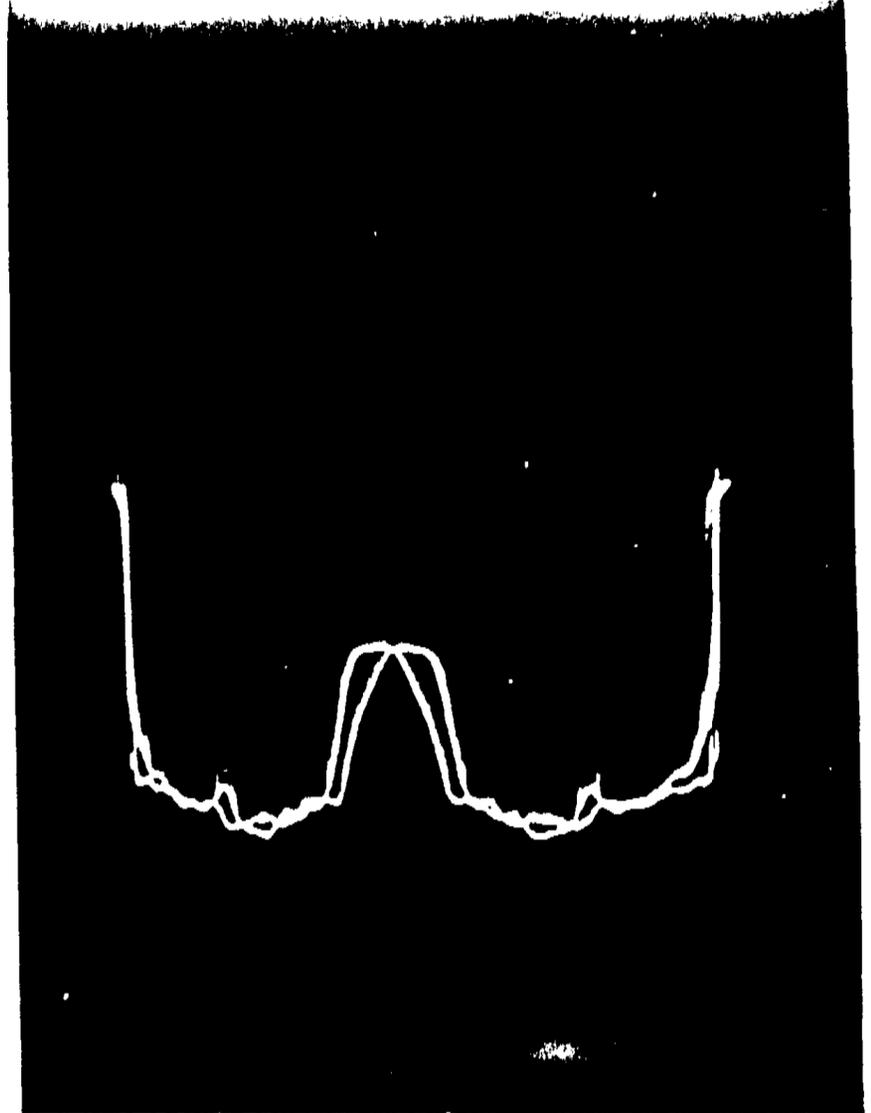


FOTO 6

LINHA LARGA ASSIMÉTRICA 14μ
FORA DE ALINHAMENTO

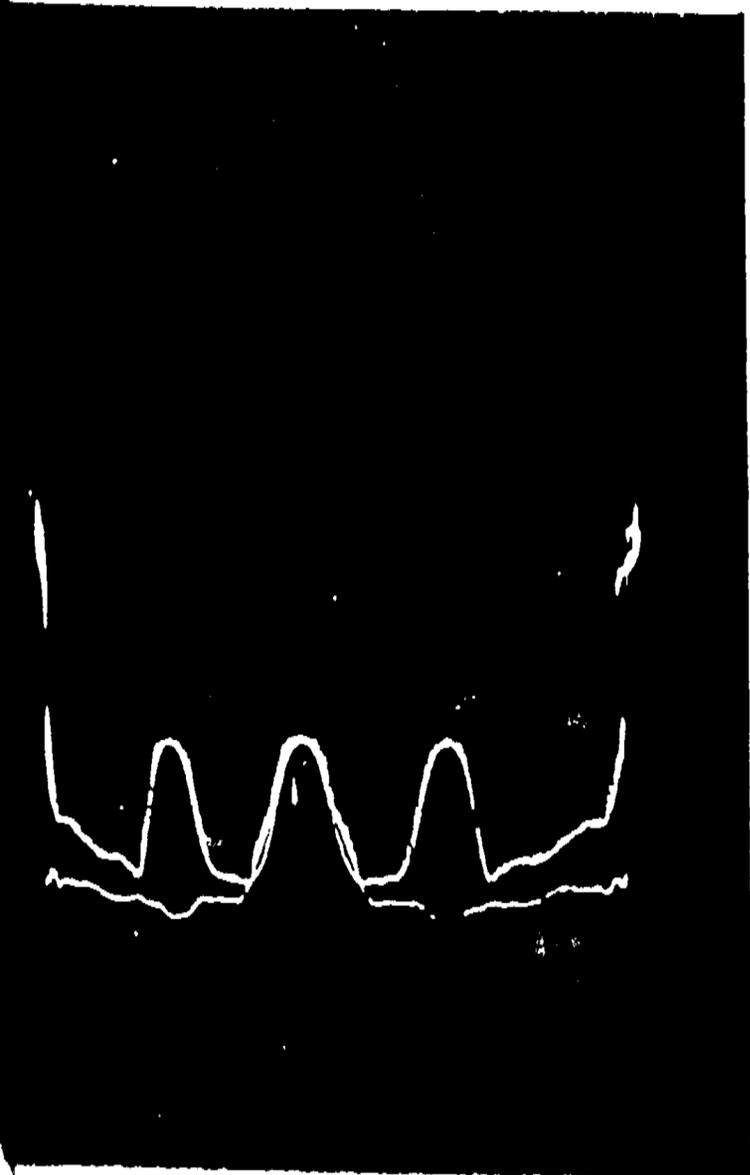


FOTO 7

LINHA ESTREITA ASSIMÉTRICA
ALINHADA

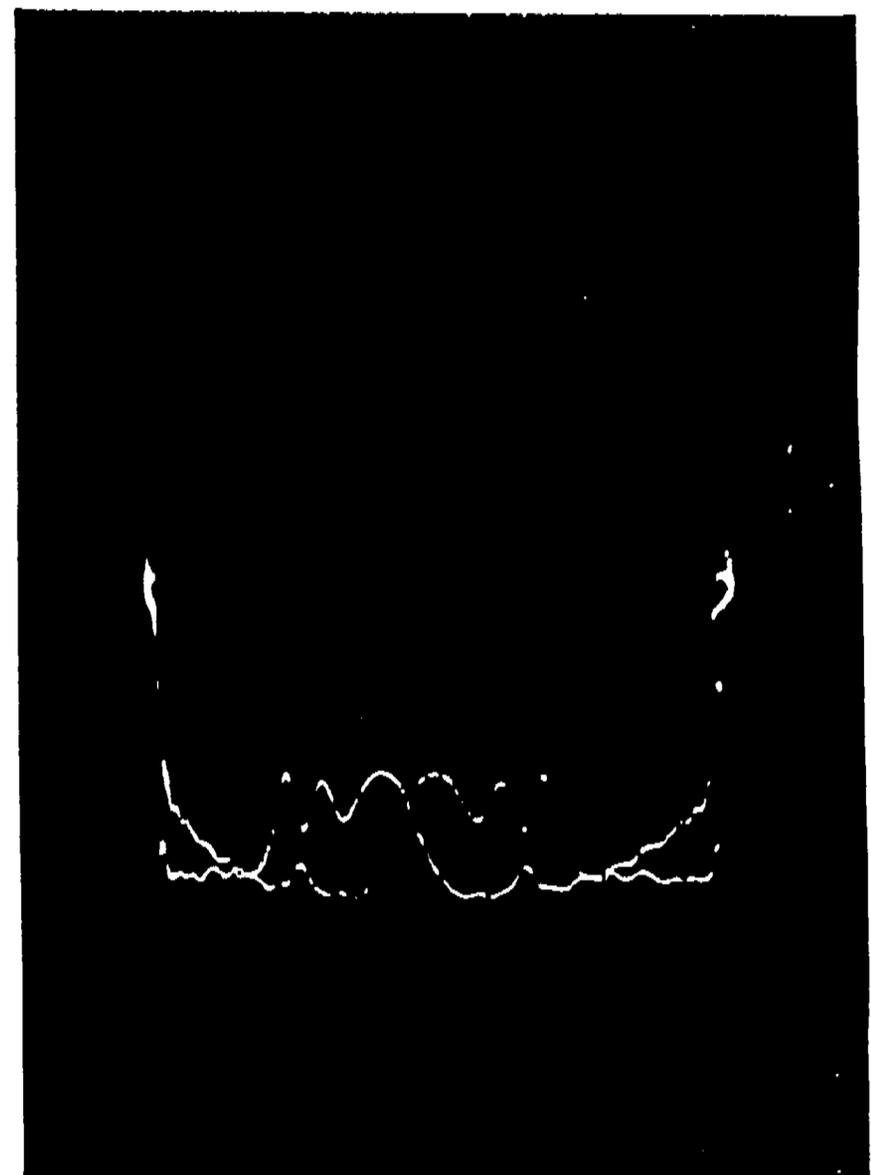


FOTO 8

VÁRIAS LINHAS PRÓXIMAS

Como foi visto do capítulo anterior , o método de medição utilizando o sistema foto-elétrico tem diversas vantagens sobre o método convencional , a saber :

1-) É , no mínimo , tão preciso quanto o método convencional ,ou seja , utilizando microscópio óptico .

Na verdade , Tonkins e Fred (ref. 3) disseram ter conseguido uma precisão de $0,25\mu$ a $0,50\mu$ e Gunnvald (ref. 5) uma precisão de $0,3\mu$.

Não pudemos medir exatamente a precisão do nosso equipamento pois isso exigiria um operador treinado que medisse a distância entre duas linhas utilizando o comparador manual .No entanto , para linhas cuja imagem na tela do osciloscópio são perfeitamente simétricas , medições com nosso equipamento com precisão de 1μ são garantidas .

2-) É muito rápido .Um simples alinhamento pode ser feito em poucos segundos , ao contrário do alinhamento utilizando comparador manual , e não há , praticamente , necessidade de repetir a leitura .

3-) Produz muito menos cansaço para o operador .Cansaço visual é reduzido devido a larga amplificação do sinal na tela do osciloscópio e cansaço por stress também , pois o método requer muito menos julgamento por parte do operador .

4-) Linhas que são largas , assimétricas e complexas podem ser medidas com mais cautela pelo operador .

5-) O tempo de leitura para toda a placa é bem mais rápido utilizando o processo foto-elétrico .

6-) Leituras precisas podem ser feitas até mesmo por um operador não treinado , já que basta uma simples inspeção na tela do osciloscópio para ver se a linha está alinhada ou não .

7-) O acoplamento do sistema a um microcomputador agiliza enormemente o processo de medição da placa .

APENDICE I

```

10 DEFINT I,A,Z : DIM INDAT(10)
20 A1$="" : D1$=CHR$(13)+CHR$(10)
30 CLOSE
40 OUT &HEF,&H9B
50 CLS PRINT CHR$(26)
60 PRINT "*****COMPARADOR*****"
70 PRINT:PRINT:PRINT:PRINT:PRINT "MENY"
80 PRINT "*****"
90 PRINT "1 = FAÇA UM NOVO ARQUIVO"
100 PRINT "2 = CONTINUE NO ARQUIVO ANTIGO"
110 PRINT "3 = OLHE UMA DETERMINADA LINHA"
120 PRINT "4 = INTRODUZA UMA DETERMINADA LINHA"
130 PRINT "99 = TERMINE O PROGRAMA"
140 INPUT A
150 IF A=99 THEN CLOSE SYSTEM
160 IF A<1 OR A>4 THEN 30
170
180
190 INPUT "NOME DO REGISTRO",FILNAM$
200
210
220 OPEN "R" ,#1, FILNAM$,23
230 FIELD #1,4 AS A$, 10 AS B$, 7 AS C$, 2 AS D$
240 FIRSTREC = 1
250 GET #1,FIRSTREC
260 PRINT:PRINT
270 PRINT:PRINT:PRINT:PRINT"ULTIMA LINHA (R: " ;CVI(A$) ; ) - 1
280 IF A=1 THEN LSET A$=MKI$(A) :GOTO 480
290 IF A=2 THEN 480
300 IF A=3 THEN 320
310 IF A=4 THEN 400
320 INPUT "QUE LINHA VOCE QUER OLHAR )", IN$: IF IN$="" THEN 20
330 RECORD=VAL(IN$)+1
340 GET #1,RECORD: PRINT A$, B$, C$, D$
350 GOTO 320
360
370
380
390
400 PRINT : INPUT "QUE LINHA VOCE QUER ESCREVER",IN$: IF IN$="" THEN 20
410 IF IN$="" THEN 20
420
430 A=VAL(IN$) : (CVI(A$)-1)
440 RECORD=VAL(IN$)+1 :GOSUB 630 : LSET A$=A1$ : LSET B$=COMENTARIO$ : LSET C$=U
IDAI$ : LSET D$=D1$ : PRINT " LINHA:",RECORD-1,
450 PUT #1,RECORD:GOTO 400
460

```

```

480
490
500
510 ***GET AND STORE LINE
520 GOSUB 630
530 RECORD=CVI(A$)+1
540 PRINT "LINNIA",RECORD-1,
550 LSET A#=A1$ : LSET B#=COMENTARIO$ : LSET C#=UIDAT$ : LSET D#=D1$
560 PUT #1,RECORD
570 LSET A#=MKI$(RECORD)
580 PUT #1,FIRSTREC
590 PRINT
600 GOTO 520
610
620
630
640
650
660 PRINT "COMENIE:";
670 LINE INPUT ;COMENTARIO$
680 IF LEFT$(COMENTARIO$,1)=" " THEN 890
690 PRINT TAB(20); " ";
700 GOSUB 780
710
720
730
740 UIDAT$=CHR$(INDAT(6))+CHR$(INDAT(5))+CHR$(INDAT(4))+". "+CHR$(INDAT(3))+CHR$(
INDAT(2))+CHR$(INDAT(1))
750 PRINT UIDAT$;
760 RETURN
770
780 J=1
790 FOR I=&H310 TO &H312
800 IMPORT=INP(1) AND &HF
810 INDAT(J)=IMPORT + &H30
820 IMPORT=INP(1) AND &HF0
830 INDAT(J+1)=&H30+(IMPORT/16)
840 J=J+2
850 NEXT I
860 RETURN
870
880
890 PRINT PRINT" VOCE QUER TERMINAR ?"
900 PRINT "REGISTRO"; FILNAMN$;" (S/N) " : INPUT IN$
910 IF LEFT$(IN$,1)="s" THEN CLOSE: GOTO 30
920 GOTO 660

```

ref	000.826	.826	w 580.63	000.826
	000.926	1.104		000.925
w 580.63	001.115	1.384		001.115
	001.198	4.441		001.197
	001.240	1.508		001.240
	001.323	1.608		001.323
	001.404	1.668		001.404
	001.449	1.803		001.448
	001.520	1.812		001.521
	001.634	2.001		001.634
	001.678	2.047		001.676
	001.747	2.208		001.745
	001.815	2.414		001.814
	001.877	2.558		001.877
	002.028	3.166		002.027
	002.070	3.404		002.069
	002.226	3.473		002.226
	002.269	3.541		002.268
	002.428	3.637		002.428
	002.480	3.766		002.479
	002.577	3.905	www	002.577
	002.631	4.105		002.631
www	002.804	4.554		002.802
	002.964	5.176		002.964
	003.050	5.267		003.049
	003.172	5.345		003.171
	003.417	5.485		003.417
	003.480	5.582		003.479
	003.529	5.672		003.528
	003.569	5.812	ww	003.568
	003.635	5.855		003.634
	003.766	5.993		003.764
	003.900	6.105		003.900
	004.122	6.180		004.122
	004.421	6.282		004.122
	004.543	6.405		004.419
	004.980	6.514		004.543
	005.178	6.580		004.979
	005.272	6.677		005.176
	005.341	6.842		005.271
	005.488	62934		005.339
	005.597	7.055		005.488
	005.652	7.130		005.595
	005.811	7.232		005.653
	005.855	7.344		005.810
	005.926	7.480		005.854
	005.999	7.638		005.924
	006.114	7.836	w	005.998
	006.193	8.000		006.114
w	006.281	8.196		006.192
	006.423	8.346		006.281
	006.518	8.537		006.423
	006.583	8.722		006.518
	006.674	8.806	w	006.583
				006.674
				006.839
				006.928
				007.061
				007.122
				007.214
				007.342
				007.485

	007.061			007.994
	007.122			008.058
	007.214			008.110
	007.342	8.883		008.200
	007.485	8.951		008.350
	007.637	9.158		008.551
	007.834	9.212		008.720
WW	007.995	9.265		008.791
	008.058	9.355		008.886
	008.113	9.475		008.952
	008.199	9.542		009.163
	008.351	9.716		009.202
	008.551	9.877		009.263
	008.720	9.994		009.376
	008.791	10.082		009.498
	008.887	10.256		009.536
	008.952	10.331		009.680
	009.163	10.426		009.710
	009.202	10.484		009.878
	009.265	10.582		009.997
	009.377	10.722		010.090
	009.498	10.797		010.134
	009.537	10.850		010.259
	009.685	11.174		010.338
	009.719	11.710		010.435
	009.878	12.058		010.482
	009.998	12.154	W	010.571
	010.092	12.418		010.725
	010.134	12.617		010.794
	010.260	12.720		010.839
	010.338	12.842		010.887
	010.435	13.061	WW	011.179
	010.482	13.223		011.498
W	010.571	13.360	WW	011.709
	010.725	13.541		011.875
	010.794	13.597		011.945
	010.839	13.666		012.059
	010.886	13.835		012.150
WW	011.179	13.982		012.228
	011.497	14.053		012.327
WW	011.708	14.134		012.418
	011.876	14.184		012.470
	011.946	14.343	W	012.616
	012.058	14.622		012.711
	012.150	14.891		012.835
	012.230	15.127		012.946
	012.329	15.283		013.054
	012.417	15.325		013.154
	012.470	15.465		013.227
W	012.616	15.856		013.271
	012.711	15.906		013.359
	012.835	16.230		013.493
	012.947	16.437		013.594
	013.057	16.607		013.664
	013.152	16.811		013.833
	013.227	16.935		013.988
	013.269	17.060		014.050
	013.359	17.238		014.136
	013.493	17.515		014.199
	013.593		WWW	014.344
	013.665			014.614
	013.834			014.733
	013.989	47	W 618.67	014.896
	014.050			015.132

	014.345			015.375
	014.614			015.467
	014.734			015.735
w 618.67	014.897	17.637		015.774
	015.132	17.726		015.854
	015.285	17.974		015.903
	015.331	18.080		016.077
	015.376	18.157		016.114
	015.467	18.294		016.233
	015.737	18.487		016.308
	015.775	18.576	w	016.435
	015.855	18.650		016.509
	015.903	18.752		016.607
	016.076	18.906		016.687
	016.116	19.126		016.809
	016.233	19.202		016.936
	016.309	19.330	w	017.054
w	016.435	19.464	ww	017.235
	016.500	19.571	ww	017.509
	016.606	19.809		017.634
	016.687	19.900	ww	017.719
	016.800	19.981		017.972
	016.935	20.064		018.068
ww	017.054	20.120	w	018.162
ww	017.236	20.237		018.289
ww	017.508	20.315		018.340
	017.634	20.424		018.490
ww	017.719	20.505		018.580
	017.971	20.582		018.640
	018.066	20.633		018.706
w	018.160	20.742		018.754
	018.290	20.813	www	018.930
	018.340	20.891		019.135
	018.491	21.000		019.200
	018.580	21.270		019.253
	018.641	21.374		019.323
	018.706	21.414		019.456
	018.754	21.474		019.502
www	018.931	21.572		019.567
	019.134	21.646		019.627
	019.199	21.720		019.742
	019.253	21.790		019.804
	019.322	21.846		019.896
	019.456	22.098		019.975
	019.501	22.144		020.066
	019.567	22.238		020.118
	019.627	22.294		020.234
	019.743	22.394		020.317
	019.803	22.605		020.425
	019.895	22.733		020.500
	019.975	23.042		020.634
	020.067	23.120		020.746
	020.118	23.197		020.814
	020.232	23.302		020.887
	020.318	23.455		020.998
	020.425	23.613		021.271
	020.501	23.732		021.303
	020.634	23.883		021.368
	020.746	24.143		021.418
	020.813			021.474
	020.887			021.575
	020.997			021.645
	021.272			021.724
	021.304			021.793

021.473
021.575
021.645
021.724
021.793
021.852
022.100
022.147
022.239
022.298
022.394
022.604
022.733
022.920
023.036
023.122
023.197
023.302
023.452
023.613
023.662
023.729
023.782
023.882
024.130
024.231
024.305
024.374
024.421
024.500
024.602
024.737
024.839
024.945
025.005
025.156
025.199
025.309
025.401
025.430
025.469
025.516
026.072
026.166
026.328
026.387
026.546
026.687
026.811
026.939
027.013
027.106
027.164
027.290
027.397
027.449
027.531
027.757
027.873
027.985
028.070
028.213
028.254
028.308

24.220
24.304
24.380
24.500
24.597
24.743
24.826
24.952
25.167
25.314
25.417
25.521
25.980
26.071
26.165
26.325
26.547
26.810
27.114
27.298
27.406
27.527
27.763
28.070
28.255
28.380
28.592
28.674
28.770
28.892
28.964
29.237
29.350
29.794
29.974
30.065
30.114
30.212
30.372
30.587
30.597
30.754
30.850
30.996
31.135
31.194
31.456
31.617
31.834
32.093
32.167
32.237
32.401
32.465
32.524
32.806

W

W 645.9

WWW 651.5

WW

WW

WW

022.149
022.239
022.297
022.394
022.604
022.733
022.919
023.036
023.122
023.196
023.305
023.453
023.613
023.661
023.730
023.782
023.882
024.139
024.230
024.305
024.375
024.422
024.499
024.602
024.737
024.840
024.945
025.008
025.156
025.201
025.310
025.400
025.427
025.470
025.517
026.073
026.167
026.327
026.387
026.545
026.687
026.809
026.937
027.013
027.106
027.167
027.301
027.397
027.444
027.532
027.759
027.876
027.984
028.071
028.216
028.255
028.307
028.384
028.592
028.633
028.671
028.786
028.893
028.964

W

645.90

W

WWW 651.5

WW

WW

028.620		027.277
028.669		029.349
028.704		029.656
028.892	33.060	029.708
028.962	33.285	029.793
029.018	33.485	029.971
029.236	33.545	030.069
029.298	33.597	030.116
029.348	33.697	030.214
029.653	33.812	030.308
029.706	33.892	030.378
029.792	33.983	030.491
029.979	34.102	030.513
030.066	34.162	030.604
030.115	34.206	030.761
030.211	34.325	030.854
030.306	34.430	030.991
030.377	34.506	031.158
030.489	34.552	031.207
030.513	34.850	031.463
030.601	34.907	031.546
030.677	35.066	031.624
030.752	35.167	031.841
030.852	35.241	032.001
030.989	35.303	032.100
031.155	35.433	032.167
031.204	35.856	032.235
031.460	36.023	032.400
031.544	36.074	032.466
031.622	36.217	032.522
031.839	36.292	032.738
031.999	36.346	032.803
032.098	36.450	033.068
032.164	36.554	033.294
032.234	36.733	033.404
032.398	36.942	033.491
032.463	36.995	033.549
032.520	37.150	033.599
032.736	37.226	033.697
032.801	37.350	033.786
033.066	37.434	033.910
033.293	37.516	033.986
033.401	37.603	034.106
033.488	37.800	034.162
033.546	37.894	034.204
033.597	38.040	034.329
033.694	38.125	034.440
033.784	38.205	034.507
033.903	38.443	034.546
033.979	38.710	034.613
034.099	38.914	034.849
034.155	39.157	034.904
034.199	39.390	035.054
034.322	39.647	035.158
034.434	39.764	035.230
034.507	39.880	035.293
034.547	39.987	035.379
034.613	40.320	035.432
034.850	40.531	035.507
034.905		035.604
035.053		035.652
035.156		035.792
035.229		035.859
035.293		035.938

035.508
035.602
035.651
035.792
035.859
035.938
036.020
036.066
036.131
036.207
036.284
036.347
036.432
036.542
036.730
036.772
036.948
036.991
037.146
037.223
037.346
037.405
037.436
037.512
037.593
037.794
037.886
038.027
038.065
038.117
038.197
038.436
038.709
038.914
039.160
039.383
039.547
039.650
039.757
039.872
039.987
040.239
040.320
040.528
040.600
040.723
040.835
040.905
040.961
041.031
041.151
041.232
041.392
041.511
041.611
041.751
041.821
042.014
042.106
042.187
042.283
042.402
042.756
042.878

40.615
40.727
40.850
40.410
40.974
41.037
41.151
41.393
41.533
41.614
41.754
42.031
42.115
42.186
42.403
42.747
42.884
43.113
43.552
43.647
43.881
43.970
44.132
44.274
44.422
44.515
44.766
44.871
45.035
45.193
45.370
45.733
45.906
45.982
46.090
46.163
46.460
46.683
46.987
47.355
47.422
47.537
47.680
47.900
48.230
48.290
48.500
48.690
48.911
49.127
49.290
49.404
49.526
49.610
49.747
50.005

036.135
036.208
036.285
036.347
036.432
036.542
036.732
036.775
036.948
036.991
037.145
037.222
037.346
037.407
037.437
037.513
037.593
037.796
037.888
038.029
038.067
038.118
038.198
038.435
038.710
038.914
039.160
039.384
039.548
039.651
039.757
039.873
039.989
040.239
040.321
040.529
040.610
040.723
040.835
040.907
040.964
041.032
041.154
041.234
041.392
041.511
041.613
041.753
041.824
042.014
042.108
042.189
042.284
042.402
042.756
042.878
042.986
043.111
043.177
043.436
043.548
043.636
043.710
043.821

w
ww
www
ww

ww
www
ww

w

w

w

w

w

www 695.5

w

w

w

w

w

www695.5

	043.174			044.010
	043.434			044.131
	043.548			044.272
	043.635			044.430
	043.708	50.101	ww	044.580
	043.822	50.243	w	044.729
	043.880	50.361		044.775
	043.958	50.508		044.867
	044.008	50.555		044.975
	044.048	50.740		045.029
	044.130	50.787		045.188
	044.270		ww	045.373
ww	044.428		ww	045.494
	044.578			045.733
	044.728		ww	045.900
	044.773			045.976
	044.867			046.095
	044.976			046.162
	045.029		ww 705.84	046.459
ww	045.187			046.674
ww	045.371			046.984
	045.496			047.076
ww	045.732			047.366
	045.898			047.419
	045.974		ww	047.540
	046.095			047.665
	046.161			047.826
ww 705.84	046.458			047.881
	046.673			048.092
	046.985			048.230
	047.075			048.299
	047.366			048.502
	047.419			048.694
ww	047.539			048.839
	047.664			048.926
	047.825			049.128
	047.880			049.239
	048.093			049.285
	048.229			049.405
	048.299			049.526
	048.500			049.601
	048.693			049.690
	048.828			049.748
	048.925			049.909
	049.127			050.005
	049.239			050.246
	049.285			050.358
	049.405			050.413
	049.526			050.458
	049.601			050.507
	049.748			050.562
	049.908			050.600
	050.004			050.734
	050.245			050.781
	050.357			
	050.410			
	050.459			
	050.506			
	050.560			
	050.734			
	050.780			

Referências :

- 1-) R. Furth e W. D. Oliphant , J. Sci. Instr. 25 , 289 (1948) .
- 2-) T. B. Rymer e J. S. Halliday , Sci Instr. 27 , 50 (1950) .
- 3-) F. S. Thonkins e M. Fred , J. Opt. Soc. Am. 41 , 641 (1951) .
- 4-) G .H. Diecke , D. Dimmock e H. M. Crosswhite , J. Opt. Am. 16 , 150 (1956) .
- 5-) P. Gunnvald , Arkiv for Fysic vol. 22 , 333 (1962) .
- 6-) Byron A. Palmer , Craig J. Sansonetti e Kenneth L. Andrew , Applied Optics Vol 17 , nº 15 (1978) .
- 7-) Per Nylén , Physica Scripta Vol. 25 nº 2 (1982) .
- 8-) " Técnica e Práctica de Espectroscopia " por A. N. Záidel , G. V. Ostróvskaya e Yu I. Ostrovsk . Editora Mir 1976 .
- 9-) "Óptica" por E. Hecht e A. Zajac .
- 10-) "Construa seu próprio microcomputador usando o Z 80 " por S. Ciarcia .McGraw-Hill 1984 .
- 11-) The TTL Data Book for Designer Engineers .Texas Instruments , Inc , 1976 .
- 12-) " Microelectronics : Digital and Analog Circuits and Systems " por J. Millman .MacGraw Hill , 1972 .
- 13-) " An introduction to Microcomputers Vol 1 " por A. Osborn .MacGraw Hill , 1980 .
- 14-) Manual da Intel para o CI 8255 .
- 15-) Manual de Fotomultiplicadoras da RCA .
- 16-) " Oscilloscope Measuring Technique " , Philips - Holanda , 1968
- 17-) Handbook of Operational Amplifier Circuit Design " por D. F.

Stout , MacGraw Hill , 1976 .

18-) Manual de produtos da Diadur