
esdi

tese

FERNANDO
ESTARQUE
CASAS

T 54
1972

ESDI Escola Superior de Desenho Industrial
Trabalho de Formatura 1972
Iluminação Para Trabalho
Fernando Estarque Casás

P 54
1972



N.º de registro



Proj. 4060/90

Conceitos

Escola Superior de Desporto e
Recreio da Universidade de Aveiro

Unidades e Definições:

1 - Fluxo Luminoso

símbolo - Φ

unidade - lumen

abreviação - lm

definição - quantidade total de energia luminosa que uma fonte de luz irradia por segundo; um lumen equivale a 1/650 w irradiados num comprimento de onda de 555

2 - Iluminamento ou Iluminância

símbolo - E

unidade - lux (lm/m²)

phot (lm/cm²)

lumen por pé quadrado

footcandle

abreviação - lx

ph

lm/ft²

fc

definição - fluxo luminoso por unidade de superfície; footcandle equivale a um lumen por pé quadrado.

3 - Eficácia ou Eficiência Luminosa

símbolo - K

unidade - lumen por watt

abreviação - lm/w

definição - fluxo luminoso por fluxo radiante

4 - Intensidade Luminosa

símbolo - I

unidade - candela

abreviação - cd

definição - fluxo luminoso emitido por estéreo-radiano;

candela lumen por estéreo-radiano

5 - Luminância ou Brilhância

símbolo - L

unidade - apostilb ($\text{cd}/\pi\text{m}^2$)

Lambert ($\text{cd}/\pi\text{cm}^2$)

footlambert ($\text{cd}/\pi\text{fL}^2$)

abreviação - asb

L

fL

definição - intensidade luminosa por unidade de área projetada.

As unidades de iluminamento ou iluminância como o foot-candle ou o lumen por pé quadrado e as de luminância como footlambert ou candela por pé quadrado são usadas com muito maior frequência que as unidades convencionais correspondentes no sistema decimal. Isto se deve à quantidade de material já pesquisado e suficientemente completo encontrado em língua inglesa. A conversão de todas as medidas já padronizadas e de tabelas envolvendo ângulos, distâncias verticais, distâncias entre luminárias, níveis de iluminação, etc, tornariam qualquer tentativa num trabalho demasiadamente extenso e complexo.

Materiais e Acessórios:

Refletor - É um dispositivo cujo principal uso é redirecionar a luz de uma lâmpada, por reflexão, para a direção ou direções desejadas.

Refrator - É um dispositivo, usualmente de vidro prismático, que redireciona a luz da lâmpada principalmente por refração.

Quebra Luz - Sua principal função é diminuir ou interceptar a luz da lâmpada em certas direções não desejadas. As funções do quebra luz e do refletor são geralmente combinadas numa mesma unidade.

Globo - Dispositivo contenedor de material claro ou difusor para proteger a lâmpada, para difundir ou redirecionar a luz ou modificar a sua cor.

Projektor - É um dispositivo que concentra o fluxo luminoso num pequeno ângulo ao redor de um único eixo.

Luminária - É uma unidade completa de iluminação, consistindo de uma fonte de luz com seus acessórios tais como globo, refletor, armação, suporte.

Meios e Superfícies Difusoras - São aqueles que interceptam a luz incidente e distribuem-na mais ou menos de acordo com a lei de emissão do co-seno de Lambert, como por exemplo o vidro branco.

Especular Difuso - Superfícies especulares-difusas são aquelas essencialmente difusas mas que contem uma camada exterior de material brilhante que reflete especularmente.

Difusão Perfeita - É aquela na qual a luz é difundida uniformemente em todas as direções pelo meio difusor.

Difusão Grande Angular - É a difusão na qual a luz é difundida num ângulo amplo.

Difusão - Superfícies e meios difusores são aqueles que interceptam a luz incidente e distribuem-na como se a superfície fosse incandescente e uniformemente brilhante (ou aproximadamente) em todas as direções.

Difusão de Angulo Estreito - É quando a luz é difundida em todas as direções do meio difusor mas cuja intensidade é notavelmente maior num ângulo estreito na direção geral que a luz tomaria na reflexão ou transmissão regular.

Reflexão Regular ou Especular - É aquela na qual o ângulo de reflexão é igual ao ângulo de incidência.

Reflexão Difusa - Quando a luz é refletida em todas as direções.

Fator de Reflexão Regular - É a proporção da luz refletida difusamente em relação à luz incidente.

Fator de Reflexão Difusa - É a proporção da luz refletida em relação à luz incidente.

Transmissão Difusa - É aquela na qual a luz é transmitida do corpo transmissor em todas as direções.

Transmissão Regular - Quando a luz é transmitida não difusamente. Em tal transmissão a direção do feixe de luz transmitido tem uma relação geométrica definida com o feixe correspondente de luz.

Fator de Transmissão Regular - É a proporção da luz regularmente transmitida em relação à luz incidente.

Fator de Transmissão Difusa - É a proporção da luz transmitida difusamente em relação à luz incidente difusa.

Fator de Transmissão - O fator de transmissão de um corpo é a proporção da luz transmitida em relação à luz incidente.

Fator de Absorção - É a proporção da luz absorvida em relação à luz incidente.

Vidros de Iluminação:

Vidro Branco - É altamente difusor e tem uma aparência aproximadamente leitosa, branca ou cinzenta. As propriedades difusoras são características inerentes ao vidro.

Vidro Protetor - É composto de duas ou mais camadas de vidros diferentes, usualmente uma camada transparente e outra de vidro branco ou colorido.

Vidro Homogêneo - É um vidro de composição essencialmente uniforme em toda a sua estrutura.

Vidro de Superfície Mate - Tem a superfície alterada por gravação, jato de areia, etc, para aumentar a difusão. Tanto uma como ambas as superfícies podem ser trabalhadas.

Vidro Configurado - Tem a superfície padronizada ou irregular, usualmente feita durante a fabricação. Tais vidros são difusores.

Vidro Prismático - É um vidro transparente cuja superfície tem fabricada uma série de prismas, sendo sua função direcionar a luz incidente.

Vidro Transparente - É um vidro que não tem propriedades difusoras aparentes.

Placa de Vidro Polido - É um vidro cujas irregularidades de superfície foram removidas através de polimento e raspagem de forma que as superfícies são aproximadamente planas e paralelas.

Características de Iluminação:

Coeficiente de Utilização - O coeficiente de utilização de um sistema de iluminação é o fluxo total no plano de trabalho dividido pelo fluxo total das lâmpadas que o iluminam. O plano de referência é usualmente tomado como sendo trinta polegadas acima do chão.

Testes e Padrões Fotométricos:

Padrão Primário de Luminosidade - É aquele pelo qual a unidade de luz é estabelecida e do qual os valores dos outros padrões são derivados. Um padrão primário satisfatório deve ser reproduzível a partir de especificações.

Padrão Secundário - É aquele calibrado por comparação com o padrão primário.

Padrão de Trabalho - É qualquer fonte luminosa padronizada para uso diário em fotometria.

Curva de Característica - É a curva que expressa a relação entre duas propriedades variáveis da fonte luminosa, como intensidade luminosa e volts, intensidade luminosa e taxa de consumo de combustível, etc.

Curva de Distribuição de Luz - É a curva que expressa a variação da intensidade luminosa de uma lâmpada ou luminária com ângulo de emissão.

Distribuição Simétrica de Luz - É aquela na qual as curvas de distribuição vertical são substancialmente as mesmas para todos os planos.

Distribuição Assimétrica de Luz - É aquela na qual as curvas de distribuição vertical não são as mesmas para todos os planos.

Razão de Brilho - É a razão entre brilhos de quaisquer duas superfícies. Quando as duas superfícies são adjacentes, a razão de brilho é chamada contraste de brilho.

Pureza - O brilho relativo do espectro e componentes brancos numa mistura de cor.

Cromaticidade - É a expressão da pureza e comprimento de onda dominantes; para púrpuras, que são misturas de cores, a cromaticidade é expressa em termos de comprimento de onda e pureza da cor complementar.

Iluminantes:

Lâmpada - É um termo genérico para uma fonte artificial de luz.

Lâmpada de Filamento - É uma fonte de luz que consiste num bulbo de vidro que contém um filamento mantido eletricamente incandescente.

Lâmpada de Descarga Elétrica - É uma lâmpada na qual a luz é produzida pela passagem da eletricidade através de vapor metálico ou gas, dentro de um tubo ou bulbo.

Lâmpada Fluorescente - É uma lâmpada de descarga elétrica na qual a energia radiante da descarga elétrica é transferida por materiais adequados (phosphor) para comprimentos de onda que dão luminosidade mais alta.

Física da Luz

Luz e Energia Radiante - Para os propósitos da engenharia de iluminação, a luz é definida como a avaliação visual da energia radiante. Quando as ondas de energia penetram no olho, dá-se a visão. Muitas diferenças aparentes em intensidade entre energia radiante de vários comprimentos de onda são, em realidade, diferenças na habilidade dos vários esquemas sensitivos e receptores para detectá-los uniformemente. As características de recepção do olho humano tem sido objeto de investigações intensas. Os resultados podem ser sumarizados da seguinte forma:

- 1 - A característica de resposta ao espectro varia conforme os indivíduos de acordo com o tempo, com o estado de saúde e a idade de cada um, até o ponto em que a escolha de um indivíduo como padrão não é possível cientificamente.
- 2 - Pode ser feita uma curva de eficiência luminosa dos dados disponíveis, para representar o observador humano típico. Esta curva pode ser aplicada matematicamente para a solução de problemas fotométricos, assim como para eliminar desvantagens relacionadas com medições que dependam de sensações humanas.

Dados analisados indicam que a maior parte dos observadores humanos são capazes de experimentar uma sensação visual sob uma exposição de energia radiante de comprimento de onda mais longo que 760nm, usualmente chamados infravermelho; a energia radiante ultravioleta (comprimento de onda de menos de 380nm) também pode ser facilmente visível. Muitos observadores, no entanto, tem apenas uma leve resposta à energia radiante ultravioleta, porque as

lentes cristalinas do olho absorvem-na quase totalmente.

Medição da Luz - A Fotometria estuda a medição da luz.

Os dados fotométricos são constantemente empregados em todos os campos de iluminação e de luz - na decisão da escolha do equipamento, lâmpadas, acabamentos, cores da luz, do fundo e outros fatores que afetam os padrões de iluminação e de ambiente a serem assegurados.

A maior parte dos termos usados na medição da luz são baseados nos relacionamentos que se formam quando uma fonte pontual de uma candela, dando luz igualmente em todas as direções, é imaginada no centro de uma esfera oca. O termo "média esférica de intensidade luminosa" é uma média de todas as candelas em todas as direções.

Lei do Quadrado Inverso - A lei do quadrado inverso é usada para o cálculo da quantidade de iluminação de uma fonte individual de luz em planos perpendiculares ao raio luminoso. Ela se aplica somente à iluminação produzida por uma fonte pontual sobre uma pequena superfície. Na prática, uma fonte pontual é aquela cujas dimensões são mínimas quando comparadas com a sua distância da superfície. A lei se aplica a distâncias cinco ou mais vezes a dimensão máxima da fonte. Para distâncias mais curtas, a iluminação varia aproximadamente inversamente quanto a distância. A fórmula da lei do quadrado inverso é:
$$fc = \frac{I}{D^2}$$

onde: I - intensidade luminosa (candela)

D - distância

Co-seno da Luz Incidente - Quando uma superfície não é perpendicular ao raio da luz, a iluminação sobre ela é menor porque a luz é espalhada sobre uma área de maior tamanho. A extensão da superfície inclinada é a mesma da superfície perpendicular, mas seu comprimento e área são aumentados, dependendo do ângulo de inclinação. A relação conhecida como a lei do co-seno de Lambert é que a iluminação num plano inclinado é igual à iluminação num plano normal multiplicada pelo co-seno do ângulo de incidência:
$$I_c = \frac{I \times \cos a}{D^2}$$

do inverso está incluída.

Gênero de Luz - A luz tem sido dividida em dois tipos: incandescente e luminescente. A causa da emissão da luz, em ambos os casos, é a mesma, isto é, transições eletrônicas de estados de energia mais altos para mais baixos. A maneira da excitação do elétron, assim como a distribuição espectral de radiação, é diferente. Os dois processos e suas subdivisões são:

1 - Incandescência.

combustão

arco elétrico _____

camisa de gás

filamento incandescente

2 - Luminescência.

descargas elétricas em gás a) descarga em gás

b) descarga brilhante

eletroluminescência (eletromagnética)
quimiluminescência (química)
galvanoluminescência (eletroquímica)
cristaloluminescência (cristalização)
fotoluminescência (luz)
termoluminescência (calor)
triboluminescência (fricção)
bioluminescência (animal e planta)
catodoluminescência (bombardeio de elétrons)
sonoluminescência (ultrasom)

Curva de Distribuição da Intensidade Luminosa - São apresentações gráficas da distribuição da intensidade de luz de uma lâmpada ou luminária; contribuem com informações para a determinação dos equipamentos de iluminação próprios para a aplicação nos diversos campos. Como base para o seu uso, é necessário saber como são obtidas.

A intensidade luminosa de uma lâmpada de filamento, em qualquer direção, iguala os footcandles produzidos num plano em ângulos retos aos raios da luz vezes o quadrado da distância da lâmpada até o ponto de medição. Se desta forma ($cd = fc \times D^2$) a média de intensidade luminosa à volta do eixo de uma lâmpada de filamento é determinada para qualquer ângulo da vertical, digamos 25° , o valor da média se torna um ponto o qual pode ser colocado no gráfico para uma escala conveniente no papel de coordenada polar. Tomando-se diversas medidas ao redor do eixo no ângulo de 25° da vertical, usualmente aparecem todos eles como sendo mais ou menos a mesma coisa; entretanto, na

fotometria de laboratório, quaisquer ligeiras diferenças que possam ser apresentadas por causa de estrutura de filamento ou outras variações, são compensadas pela rotação da lâmpada, de forma que uma leitura representa um valor médio. Para se obter dados suficientes para uma lâmpada ou para uma unidade de iluminação geral, são usualmente tomadas vinte leituras a ângulos de 0° , 5° , 15° , 25° , 35° , 45° , etc, até 180° e as candelas computadas e colocadas em gráfico no papel de coordenada polar. Uma linha, ligando uma série de tais pontos, forma a curva de distribuição da intensidade luminosa. O valor a 90° é a intensidade luminosa saindo direto da unidade, enquanto que a 0° é diretamente para baixo. Para fontes de luz concentrada são requeridas leituras a um ou dois graus separados, a intervalos maiores que 10° .

As constantes zonais podem ser aplicadas às curvas de distribuição de intensidade luminosa com valores variáveis de intensidade luminosa. Imagina-se que a intensidade luminosa no centro da zona representa a média para aquela zona. Para se ter os lumens na zona $0^\circ - 10^\circ$, a intensidade luminosa a 5° é multiplicada pela constante zonal, 0.10. Os lumens na zona $80^\circ - 90^\circ$ igualam a intensidade luminosa a 85° vezes 1.09, a constante zonal para aquela zona.

A área da curva de distribuição de intensidade luminosa não é um critério para a saída de luz de uma luminária. O total de lumens produzidos é a soma dos lumens em cada zona, não havendo relação com a área contida pela curva.

Tabela de Constantes Zonais

Zona	Constante Zonal	Zona	Constante Zonal
0º-10º	.10	170º-180º	.10
10º-20º	.28	160º-170º	.28
20º-30º	.46	150º-160º	.46
30º-40º	.63	140º-150º	.63
40º-50º	.77	130º-140º	.77
50º-60º	.90	120º-130º	.90
60º-70º	.99	110º-120º	.99
70º-80º	1.06	100º-110º	1.06
80º-90º	1.09	90º-100º	1.09

Eficácia de Lâmpadas e Luminárias - A fórmula básica para eficácia, energia produzida por energia aplicada é expressa para uma lâmpada em lumens por watt. O primeiro termo pode ser determinado por uma curva de distribuição de intensidade luminosa ou fotômetro esférico; os watts aplicados, por volts x amperes.

A eficácia de uma luminária é expressa por uma proporção similar:
$$\frac{\text{lumens por luminária (energia produzida)}}{\text{lumens por lâmpada (energia aplicada)}}$$

Luminárias Assimétricas - Para determinar a saída (energia produzida) de luminárias assimétricas tais como as unidades convencionais fluorescentes, as leituras de intensidade luminosa devem ser tomadas num número de planos e sua média de peso obtida para cada zona. A intensidade lumi-

nosa da zona, multiplicada pela constante zonal da os lumens zonais. A soma dos lumens zonais é igual à saída de lumens da luminária. Para uma unidade de iluminação fluorescente, as leituras da intensidade luminosa são geralmente tomadas em cinco planos, a 0°, 22 1/2°, 45°, 67 1/2° e 90° de um plano através do eixo da luminária. Valores de intensidade luminosa são medidos em cada plano a intervalos de 10° (5°, 15°, 25°, etc.) e as leituras de intensidade luminosa são designadas A, B, C, D e E. A média é obtida pela fórmula: $I = \frac{A + 2B + 2C + 2D + E}{8}$

8

As luminárias assimétricas para lâmpadas de filamento tem tão extensas variações em intensidade luminosa num ângulo dado à volta da vertical, que uma leitura média da qual se possam computar lumens zonais não pode ser obtida através da rotação da unidade. As curvas de distribuição de intensidade luminosa para tal equipamento são preparadas de dados obtidos em planos específicos.

Controle de Luz

Habilidade Visual - Muitos fatores influenciam a habilidade visual. Eles podem ser divididos em duas categorias separadas mas relacionadas: fatores fisiológicos, que dependem de um funcionamento adequado dos processos sensoriais visuais, como os mecanismos de acomodação, de adaptação e fotoquímicos e a relativa sensibilidade das várias áreas da retina e os fatores físicos que descrevem certas características da tarefa visual e do ambiente no qual ela é vista.

Fatores Fisiológicos - A linha que une o ponto de fixação e o centro da pupila do olho é a linha primária de visão. Para propósitos práticos, com a visão binocular o ponto de observação é comumente tomado como o ponto médio entre os olhos. O centro da fóvea é a porção da retina especialmente adaptada para a percepção do detalhe de precisão. Quando no desempenho da maior parte das tarefas, os olhos pulam de um ponto de fixação para outro, de forma que as coisas que requerem uma visão crítica são trazidas para a parte central ou foveal do campo visual. A visão periférica dá o retrato geral da colocação dos vários objetos no campo visual. Ela é útil na detenção de obstáculos potenciais e assim tem um papel na prevenção dos acidentes. Isto torna necessária uma distinção entre a iluminação requerida para objetos que devem ser vistos periféricamente.

Uma pessoa pode se mover de uma parte a outra do cômodo ou mesmo de um cômodo para outro. Todas estas ações produzem a redistribuição das luminâncias no campo da vista e, desta forma, influenciam tanto a adaptação local como

geral das retinas de ambos os olhos. Os efeitos destas mudanças de luminância sobre a habilidade da visão e o desconforto visual podem ser consideravelmente grandes.

Fatores Físicos - Quando alguém olha para um objeto, em qualquer momento durante o desempenho de uma função, a cabeça toma uma determinada posição com as linhas de visão dos dois olhos, convergindo para um ponto dado. Isto resulta numa sensação visual subjetiva, que representa a complementação da parte ocular da atividade visual do momento. A visão de todas as coisas que devem ser vistas num dado momento constituem a parte visual de qualquer tarefa. O termo tarefa visual convencionalmente designa a soma total destas coisas, sendo que o seu caráter pode mudar de momento para momento. Assim, para se determinar se a iluminação é adequada para uma tarefa dada, é necessário se considerar a natureza da tarefa visual durante cada fase.

Fatores Fundamentais - Uma tarefa visual pode ser descrita em termos de seu tamanho, contraste, luminância e cor. É também necessário incluir o fator tempo disponível para a tarefa ser vista, especialmente quando se deve ver uma série de tarefas em sequência ou quando o trabalhador ou a tarefa estão em movimento. Dados indicam que, quando um trabalhador vê rapidamente áreas que são muito mais iluminadas ou mais escuras que a tarefa, a habilidade visual pode ser consideravelmente reduzida; acidentes podem ser causados se as pessoas passam de áreas de trabalho bem iluminadas para almoxarifados, corredores ou escada-

rias inadequadamente iluminados, pois os olhos levam algum tempo para se adaptarem às mudanças de iluminação.

Descanso e Relaxamento Visual - Inspeção visual próxima e prolongada é cansativa e o operador deve poder relaxar seus olhos, tirando ocasionalmente o olhar de seu trabalho e dirigindo-o para qualquer superfície ou objeto distante. Se o trabalho envolve detalhes delicados e a iluminação é pobre, o trabalhador tem que se abaixar junto à tarefa, numa posição que pode provocar fadiga muscular e tensão visual. Com boa iluminação os pequenos detalhes podem ser vistos de uma distância confortável e o trabalhador pode assumir uma posição natural que pode ser mantida por mais tempo.

Aparência de Superfícies Coloridas - A aparência das superfícies coloridas depende da qualidade de luz por elas refletida e do tipo de iluminação usada. A maior parte dos tipos de iluminação artificial distorce a aparência das cores vistas sob ela, quando comparadas com sua aparência sob a luz do dia. Para muitos serviços de inspeção que requerem julgamento ou reconhecimento de cor, a iluminação deve ser projetada para minimizar esta distorção. Para este tipo de trabalho, por causa das variações da luz do dia, a luz artificial é frequentemente preferida, pois assim é possível manter-se a mesma quantidade e qualidade de luz todo o tempo. O uso apropriado da cor pode ajudar a manter a atenção do operador em seu trabalho, aumentar a segurança e o bem estar e reduzir o ofuscamento.

Lâmpadas de descarga (vapor de sódio, vapor de mercúrio e fluorescente), operando em corrente alternada, produzem luzes que variam em cada ciclo. A oscilação não é vista normalmente quando as lâmpadas operam num suprimento de 50 ciclos, desde que isto ocorra no dobro da frequência do suprimento, mas em tais condições o operador pode ter a impressão que a maquinaria rotativa ou outros objetos que se movem tenham diminuído a velocidade ou estejam parados; isto é chamado efeito estroboscópico e pode ser minimizado através de lâmpadas adjacentes ajustadas em circuitos especiais, de forma que elas oscilem alternadamente, ou pela conexão, num cômodo, de lâmpadas adjacentes para diferentes fases, num suprimento de três fases. A oscilação é mais fácil em altos níveis de iluminação e pode ser aparente nos extremos dos tubos fluorescentes, onde a flutuação na luz emitida ocorre em frequência maior, mas isto pode ser sobrepujado encobrendo-se as extremidades dos tubos da visão direta.

É possível tanto clarear como enevoar uma forma e a textura de uma superfície de um objeto pela mudança de direção da luz incidente sobre ele. Este efeito é geralmente conhecido como modelação e pode ser usado para melhorar a visibilidade dos detalhes de algumas tarefas, particularmente em processos de inspeção industrial. Onde necessária, a luz de modelação deve ser colocada como complemento para a luz geral de um cômodo e as fontes de luz devem ser localizadas especialmente em relação ao trabalho.

Medidas da Energia Espectral - Quando uma análise do com-

primento de onda da energia visível de uma fonte de luz é obtida por meio de um espectroradiômetro e colocada em gráfico, obtem-se uma curva de distribuição da energia espectral. Usualmente são usados gráficos de 4000 a 7000 angstroms da esquerda para a direita. Uma curva similar, obtida de uma luz refletida por um objeto, é chamada de curva de reflectância da energia espectral e a de um material transmissor é a curva de transmitância de energia espectral.

Controle de Luz - Os meios usuais de controle de luz são feitos por:

- 1 - Reflexão
- 2 - Difusão
- 3 - Transmissão
- 4 - Absorção
- 5 - Refração
- 6 - Polarização

A maior parte dos materiais usados nos sistemas de iluminação tem uma combinação de dois ou mais destes fenômenos, interrelacionados.

1 - Fator de Reflexão - A proporção da luz refletida pela luz incidente, expressa por porcentagem, é chamada de fator de reflexão ou reflectância. A tabela que segue indica vinte e nove materiais comuns, muitos dos quais tem sido usados na manufatura de refletores para dispositivos de iluminação e elementos de iluminação nos quais o mate-

rial é usado como cobertura de luz ou mesmo em outras partes. Como as características de reflexão da luz são bastante diferentes, elas são classificadas em especular, dispersa, difusa e difusa-especular.

Será notado que a percentagem de reflexão destes exemplares varia em uma larga escala. O material de mais alta reflectância é o carbonato de magnésio, um material branco, gredoso, produzido pela combustão do magnésio.

Porcentagem de Reflexão dos Materiais:

1) Reflexão Especular

plástico branco polido	20 - 85
prata vaporizada	90 - 95
alumínio vaporizado	85 - 93
chapa de alumínio	85 - 88
vidro espelhado	81 - 85
alumínio especular processado	75 - 85
ródio	70 - 79
alumínio polido	60 - 73
zinco	68 - 72
cromo especular	62 - 66
níquel	60 - 65
monel	57 - 63
alumínio laminado	52 - 55
aço inoxidável	48 - 52
vidro preto estrutural	14 - 16
plástico preto polido	4 - 6

2) Reflexão Dispersa

alumínio difuso processado	62 - 70
alumínio oxidado e gravado	60 - 77
chromo	40 - 46
placa de aço inoxidável	42 - 47
alumínio escovado	45 - 48

3) Reflexão Difusa

carbonato de magnésio	93 - 98
gesso branco	90 - 92
pintura branca mate	75 - 90
plástico branco mate	20 - 85
branco semi mate	71 - 85
porcelana esmaltada branco mate	60 - 83
terra cotta branco e creme	60 - 81
vidro estrutural branco	73 - 79
calcário	37 - 58
arenito	20 - 41

4) Reflexão Especular-Difusa

porcelana esmaltada brilhante	60 - 80
-------------------------------	---------

Característica de Reflexão dos Materiais - A larga variedade de materiais refletores fazem do seu estudo uma parte importante para a determinação do equipamento de iluminação. Qualquer material que reflita a luz se torna u-

ma fonte secundária, e sua aparência iluminada é de importância primária quando o objetivo é obter condições melhoradas de visão. A aparência do material, quando iluminado, pode se tornar diferente da anterior, especialmente ESDI no caso de superfícies espelhadas ou especulares planas.

Contornos de Reflexão - Dividem-se em seção circular, seção parabólica, seção plana, parabólica e circular combinadas e seção elítica.

1) Seção Circular - É o mais simples de todos os contornos de refletores. Com a fonte de luz no centro do arco, os raios produzidos que se chocam no refletor são refletidos de volta para a posição do filamento, embora aproximadamente dobrando a intensidade luminosa dos raios emergentes. Nos sistemas de projeção convencional, quando são usadas as lâmpadas de filamento monopiano que contem uma fila única de espirais, o refletor aumenta sua eficiência de 40% a 60%. O aumento de eficiência varia de acordo com o refletor e a forma da fonte. Quando com lâmpadas de filamento biplano que contem duas filas de espirais em zigue-zague, o aumento é de apenas 20% a 30%, devido a uma combinação de fatores. A concavidade de uma lâmpada, quando prateada, é outra aplicação útil de um refletor hemisférico. Ele é usado como um meio de direcionar a luz da lâmpada para o teto, tornando a iluminação indireta.

2) Seção Parabólica - O mais útil dos refletores especulares e semi-especulares em equipamento de iluminação é

a seção parabólica. Quando uma fonte de luz é colocada no foco ou no ponto focal de um refletor parabólico, os raios de luz refletidos serão essencialmente paralelos. Esta forma de refletor é usada em holofotes, faróis e em outras luminárias nas quais uma distribuição concentrada de luz se faz necessária.

3) Seção Plana, Parabólica e Circular - Combinações destas seções são úteis no projeto de refletores.

4) Seção Elítica - Se uma fonte de luz concentrada for colocada em um ponto focal de um refletor elipsoidal, os raios refletidos vão convergir no outro. Esta característica torna possível o envio de quantidade relativamente grande de luz através de aberturas muito pequenas. Os refletores elipsoidais podem ser usados em unidades locais de iluminação de tal distância focal que o trabalho pode ser colocado sob um segundo ponto focal. Se a fonte estiver fora de foco, a convergência se altera.

2 - Fator de Difusão - Superfícies que refletem difusamente não mostram pontos de brilho e são igualmente brilhantes de vários ângulos de vista. Tais superfícies seguem a lei do co-seno de Lambert; a luz é refletida igualmente em todas as direções e não há nenhum controle direcional. O carbonato de magnésio, o gesso branco e tintas foscas são eficazes como meios de difusão. Superfícies de reflexão que são gravadas, tais como o alumínio oxidado ou coberto com pintura de alumínio criam reflexão dispersa que pode ser útil na iluminação; elas produzem um

raio característico, tendo a intensidade luminosa máxima no ângulo de reflexão. Metais despolidos tem características similares de controle.

3 - Fator de Transmissão - A habilidade de um meio de transmitir luz através dele é chamada fator de transmissão ou transmitância e é geralmente expressa em porcentagem. Materiais transparentes tais como o vidro, cristal ou plástico, permitem a transmissão da luz sem nenhuma alteração apreciável na sua direção. Isto não significa que 100% da luz seja transmitida. Se a luz incidente é normal à superfície de vidro transparente, 80% a 90% passará; cerca de 8% a 10% será refletida e o resto absorvido. A quantidade de luz refletida depende do ângulo de incidência e pode se tornar uma porcentagem bastante alta para ângulos tangenciados.

Para luminárias convencionais, materiais transparentes tem uma aplicação muito limitada. Estas luminárias são comumente gravadas ou crestadas para espalhar a luz transmitida, como por exemplo uma lâmpada de filamento de interior crestado. Neste caso, o grau de difusão não é suficiente para ocultar o ponto brilhante do filamento. A porção de luz é refletida entrecruzando-se difusamente no interior do bulbo antes de ser finalmente transmitida. O efeito resultante é chamado transmissão dispersa.

O vidro transparente que tem uma cobertura esmaltada ou em cerâmica, fornece um meio de transmissão que difunde completamente a luz. O vidro branco soprado ou o vidro

branco homogêneo fornecem transmissão difusa. Todos estes vidros encontram considerável aplicação na iluminação, tanto por suas propriedades transmissoras como pelas suas características de reflexão.

4 - Fator de Absorção - A absorção do fluxo de luz das lâmpadas pelas coberturas são consideradas quase sempre uma desvantagem, pois pode afetar a eficácia. Para acessórios de luminárias, deve-se escolher materiais ou acabamentos que difundam ou reflitam eficazmente a luz, em vez dos que absorvem quase toda a luz ou uma considerável porção dela. A utilização certa das cores, em tais casos, é sempre recomendável.

5 - Fator de Refração - Uma fonte de refração é o prisma. Quando o raio de luz é projetado através dele, a luz é decomposta e transmitida na forma do espectro. O grau de direção que a luz toma depende do ângulo e da densidade relativa do meio, como o cristal ou outras formas de combinações de vidros, plástico ou quartzo.

6 - Fator de Polarização - As fontes de luz convencionais são vistas como radiadores do fluxo de luz que vibra em todos os planos nos ângulos retos na direção dos raios da luz. Muitos materiais tem a capacidade de projetar estas vibrações num plano e o resultado é chamado de parcialmente polarizado. Uns poucos materiais tem a capacidade de projetar todas as chamadas vibrações, exceto aquelas em um plano; é a polarização completa. A luz refletida especularmente no papel, linóleo ou outros materiais é par-

cialmente polarizada; por exemplo, se um raio de luz é direcionado sobre uma chapa de vidro limpa (índice de refração 1.54) num ângulo de incidência de 57°, a luz refletida é completamente polarizada. Este ângulo é chamado ângulo polarizante e está relacionado com o índice de refração pela fórmula:

$$n = \operatorname{tg} a \quad \text{onde: } n = \text{índice de reflexão do vidro}$$
$$a = \text{ângulo polarizante}$$

O fator de transmissão do material polarizante está entre 25% e 42%; assim, quando usado nas lentes de câmera, por exemplo, é necessário uma maior abertura do diafragma. O aparato polarizante é usado principalmente no trabalho científico e processos de inspeção crítica.

Aparência dos Materiais Transmissores - Quando se deseja que predominem qualidades de reflexão, um vidro branco muito denso deve ser escolhido, isto é, um que não transmita mais que 10 a 15%. Tal vidro provavelmente absorveria 15% e refletiria 75% da luz. Por outro lado, quando o principal objetivo é a difusão, o vidro deve ter um máximo de transmissão sem revelar os contornos da fonte de luz. Isto limita a transmitância para cerca de 50% a 60%. Como nos materiais refletores, para assegurar resultados satisfatórios, a seleção de materiais deve ser baseada na sua aparência iluminada e não-iluminada, assim como na eficiência de transmissão. A escolha do iluminante, se fluorescente ou de filamento, afeta grandemente a aparência. Muitos materiais transparentes e translúcidos tem

propriedades de transmissão seletiva, o que permite que somente certas partes do espectro passem através deles. Os mais comuns são os vidros coloridos, que transmitem certas cores e absorvem as outras.

Luz e Cor

Luz e Cor - A cor aparente de um objeto depende primariamente de quatro fatores: sua habilidade de refletir as várias cores da luz, a natureza da luz na qual ele é visto, a cor do ambiente que o cerca e as características e o estado de adaptação do olho. Uma distinção deve ser feita entre objetos coloridos e brancos.

Materiais inorgânicos, principalmente metais tais como o cobre ou o latão, refletem a luz de sua superfície; donde o termo cor metálica ou de superfície, contrastando com as cores de pigmento ou de consistência.

A princípio, a luz refletida specularmente da superfície é quase sempre matizada. A maior parte das tintas tem cores de pigmento ou de consistência; nelas, a luz é refletida specularmente da superfície sem muita modificação na cor, mas certos materiais absorvem algumas cores e refletem outras; assim, a reflexão difusa do corpo do material é colorida, mas quase sempre aparece diluída ou revestida com uma reflexão "branca" da superfície de verniz. Em tintas e esmaltes, as partículas de pigmento, que são usualmente opacas, são suspensas num veículo, como óleo ou plástico. As partículas de um corante são bem mais finas, comumente transparentes ou translúcidas e podem ser consideradas como uma substância que colore, numa solução.

Características do Olho - Estes fatores físicos descritos são complementados com os psicofísicos, que afetam o olho e o cérebro. Depois que a luz deixa o objeto e entra no

olho, a energia é transformada em impulsos; as características de resposta do olho e a interpretação do cérebro dos impulsos nervosos se faz antes da impressão final da cor. Uma das características do olho é o efeito no qual uma luz colorida num cômodo vai sendo anulada na medida em que o olho vai-se acostumando com o ambiente. O olho se torna adaptado às condições e reage de acordo, tendendo a tornar a média de tonalidade da cena acromática ou neutra. Nem todas as pessoas são iguais em seu julgamento de cor: além de físico e psicofísico, ele depende da experiência da pessoa, treinamento, saúde, fadiga e outras circunstâncias. As cores criam sensações definidas, como "calor" ou "frio" psicológico. Verdes e azuis são consideradas cores frias; as cores quentes são vermelhos, laranjas e marrons.

Temperatura da Cor - A cor da luz de muitas fontes pode ser expressa numa escala cor-temperatura; aplicada a uma fonte de luz, a designação cor-temperatura se refere à temperatura absoluta em graus Kelvin de um radiado teórico de corpo negro, cuja aparência de cor equipara a gradação da fonte em questão. Tal corpo é negro na temperatura do cômodo, vermelho a 800°K , amarelo a 3000°K , branco a 5000°K , azul pálido a 8000°K e azul brilhante a 60000°K .

A designação específica de temperatura da cor se aplica apenas a fontes incandescentes. É uma especificação tanto do grau de brancura (cromaticidade) como da distribuição espectral da fonte. O termo temperatura da cor apa-

rente é comumente usado para especificar o grau de bran-
cura das lâmpadas fluorescentes, mas não indica sempre
uma distribuição espectral específica, desde que a maior
parte das distribuições espectrais podem produzir a mes-
ma aparência de cor.

A cor-temperatura e a temperatura da cor aparente tem va-
lores aproximados:

chama de vela - 2000°K

lâmpadas fluorescentes branca morna e branca morna de lu-
xe - 3000°K

lâmpada de filamento (bulbo de filtro azul) 500 watts luz
do dia - 4000°K

lâmpadas fluorescentes branca fria e branca fria de luxe
e chroma 55 - 4500°K

lâmpada photoflood azul - 5000°K

lâmpada fluorescente luz do dia e céu coberto - 6500°K

Mistura de Cor, Gradação e Sombreamento - As fontes ideais
de luz para o trabalho industrial de cor são, a princípio,
o sol e o céu. A luz do sol varia de cerca de 1800°K à
5300°K, enquanto a luz do céu vai de 7000°K a 28000°K. Um
dos iluminantes capaz de se aproximar da luz do dia para
o uso em gradação e inspeção de cor é uma fonte incandes-
cente modificada por filtros, de forma a produzir uma dis-
tribuição de energia espectral igual àquela que o traba-
lhador esteja acostumado. Combinações de lâmpadas fluo-
rescentes e incandescentes são, a seguir, as melhores fon-
tes de luz do dia simulada. As melhores lâmpadas para se-

rem usadas na gradação e mistura de cor são a chroma 55 e a branca fria de luxe, pois tem quase que iguais quantidades de energia em todas as partes do espectro.

Os níveis de iluminação entre 200 e 400 fc são os mais indicados para a maior parte dos trabalhos de cor. Objetos com acabamento brilhante devem ser iluminados e posicionados de forma que as imagens refletidas não obscureçam detalhes importantes. Na maior parte dos trabalhos de inspeção de cor, uma área espaçosa com luminária de baixa claridade é preferível, particularmente quando são vistos objetos tridimensionais.

Diagrama de Cromaticidade - O diagrama de cromaticidade especifica a cor em termo de luzes teóricas. Com este sistema, todas as cores possíveis podem ser descritas matematicamente por meio de duas coordenadas em um mapa de cor. A determinação das coordenadas de cor de uma fonte de luz é completada por cálculos que envolvem a emissão espectral ou a reflectância determinada por um espectroradiômetro combinada com as curvas de resposta representando o padrão internacional. Os cálculos indicam quanta luz de cada cor primária (vermelho, verde e azul) devem ser misturadas para produzir determinada cor. As cores espectrais ficam próximas ao perímetro da curva; estas são as cores mais puras ou saturadas que podem ser produzidas. Todas as cores vão-se embranquecendo próximo ao centro do diagrama. Desde que todas as cores são misturas de comprimentos de onda espectrais, todas as cores estão dentro da curva.

Lâmpadas - A luz pode ser focalizada e enfatizar a textura ou mostrar a configuração; pode mudar a aparência da forma e do tamanho, assim como as relações de cores dos objetos, e visualmente alterar o espaço. Alguns objetos podem parecer da mesma cor sob certa fonte de luz, quando na realidade são diferentes na composição do espectro (cores metaméricas). Se a fonte de luz for trocada, as diferenças se tornam aparentes.

O desenvolvimento em fontes de luz de descarga de alta intensidade, particularmente o mercúrio branco de luxe, metal halóide e tipos de sódio de alta pressão, oferecem diversas novas opções e vantagens que não eram disponíveis com fontes de luz fluorescente e incandescente. A vida longa, alta eficiência e controle ótico disponíveis nestas novas fontes de luz, reduzem os sistemas de custos dando maior flexibilidade ao uso. O rendimento de cores e os tons de cor de cada fonte tem vantagens para as várias instalações, como as luzes brilhantes e focalizadas que acentuam objetos e espaços em contraste com o ambiente monótono e sem sombra criado pelas lâmpadas fluorescentes.

As lâmpadas incandescentes de iluminação geral produzem de 17 a 23 lumens de luz por watt de força consumido, dependendo da potência, vida e características físicas. A carga de energia irradiada das lâmpadas incandescentes está na região invisível infravermelho do espectro. As lâmpadas fluorescentes brancas produzem cerca de 50 a 80 lumens por watt, dependendo do tamanho e tipo. Lâmpadas

de mercúrio emitem 50 a 55 lm/w; lâmpadas de multivapor, de 80 a 90 lm/w.

Selecionar uma fonte de luz "branca" com base somente na sua aparência de cor ou suas propriedades de rendimento de cor é raramente feito para iluminação geral. A eficiência (lumen por watt consumido) é da maior importância, assim como a facilidade de proteção (uso do quebra-luz), controle direcional, manutenção e economia do sistema global.

As lâmpadas incandescentes são geralmente consideradas um pouco melhores que as outras, em se tratando de rendimento de cor. Elas não mostram as cores mais naturalmente; porém, através de décadas de uso, a tendência tornou-se toma-las como norma. Um bom rendimento é geralmente interpretado como significando a aparência "familiar", isto é, as cores que os objetos assumem por serem frequentemente vistos sob determinado tipo de luz. A cor e a interpretação de cor são mais funções de preferências individuais do que funções de fontes de luz. As pessoas estão familiarizadas com os efeitos da luz do dia que enfatiza as cores frias e familiarizadas com os efeitos de cor das lâmpadas incandescentes, que acentuam as cores quentes. Esta situação é composta pelos efeitos da memória, atmosfera, ambiente e preferências pessoais por cores, até o ponto em que cores "verdadeiras" e "verdadeira interpretação de cor" se tornam muito subjetivos. A escolha de quais lâmpadas usar para cada situação vai variar de acordo com preferências pessoais. A proprie-

dade da interpretação das cores dos tipos de lâmpada pode, entretanto, auxiliar os relativos efeitos de cor nas opções de fontes de luz branca.

Algumas lâmpadas tendem a "achatar" as cores dos objetos, isto é, elas enfatizam a cor dominante do objeto enquanto desenfaticam as cores complementares. Por exemplo, as fluorescentes branca morna e branca morna de luxo e todas as lâmpadas incandescentes ressaltam os tons quentes dos objetos; a mais eficiente fluorescente branca morna falha na capacidade de ressaltar vermelhos, mas enfatiza outros tons quentes. A branca morna de luxo é usualmente recomendada para residências e outras aplicações com iluminação predominantemente social. Quando uma atmosfera mais fria é desejada, as lâmpadas de mercúrio branco de luxo são mais frequentemente usadas porque "achatam" as cores frias. Isto resulta numa atmosfera que é relacionada a maior iluminação ou a atividades como as de escritórios, escolas, fábricas e muitas lojas. Entre as lâmpadas fluorescentes, a branca fria de luxo e a chroma 55 são recomendadas para áreas onde o rendimento de cor é importante. Lâmpadas de mercúrio são satisfatórias no seu rendimento de preto, branco e cinza, mas a escassez de vermelho e a concentração de azul, verde e amarelo em poucas faixas estreitas fazem delas fontes pobres para a produção das aparências das cores quentes. Tem havido aperfeiçoamentos nestas lâmpadas através da adição de coberturas de phosphor. A mais significativa destas é a branca phosphor de luxo, que produz rendimento de cor tão aceitável quanto o da branca fria. A lâmpada lucalox pro-

duz uma atmosfera ensolarada por causa de sua grande quantidade de energia amarela e laranja e reduzido azul. A lâmpada lucalox comum, assim como a lâmpada de multi-vapor, é mais frequentemente usada onde o rendimento de cor é inferior à eficácia.

Classificação e Efeitos dos Tipos de Lâmpadas:

- 1 - nome da lâmpada
 - 2 - eficácia (lumens/watt)
 - 3 - efeito da aparência da lâmpada em superfícies neutras
 - 4 - efeito no ambiente
 - 5 - cores fortalecidas
 - 6 - cores acinzentadas
 - 7 - efeito no aspecto das pessoas
 - 8 - anotações
-
- 1.1 - branca fria
 - 1.2 - alta
 - 1.3 - branca
 - 1.4 - neutro a moderadamente frio
 - 1.5 - laranja, amarelo, azul
 - 1.6 - vermelho
 - 1.7 - rosa pálido
 - 1.8 - mistura-se com a luz natural do dia - boa aceitação de cor
-
- 2.1 - branca fria de luxo
 - 2.2 - média
 - 2.3 - branco

- 2.4 - neutro a moderadamente frio
- 2.5 - todas aproximadamente iguais
- 2.6 - nenhuma apreciavelmente
- 2.7 - natural
- 2.8 - melhor rendimento de cor - simula a luz natural do dia

- 3.1 - branca morna
- 3.2 - alta
- 3.3 - branco amarelado
- 3.4 - quente
- 3.5 - laranja, amarelo
- 3.6 - vermelho, verde, azul
- 3.7 - pálido
- 3.8 - mistura-se com a luz incandescente - pobre aceitação de cor

- 4.1 - branca morna de luxo
- 4.2 - média
- 4.3 - branco amarelado
- 4.4 - quente
- 4.5 - vermelho, laranja, amarelo, verde
- 4.6 - azul
- 4.7 - corado
- 4.8 - bom rendimento de cor - simula a luz incandescente

- 5.1 - luz do dia
- 5.2 - média-alta
- 5.3 - branco azulado
- 5.4 - muito frio



- 5.5 - verde, azul
- 5.6 - vermelho, laranja
- 5.7 - acinzentado
- 5.8 - usualmente substituível por branca fria

- 6.1 - branca
- 6.2 - alta
- 6.3 - branco amarelado pálido
- 6.4 - moderadamente quente
- 6.5 - laranja, amarelo
- 6.6 - vermelho, verde, azul
- 6.7 - pálido
- 6.8 - usualmente substituível por branca fria ou branca morna

- 7.1 - branca suave/natural
- 7.2 - média
- 7.3 - branco púrpura
- 7.4 - quente rosado
- 7.5 - vermelho, laranja
- 7.6 - verde, azul
- 7.7 - rosa corado
- 7.8 - fontes tingidas usualmente substituíveis por branca fria de luxo ou branca morna de luxo

- 8.1 - chroma 55
- 8.2 - média
- 8.3 - branco
- 8.4 - neutro
- 8.5 - todas aproximadamente iguais

- 8.6 - nenhuma apreciavelmente
- 8.7 - natural
- 8.8 - melhor rendimento de cor - simula a luz do dia

- 9.1 - filamento
- 9.2 - baixa
- 9.3 - branco amarelado
- 9.4 - quente
- 9.5 - vermelho, laranja, amarelo
- 9.6 - azul
- 9.7 - bastante corado
- 9.8 - bom rendimento de cor

- 10.1 - mercúrio claro
- 10.2 - média
- 10.3 - branco azul esverdeado
- 10.4 - muito frio, esverdeado
- 10.5 - amarelo, verde, azul
- 10.6 - vermelho, laranja
- 10.7 - esverdeado
- 10.8 - rendimento de cor muito pobre

- 11.1 - mercúrio branco
- 11.2 - média
- 11.3 - branco esverdeado
- 11.4 - moderadamente frio, esverdeado
- 11.5 - amarelo, verde, azul
- 11.6 - vermelho, laranja
- 11.7 - muito pálido
- 11.8 - rendimento de cor moderado

- 12.1 - mercúrio branco de luxe
 - 12.2 - média
 - 12.3 - branco púrpura
 - 12.4 - quente, púrpura
 - 12.5 - vermelho, amarelo, azul
 - 12.6 - verde
 - 12.7 - corado
 - 12.8 - aceitação de cor similar à branca fria fluorescente
-
- 13.1 - multi-vapor
 - 13.2 - alta
 - 13.3 - branco esverdeado
 - 13.4 - moderadamente frio, esverdeado
 - 13.5 - amarelo, verde, azul
 - 13.6 - vermelho
 - 13.7 - acinzentado
 - 13.8 - aceitação de cor similar à branca fria fluorescente
-
- 14.1 - lucalox
 - 14.2 - alta
 - 14.3 - amarelado
 - 14.4 - quente, amarelado
 - 14.5 - amarelo, laranja, verde
 - 14.6 - vermelho, azul
 - 14.7 - amarelado
 - 14.8 - aceitação de cor próxima à da branca morna fluorescente

Escolha das Lâmpadas Fluorescentes Brancas - As lâmpadas fluorescentes brancas se dividem em dois grupos, de acor-

do com as propriedades de rendimento de cor. As lâmpadas branca fria e branca morna são projetadas para prover alta eficiência com rendimento de cor aceitável. A branca fria de luxo, a chroma 55 e a branca morna de luxo são projetadas para dar aos objetos coloridos uma aparência natural; elas são cerca de 25% menos eficientes mas o efeito mais intenso produzido pelo melhoramento da cor ultrapassa significativamente o efeito da redução da claridade dos objetos iluminados.

As lâmpadas branca fria e branca morna são mais fortes na radiação laranja e amarelo-esverdeado, relativamente fracas em vermelho e verde. Nas lâmpadas branca fria de luxo e chroma 55 há maior suprimento de vermelho e verde, assim como nas branca morna de luxo. A diferença de cor entre as lâmpadas branca fria e branca morna é relativamente sutil, sendo que as branca fria emitem mais luz azul. A mudança de uma para outra, especialmente em cômodos com esquemas de cor quente, produz uma diferença relativamente pequena na aparência dos objetos coloridos antes que os olhos se tornem adaptados à mudança. Quando ambas (fria e morna) são usadas em cômodos adjacentes, o efeito é mais perceptível. As lâmpadas branca fria e branca fria de luxo parecem idênticas aos olhos quando acesas. As lâmpadas branca morna e linha doméstica tem as mesmas características. Somente pela comparação dos efeitos num objeto ou material colorido é que as diferenças se tornam evidentes. Sempre que o rendimento de cor, tanto para pessoas como para materiais é significativo, as lâmpadas branca fria de luxo, chroma 55 e linha doméstica são re-

comendadas. Todos os espaços públicos, residências, restaurantes, hospitais, clínicas, salas de aulas, museus e quase todas as lojas estão nessa divisão. Para a maior parte dos espaços industriais e escritórios, as lâmpadas de alta eficiência são geralmente escolhidas. Para a impressão de cores e processamento de alimentos ou em qualquer processo industrial no qual são selecionados ou graduados materiais coloridos ou onde ligeiras diferenças no matiz são significantes, as lâmpadas de cor corrigida são recomendadas.

Em cômodos de chave alta (mais footcandle) os esquemas de cor escolhidos são usualmente na escala de cores frias. Interiores de chave baixa são geralmente feitos em tons quentes; aqui, são preferíveis as lâmpadas incandescentes ou as fluorescentes branca morna e linha doméstica. As lâmpadas fluorescentes de cores antigas, branca 3500 graus, branca suave e luz do dia tem uma aparência branco azulada e acentuam o azul nos tecidos e materiais. A luz do dia ainda é usada em trabalho de cor, especialmente em impressão, mas nas novas instalações já está sendo superada. Parte da preferência por ela e por outras cores antigas é sem dúvida devido à falta de experiência com as cores melhoradas.

Algumas lâmpadas analisadas acima não são encontradas no mercado nacional. Esta deficiência ocorre tanto no campo da qualidade como na quantidade. As lâmpadas de 15 watts tem uma produção industrial muito reduzida e alguns tipos de 15 watts são importados. A tendência é padronizar-se

a produção industrial a partir de lâmpadas de 20 watts com bulbo T-12 ou tipo universal. Quanto ao rendimento de cor, somente a chroma 55 é fabricada no Brasil. É uma lâmpada com temperatura de cor compreendida entre 5500°K e 3000°K, disponível nas potências de 20 watts e 40 watts, com comprimentos de 61 cm e 122 cm, respectivamente. As de 20 watts tem como características: fluxo luminoso após 100 horas de funcionamento; 770 lm; vida de 7500 horas considerando-se 3 horas de operação contínua por partida, desde que as lâmpadas funcionem com reatores que obedeçam as normas técnicas.

Qualidade de Cor, Esquemas de Cor, Efeitos Psicológicos - De um modo geral, não há diferença na eficácia visual entre iluminação fluorescente e de filamento. Entretanto, quando a iluminação é baixa, a iluminação fluorescente (especialmente a branca fria ou luz do dia) usada sozinha pode ter um efeito psicológico menos agradável em determinados indivíduos que o mesmo nível de iluminação com lâmpadas de filamento. A principal causa pode ser a falta de focos, sombras e brilhos como os geralmente produzidos pela iluminação incandescente.

A cor, como parte da tarefa de ver, pode ser usada para melhorar o contraste. Enquanto o branco e preto são combinações adequadas para tarefas contínuas como a leitura de um livro, certas combinações de cor tem um grande valor em termos de atenção. Preto sobre amarelo é mais legível e as combinações que seguem são verde sobre branco, vermelho sobre branco, azul sobre branco, branco sobre azul

e preto sobre branco. A cor da luz usada pode aumentar o contraste tanto por intensificação como por suavização de certas cores inerentes à tarefa de ver. Para intensificar uma cor, a fonte de luz deve ser forte nesta cor, para suavizar, a fonte deve ter uma produção relativamente baixa naquela cor.

Objetos tridimensionais são vistos na sua forma aparente por causa das sombras e focalizações resultantes de certos componentes direcionais da luz. Este efeito direcional é particularmente útil na ênfase de texturas e defeitos em superfícies irregulares.

Escolha das Lâmpadas Elétricas - Existem tres tipos mais importantes de lâmpadas disponíveis para uso industrial: lâmpadas de filamento de tungstênio, lâmpadas de descarga de vapor de mercúrio com correção de cor e tubos de descarga fluorescente. Em geral, tubos e lâmpadas de descarga são mais eficientes que as lâmpadas de filamento incandescente e tem uma vida mais longa; mas as lâmpadas de filamento tem custo inicial baixo e são mais simples para instalar e mais fáceis de serem mantidas. Todas as lâmpadas de descarga (com a exceção de certas lâmpadas de mercúrio/tungstênio) requerem mecanismo auxiliar para serem usadas.

Lâmpadas de Filamento de Tungstênio - Produzem luz quando o fio de tungstênio que se encontra dentro do vácuo de um envelope de vidro é aquecido pela passagem da corrente elétrica, até a incandescência. A cor da luz e a-

ceitável para muitos propósitos.

Lâmpadas de Descarga de Mercúrio - Incorretas para cor, na qual a descarga produz luz de cor característica azul esverdeada, da cerca de duas vezes mais luz que as lâmpadas de filamento de vtagem similar, mas são impróprias para iluminação de áreas onde pessoas trabalham por qualquer duração de tempo. As lâmpadas fluorescentes de mercúrio com correção de cor tem incorporadas um bulbo externo coberto na parte interior por um material fluorescente que usa parte da radiação ultra-violeta não desejada para produzir mais luz cor de laranja e vermelha, corrigindo assim, até certo ponto, a cor da luz emitida pela descarga. Estas lâmpadas tem uma eficiência similar às lâmpadas de descarga livre.

Lâmpadas Combinadas de Mercúrio/Tungstênio - Consistem de um tubo de descarga de quartzo de mercúrio com um filamento de tungstênio ligado em série, que atua como fonte de luz e como resistência estabilizadora para controle da corrente no tubo de descarga e para faze-lo independente do mecanismo externo. A combinação da luz azul-esverdeada da descarga do mercúrio e a luz amarelo-avermelhada do filamento de tungstênio produz uma cor melhor que a lâmpada de mercúrio. A luz produzida é somente cerca de 20% maior que as das lâmpadas de filamento de vtagem similar, mas a vida mais longa deste tipo de lâmpada é uma vantagem no uso industrial.

Tubos Fluorescentes de Catodo Quente - São o tipo mais

comum de lâmpada fluorescente. O material fluorescente reveste a parte interior do tubo aonde se dá a descarga e o tubo deve ser relativamente longo para manter a temperatura baixa. Estes tubos estão disponíveis numa ampla linha de cores.

Tubos Fluorescentes de Catodo Frio - Operam num princípio similar aos tubos de catodo quente, mas são geralmente feitos em maior comprimento. Eles são menos eficientes mas tem a vantagem de uma vida bastante longa, com a consequente redução nos custos de manutenção e são apropriados para lugares menos acessíveis.

Abaixo estão catalogados os tipos de lâmpadas mais comuns usados em fábricas e suas principais características: eficácia, avaliação de duração, e cor. Estes fatores afetam a escolha da lâmpada para qualquer instalação particular; mas deve-se ainda levar em consideração custos iniciais das lâmpadas, acessórios, mecanismos auxiliares e custos de operação e manutenção.

- 1 - tipo de lâmpada
- 2 - potência
- 3 - perda aproximada em watts
- 4 - média de produção de luz durante a vida (lumens)
- 5 - eficácia (lumens/watt) - inclusive mecanismo
- 6 - média de vida (horas)
- 7 - anotações

1.1 - filamento de tungstênio

1.2 - 300

500

1000

1.3 - não há

1.4 - 4300

7700

17300

1.5 - 14

15

17

1.6 - 1000

1.7 - baixo custo inicial, rendimento de cor aceitável para condições normais, não é próprio para uso complementar da luz do dia

2.1 - mercúrio fluorescente (MBF/U)

2.2 - 400

1000

2.3 - 25

50

2.4 - 18800

48000

2.5 - 44

46

2.6 - 5000

2.7 - melhor rendimento de cor comparado com as lâmpadas de mercúrio não-corrigido

3.1 - mercúrio/tungstênio (MBT/U)

3.2 - 250

500

- 3.3 - não há
- 3.4 - 4400
9500
- 3.5 - 18
19
- 3.6 - 3000
- 3.7 - melhor rendimento de cor, nenhum mecanismo de controle é requerido

- 4.1 - tubos fluorescentes (catodo quente, 5 pés)
- 4.2 - 80
- 4.3 - 15
- 4.4 - 4640 (branca)
4480 (luz do dia)
3360 (natural)
3040 (combinação de cor)
- 4.5 - 49
47
35
32
- 4.6 - 5000
- 4.7 - a não ser que o julgamento de cor esteja envolvido na tarefa, lâmpadas de alta eficiência são normalmente usadas

- 5.1 - tubos fluorescentes (catodo frio, 9 pés, 6 polegadas)
- 5.2 - 67.5
- 5.3 - 10
- 5.4 - 2000
3000

5.5 - 25

35

5.6 - 15000

5.7 - similar em cor aos tubos de catodo quente, mais baixa eficácia, vida muito mais longa

Quantidade e Qualidade de Iluminação

Princípios da Boa Iluminação - São comuns tanto para a luz do dia como para a luz artificial, levando em consideração os seguintes fatores:

- 1 - prover visibilidade adequada a fim de que as tarefas possam ser desempenhadas nos padrões requeridos de velocidade e precisão;
- 2 - prover níveis de iluminação que resultem no máximo de segurança e ausência de inabilidade de visão e de desconforto visual;
- 3 - prover condições de iluminação que permitam a alguém trabalhar com o mínimo de esforço.

Quantidade de Luz - A quantidade de luz necessária para o bom trabalho depende da natureza do trabalho, da agudeza da visão do trabalhador e do ambiente no qual o trabalho é feito. A mínima quantidade de luz requerida para leitura, escrita e tarefas manuais é cerca de um foot-candle.

O padrão de desempenho visual, não inferior a 90% do desempenho máximo da tarefa visual permitida pelas condições ideais de iluminação tem sido adotado como um meio-termo razoável entre a eficiência e a economia. Para se alcançar 100% do desempenho visual seria necessário níveis da mesma ordem da luz do dia ao ar livre.

Pode-se medir o nível de iluminação num local de trabalho através do uso de um medidor de luz e depois compara-se este valor com o padrão recomendado para o tipo de

trabalho. Em algumas tarefas onde a demanda visual é pequena, são recomendáveis níveis de iluminação baseados em padrões de bem estar, segurança e comodidade. Para estas tarefas, o mínimo de iluminação é de 15 footcandles.

Tarefa Visual	Iluminação Recomendada (Footcandles)
Montagem e inspeção de lojas:	
trabalho grosseiro	15
trabalho médio	30
trabalho delicado	70
trabalho muito delicado	150
Trabalho de tecelagem (algodão e linho):	
tecido claro	30
tecido escuro	70
inspeção de tecidos	70
Trabalho em chapa de metal	20
Fabricação de chapa, moldagem de plástico	20
Trabalho em madeira:	
serrar grosseiro	15
aplainar, trabalho médio em máquina	20
trabalho delicado em bancada, em máquinas, acabamentos	30

Iluminação do Trabalho e do Meio Ambiente - Em qualquer local de trabalho uma pessoa pode ver sua própria tarefa, o fundo imediato à tarefa e o ambiente mais geral (paredes, teto, chão e objetos). Seus olhos tendem a ser atraídos para as partes mais brilhantes e coloridas do campo visual e assim, luz e cor devem ser usados para fazer da tarefa ou da área de trabalho o foco da atenção. A luz deve ser dirigida para sobre o trabalho, ou uma iluminação local especial deve ser providenciada para as necessidades do trabalho e também para o nível geral de iluminação. O nível de claridade requerido para qualquer tarefa é determinado parcialmente pelo grau de detalhe a ser observado pelo operador e o tempo permitido a ele para observação; parcialmente pelas características de reflexão do próprio trabalho e pelo nível geral de iluminação no cômodo. Na prática, a iluminação deve ser planejada primeiro em relação às necessidades do operador para o próprio trabalho e depois as demais partes do cômodo.

Quantidade de Iluminação - A quantidade de iluminação geralmente se refere a um nível de iluminação específico de footcandles numa superfície ou plano. O nível de iluminação pode ser selecionado de uma ou várias formas, mas deve ser escolhido tendo em vista as melhores condições de visão possíveis, dentro das limitações práticas e econômicas.

Basicamente, a visão depende de quatro fatores fundamentais: o tamanho visual do objeto ou detalhe, o contraste

entre o objeto e o fundo, a claridade do objeto e o tempo disponível para se ver o objeto.

Um conceito básico associado com o aumento de iluminação é que a escala de eficácia de footcandles está em níveis aproximadamente geométricos 10, 20, 50, 100, 200, 500, etc. Em outras palavras, como é indicado pela progressão, a iluminação deve ser aproximadamente dobrada para produzir aumento igual e significativo no efeito visual.

Para tarefas de alto contraste com cores predominantemente leves, a pessoa normal pode tolerar uma larga escala de iluminação, como de 1 a 500 footcandles. Abaixo ou acima desta escala, a pessoa normal sabe quando não está apta a ver ou quando o trabalho está inconfortavelmente brilhante. Entre estes limites, não há nenhum gabarito construído para determinar a facilidade da visão.

O nível ótimo de iluminação para muitas das mais difíceis tarefas de visão na indústria requer de 5000 a 10000 fc. Estes níveis não são obtidos de forma econômica com os sistemas de iluminação geral. Recomendações baseadas na melhor proporção entre custo e benefícios está geralmente entre 50 a 500 footcandles.

Qualidade - A qualidade de iluminação diz respeito à distribuição de brilho no campo visual inteiro. Qualquer coisa feita para modificar o padrão-brilho num espaço afeta a qualidade da iluminação, como mudanças no esquema geral de cor ou mesmo uma mudança nos objetos do local.

Ofuscamento - O ofuscamento pode causar desconforto ou reduzir a habilidade de visão. Ele ocorre quando algumas partes do campo visual são excessivamente claras em relação ao nível geral de claridade. O grau de ofuscamento como resultado direto de fontes de luz depende de ~~tais~~ fatores como claridade e área das fontes, sua posição no campo visual do operador e a média de claridade do ambiente contra o qual eles são vistos.

O ofuscamento quase sempre causa desconforto sem afetar a habilidade do operador para ver seu trabalho, particularmente em ambientes muito claros. É possível evitar-se este desconforto pela redução do contraste entre as fontes de luz, tanto do dia quanto artificial, e o meio ambiente. A claridade e a área de fontes de luz visíveis devem ser limitadas e graduadas na claridade do meio ambiente. Não deve haver nenhuma diferença marcante entre o trabalho e o ambiente à sua volta; uma mudança gradual na claridade e na cor é desejável.

O reflexo das fontes de luz em superfícies polidas ou envernizadas pode causar ofuscamento. A luz refletida na superfície de uma máquina, por exemplo, pode distrair e impedir o operador de ver claramente detalhes essenciais como graduações numa escala. Normalmente, a solução é mudar superfícies polidas por foscas; mas o efeito pode ser reduzido pela troca de posição das fontes de luz, pela diminuição de claridade das fontes ou pelo uso de superfícies claras para fundo imediato da tarefa.

Há um método de controle de ofuscamento que determina os limites de tolerância de desconforto de ofuscamento baseado em práticas de iluminação industrial e está relacionado a condições diversas de ocupação. O valor do índice de ofuscamento para qualquer instalação proposta pode ser obtido através de tabelas que são comparadas com os limites recomendados pelo índice de ofuscamento apropriado ao ambiente particular e tarefa visual. As recomendações reconhecem três categorias:

- 1 - Lugares onde nenhum ofuscamento pode ser permitido - limite do índice de ofuscamento: 10
- 2 - Lugares onde o ofuscamento deve ser mantido num mínimo - limite do índice de ofuscamento: 13
- 3 - Lugares onde o ofuscamento de diferentes níveis pode ser permitido, dependendo da demanda visual e psicológica do trabalho a ser feito - limite do índice de ofuscamento: variando entre 16 e 28

Os valores de limitação do índice de ofuscamento não se correlatam com os níveis de iluminação recomendados. Em teatros hospitalares de operação, por exemplo, é requerido um alto nível de iluminação enquanto que o ofuscamento deve estar completamente eliminado, sendo especificado o índice 10 de ofuscamento. Nas alas hospitalares um baixo nível de iluminação e de ofuscamento (13) são recomendados. A tabela que segue dá os limites do índice de ofuscamento para as tarefas industriais que estão na tabela anterior (iluminação recomendada) e será visto que, em geral, quanto maior a dificuldade da tarefa visual,

maior é o nível de iluminação e menor é o índice de ofuscamento.

Tarefa Visual	Limite do Índice de Ofuscamento
Montagem e inspeção de lojas:	
trabalho grosseiro	28
trabalho médio	25
trabalho delicado	22
trabalho muito delicado	19
Trabalho de tecelagem (algodão e linho):	
tecido claro	19
tecido escuro	19
inspeção de tecidos	19
Trabalho em chapa de metal	25
Fabricação de chapa, moldagem de plástico	25
Trabalho em madeira:	
serrar grosseiro	22
aplainar, trabalho médio em máquina	22
trabalho delicado em bancada, em máquinas, acabamentos.	22

Brilho - O brilho é produzido de tres formas: por um objeto com luz própria, como o bulbo de uma lâmpada de cuja fonte a energia de luz gerada vem diretamente aos olhos; por energia de luz transmitida por objetos, como uma luminária translúcida; ou por reflexão, como a superfície de um refletor numa luminária e a maior parte dos objetos e superfícies. O brilho em footlamberts de uma parede num cômodo está relacionado aos footcandles de iluminação sobre ela. Por exemplo, se a parede é uniformemente iluminada a 20 footcandles e reflete metade deles, sua claridade é 10 footlamberts. Deve ser notado que da definição de brilho o que é considerado é a área projetada da superfície. O brilho é às vezes denominado de concentração de intensidade luminosa. Se a luminária é esférica e a intensidade luminosa da lâmpada é conhecida:

$$\text{brilho} = \frac{\text{intensidade luminosa} \times \text{eficácia}}{\text{raio}^2 \text{ do globo}}$$

Proporções de Brilho - Teoricamente, as condições ideais de visão são alcançadas quando o ambiente completo está uniformemente brilhante; isto literalmente significaria um local com paredes, teto, chão e acessórios, todos brancos. No entanto, é necessário haver contrastes de brilho e devem haver objetos nos quais o olho possa se focalizar para dar à pessoa uma orientação no espaço.

Proporções de Luminâncias Máximas Recomendadas - Proporções práticas de brilho tem sido estudadas e as recomendações sobre estas proporções estão na tabela que segue:

Proporções Máximas de Luminância:

	Classificação Ambiental		
	A	B	C
entre tarefa e ambiente próximo mais escuro	3 a 1	3 a 1	5 a 1
entre tarefa e ambiente próximo mais claro	1 a 3	1 a 3	1 a 5
entre tarefa e superfícies distantes mais escuras	10 a 1	20 a 1	x
entre tarefa e superfícies distantes mais claras	1 a 10	1 a 20	x
entre luminárias (ou janelas, luz do céu, etc) e superfícies adjacentes a elas	20 a 1	x	x
qualquer lugar dentro do campo normal de vista	40 a 1	x	x

As classificações ambientais são:

A - áreas interiores cujas reflectâncias do espaço inteiro podem ser controladas de acordo com as recomendações para condições ótimas de visão;

B - áreas cujas reflectâncias da área imediata de trabalho podem ser controladas, mas o controle do ambiente distante é limitado;

C - áreas (interior e exterior) onde é completamente não prático o controle de reflectância e difícil a alteração das condições ambientais.

x - o controle da proporção da luminância não é prático.

Estas proporções acima são recomendadas como máximas; reduções são geralmente aconselháveis.

Valores de Reflectância Recomendados (aplicáveis às classificações ambientais A e B):

Superfícies	Reflectância (porcentagem)
teto	80 a 90
paredes	40 a 60
escrivaninhas e bancadas, máquinas e equipamentos	25 a 45
assoalhos	não menos que 20

A reflectância deve ser mantida tão próxima quanto possível aos valores recomendados acima.

Quantidade de Iluminação e Desempenho Visual - A determinação preliminar da quantidade de iluminação requerida para objetos que devem ser vistos com a visão foveal pode ser baseada na relação entre iluminação e desempenho. A quantidade de iluminação deve levar em consideração outros fatores tais como evitar a fadiga, custos psicológicos e fisiológicos que se refletem na avaliação do desem-

penho, a economia e os efeitos culturais e emocionais da luz. Desde que as características das tarefas visuais variam grandemente, a solução ideal envolveria dados experimentais completos para cada tarefa; no entanto, isto não é praticável e é necessário usar tais dados conforme a sua disponibilidade. Os métodos e instrumentação usados diferem consideravelmente e assim a avaliação do desempenho visual pode resultar em recomendações diferentes para tarefas similares. As razões para tais diferenças devem ser entendidas a fim de que se possa selecionar os dados fundamentais para a especificação da iluminação.

Requerimentos de Visão - Em interiores comerciais ou industriais, é necessário que se entenda todos os detalhes do trabalho ou atividades na área a ser iluminada, antes de se projetar o sistema de iluminação. Por exemplo, num departamento de inspeção industrial, é necessário saber-se exatamente o que vai ser julgado ou inspecionado. A habilidade de ver detalhes depende grandemente do brilho, formas, cores e outros elementos do ambiente próximo.

Brilho na escala de 300 a 400 fL para tarefas similares à leitura de uma cópia de cor clara com conforto visual requer um sistema de iluminação distribuindo 500 a 1000 footcandles no plano de trabalho. Com materiais de cor escura, 5000 a 10000 fc devem ser escolhidos. O nível de 10000 fc está sendo produzido atualmente em áreas pequenas e críticas, tais como mesas de operação para cirurgia no cérebro.

Iluminação Suplementar - É a iluminação usada em conjunto

com o sistema geral de iluminação. Para tarefas próximas ou prolongadas ou para interiores nos quais os ocupantes ficam voltados para as luminárias por longo tempo, o sistema deve ser planejado de tal forma que as regras de proporção de brilho sejam respeitadas. Em displays de mercadorias, uma escala mais ampla de brilho é geralmente permissível, de forma a se obter o máximo valor de atenção. Um nível uniforme de iluminação, como fornecido por um sistema de iluminação geral, não é satisfatório em muitos ambientes. A iluminação geral pode suprir uma necessária abundância de luz, mas não criar uma qualidade de iluminação no melhor sentido; quase sempre deve ser incluída uma iluminação suplementar por razões qualitativas, práticas, psicológicas, etc.

Design de Sistemas de Iluminação

Design de Iluminação - Ver é uma atividade que requer a consideração de muitos fatores de forma a fornecer a capacidade visual ótima. É necessário individualizar situações visuais típicas e determinar para cada uma a iluminação adequada para que os objetos possam ser vistos com visão central e periférica, isto é, adequada para assegurar o nível desejado de rapidez e precisão no desempenho das tarefas e garantir a segurança. É necessário considerar o efeito de todas as luminâncias no campo visual em termos de desconforto, interferência na habilidade visual, orientação no espaço, adaptação, contração da pupila e acomodação. Desde que o trabalhador pode desempenhar muitas tarefas no mesmo cômodo ou muitas pessoas podem ocupar um mesmo cômodo ao mesmo tempo, o design final de iluminação deve satisfazer às necessidades para cada fase da tarefa e às muitas tarefas que serão desempenhadas. O custo e a importância relativa da tarefa para a qual a luz é necessária também devem ser considerados. O ponto inicial é a determinação do nível de iluminação.

Luz do Dia - As janelas ou clarabóias de uma fábrica podem ser projetadas para dar a quantidade certa de luz do dia para determinados requisitos de produção. É importante coordenar o projeto do interior da fábrica e o plano dos serviços e maquinarias com os sistemas de iluminação durante o dia, para que eles não obstruam a luz. Em geral, o propósito no projeto para a luz natural industrial é distribuir luz uniformemente numa grande área de trabalho. Isto é possível se a luz vem de uma clarabóia em vez de vir de janelas laterais, apesar de que estas últi-

mas são desejáveis para prover relaxamento visual e contato com o exterior. Sistemas nos quais a luz do dia venha de uma só direção devem ser evitados sempre que possível. As superfícies do chão e do teto devem ser de cores claras para refletir a luz e minimizar o contraste com as áreas brilhantes. A diversidade de iluminação de 2 para 1 pode ser aceitável quando as linhas das bancadas ou das máquinas são paralelas ao brilho e não estão na direção do ângulo reto para este brilho; mas, em geral, a diversidade não deve exceder de 1.5 a 1. Se um nível mais alto de iluminação é necessário para a própria tarefa, o melhor é providenciar uma iluminação adicional artificial do que ter um nível muito alto de luz do dia sobre a área total de trabalho. A variação que ocorre na luz natural durante o dia e através do ano é desejável para o bem estar; um ambiente uniforme é desinteressante e monótono. Tais mudanças não afetam apreciavelmente o desempenho da tarefa visual, pois os olhos se ajustam prontamente às mudanças lentas no brilho sobre o trabalho, quando estas são acompanhadas por modificações semelhantes no ambiente à volta.

Complementação de Luz do Dia com Luz Artificial - A luz artificial é comumente usada em prédios industriais durante o dia, para prover luz local adicional ou para produzir efeitos especiais como modelação, silhueta e reflexos com espéculos ou para iluminar superfícies inacessíveis à luz natural. Os tres pontos a se considerar, nestes casos, são:

1 - A iluminação artificial deve ser planejada para integração contínua com a luz do dia e não só para uso depois do escurecer.

2 - A quantidade de luz suplementar deve aumentar o nível de iluminação pelo menos até onde necessário para o envolvimento das tarefas visuais e as áreas assim iluminadas devem ser favoravelmente comparadas com as áreas que recebem o máximo de luz do dia.

3 - A cor da luz suplementar deve ser suficientemente semelhante à luz do dia para prevenir qualquer diferença perceptível na cor das duas fontes ou no seu rendimento de cores.

Uma boa integração da luz artificial com a luz do dia pode aumentar o uso do espaço de chão disponível pela eliminação de zonas escuras e pela diminuição das sombras, especialmente em fábricas. Em cômodos com iluminação lateral pode-se usar mais eficientemente as áreas mais remotas das janelas, reduzindo o ofuscamento através das mesmas janelas. É importante que estas ideias não sejam levadas para a conclusão ilógica de que a luz do dia deve ser inteiramente excluída e o trabalho ser feito sob iluminação artificial. A luz do dia deve ser aproveitada sempre que possível, apesar de que em algumas áreas de montagem ou em certos processos pode ser necessária a exclusão de janelas por razões técnicas, como nos locais onde é importante se ter uma atmosfera livre de poeira, com temperatura e umidade constantes.

Manutenção da Iluminação - A limpeza é de importância vital, principalmente nas modernas instalações de iluminação, projetadas de acordo com os princípios de iluminação de boa qualidade. Quando negligenciada a iluminação, tanto a luz do dia quanto a artificial não preenchem mais adequadamente os seus propósitos e o custo relativo de prover luz útil aumenta. A eficiência da iluminação artificial se deteriora com o tempo por tres causas principais:

1 - A luz saída das lâmpadas cai gradualmente através de sua vida.

2 - Poeira ou outros depósitos reduzem a quantidade de luz refletida ou transmitida pelas superfícies dos equipamentos.

3 - As superfícies refletoras dos equipamentos se tornam permanentemente descoloridas pela idade, pela radiação das lâmpadas e pela corrosão.

Instalações de iluminação devem ser projetadas tendo em vista fácil manutenção e devem ser providas de acessos adequados e equipamentos fáceis. As lâmpadas podem ser substituídas em grupos ou por unidades, de acordo com o tipo adotado. A reposição de grupo traz vantagens em certas circunstâncias como por exemplo quando a instalação é vasta, quando os acessórios estão montados numa altura considerável ou mesmo inacessível, de tal forma que os custos do trabalho de manutenção são altos em comparação com os custos das lâmpadas, ou quando o acesso à ins-

talação se dá somente a longos intervalos por causa da natureza contínua do processo, ou quando a reposição de lâmpadas pode ser orientada com um sistema planejado para limpeza e manutenção geral.

Custos - A iluminação natural envolve os seguintes custos:

- 1 - das janelas, comparados com os das paredes e teto;
- 2 - da perda de temperatura interna através das janelas e clarabóias;
- 3 - da colocação de sombras ou persianas para evitar a luz solar direta;
- 4 - da manutenção das janelas.

O custo da iluminação artificial depende das lâmpadas e acessórios, da eficiência luminosa das lâmpadas, da eletricidade e da manutenção. O custo inicial e o contínuo de uma instalação de iluminação elétrica devem estar relacionados ao período de uso; o inicial é menos importante quando a iluminação é usada continuamente; quando é usada por instantes, ou somente depois que a luz do dia diminui, o custo inicial é parte significativa do total e um sistema de filamentos incandescentes pode então ter vantagens sobre um sistema fluorescente inicialmente mais caro.

Conclusões - Os requisitos gerais para a boa iluminação no trabalho podem ser resumidos no seguinte:

1 - Até um ponto, os olhos funcionam melhor em função de quanto mais luz eles recebem; a partir deste ponto sobrevem o ofuscamento. Pelo menos 15 footcandles devem ser providenciados para um desempenho visual adequado em trabalhos grosseiros ou não precisos e até 150 fc para trabalho delicado ou difícil.

2 - A tarefa visual deve ser mais brilhante e mais clara, mais cheia de cores que seus arredores. Um nível geral de iluminação, moderado e confortável, deve ser provido juntamente com uma iluminação especial sobre o trabalho.

3 - Nenhuma fonte de luz deve causar desconforto por causa de ofuscamento. Acessórios para iluminação artificial devem ser projetados para minimizar o ofuscamento, impedindo que a fonte de luz seja visível ao operador, enquanto ele trabalha.

4 - Luz do dia e luz artificial devem ser integradas adequadamente, onde usadas em conjunto, para fornecer iluminação geral.

5 - Fontes de luz artificial devem ser escolhidas de modo a prover um bom rendimento em se tratando de cores, especialmente quando usada durante as horas de luz do dia ou onde o trabalhador tenha que fazer um julgamento crítico de cores.

6 - Lâmpadas de descarga devem ser usadas com cuidado para minimizar os efeitos estroboscópicos ou de oscilação.

7 - A iluminação deve permitir trabalhar em conforto e com o mínimo de fadiga visual e física.

8 - Provisão adequada deve ser feita para manutenção de vidros, superfícies do cômodo e acessórios de iluminação.

9 - A máxima economia deve ser buscada no projeto de acordo com o funcionamento da iluminação.

10 - A arquitetura deve ser planejada em conjunto com a instalação de luz; a iluminação de uma construção deve sempre ser considerada em relação ao seu design. Uma boa instalação de iluminação deve ter relação profunda com o ambiente total.

Sistemas de Iluminação - Os sistemas de iluminação podem ser divididos em geral e local ou complementar. O sistema geral provê a área com iluminação uniforme e a complementar provê iluminação, cor ou distribuição de natureza específica, usualmente para satisfazer necessidades locais ou específicas. Os sistemas suplementares aumentam o sistema geral de iluminação, geralmente suprindo com centenas de footcandles certas tarefas, máquinas ou displays. Outras combinações deste tipo são geralmente usadas, como iluminação geral localizada, que é um sistema projetado de tal forma que filas de bancadas de trabalho, máquinas, etc, recebem ênfase através do espa-

çamento geral das luminárias.

Em muitos interiores a iluminação essencialmente uniforme é necessária sobre todo o plano de trabalho; em outros, pode ser preciso uma variação planejada. Quanto mais alto o grau de uniformidade, mais significativa é o valor médio de footcandles. A tabela que segue apresenta um guia empírico para o espaçamento máximo para certos tipos de luminárias, sugere a distância para a suspensão de luminárias indiretas ou semi-indiretas. Deve ser notado que até com fontes de superfície uniformemente brilhante tais como foto refletores ou difusores translúcidos, a iluminação do plano de trabalho é substancialmente reduzida próximo às paredes.

Altura de Montagem e Espaçamento de Luminárias (todos os dimensionamentos são em pés)

Altura de montagem das luminárias exceto para luminárias indiretas e semi-indiretas, usar altura do teto (acima do chão)	Distância de suspensão - para luminárias indiretas e semi-indiretas
--	---

8	1-3
9	1.5-3
10	2-3
11	2-3
12	2.5-4
13	3-4
14	3-4

15	3-4
16	4-5
18	4-5
20 ou mais	4-6

Espaçamento máximo entre luminárias:

- A - indiretas
- B - semi-indiretas
- C - difusão geral
- D - semi-diretas
- E - diretas
- F - semi-concentradas: (diretas)
- G - concentradas: (diretas)

A	B	C	D	E	F	G
9.5	9.5	8	7	7	6.5	5
10.5	10.5	9	8	8	7	5.5
12	12	10	9	9	8	6
13	13	11	10	10	9	6.5
14.5	14.5	12	11	11	9.5	7
15.5	15.5	13	12	12	10.5	8
17	17	14	12.5	12.5	11	8.5
18	18	15	13.5	13.5	12	9
19	19	16	14.5	14.5	13	9.5
22	22	18	16	16	14.5	11
24	24	20	18	18	16	12

Distância das paredes para todos os tipos de luminárias -
 1/3 da distância do espaçamento se as mesas ou bancadas

estão contra as paredes; caso contrário, 1/2 da distância do espaçamento.

O fator de manutenção de uma luminária combina os efeitos da redução gradual de luz (exceto para as lâmpadas de quartzo que mantem praticamente 100% da produção de lumens) com o uso e outras perdas devido a depreciação da luminária por diferentes fatores. O fator de manutenção compensa a iluminação reduzida no serviço.

Fator de Utilização e Coeficiente de Utilização - Os efeitos das variáveis já mencionadas, exceto a de eficácia e manutenção, são combinadas no fator de utilização, que representa a fração da produção de luz da luminária que alcança o plano de trabalho.

$$\text{Fator de Utilização (FU)} = \frac{\text{fc} \times \text{área (do plano de trabalho)}}{\text{total de lumens por luminária}}$$

Quando os dados de utilização são tabelados para uma luminária específica é mais fácil o uso do coeficiente de utilização, que também inclui a eficiência da luminária. O coeficiente de utilização representa a fração da produção da lâmpada que alcança o plano de trabalho.

$$\text{Coeficiente de Utilização} = \frac{\text{fc} \times \text{área (do plano de trabalho)}}{\text{total de lumens por lâmpada}}$$

ou: $CU = UF \times \text{eficácia da luminária}$

O coeficiente de utilização para um sistema de iluminação pode ser determinado por medição, cálculo, ou encontrado em catálogos e guias.

Método Lumen - Principais fases no projeto de sistemas de iluminação fluorescente e de filamento. As primeiras oito fases são idênticas para ambos os sistemas.

- 1 - características do cômodo
 - 1.1 - comprimento
 - 1.2 - largura
 - 1.3 - área
 - 1.4 - reflectância (em porcentagem)
 - 1.41 - teto
 - 1.42 - paredes
 - 1.43 - chão
- 2 - nível de footcandle
- 3 - tipo da luminária
- 4 - espaçamento das luminárias
 - 4.1 - entre as filas
 - 4.2 - distância para a parede
- 5 - proporção do cômodo
- 6 - fator de manutenção (coeficiente de utilização)
- 7 - coeficiente de utilização (catálogos de fabricantes)

$$8 - \text{lumens requeridos} = \frac{fc \times \text{área}}{CU \times MF}$$

9 - locação, número e tamanho das luminárias.

9.1 - sistema de iluminação fluorescente

9.11 - lumens/luminária (lm/le) = nº de lâmpadas/le x lm/lp

9.12 - nº de luminárias (N) = $\frac{lmR}{lm/le}$

9.13 - fazer o projeto, usando a tabela de altura de montagem e espaçamento como guia e o N da fase anterior

9.14 - total real dos lumens/lâmpada = N x lm/le

9.15 - média real de fc = $\frac{fc \times \text{total real de lm/lâmpada}}{\text{lumens requeridos}}$

9.16 - footcandles iniciais = $\frac{\text{média real de fc}}{MF}$

9.2 - sistema de iluminação de filamento

9.21 - fazer o projeto usando a tabela de altura de montagem e espaçamento como guia e determinar N

9.22 - lm/le lumens requeridos divididos por N

9.23 - encontrar no catálogo a lâmpada mais próxima

9.231 - watts

9.232 - lumens

9.24 - total real de lumens/lâmpada = N x lm/lp

9.25 - média real de fc = $\frac{fc \times \text{total real de lm/lp}}{\text{lumens requeridos}}$

9.26 - footcandles iniciais = média real de fc dividido por MF

Iluminação Suplementar em Indústria - A dificuldade em tarefas de visão frequentemente pedem uma quantidade ou qualidade de iluminação que não pode ser obtida pelos métodos padrões de iluminação geral. Para resolver tais

problemas as luminárias suplementares são frequentemente usadas para prover níveis de iluminação mais altos para áreas pequenas ou restritas; ou para fornecer certa luminância e cor, permitir posicionamentos ou direções das fontes de luz. O melhoramento na visibilidade da tarefa depende de quatro fatores fundamentais, que são luminância, contraste, tamanho e tempo. O planejamento da iluminação suplementar está vinculado a considerações de conforto visual tanto do trabalhador que se beneficia diretamente dela como dos que estão à sua volta. O equipamento suplementar deve ser cuidadosamente protegido para prevenir ofuscamento. A proporção de luminância, entre a tarefa e o ambiente próximo devem se limitar de acordo com a tabela abaixo. Para alcançar estes limites é necessário a coordenação dos projetos de iluminação suplementar e geral.

Luminárias de Iluminação Suplementar - As unidades de iluminação suplementar podem ser divididas em cinco principais tipos de acordo com a distribuição da intensidade luminosa e luminância.

Tipo 1 - O tipo direcional inclui as unidades de concentração, como lâmpadas de foco refletor que empreguem lentes ou refletores concentradores. Também se incluem no grupo as unidades longitudinais concentradoras tais como uma lâmpada fluorescente bem protegida num refletor concentrado.

Tipo 2 - O tipo de difusão inclui alta luminância, fon-

tes de pequena área, tais como incandescentes ou de mercúrio. Um refletor difusor de concavidade profunda com uma lâmpada de filamento incandescente e sem cobertura difusora é um exemplo deste tipo.

Tipo 3 - O tipo de difusão e luminância moderada inclui todas as unidades fluorescentes que tenham uma variação em luminância de mais de 2 para 1.

Tipo 4 - O tipo de luminância uniforme inclui todas as unidades que tenham variação de luminância de menos de 2 para 1. Usualmente esta luminância é menos que 2000 fL. Exemplo: uma disposição de lâmpadas atrás de um painel difusor.

Tipo 5 - Tipo de luminância uniforme com padrão; é uma luminária similar ao tipo 4 exceto que um padrão com tiras ou linhas é sobreposto ao painel.

Luminárias Portáteis - Sempre que possível as luminárias suplementares devem ser montadas permanentemente no local para produzir o melhor efeito de iluminação. Braços ajustáveis e engastes giratórios sempre adaptarão as luminárias para a flexibilidade desejada. O equipamento portátil pode ser usado com vantagem em locais aonde ele possa ser movido para dentro ou à volta de máquinas móveis ou algum objeto.

Método Ponto-por-Ponto para a Iluminação Suplementar - É empregado quando uma única luminária é usada ou quando

são especificados tipos especiais de equipamento não comumente adaptados para sistemas de iluminação geral. Este método é baseado na lei do quadrado inverso para dados obtidos de uma curva de distribuição de intensidade luminosa da luminária. Os footcandles são computados pelo uso de uma das tres fórmulas que seguem, dependendo do ponto de locação.

1 - Quando o ponto está num plano normal ao raio:

$$\text{footcandles} = \frac{\text{intensidade luminosa (candelas)}}{V^2}$$

2 - Quando o ponto está num plano horizontal numa distância H:

$$\text{fc horizontais} = \frac{\text{candelas} \times \cos \text{ do } \hat{\text{ângulo}} \text{ de } a}{(V^2 + H^2)}$$

$V^2 + H^2$ é igual a D^2 ; D é a distância da fonte até o ponto P (quando $H = 0$, $\cos = 1,0$ e $\text{fc} = \text{candelas}/V^2$)

Na tabela 1 os níveis de footcandles no plano horizontal foram calculados para uma fonte de 100 candelas para uma escala variada de altura de montagem (V) e distâncias horizontais das luminárias (H). Também é dado o ângulo em graus, de forma que em qualquer altura ou distância convencionais, a intensidade luminosa real para aquele ângulo particular possa ser tomado da curva de distribuição da unidade. Pela divisão da intensidade luminosa real no seu ângulo por 100, e depois multiplicando pelos fc produzidos por centena de candelas, a resultante de fc horizontais naquele ponto pode ser obtida.

3 - Quando o ponto está num plano vertical:

$$\text{footcandles verticais} = \frac{\text{intensidade luminosa} \times \cos (90^\circ - \alpha)}{(V^2 + H^2)}$$

Na tabela 2 os níveis de fc no plano vertical são calculados para uma fonte de 100 candelas para a mesma escala de alturas verticais e distâncias horizontais da tabela 1. Para se achar o valor de fc vertical, as distâncias H e V localizam o ângulo e o valor real de intensidade luminosa da unidade neste ângulo. Pela divisão deste valor por 100 e multiplicando-o pelo valor de fc da tabela, o nível real de fc vertical neste ponto é obtido.

A pré-determinação de níveis de iluminação para sistemas suplementares podem ser completados pelo método ponto-por-ponto e pelas tabelas e curvas apresentadas nos catálogos de fabricantes e listas de dados. Com sistemas suplementares nos quais fontes lineares "contínuas" são usadas, os cálculos de iluminação podem ser simplificados pelo uso de dados empíricos baseados nos lumens por pé de fonte. Estes dados são adaptáveis para distâncias relativamente curtas entre a fonte de luz e o trabalho.



Tabela 1

Ângulo entre o raio de luz e a vertical.

Footcandles sobre um plano horizontal, produzidos por uma fonte de 100 candelas.

H

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
4	0° 0'	14°	27°	37°	45°	51°	56°	60°	63°	66°	68°	70°	72°	73°	74°	75°
5	0° 0'	11°	22°	31°	39°	45°	50°	54°	58°	61°	63°	66°	67°	69°	70°	72°
6	0° 0'	9°	18°	27°	34°	40°	45°	49°	53°	56°	59°	61°	63°	66°	67°	68°
7	0° 0'	8°	16°	23°	30°	36°	41°	45°	49°	52°	55°	58°	60°	62°	63°	65°
8	0° 0'	7°	14°	21°	27°	32°	37°	41°	45°	48°	51°	54°	56°	58°	60°	62°
9	0° 0'	6°	13°	18°	24°	29°	34°	38°	42°	45°	48°	51°	53°	55°	57°	59°
10	0° 0'	5° 43'	11°	17°	22°	27°	31°	35°	39°	42°	45°	48°	50°	52°	54°	56°
11	0° 0'	5° 12'	10°	15°	20°	24°	29°	32°	36°	39°	42°	45°	48°	50°	52°	54°
12	0° 0'	4° 16'	9°	14°	18°	23°	27°	30°	34°	37°	40°	43°	45°	47°	49°	51°
13	0° 0'	4° 3'	9°	13°	17°	21°	25°	28°	32°	35°	38°	40°	43°	45°	47°	49°
14	0° 0'	4° 5'	8°	12°	16°	20°	23°	27°	30°	33°	36°	38°	41°	43°	45°	47°
15	0° 0'	3° 49'	8°	11°	15°	18°	22°	25°	28°	31°	34°	36°	39°	41°	43°	45°
16	0° 0'	3° 35'	7°	11°	14°	17°	21°	24°	27°	29°	32°	35°	37°	39°	41°	43°
17	0° 0'	3° 22'	7°	10°	13°	16°	19°	22°	25°	28°	30°	33°	35°	37°	39°	41°
18	0° 0'	3° 11'	6°	9°	13°	16°	18°	21°	24°	27°	29°	31°	33°	36°	38°	40°
19	0° 0'	3° 1'	6°	9°	12°	15°	18°	20°	23°	25°	28°	30°	32°	34°	36°	38°
20	0° 0'	2° 51'	5° 43'	9°	11°	14°	17°	19°	22°	24°	27°	29°	31°	33°	35°	37°
21	0° 0'	2° 43'	5° 26'	8°	11°	13°	16°	18°	21°	23°	25°	28°	30°	32°	34°	36°
22	0° 0'	2° 36'	5° 10'	8°	10°	13°	15°	18°	20°	22°	25°	27°	29°	31°	33°	35°
23	0° 0'	2° 29'	4° 58'	7°	10°	12°	15°	17°	19°	21°	24°	26°	28°	29°	31°	33°
24	0° 0'	2° 23'	4° 45'	7°	10°	12°	14°	16°	18°	21°	23°	25°	27°	28°	30°	32°
25	0° 0'	2° 17'	4° 31'	7°	9°	11°	14°	16°	18°	20°	22°	24°	26°	27°	29°	31°
27	0° 0'	2° 7'	4° 14'	6°	8°	10°	12°	15°	17°	19°	20°	22°	24°	26°	27°	29°
30	0° 0'	1° 54'	3° 50'	5° 43'	8°	9°	11°	13°	15°	17°	18°	20°	22°	23°	25°	27°
33	0° 0'	1° 41'	3° 20'	5° 12'	7°	9°	10°	12°	14°	15°	17°	18°	20°	22°	23°	25°
36	0° 0'	1° 36'	3° 11'	4° 46'	6°	8°	9°	11°	13°	14°	16°	17°	18°	20°	21°	23°
40	0° 0'	1° 26'	2° 52'	4° 17'	5° 43'	7°	9°	10°	11°	13°	14°	15°	17°	18°	19°	21°
45	0° 0'	1° 16'	2° 33'	3° 49'	5° 5'	6°	8°	9°	10°	11°	13°	14°	15°	16°	17°	18°
50	0° 0'	1° 9'	2° 17'	3° 26'	4° 31'	5° 33'	7°	8°	9°	10°	11°	12°	14°	15°	16°	16°
55	0° 0'	1° 2'	2° 5'	3° 7'	4° 10'	5° 9'	6°	7°	8°	9°	10°	11°	12°	13°	14°	15°
60	0° 0'	0° 57'	1° 55'	2° 52'	3° 50'	4° 46'	5° 43'	7°	8°	9°	9°	10°	11°	12°	13°	14°
70	0° 0'	0° 49'	1° 38'	2° 34'	3° 16'	4° 5'	4° 51'	5° 43'	7°	7°	8°	9°	10°	11°	11°	12°

H -- distância horizontal da unidade -- em pés.

V - distância vertical da fonte de luz sobre a superfície.

Tabela 2

Ângulo entre o raio de luz e a vertical.

Footcandles sobre um plano vertical, produzidos por uma fonte de 100 candelas.

H

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
4	0° 0' 0	14° 1.427	27° 2.236	37° 2.400	43° 2.210	51° 1.905	56° 1.599	60° 1.337	63° 1.113	66° .913	68° .800	70° .685	72° .591	73° .517	74° .455	75° .401
5	0° 0' 0	11° .751	22° 1.281	31° 1.513	39° 1.523	45° 1.414	50° 1.260	54° 1.099	57° .932	61° .801	63° .716	66° .623	67° .557	69° .481	70° .426	72° .378
6	0° 0' 0	9° .415	18° .791	27° .991	34° 1.067	40° 1.050	45° .982	49° .891	53° .800	56° .711	59° .630	61° .559	63° .490	66° .414	67° .367	69° .335
7	0° 0' 0	8° .283	16° .513	23° .679	30° .763	36° .766	41° .765	45° .722	49° .666	52° .608	55° .550	58° .497	60° .447	62° .405	63° .366	65° .329
8	0° 0' 0	7° .191	14° .357	21° .481	27° .559	32° .596	37° .600	41° .560	45° .532	48° .515	51° .476	54° .437	56° .409	58° .366	60° .331	62° .306
9	0° 0' 0	6° .135	13° .255	19° .351	24° .419	29° .458	34° .474	38° .472	42° .458	45° .437	48° .411	51° .381	53° .356	55° .329	57° .305	59° .280
10	0° 0' 0	5° 43' .098	11° .189	17° .264	22° .320	27° .358	31° .379	35° .385	39° .381	42° .370	45° .351	48° .336	50° .316	52° .295	54° .271	56° .256
11	0° 0' 0	5° 12' .071	10° .113	15° .202	20° .249	25° .281	29° .305	32° .316	36° .318	39° .313	42° .305	45° .292	48° .278	50° .261	52° .248	54° .233
12	0° 0' 0	4° 40' .057	9° .111	14° .158	18° .198	23° .228	27° .248	30° .261	34° .267	37° .267	40° .262	43° .255	45° .246	47° .235	49° .223	51° .211
13	0° 0' 0	4° 21' .045	8° .088	13° .126	17° .159	21° .185	25° .206	28° .218	32° .225	35° .228	38° .227	40° .223	43° .217	45° .200	47° .187	49° .172
14	0° 0' 0	4° 5' .036	8° .071	12° .102	16° .130	20° .152	23° .170	27° .182	30° .191	33° .195	36° .196	38° .195	41° .191	43° .187	45° .180	47° .174
15	0° 0' 0	3° 49' .029	8° .058	11° .081	15° .107	18° .127	22° .142	25° .151	28° .163	31° .168	34° .171	36° .171	39° .170	41° .166	43° .162	45° .157
16	0° 0' 0	3° 35' .021	7° .048	11° .070	14° .089	17° .106	20° .120	23° .131	27° .140	29° .146	32° .149	35° .151	37° .150	39° .149	41° .146	43° .142
17	0° 0' 0	3° 22' .020	7° .040	10° .058	13° .075	16° .090	19° .102	22° .113	25° .120	28° .127	30° .131	33° .133	35° .133	37° .133	39° .131	41° .129
18	0° 0' 0	3° 11' .017	6° .031	9° .050	13° .064	16° .077	18° .088	21° .097	24° .105	27° .110	29° .111	31° .117	34° .119	36° .119	38° .118	40° .117
19	0° 0' 0	3° 1' .015	6° .029	9° .042	12° .055	15° .066	18° .076	20° .084	23° .091	26° .097	28° .101	30° .101	32° .105	34° .107	36° .107	38° .107
20	0° 0' 0	2° 51' .012	5° 43' .025	8° .036	11° .047	14° .057	17° .066	19° .074	22° .080	25° .086	27° .090	29° .090	31° .095	33° .094	35° .096	37° .096
21	0° 0' 0	2° 41' .011	5° 26' .021	8° .031	11° .041	13° .050	16° .057	18° .065	21° .070	23° .075	25° .080	28° .083	30° .082	32° .086	34° .087	36° .087
22	0° 0' 0	2° 36' .009	5° 10' .019	8° .027	10° .036	13° .044	15° .050	18° .057	20° .062	22° .067	25° .070	27° .074	29° .076	31° .078	33° .079	34° .078
23	0° 0' 0	2° 29' .008	4° 50' .016	7° .024	10° .031	12° .038	15° .045	17° .050	19° .055	21° .060	24° .063	26° .066	28° .069	29° .071	31° .072	33° .072
24	0° 0' 0	2° 23' .007	4° 45' .014	7° .021	10° .028	12° .034	14° .040	16° .045	18° .049	21° .054	23° .057	25° .060	27° .062	28° .064	30° .065	32° .066
25	0° 0' 0	2° 17' .006	4° 34' .013	7° .019	9° .025	11° .030	14° .035	16° .040	18° .044	20° .048	22° .051	24° .051	26° .056	27° .058	29° .059	31° .061
27	0° 0' 0	2° 7' .005	4° 14' .010	6° .015	8° .020	10° .024	12° .028	15° .032	17° .036	18° .039	20° .042	22° .044	24° .047	26° .048	27° .050	29° .051
30	0° 0' 0	1° 54' .001	3° 50' .007	5° 43' .011	8° .015	9° .018	11° .021	13° .024	15° .027	17° .029	18° .032	20° .031	22° .034	23° .037	25° .039	27° .040
33	0° 0' 0	1° 41' .003	3° 29' .006	5° 12' .008	7° .011	8° .013	10° .016	12° .018	14° .020	15° .022	17° .024	18° .026	20° .028	22° .029	23° .031	25° .031
36	0° 0' 0	1° 36' .002	3° 11' .001	4° 46' .006	6° .008	8° .010	9° .012	11° .014	13° .016	14° .018	16° .019	17° .020	18° .022	20° .023	21° .024	23° .025
40	0° 0' 0	1° 26' .002	2° 52' .005	4° 17' .005	5° 43' .006	7° .008	9° .009	10° .010	11° .012	13° .013	14° .014	15° .015	17° .016	18° .018	19° .019	21° .019
45	0° 0' 0	1° 16' .001	2° 33' .002	3° 49' .003	5° 5' .001	6° .005	8° .006	9° .007	10° .008	11° .009	13° .010	14° .011	15° .012	16° .013	17° .014	18° .014
50	0° 0' 0	1° 9' .001	2° 17' .002	3° 26' .002	4° 31' .003	5° 41' .001	7° .005	8° .005	9° .006	10° .007	11° .008	12° .008	14° .009	15° .009	16° .010	18° .010
55	0° 0' 0	1° 5' .001	2° 5' .001	3° 7' .002	4° 10' .002	5° 9' .003	6° .001	7° .001	8° .005	9° .005	10° .006	11° .006	12° .007	13° .007	14° .008	15° .008
60	0° 0' 0	0° 57' .001	1° 55' .001	2° 52' .001	3° 50' .001	4° 46' .003	5° 43' .003	7° .003	8° .001	9° .001	10° .001	11° .005	12° .005	13° .006	14° .006	15° .006
70	0° 0' 0	0° 49' .001	1° 38' .001	2° 31' .001	3° 16' .001	4° 5' .001	4° 51' .002	5° 48' .002	7° .002	7° .001	8° .003	9° .003	10° .003	11° .004	11° .004	12° .004

V

H - distância horizontal da unidade - em pés.

V - distância vertical da fonte de luz sobre a superfície.

Bibliografia

IES - Lighting Handbook - Illuminating Engineering Society

Alumbrado - J. W. Favié, C. P. Damen, G. Hietbrink, N. J. Quaedflieg

Iluminação de Interiores - Tese Teórica - Claudio Teixeira de Mesquita

Lighting of Work Places - James Longmore

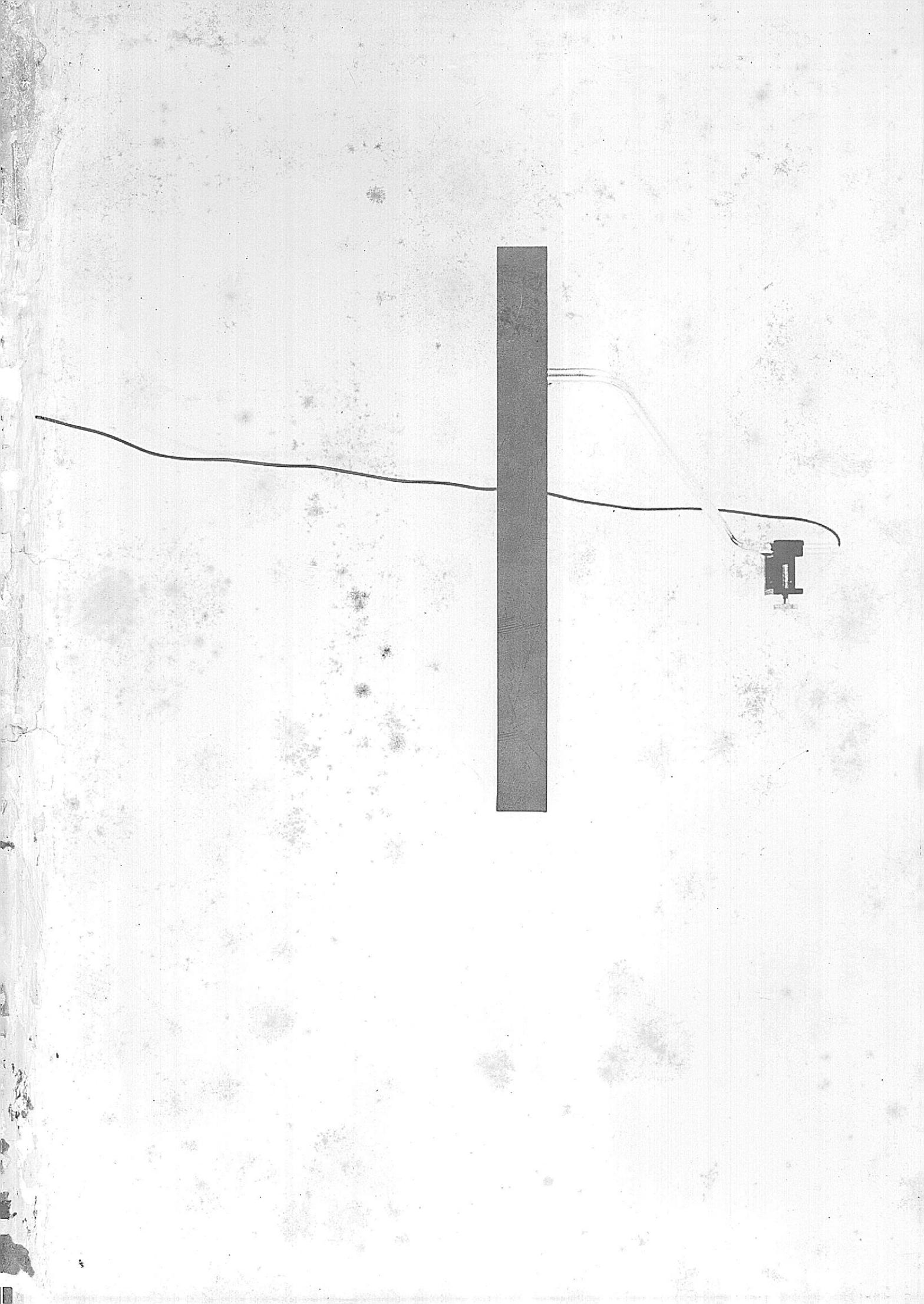
Human Engineering Guide for Equipment Designers - Wesley E. Woodson

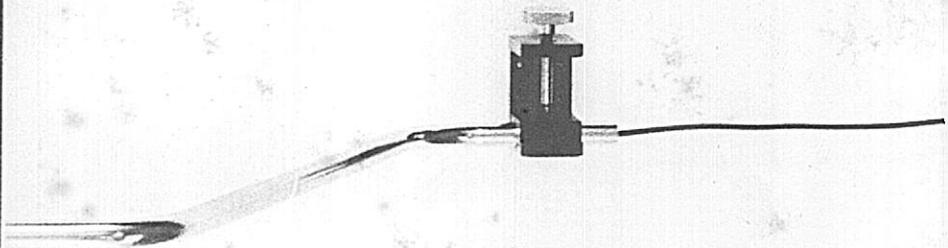
General Electric S. A.

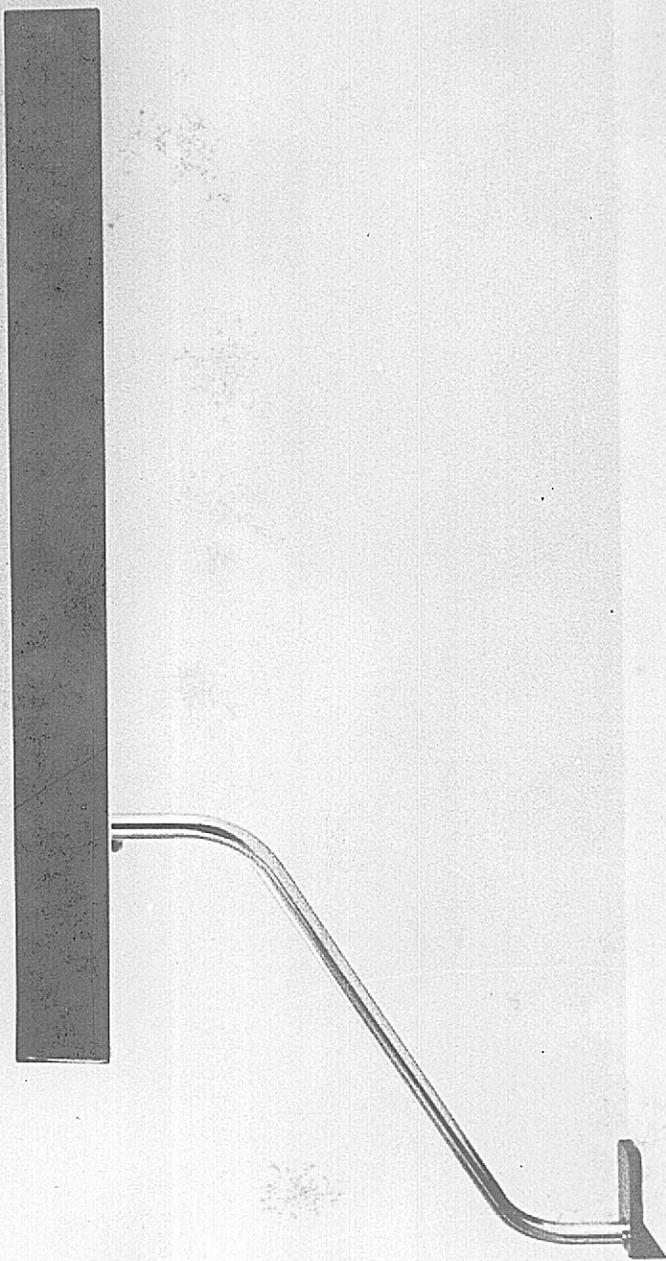
Osram do Brasil

Licht Durch Leuchten - M. D. - Abril 1972

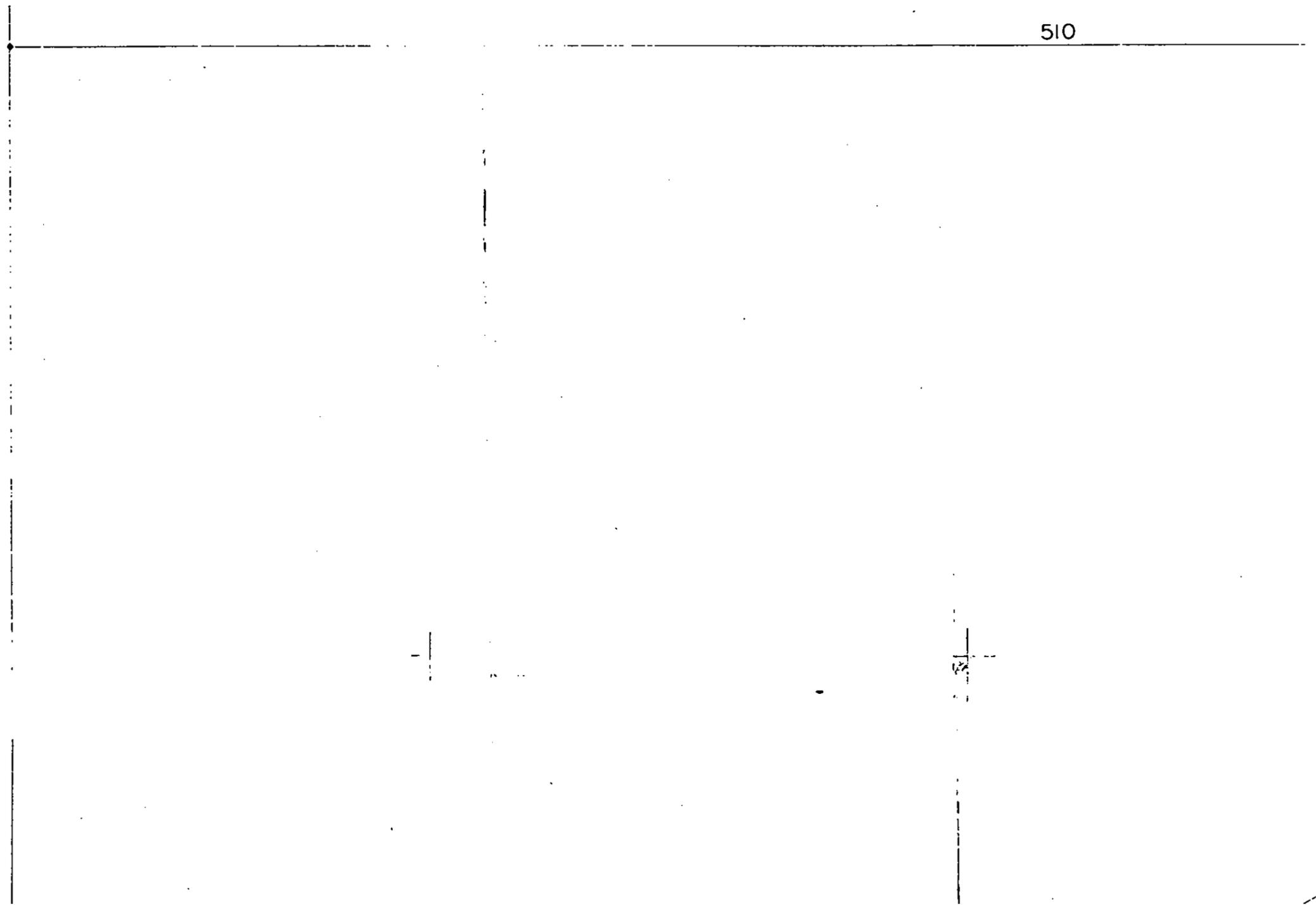
Shedding Light on a Subject - Industrial Design - Março 1971



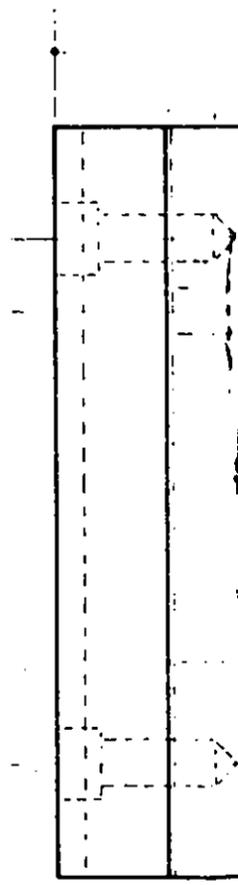
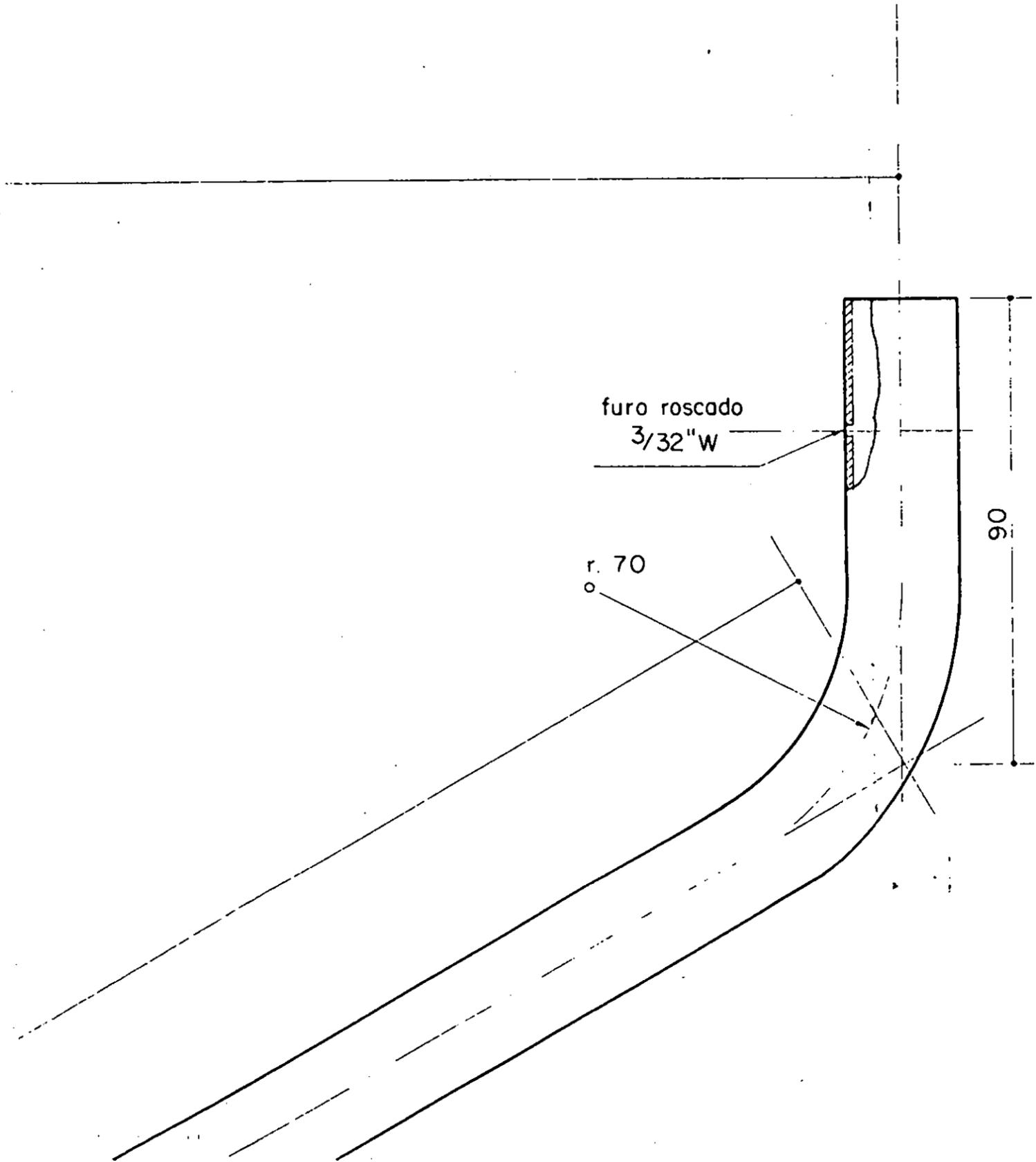


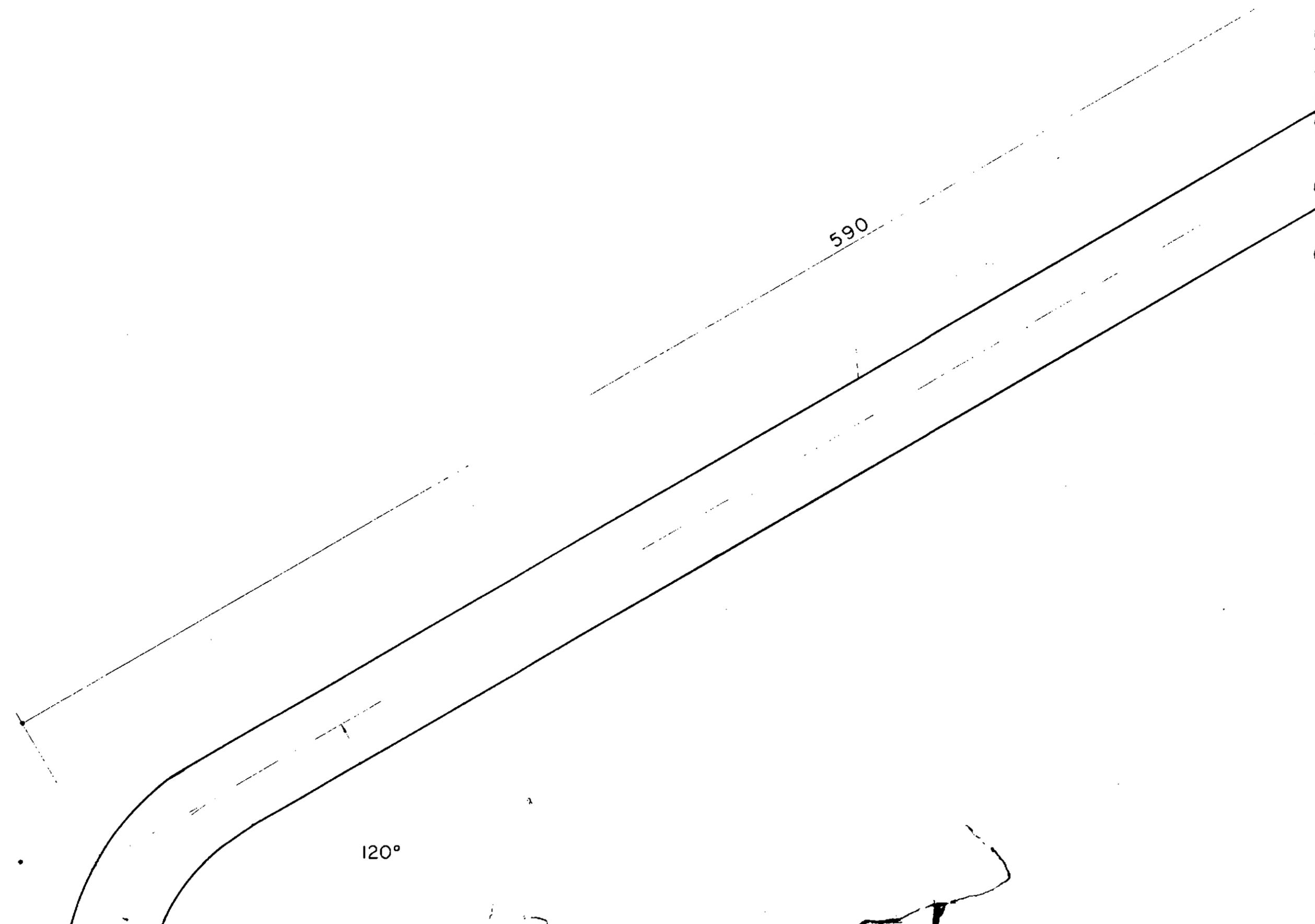


8



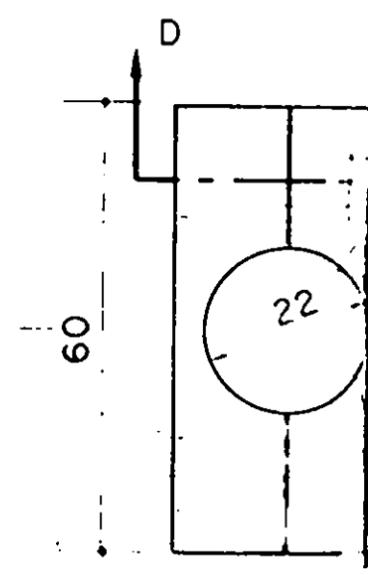
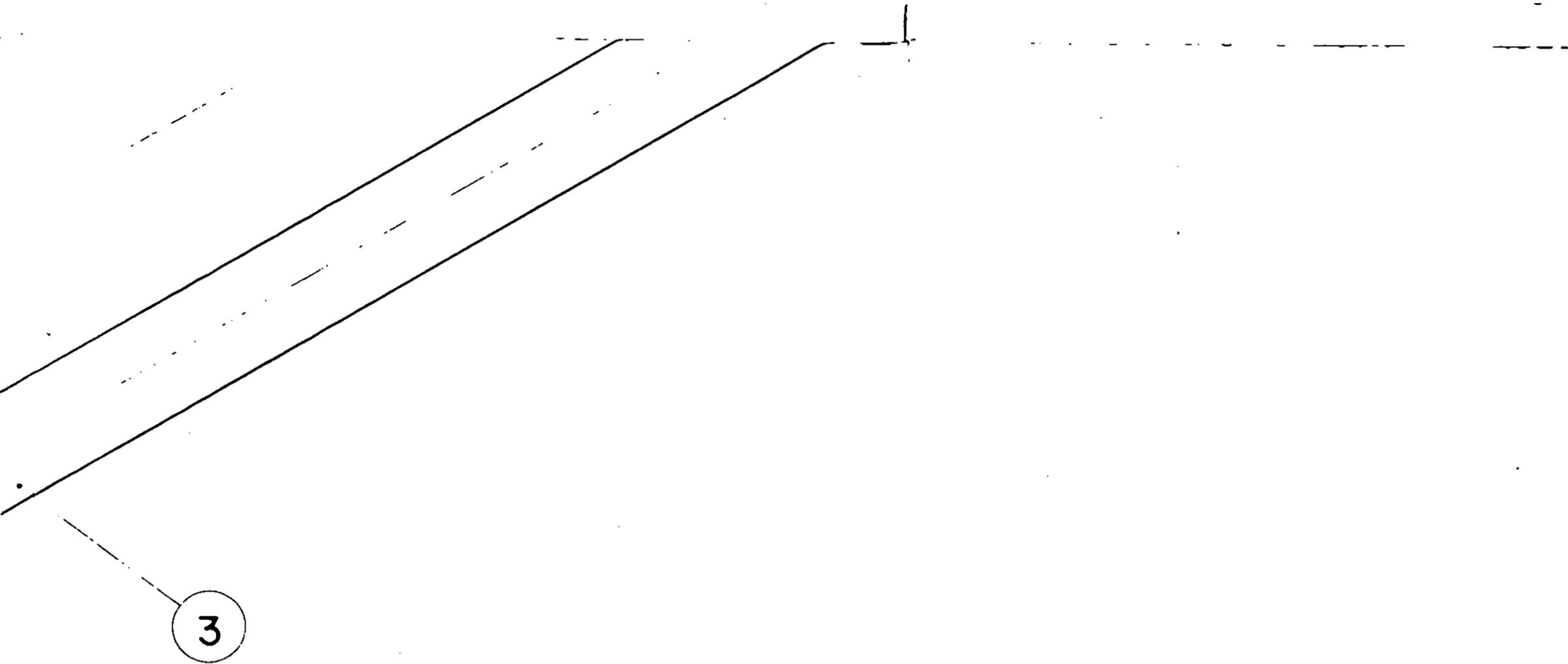
510

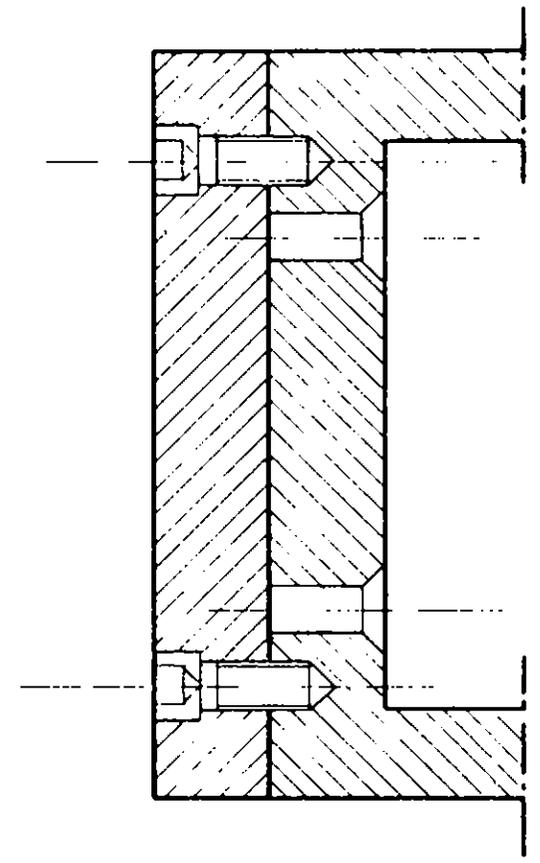
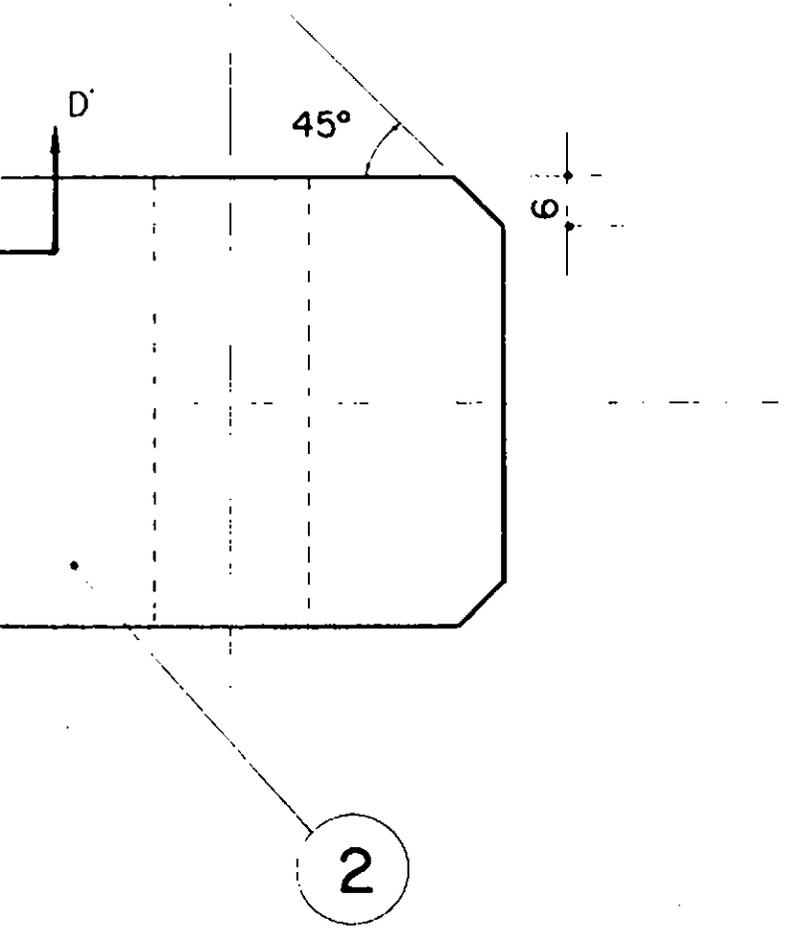
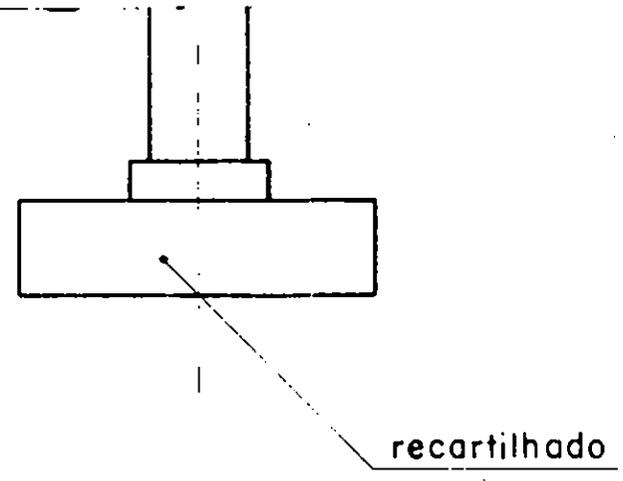
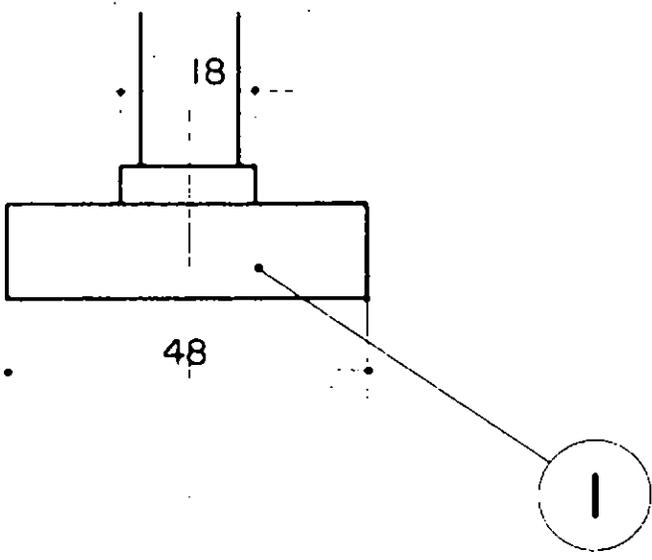




590

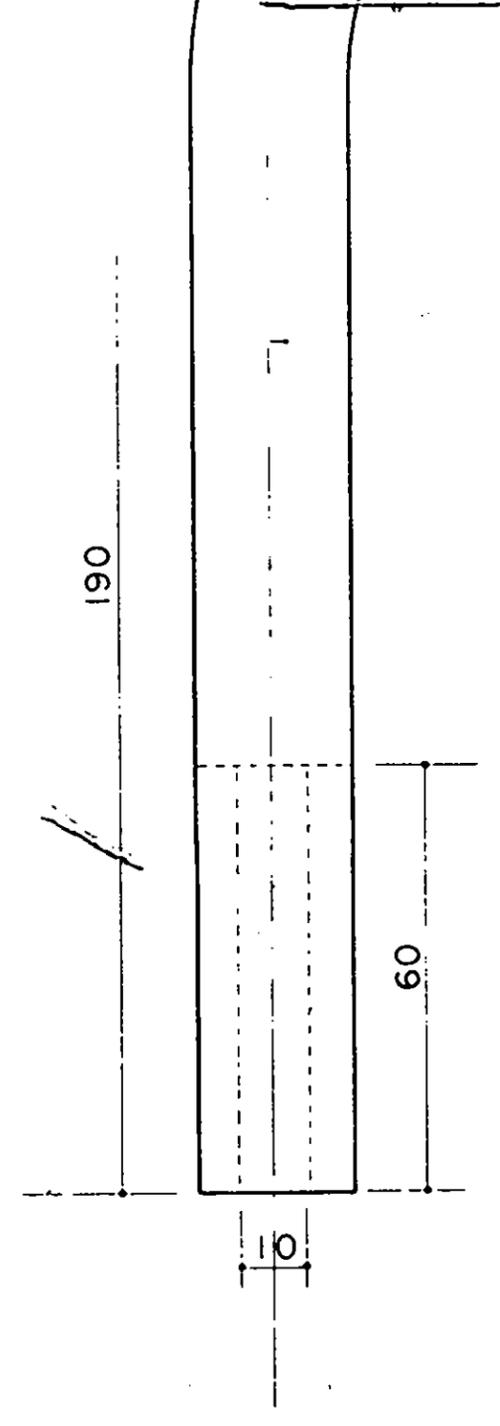
120°





corte D-D'

r.70



QUANT. 2 UNIDADES
W = 20
V = 115

- ⑤ CAIXA REFLETORA
- ⑥ SUPORTE DA LÂMPADA QUANT. 2 UNIDADES
- ⑦ LÂMPADA CHROMA 55 QUANT. 2 UNIDADES
- ⑧ CAIXA

FIXAÇÃO: PAREDE — 1 luz direta
2 luz refletida
MESA

EQUILÍBRIO CENTRO NA HASTE: $P_1 = P_2$

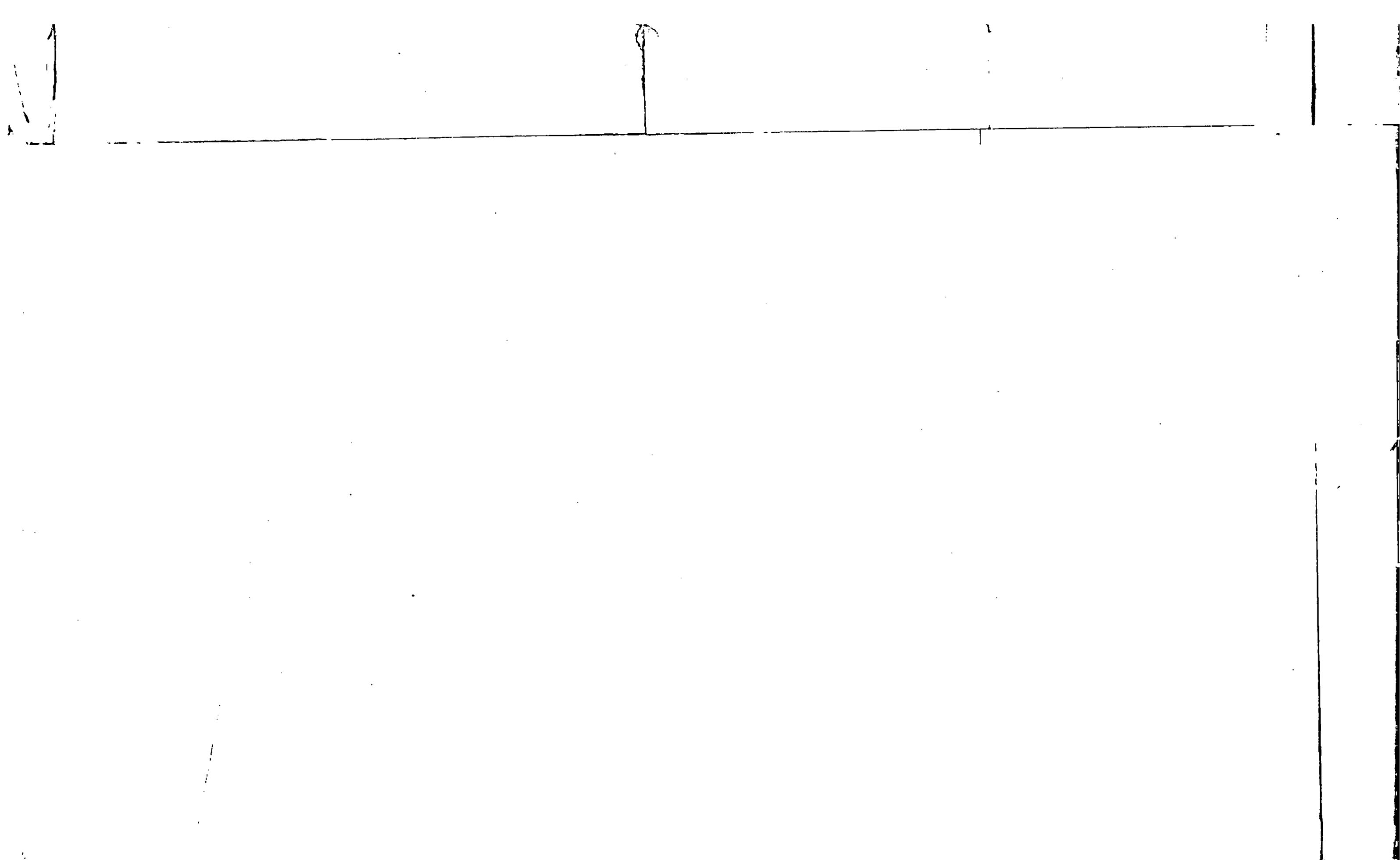
ESCALA — 1 : 1

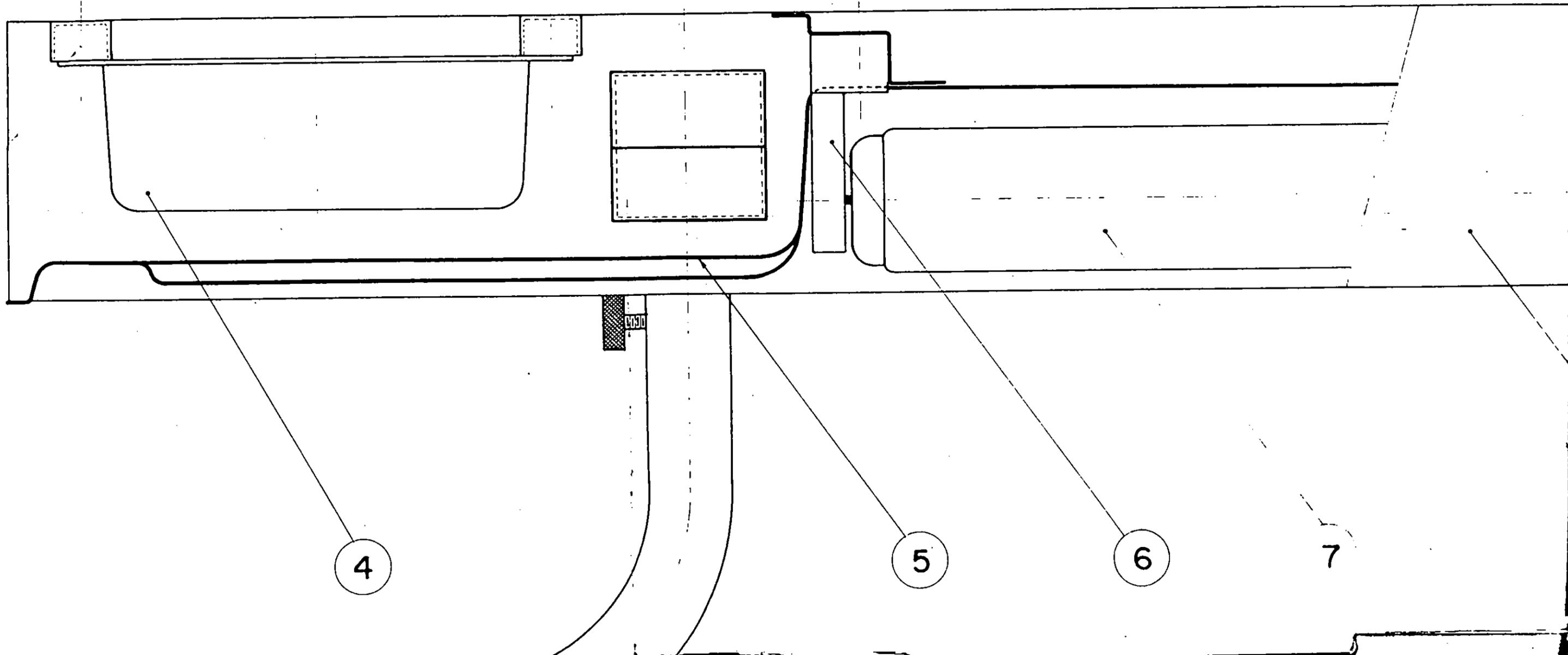
FERNANDO ESTARQUE CASÁS

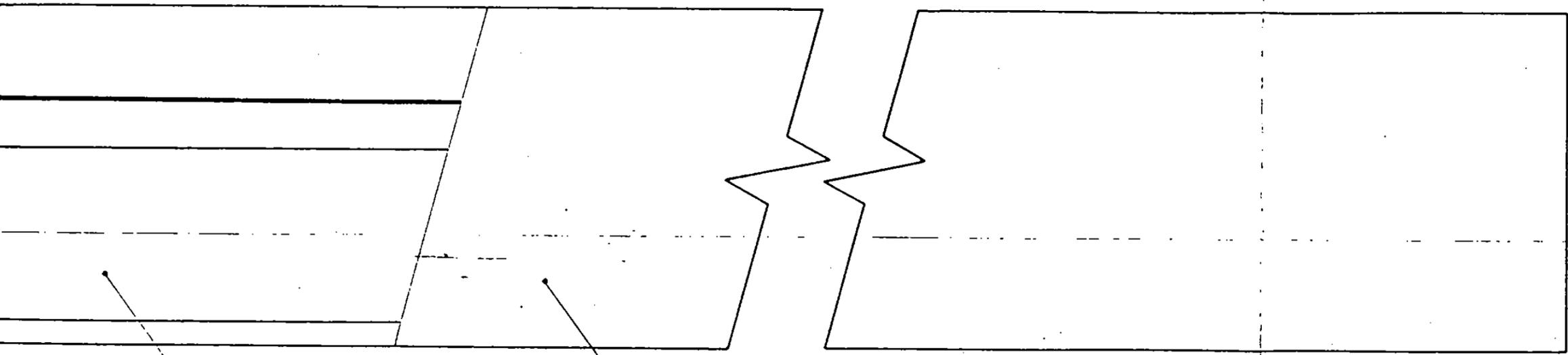


P54

1993



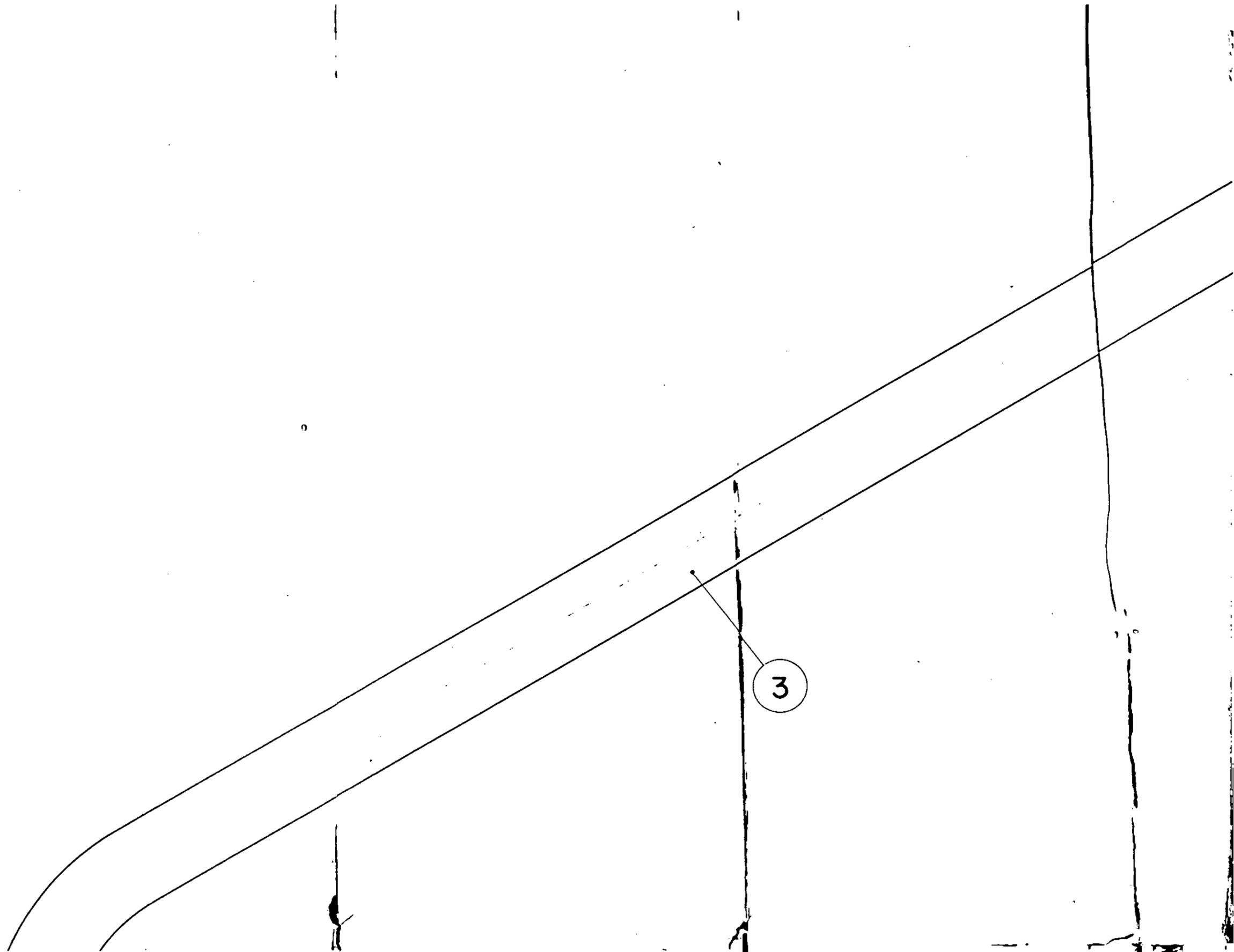


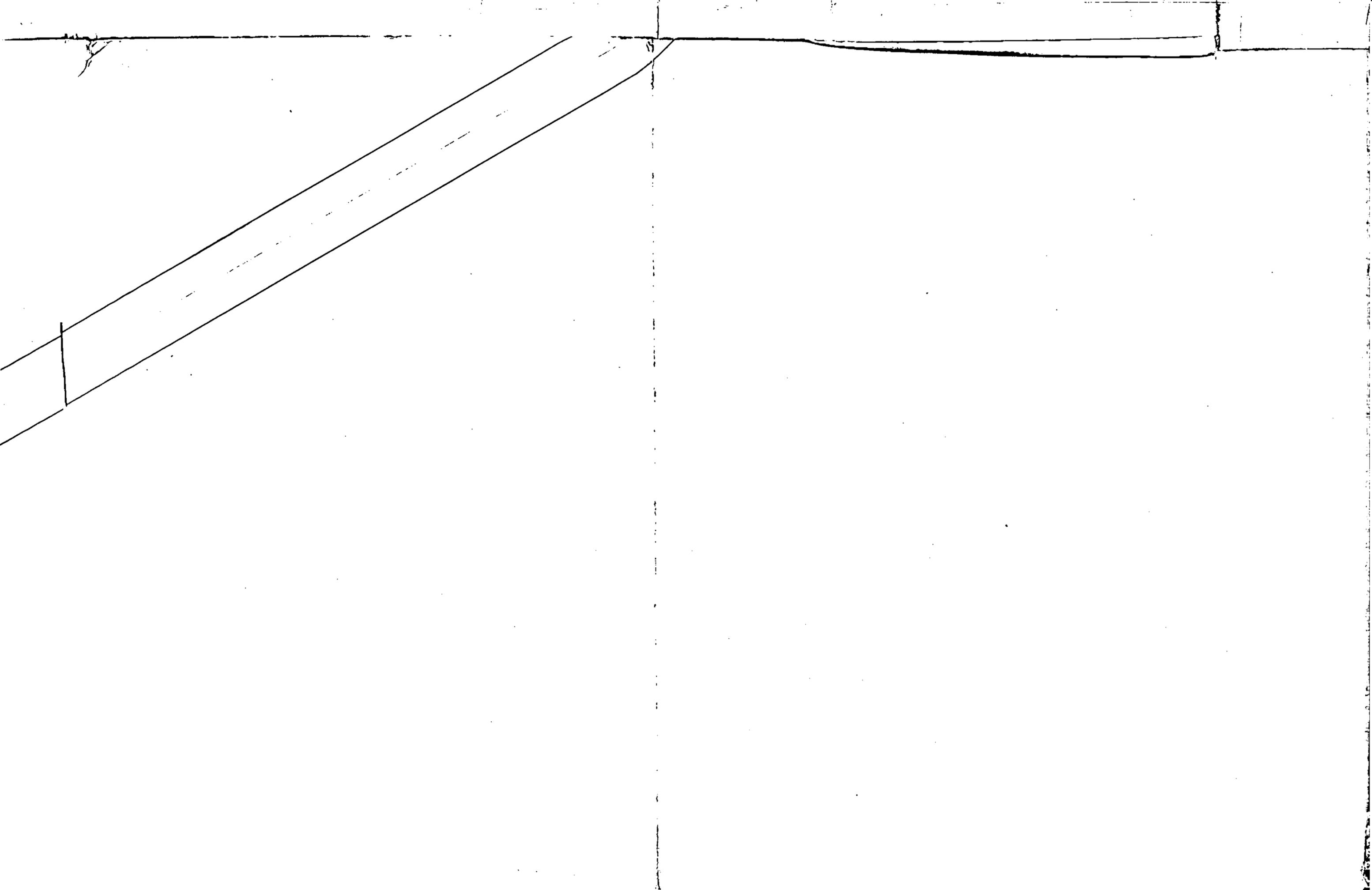


6

7

8

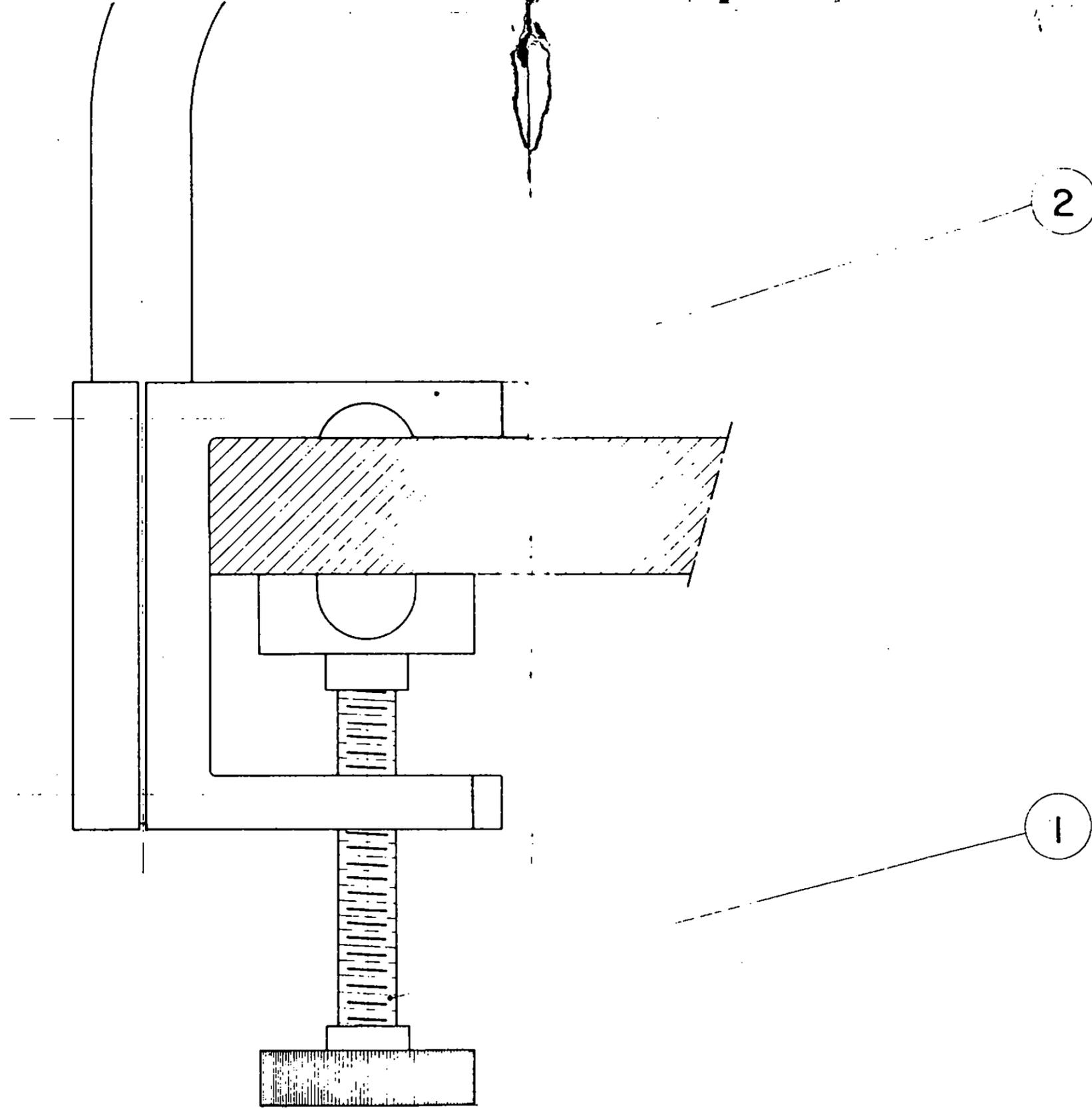


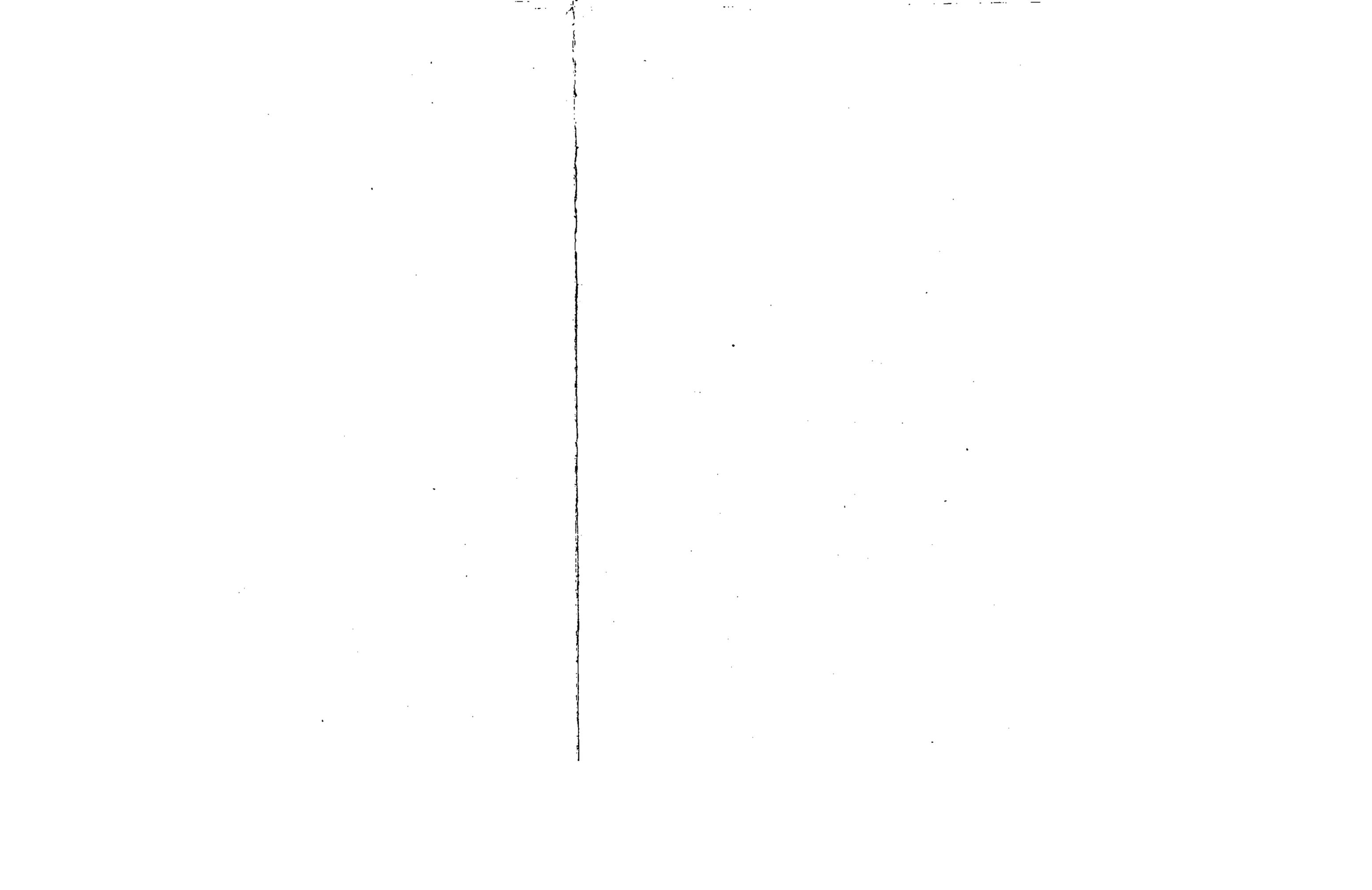


① FIXADOR

② SUPORTE

③ HASTE





QUANT. 2 UNIDADES
W = 20
V = 115

- ⑤ CAIXA REFLETORA
- ⑥ SUPORTE DA LÂMPADA QUANT. 2 UNIDADES
- ⑦ LÂMPADA CHROMA 55 QUANT. 2 UNIDADES
- ⑧ CAIXA

FIXAÇÃO	PAREDE — 1 luz direta
	2 luz refletido
	MESA

EQUILÍBRIO CENTRO NA HASTE: $P_1 = P_2$

ESCALA — 1 : 1

FERNANDO ESTARQUE CASÁS



P54

1972



5 CAIXA REFLETORA TERMOPLÁSTICO
PROCESSO VACUM MOLDE
COR BRANCA.

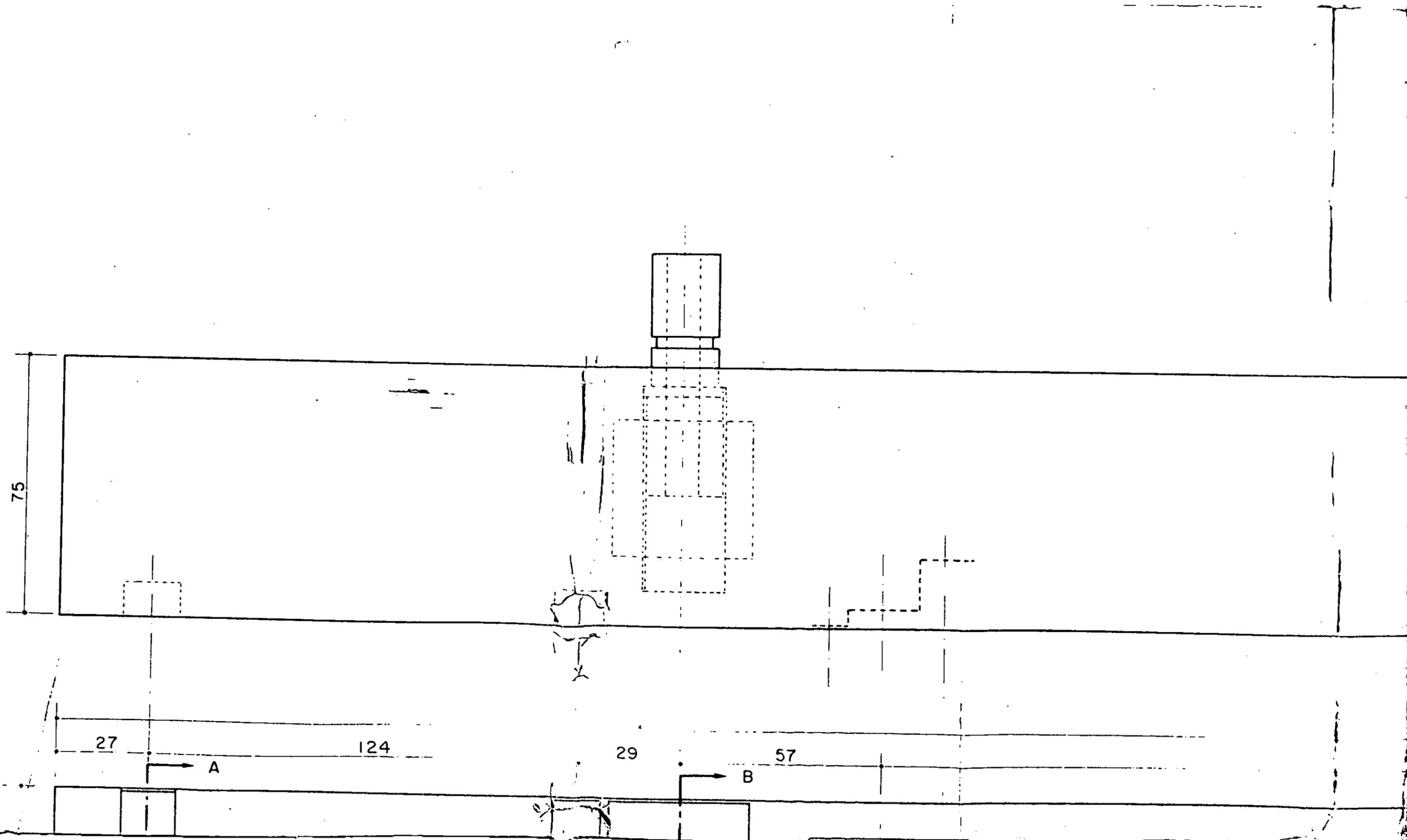
8 CAIXA CHAPA 23
COR AZUL COLONIAL (FORD)

ESCALA - | : |

FERNANDO ESTARQUE CASÁS



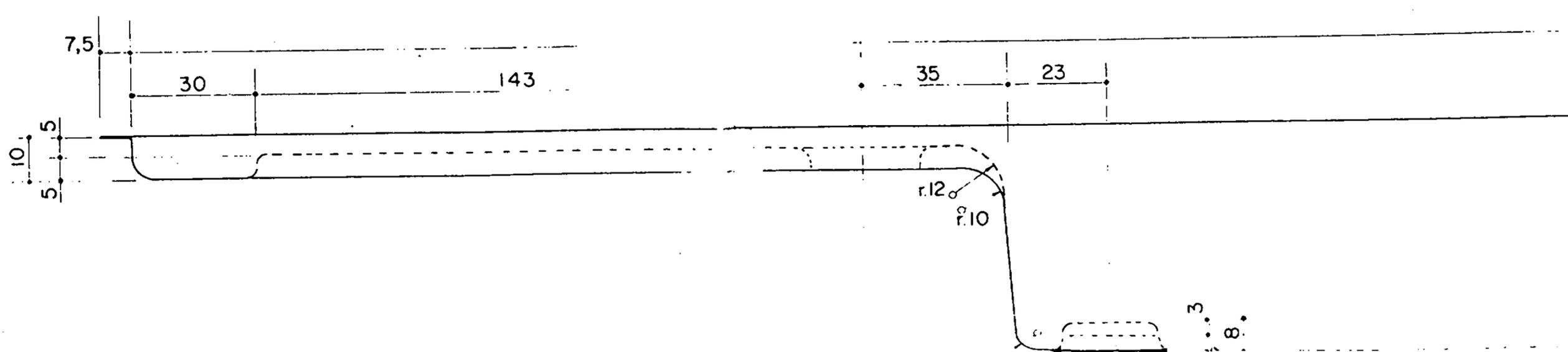
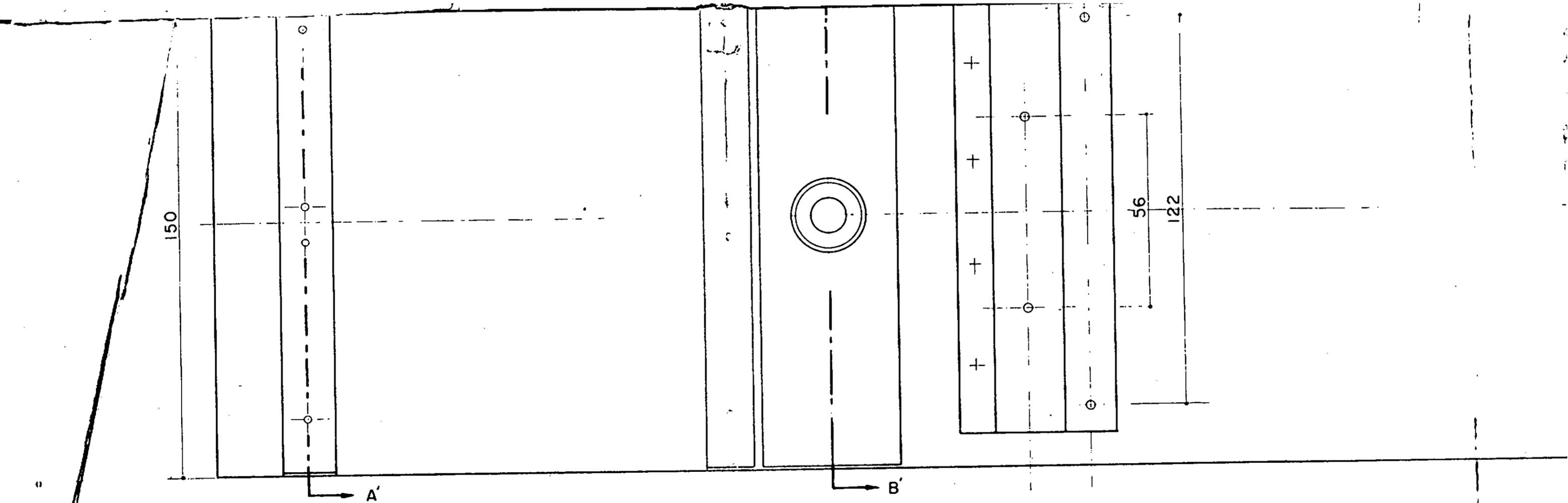
P54
1972---



chapa #23

840

580



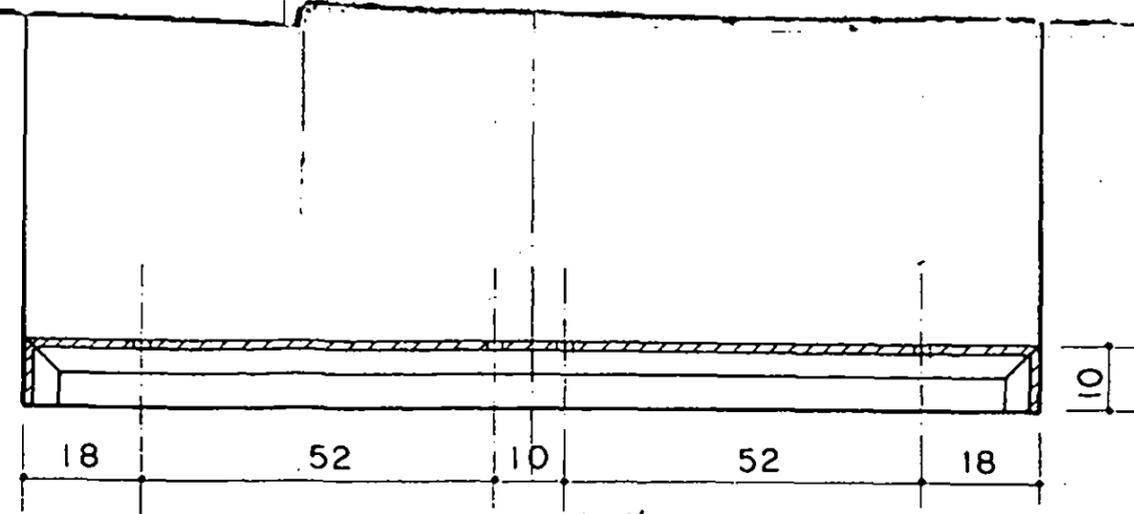
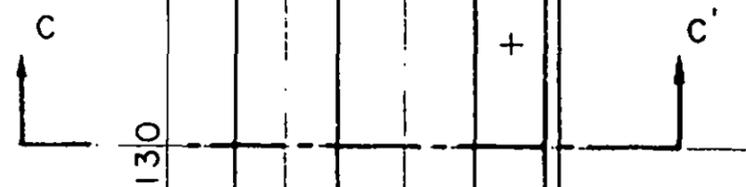
C

130

fL

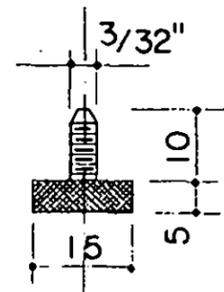
8

825

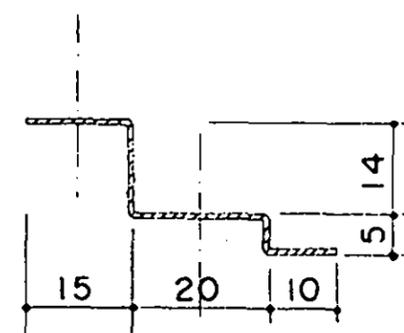


corte A-A'

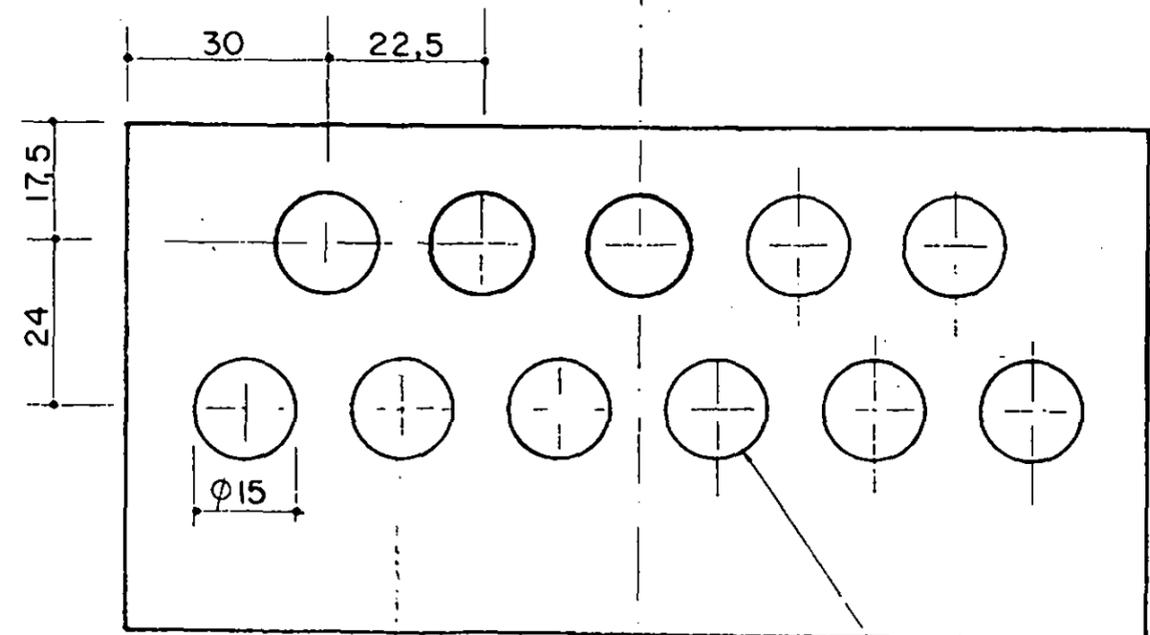
furo roscado
1/8" x 1"



furo 3/32" x 5/8" (rosca soberba)

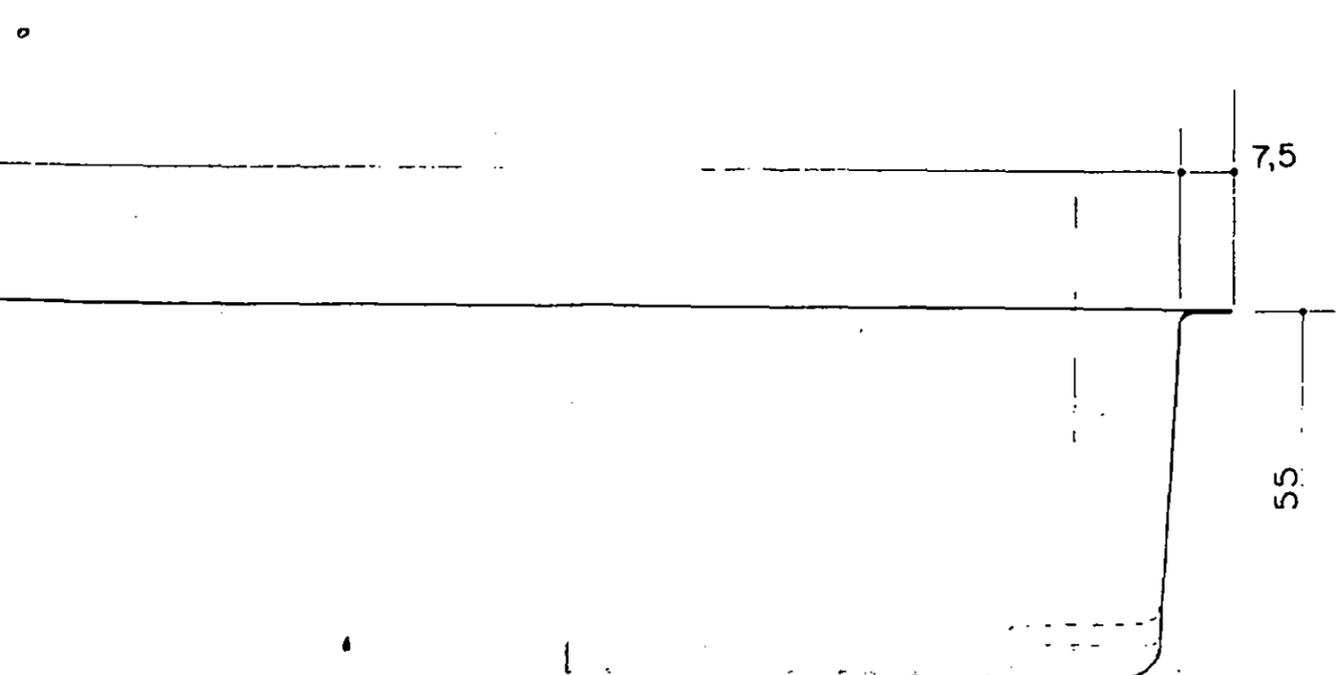


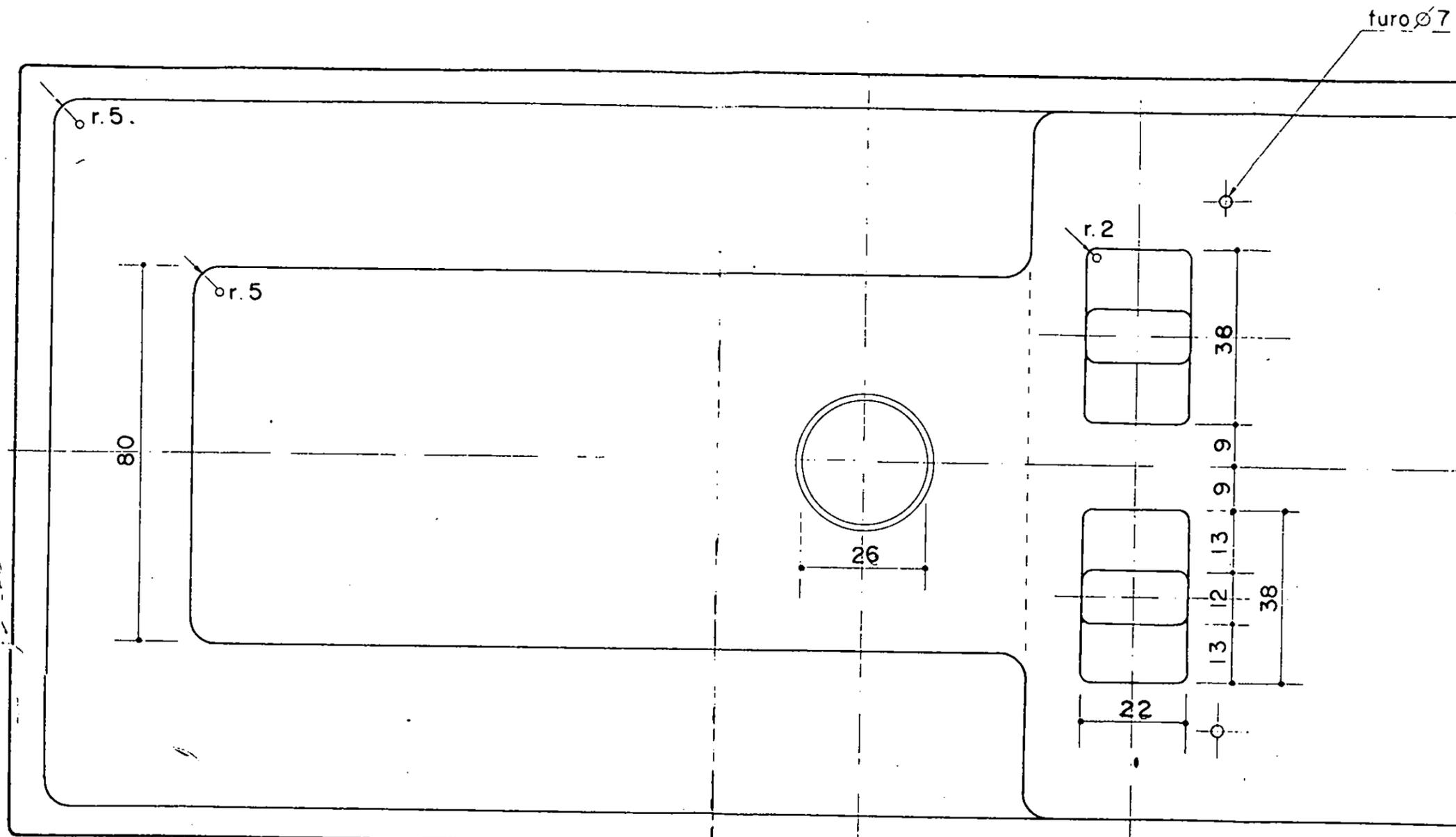
corte C-C'

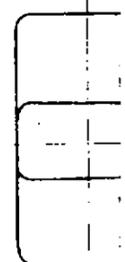
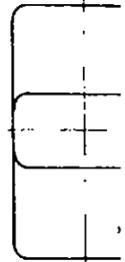


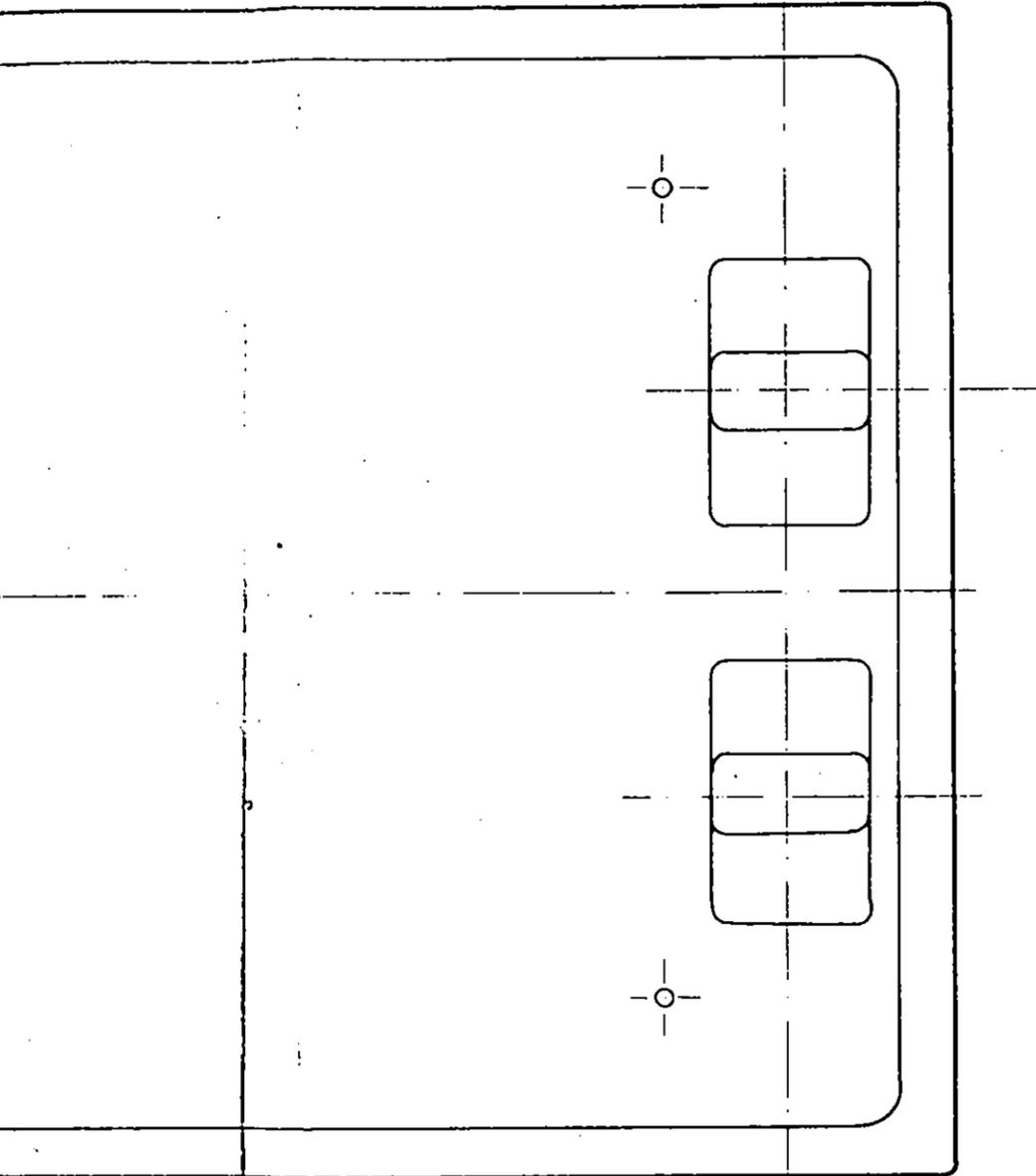
corte E-E'

furos p/ ventilação









5 CAIXA REFLETORA TERMOPLÁSTICO
 PROCESSO VACUM MOLDE
 COR BRANCA

8 CAIXA CHAPA 23
 COR AZUL COLONIAL (FORD)

ESCALA - 1 : 1

FERNANDO ESTARQUE CASÁS



P54
 1972