



São Paulo, 10/15 de abril 1972

GRUPO DE ESTUDOS DA TRANSMISSÃO

ASPECTOS TÉCNICOS NA CONCEPÇÃO E CONSTRUÇÃO DE

CUBICULOS BLINDADOS

Eng. Pierre Bernasconi

SPRECHER & SCHUH DO BRASIL S.A.

Industria de Aparelhagens Elétricas

1.0 Introdução

Propomo-nos a seguir analisar as principais técnicas empregadas na construção de cubículos blindados de media tensão. O fator de maior influência na determinação de uma ou outra solução é o princípio de extinção do arco dos disjuntores utilizados, a saber: disjuntor a ar comprimido, disjuntor a sopro magnético, disjuntor a grande volume de óleo, disjuntor a pequeno volume de óleo e também o disjuntor SF₆.

De fato o disjuntor utilizado é o equipamento responsável pela caracterização da construção de um cubículo blindado sendo que, devido a sua simplicidade alegada a um desempenho técnico e economicamente eficiente, o disjuntor a pequeno volume de óleo encontra uma aplicação cada vez maior.

O emprego de uma técnica de isolamento aperfeiçoada permite uma redução substancial nas dimensões dos equipamentos e conseqüentemente dos próprios cubículos.

Em função de fatores tais como economicidade, segurança operacional e pessoal bem como simplicidade de projeto, o uso nas redes de unidades normalizadas e prefabricadas

é cada vez mais desejável e solicitado. Neste trabalho, o cubículo baseado no emprego do disjuntor a pequeno volume de óleo será submetido a uma análise detalhada.

No final assinalamos as tendências na evolução do setor que se delinham como resultado da experiência adquirida durante longos anos.

2.0 Generalidades

Para efeito de comparação das principais soluções construídas existentes nos diversos países, torna-se indispensável fixar os vários aspectos que caracterizam os cubículos blindados como menor unidade de uma instalação:

- 2.1 Aplicação das normas técnicas nacionais e internacionais bem como das recomendações que regem a matéria.
- 2.2 As tensões de serviço e de prova são de importância primordial para o dimensionamento do projeto.
- 2.3 A potência de curto-circuito e o tipo do disjuntor são fatores essenciais na construção de um cubículo blindado.
- 2.4 Devem ser considerados os fatores de segurança pessoal e operacional.
- 2.5 O fator econômico representa um complemento básico para o projeto.
- 2.6 Condições e dimensões do local de instalação devem também ser consideradas no estudo da solução mais adequada.

Tais critérios geralmente satisfazem para efeito de comparação de várias soluções. Além disto a determinação precisa do uso de um conjunto blindado no complexo geral de um sistema elétrico pode também ser de grande auxílio.

Instalações de média tensão tem utilizações das mais diversificadas como em usinas para a saída do gerador, em subestações distribuidoras ou de transformação, devendo satisfazer de modo geral a potências de curto-circuito de até 5000 MVA no primeiro caso e aproximadamente de 150 - 1000 MVA no segundo caso.

Por razões de espaço analisaremos neste trabalho somente o cubículo do disjuntor de vários tipos, ressaltando particularmente a técnica empregada pela Sprecher & Schuh com o uso do disjuntor de pequeno volume de óleo.

3.0 Principais tipos de construção

Os vários tipos de cubículos blindados se diferenciam essencialmente pelo tipo de disjuntor utilizado que ainda hoje é critério importante da concepção básica de instala-

ções de grande porte.

Maior interesse é dado hoje aos disjuntores a sopro magnético, ar comprimido mas sobretudo ao disjuntor de pequeno volume de óleo, o qual, por razões técnicas e econômicas, teve sua aplicação enormemente ampliada.

3.1 Com disjuntor a sopro magnético

Esta técnica, mais conhecida e utilizada nos Estados Unidos, oferece unidades na faixa de tensões de 5 - 15 kV, potências de ruptura de 250 - 1500 MVA e correntes nominais até 3000 A.

Geralmente o interior de um cubículo é compartimentado, delimitando fisicamente o espaço para o disjuntor, o barramento, entradas de cabo bem como instrumentação e relés de proteção. Esta construção todavia requer acesso livre de ambos os lados. Com a utilização de um isolamento interno adequado podem-se obter arranjos bastante compactos. Esta técnica porém não é a mais econômica inclusive na manutenção.

3.2 Com disjuntor a ar comprimido

Este tipo de equipamento tem aplicação particular como unidade de saída para geradores onde a corrente de curto circuito é elevada. Os problemas principais neste caso são de caráter eletrodinâmico, em virtude das solicitações elevadas em caso de curto circuito, de um lado e térmicos, dado os altos valores de corrente nominal a serem suportados em regime permanente, de outro lado. Já existem disjuntores especiais para correntes nominais de até 36 kA e capacidades de ruptura de até 5000 MVA para tensões de 16 kV até 36 kV. Para correntes nominais superiores a 12 kA há necessidade de um resfriamento adicional a água.

Para a faixa de 500 - 1500 MVA também existem soluções construtivas baseadas na utilização de disjuntores a ar comprimido, soluções estas que se aproximam bastante as empregadas no caso do disjuntor a sopro magnético.

3.3 Outras alternativas

Além dos tipos já citados, usam-se também, para instalações simples e de pouca concentração de potência de curto circuito, os disjuntores a grande volume de óleo, os quais todavia, por representar uma técnica bastante superada, deram lugar, na maioria dos casos, ao disjuntor de pequeno volume de óleo, muito mais econômico e eficiente em operação.

Particularmente na França desenvolveu-se outra tendência:

o uso do disjuntor SF₆ em conjuntos blindados

3.4 Com disjuntor de pequeno volume de óleo

Particularmente na Europa este tipo de disjuntor é o mais utilizado em instalações blindadas de média tensão para uso interno ou ao tempo. Sua aplicação é das mais variadas, dando origem a uma grande diversificação de soluções construtivas, cada qual adequada a uma determinada finalidade. Encontramos assim uma boa versatilidade, permitindo escolher para cada caso, a solução mais econômica.

O disjuntor de pequeno volume de óleo tem sua grande aplicação na faixa de 6 - 24 kV para capacidades de ruptura de 250 - 750 MVA, em certos casos 1000 MVA. As correntes nominais podem atingir valores de até 2000 A ou mais. O uso de um disjuntor de pequeno volume de óleo de concepção moderna, aliado ao emprego de resinas sintéticas para o isolamento das partes vivas, permite a realização de soluções extremamente vantajosas sob ponto de vista técnico mas sobretudo econômico. Na maioria dos casos os disjuntores são do tipo extraível, facilitando sobremaneira a manutenção e oferecendo um alto grau de segurança.

4.0 Uma técnica avançada na construção de cubículos blindados de média tensão, utilizando disjuntores de pequeno volume de óleo

4.1 Critérios construtivos

Tomando por base os diversos aspectos mencionados no início deste trabalho e que caracterizam um determinado tipo de construção, a Sprecher & Schuh desenvolveu e aprimorou uma técnica especial, aplicando ao mesmo tempo todos os recursos da tecnologia moderna, em particular a de materiais isolantes na base de resinas sintéticas.

Os critérios principais que nortearam o projeto são:

- Composição normalizada dos cubículos, tanto para disjuntor, seccionador com ou sem carga, transformadores de medição, seccionador de barramento etc., na faixa de tensão de 6 a 24 kV, para uso interno ou externo.
- Redução do espaço necessário a instalação de um cubículo ou conjunto blindado devido a uma concepção compacta. Altura mínima necessária do local 2,3 m.

- Racionalização no trabalho do projeto devido ao uso de cubículos padronizados, dimensões e plantas de fundação normalizadas.
- Custos mínimos de montagem e manutenção em virtude do sistema prefabricado e conseqüente redução da mão de obra necessária.
- Altíssimo grau de segurança em serviço garantido por uma construção resistente aos esforços de curto circuito, barramentos e conexões isoladas, separação metálica entre cubículos adjacentes, portas de segurança automáticas e metálicas que impedem o acesso as partes vivas (Contatos fixos) quando o disjuntor é retirado do cubículo para fins de manutenção ou revisão, dispositivo de depressurização acionado por cima.
- Segurança total para o pessoal de operação
O lado de operação é completamente fechado. Os terminais para conexão dos circuitos secundários são facilmente acessíveis mesmo com o conjunto estando energizado. Eliminação total do perigo de explosão devido ao dispositivo de depressurização analisado mais adiante.
- Possibilidade de ampliação ou intercâmbio de unidades, sem necessidade de serviços especiais de adaptação.
- Solução economicamente vantajosa devido a fabricação seriada que se tornou possível face a padronização existente e por outro lado a realização da ideia: máximo desempenho técnico com custo mínimo.

4.2 Execução do projeto

O atendimento a todos os critérios citados acima tornou-se realidade após um longo período experimental durante o qual realizaram-se os mais variados testes mecânicos, elétricos e dielétricos, comprovando o melhor desempenho da unidade.

Máxima importância foi atribuída aos ensaios em condições de curto-circuito e ao comportamento do dispositivo de depressurização. A técnica de isolamento também foi objeto de profundas pesquisas.

4.3 Principais tipos disponíveis

4.3.1 Barramento simples

- 4.3.1.1 Cubículo de disjuntor para uma saída, transformador de corrente e para-raios. Ver figura 4.3.1.1-1.

- 4.3.1.2 Cubículo de disjuntor para uma saída, transformador de corrente, transformador de potencial.
Ver figura 4.3.1.2-2
- 4.3.1.3 Cubículo de disjuntor para uma entrada e duas saídas, com seccionador de entrada, transformador de potencial, transformador de corrente e seccionador resersível na saída.
Ver figura 4.3.1.3-3
- 4.3.1.4 Cubículo de seccionador sob carga com fusíveis, transformador de corrente, transformador de potencial.
Ver figura 4.3.1.4-4
- 4.3.1.5 Cubículo de seccionador sob carga com fusíveis, seccionador de terra e para-raios.
Ver figura 4.3.1.5-5

4.3.2 Barramento duplo

- 4.3.2.1 Cubículo tipo duplex, com dois disjuntores e saída comum com para-raios.
Ver figura 4.3.2.1-6
- 4.3.2.2 Cubículo tipo duplex, com dois disjuntores e saída comum com transformador de corrente e pararaios.
Ver figura 4.3.2.2-7

4.4 Descrição da solução construtiva

4.4.1 Estrutura metálica do conjunto

A matéria prima usada é a chapa de aço bitola 12 AWG e perfis comerciais como por exemplo o trilho tipo "Sobonial". A estrutura é autosuportante e constituída de elemento padronizado (Perfis e painéis de chapa dobrada) juntados convenientemente por meio de parafusos. O dimensionamento dos perfis dobrados foi definido em função dos resultados dos ensaios mecanicos efetuados em prototipos e considerando os esforços originados por correntes de curto-circuito. Cada elemento da estrutura é submetido ao tratamento de superfície individual, garantindo o máximo de proteção contra corrosão, principalmente das partes inacessíveis após a montagem.

As laterais são facilmente removíveis, possi-

bilitando e simplificando ampliações futuras.

O cubículo oferece uma perfeita vedação contra penetração de água garantindo ao mesmo tempo uma boa ventilação (Execução para uso externo)

4.4.2 Separação física entre cubículos adjacentes

Contrariando a técnica americana que usa compartimentos internos para cada seção elétrica do circuito, nós nos limitamos apenas a uma separação física entre dois cubículos adjacentes. Esta solução justifica-se pelos seguintes conceitos:

- Observância das distâncias normais entre fases e contra terra, mesmo com barramento e conexões isoladas, garantindo o bom comportamento do conjunto quando submetido aos testes dielétricos, particularmente a ensaio sob tensão de impulso.
- Facilitar o acesso aos equipamentos em caso de manutenção.
- Aumentar ao máximo o volume do espaço delimitado por paredes metálicas, afim de diminuir as consequências desastrosas da ação do arco, uma vez que a pressão interna é tanto maior quanto menor for o volume do compartimento atingido. Desta forma, com o auxílio do dispositivo de despressurização, eliminamos o perigo de explosão.
- Impedir de maneira absoluta a propagação de um eventual arco ao longo do barramento, evitando a danificação de outras unidades.

Os recursos da tecnologia moderna dos materiais isolantes possibilitaram a realização desta condição indispensável para segurança operacional e pessoal.

O material empregado no processo de isolamento tem características anti-inflamáveis, é bom condutor térmico, permitindo uma perfeita dissipação do calor originado por correntes nominais elevadas, apresenta um coeficiente de dilatação quase igual ao do cobre, e sobretudo conserva seu alto poder dielétrico mesmo sob o efeito de temperaturas elevadas.

Além disto é de uma elasticidade considerável.

A passagem do barramento entre cubículos é feita por intermédio de placas tripolares de material isolante e sem interrupção física do condutor. Estas mesmas placas, projetadas para suportar os esforços eletrodinâmicos em caso de curto-circuitos, dispensam totalmente o uso de isoladores suportes convencionais, muitas vezes causa de graves havarias.

4.4.3 Portas automáticas de segurança

As portas automáticas de segurança são um complemento opcional usado sempre em conjunto com o disjuntor extraível. Em operação normal, a frente do disjuntor concorre ao fechamento do painel lado operador. O vão reservado ao disjuntor também permanece fechado, mesmo estando o carrinho na sua posição seccionada.

A retirada de um disjuntor para fins de manutenção é indispensável. Esta operação todavia deve se fazer, oferecendo ao operador segurança pessoal absoluta. Para isto, o cubículo está equipado de dois segmentos de porta, em chapa de aço, os quais, extraíndo totalmente o disjuntor, fecham-se automaticamente vedando o livre acesso aos contatos fixos sob tensão. Um sistema de travamento mecânico evita a abertura acidental dos segmentos de porta. Estes somente serão reabertos automaticamente ao se iniciar a operação de reengate do disjuntor no respectivo cubículo. Um fato reveste-se de particular importância: em qualquer posição durante a operação de fechamento ou abertura, os segmentos metálicos aterrados, mantem a distancia de isolamento total para as partes vivas. Qualquer material isolante de características higroscópicas foi totalmente eliminado evitando assim os conhecidos problemas devido a umidade.

4.4.4 Dispositivo de despressurização

Apesar de todas as precauções tomadas, às vezes a formação acidental de um arco no interior de um cubículo não pode ser evitado.

Neste caso resta apenas a imposição de limitar os danos materiais e garantir a segurança total do operador.

Sob efeito do arco a pressão no interior de um cubículo aumenta violentamente em função da duração do proprio arco, provocando

finalmente a inevitável explosão da unidade atingida.

Para que isto não aconteça, é preciso neutralizar em tempo útil este efeito. Assim previmos na cobertura superior do cubículo uma "válvula mecânica" que, quando acionada por uma sobrepressão interna, abre quase que instantaneamente um orifício de área praticamente igual a própria superfície do cubículo, neutralizando totalmente os efeitos da sobrepressão. Ver ilustração 4.4.4-8. Nesta mesma ilustração demonstramos a influência do volume de ar envolvido com relação a pressão originada pelo arco. Também evidenciamos o efeito de um dispositivo de despressurização fixo com abertura definida.

Fica pois provado que o dispositivo de abertura móvel e total é o mais eficiente.

Pelo fato do dispositivo abrir do lado superior, o pessoal de operação, que no momento do acidente se encontrar nas imediações, está totalmente protegido e fora de qualquer risco.

5.0 Conclusão

Um retrospecto das soluções apresentadas, permite afirmar que cada uma tem sua aplicação específica em função das exigências mais variadas que cada caso impõe.

Alguns aspectos todavia são comuns e determinam o grau de desempenho da construção escolhida:

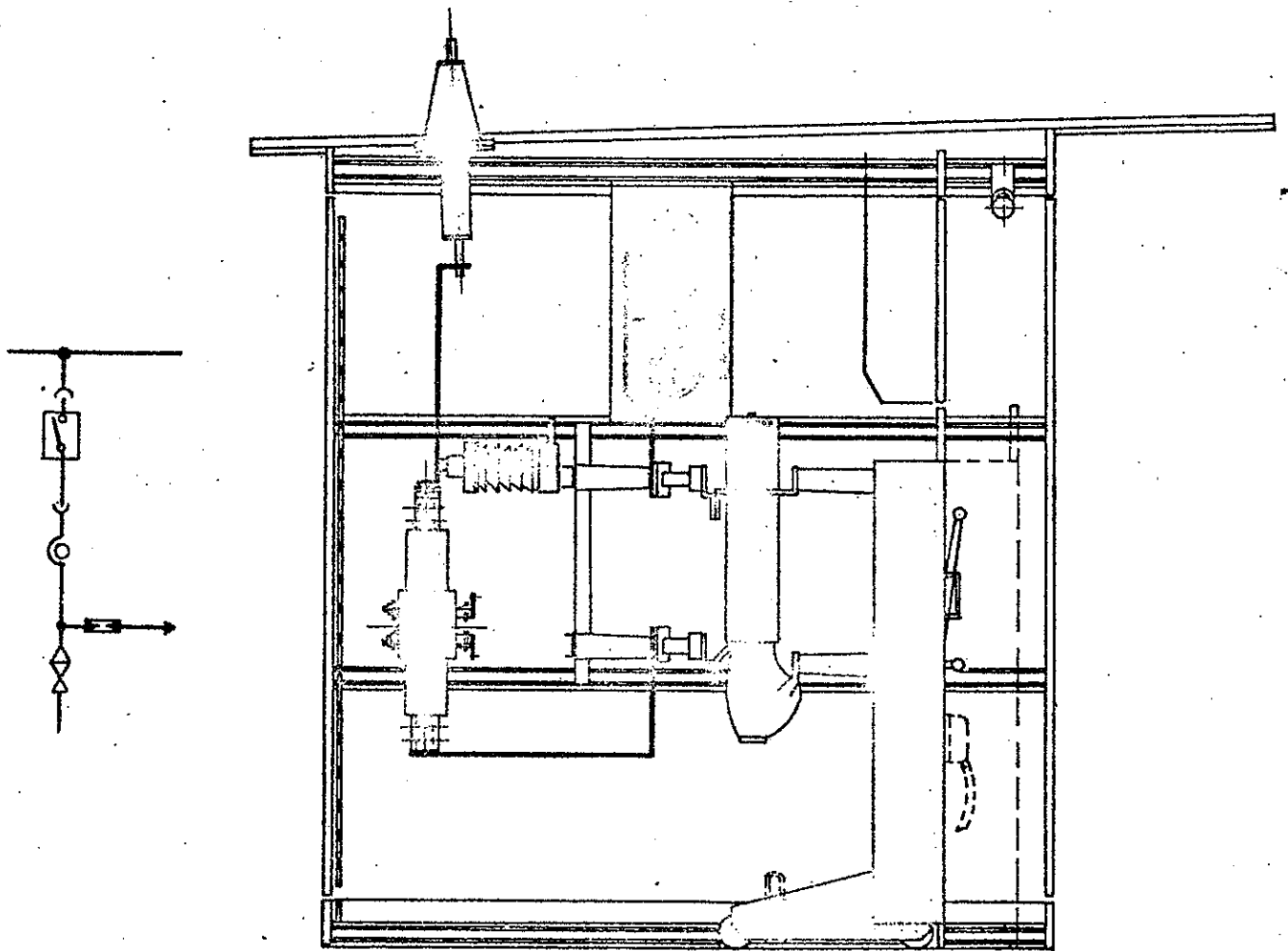
- Emprego de disjuntores com tempos de abertura mínimos afim de limitar a duração de um eventual arco.
- Capacidade de suportar os efeitos das correntes de curto circuito.
- Evitar a propagação do arco para as unidades não afetadas.
- Oferecer o máximo de segurança operacional.
- Facilitar os serviços de revisão e manutenção, reduzindo ao mesmo tempo os períodos de interrupção necessários.
- Redução do custo fixo e também da manutenção.

Quer nos parecer que um sistema de cubículos blindados, composto de unidades padronizadas e prefabricadas seguindo a técnica apresentada, vem ao encontro destas exigências.

Todavia, para a melhor solução desta série de problemas complexos continuará sendo indispensável a estreita colaboração entre fabricante e usuário de instalações do genero.

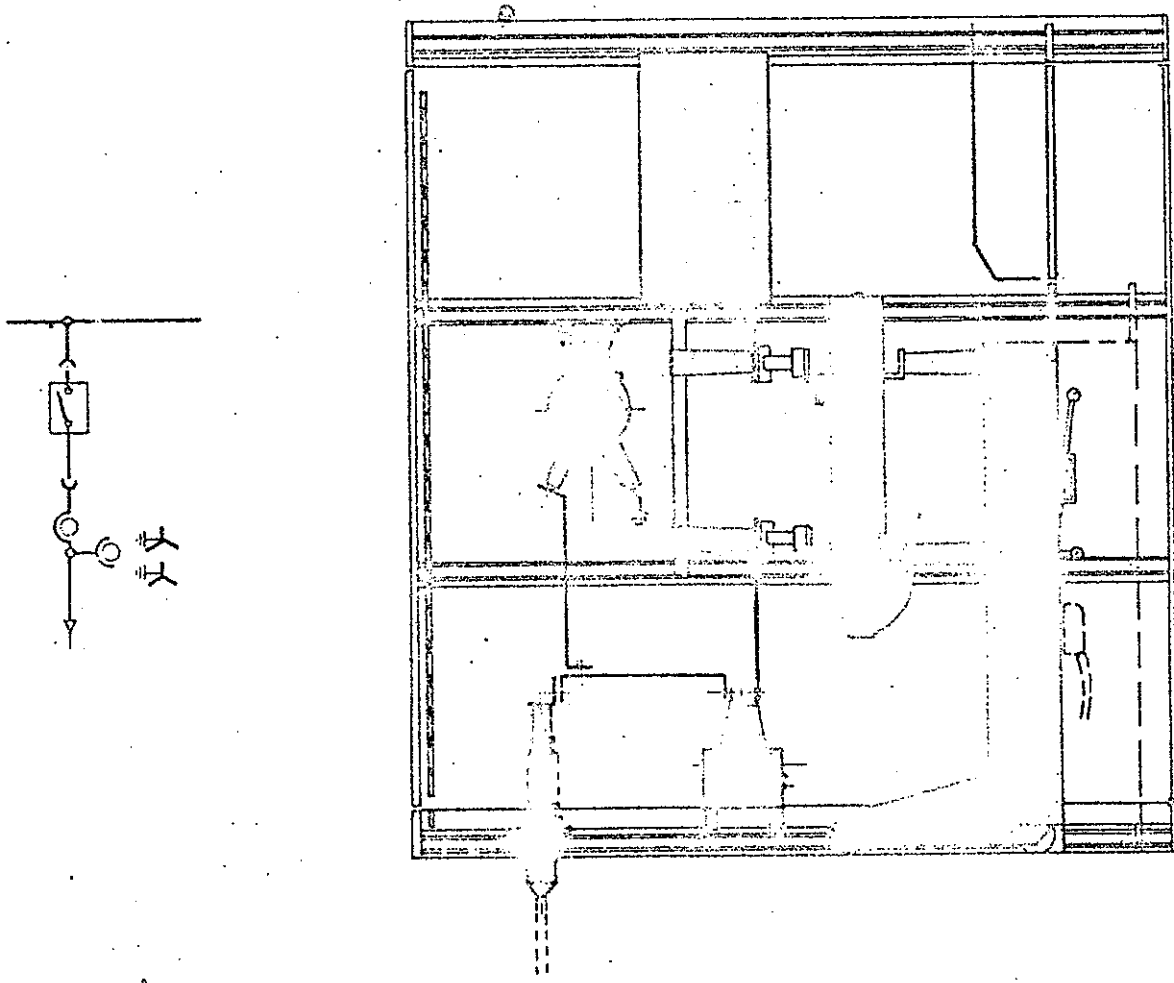
São Paulo, março de 1972

Ilustração 4.3.1.1-1



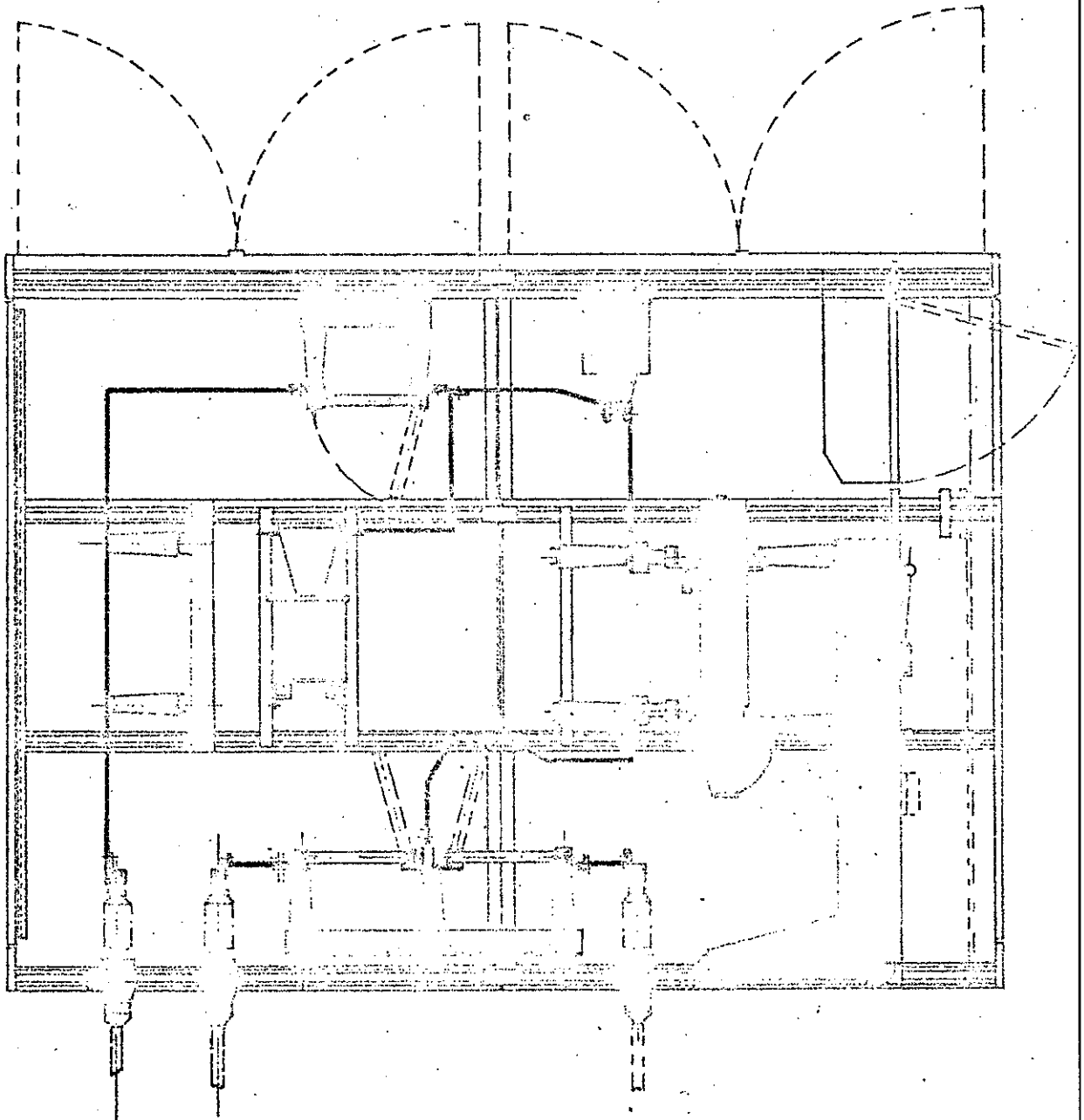
*Cubículo de disjuntor para uma saída,
transformador de corrente e
para-raios.*

Ilustração 4.3.1.2 - 2



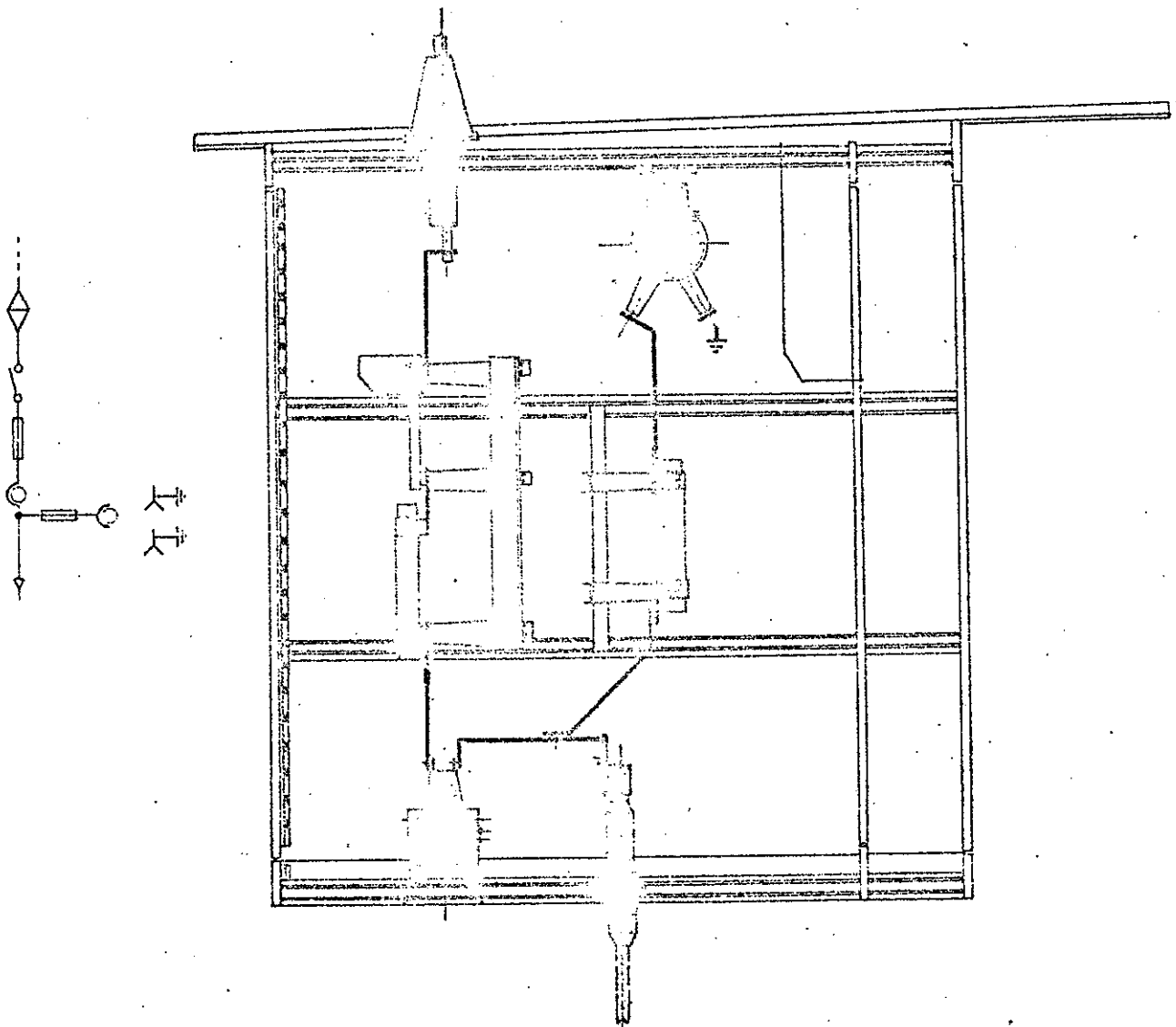
*Cubículo de disjuntor para uma saída,
transformador de corrente e
transformador de potencial*

Ilustração 4.3.1.3-3

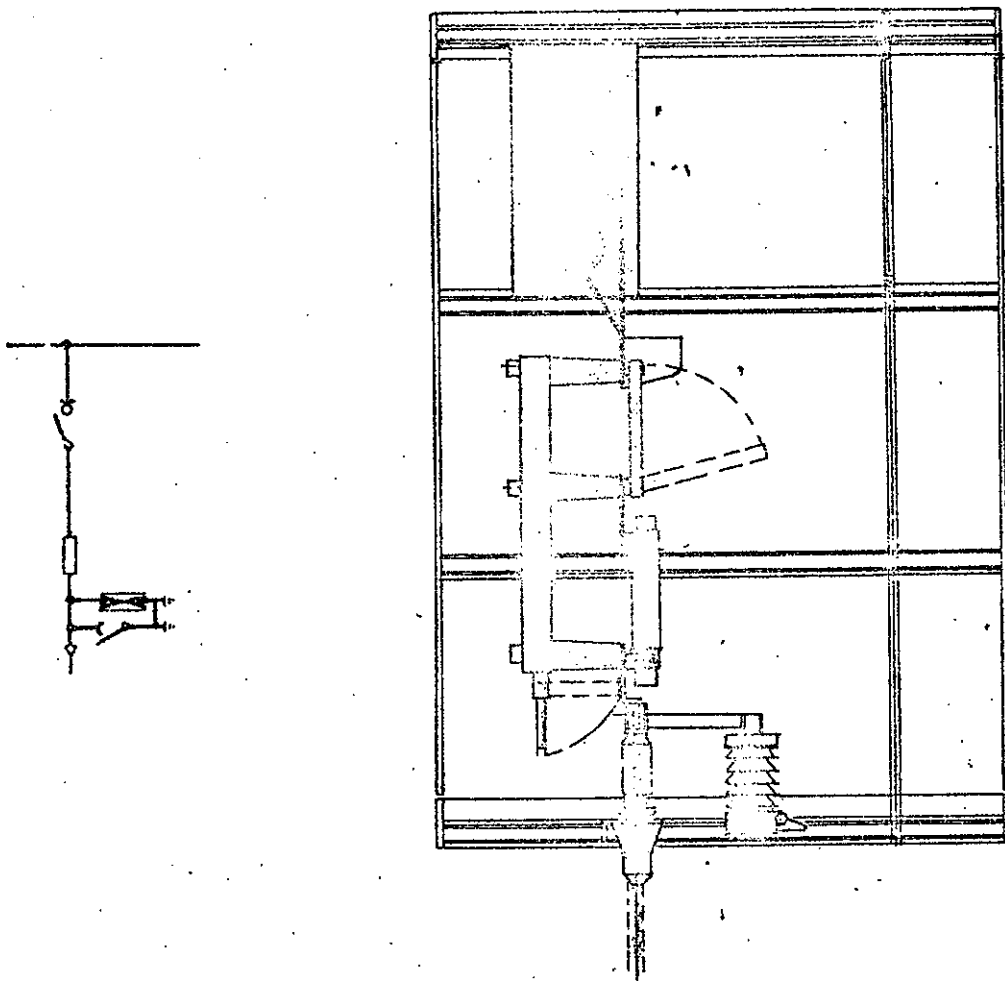


Cubículo de disjuntor para uma entrada e duas saídas, com seccionador de entrada, transformador de potencial, transformador de corrente e seccionador reversível na saída.

Ilustração 4.3.1.4-4

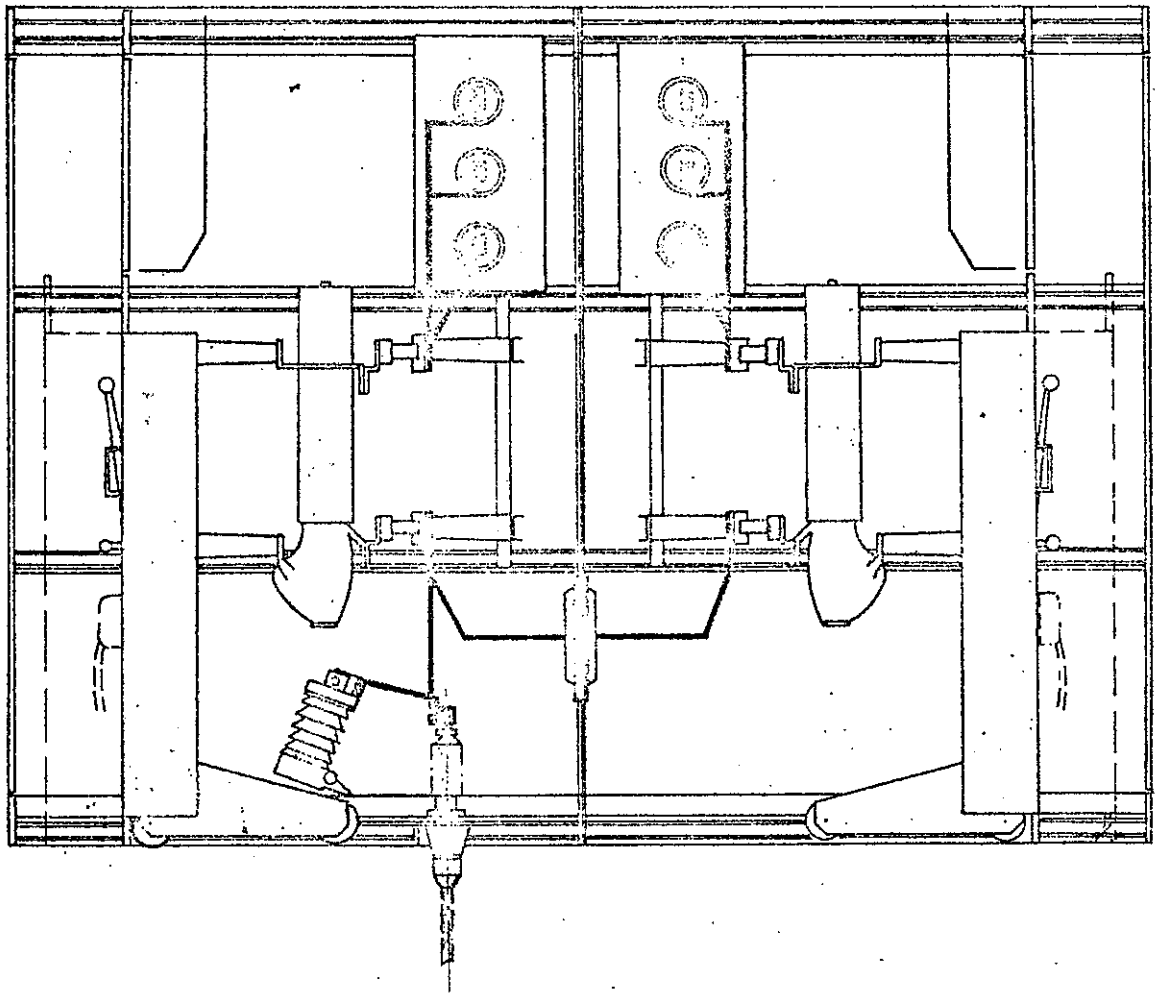


*Cubículo de seccionador sob carga com
fusíveis, transformador de corrente,
transformador de potencial.*

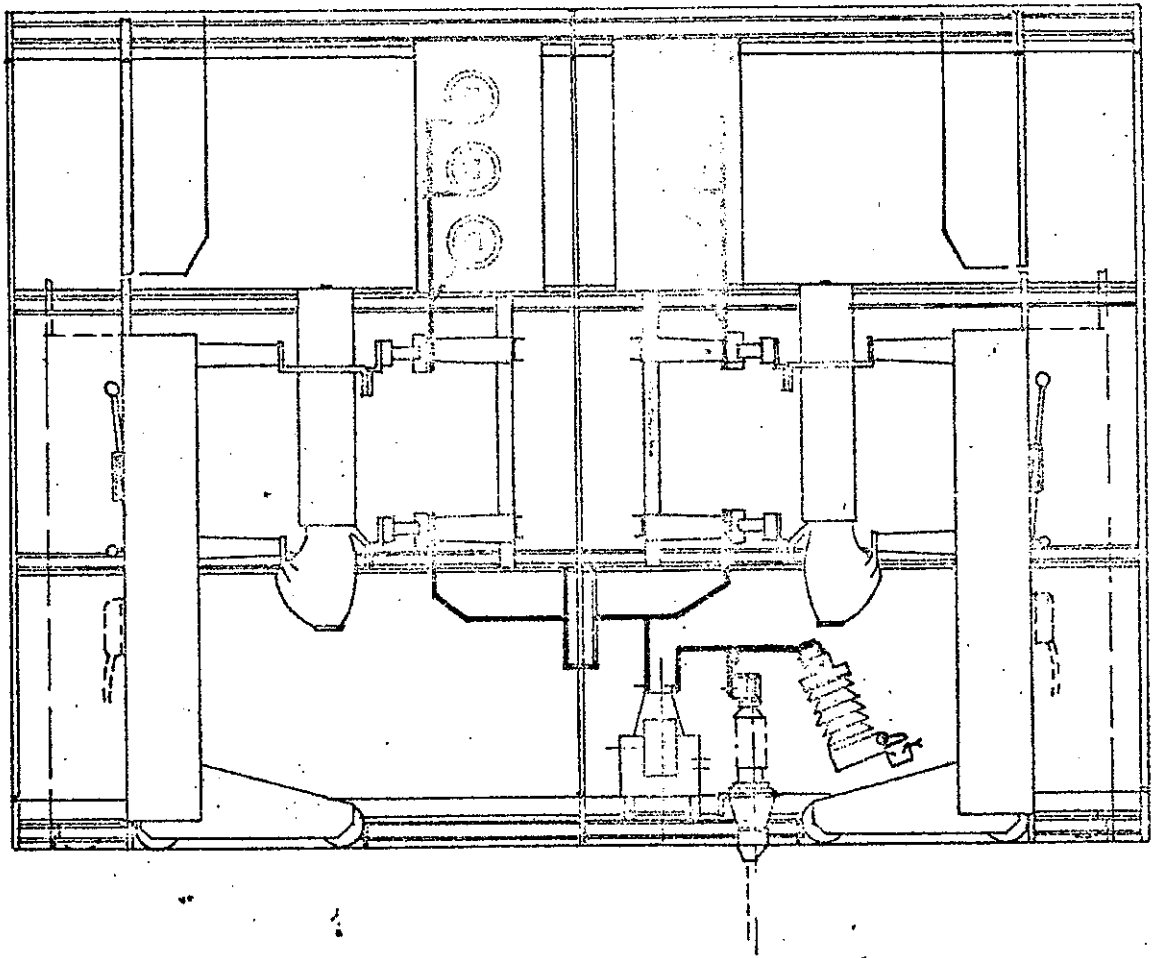
Ilustração 4.3.1.5-5

*Cubículo de seccionador sob carga
com fusíveis, seccionador de terra
e para-raios.*

Ilustração 4.3.2.1 - 6

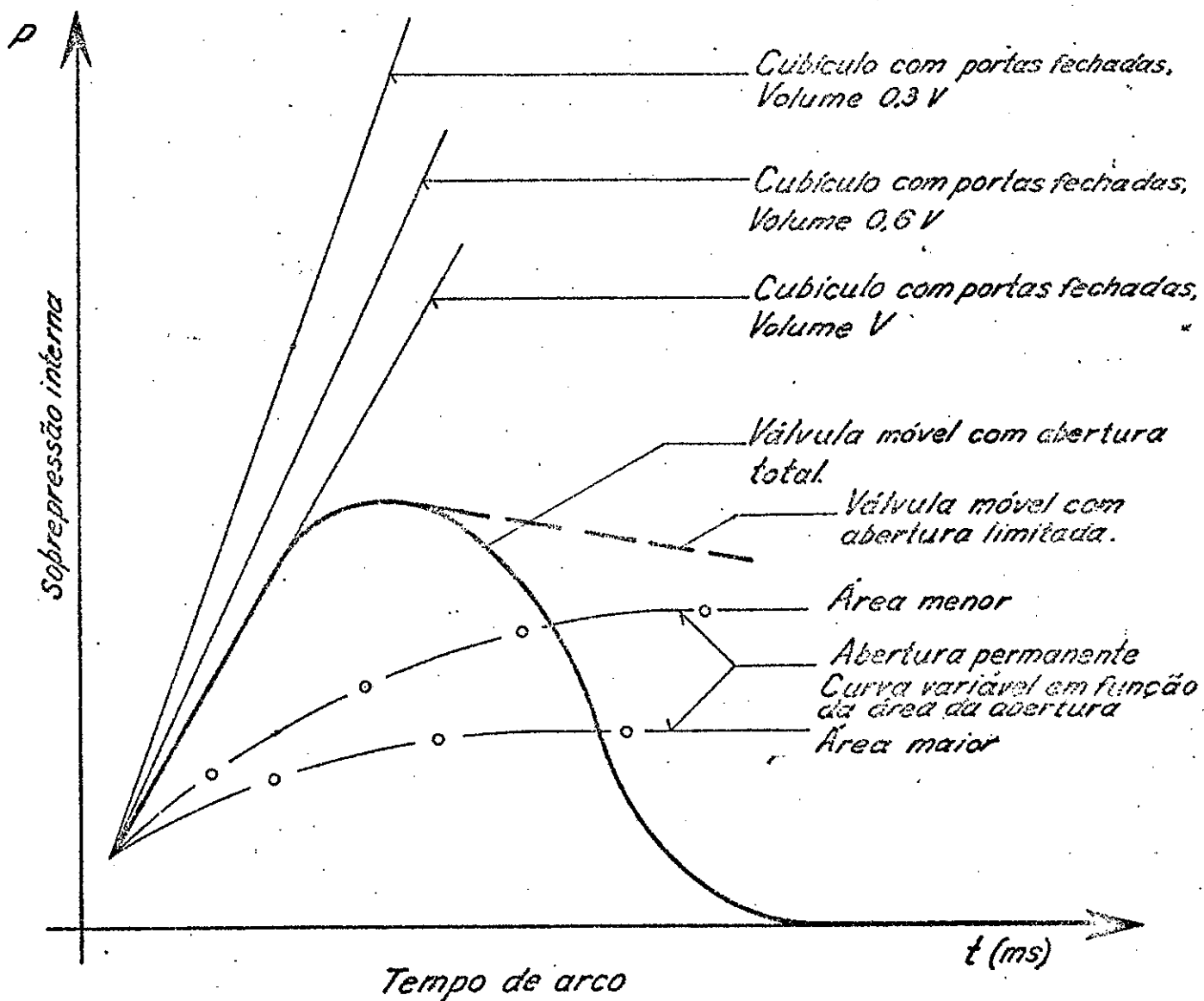


*Cubículo tipo duplex, com dois disjuntores
e saída comum com para-raios*

Ilustração 4.3.2.2-7

*Cubículo tipo duplex com dois disjuntores
e saída comum com transformador de corrente
e para-raios.*

Ilustração 4.4.4-8



Variação da sobrepessão interna em função do arco, admitindo um valor de corrente igual em todos os casos.