



São Paulo, 10/15 de abril de 1972

GRUPO DE ESTUDOS DA PRODUÇÃO HIDRÁULICA

INSTABILIDADE NO SISTEMA DE VENTILAÇÃO DE UM ALTERNADOR

Eng^o Edgard Manoel Elisilande Baio de Barros
Cia. Hidro Elétrica do São Francisco - CHESF

1.0 - INTRODUÇÃO

Os informes apresentados no presente relatório, caracterizam um fenômeno de instabilidade de ventilação do ar de refrigeração, verificado num dos três geradores de fabricação ASEA, instalados na Usina de Paulo Afonso II.

A circulação de ar na máquina tem por objetivo - resfriar os enrolamentos do estator, as bobinas do rotor, e o ferro do estator aquecidos, devido aos efeitos Joule nos enrolamentos, e correntes de Foucault e histerese no ferro.

O princípio de refrigeração do gerador citado é baseado num sistema de circuito fechado do ar com ventilação forçada. O ar quente do gerador passa através de resfriadores de água - fria, onde é resfriado, retornando à máquina por meio da ação de ventiladores montados no rotor. Os ventiladores instalados nas periferias superior e inferior do rotor trabalham em oposição injetando o ar frio para o interior do gerador. Essa característica de funcionamento, impõe que os dois ventiladores apresentem idênticas condi-

ções de pressão de trabalho, para haver equilíbrio.

O presente relatório mostra as diversas situações de desequilíbrio, com preponderância ora de um ventilador ora de outro, acarretando instabilidade do circuito de ventilação do gerador.

2.0 - APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA

2.1. - Antes de serem abordados, em detalhes, os aspectos técnicos que definem o problema, convém apresentar as características técnicas do gerador a fim de que se possa apreciar as ocorrências verificadas e as providências tomadas em cada caso.

A Usina de Paulo Afonso dispõe, entre outros, de três geradores de fabricação ASEA com as seguintes características, mais importantes:

- Potência nominal, em serviço contínuo, aumento de temperatura não excedendo 60°C.....	80 000 kVA
- Potência nominal, em serviço contínuo, aumento de temperatura não excedendo 80°C.....	92 000 kVA
- Tensão.....	13 800 volts
- Corrente.....	3 347 amperes
- Frequência	60 Hz
- Rotação	200 rpm
- Classe de isolamento.....	F
- Número de trocadores de calor.....	8
- Vazão de ar	54 m ³ /s
- Vazão de água	200 m ³ /h
- Ar quente	58°C
- Ar frio	38°C
- Água fria	28°C
- Água quente	33°C

O núcleo e enrolamentos do estator, e as bobinas de campo do rotor são resfriados por meio de circulação de ar em circuito fechado, isolado do ar atmosférico exterior. A circulação de ar é mantida por ventiladores montados no rotor e o calor produzido pelas perdas é dissipado pelos resfriadores ar-água instalados

na carcaça do estator.

As figuras nºs 2.1-1 e 2.1-2 ilustram a descrição feita e ao mesmo tempo apresentam em detalhes os ventiladores instalados no rotor.

A figura 2.1-3 mostra esquematicamente o percurso do ar no interior do gerador. Observa-se que o ar quente da máquina - passa através dos resfriadores de ar, sendo em seguida, por ação dos ventiladores dirigida uma parte para resfriar as cabeças de bobinas do estator e outra parte para dissipar o calor das bobinas de campo do rotor e do núcleo do estator.

2.2 - Ocorrência - Em janeiro de 1969 um desses geradores ASEA, e por sinal o último que havia entrado em operação (maio de 1968) desligou-se automaticamente por atuação dos relés de proteção diferencial e terra do rotor.

Após testes e inspeções realizadas, verificou-se - que se romperam uma aleta ventiladora móvel, danificando uma bobina de campo do rotor e algumas cabeças das bobinas do estator.

Em seguida após criteriosas inspeções nas demais - aletas não só desse gerador como também das demais Unidades ASEA, en controu-se uma aleta em outro gerador apresentando fissura.

2.3 - Parecer do Fabricante - O fabricante do gerador após esses incidentes, recomendou a remoção das aletas fixas e a redução das juntas de união das calhas de cobertura do enrolamento do estator.

As razões descritas pela ASEA para justificar as ocorrências verificadas baseiam-se na probabilidade de um fenômeno de frequência da ressonância.

Considera que os impulsos aerodinâmicos nas aletas móveis, quando elas passam junto à união de segmentos das calhas de cobertura do enrolamento do estator, aparecem com frequência que é próxima a um múltiplo da frequência natural de vibração das aletas. Por outro lado a existência das aletas fixas contribui para aumentar a grandeza desse distúrbio.

Esses impulsos podem causar oscilações das aletas móveis levando-as à fadiga ou mesmo à sua ruptura.

2.4 - Serviços Executados - Conforme as instruções fornecidas pelo fabricante foram procedidos os seguintes serviços:

- Remoção das aletas ventiladoras fixas.
- Corte das junções terminais dos flanges das calhas de cobertura dos enrolamentos do estator.

Comparando-se as Figuras 2.1-2 e 2.4-1 pode-se compreender esses serviços realizados.

2.5 - Resultados Obtidos - O serviço acima citado foi realizado no início do ano de 1970 em um dos geradores ASEA.

Após a execução e o funcionamento do gerador, verificou-se que o circuito de ventilação não funcionava a contento; o débito de ar nos refrigeradores de ar era inferior às condições de projeto, e além disso os valores de temperatura dos enrolamentos do estator, determinados por meio de detetores de temperatura, estavam em média 15°C acima daqueles medidos, antes da execução dos serviços e para idênticas condições de carga do gerador.

2.6 - Ajustes Efetuados - Como explicação para essa grande variação ocorrida, após a execução desses serviços, o fabricante esclareceu que a mesma era devida à perda de rendimento dos ventiladores, causada pela existência de "ar girante", gerado pelo rotor.

Pela Figura 2.6-1 pode-se observar que a influência do "ar girante", antes da remoção das aletas fixas, era reduzida, porque essas serviam de anteparo à rotação de grande parte do ar. A figura seguinte, de nº 2.6-2, apresenta a evolução da situação, após a realização do serviço. Vê-se que o rendimento dos ventiladores, diminuiu, tendo em vista a grande quantidade de ar girante que circula com a mesma velocidade dos ventiladores.

Para reduzir-se a quantidade de ar e, em consequência, aumentar-se a capacidade dos ventiladores, seria preciso diminuir as folgas verticais como mostrado na Figura 2.6-3

Seguindo-se essa orientação foi providenciada a redução das folgas verticais. Os resultados foram satisfatórios: obteve-se ventilação do gerador e elevações de temperaturas idênticas às que havia antes da realização do serviço descrito no item 2.4.

2.7 - Tendo-se conseguido resultados satisfatórios com o primeiro gerador, prosseguiu-se a execução dos mesmos serviços nas duas outras unidades.

Para a segunda máquina ASEA, as condições de ventilação de temperatura dos enrolamentos do estator foram normais, após a realização dos trabalhos. Porém, o mesmo não ocorreu com o 3º e último gerador ASEA.

Com a conclusão dos serviços nesse gerador (gerador nº 7 de Paulo Afonso) verificou-se que a ventilação era deficiente e, em consequência, as elevações de temperaturas também estavam -

anormais. Atribuiu o supervisor da ASEA, a deficiência de ventilação à obstrução parcial dos canais de ventilação do estator. Efetuou-se a limpeza dos citados canais e após estar a máquina em funcionamento, a ventilação se normalizou, assim como a elevação de temperatura dos enrolamentos do estator.

Naquela oportunidade, estavam concluídos os trabalhos de remoção das aletas guias de ar, eliminando-se com isso a possibilidade de ocorrerem fenômenos de ressonância que, segundo o fabricante, eram os causadores de rutura e fadiga de aletas ventiladoras móveis.

A elevação de temperatura dos enrolamentos do estator, esperada pela ASEA, era de apenas 1°C em relação às condições anteriores e na prática essa pequena diferença não deu para ser observada.

Como consequência imediata dos trabalhos foram eliminados, para os três geradores, as possibilidades de danos em enrolamentos e núcleos do estator e bobinas do rotor, causados pela rutura de aletas móveis.

2.8 - Reajustes Realizados - Após um certo tempo de operação verificou-se que a temperatura desse último gerador, o gerador nº 7, apresentava valores acima dos normais.

Realizou-se inspeção na máquina e foi verificado que o débito de ar nas saídas dos resfriadores de ar era baixo e que a folga vertical apresentava valores diferentes daquele deixado.

Providenciou-se, então, nova limpeza dos canais de ventilação do estator, e melhorou-se o ajuste das folgas verticais. Após o funcionamento do gerador observou-se que a ventilação continuava anormal. Foi feito um segundo reajuste das folgas verticais. Em seguida à partida da máquina, os resultados obtidos foram satisfatórios, isto é, a ventilação do gerador voltava à normalidade.

Com base nesses trabalhos e nos resultados verificados, naquela ocasião foi possível dar parecer conclusivo de que a ventilação normal do gerador dependia do ajuste correto das folgas verticais.

O controle das condições da máquina era feito por meio de medição da velocidade do ar nas saídas dos resfriadores e também pelos valores de temperatura dos enrolamentos do estator para uma dada carga da referência.

Prosseguiu-se com essas observações, e de vez em quando eram realizados pequenos reajustes das folgas verticais. Assim é que, após aproximadamente 6 meses, concluiu-se que embora a máquina estivesse operando normalmente, toda vez que parava ao retomar o movimento a ventilação se apresentava irregular; sempre se fazia mister um novo reajuste das folgas verticais para obter ventilação normal do gerador.

Tais reajustes, ainda que quase desprezíveis, de tão pequenos, tinham que ser repetidos cada vez que a máquina parava, caracterizando a instabilidade do fluxo de ar. Isto não podia ser aceito como rotina de trabalho normal.

Pelos valores de velocidade de ar medidos no circuito de ventilação, chegou-se à conclusão de que, com a ventilação anormal, havia sempre uma grande quantidade de ar circulando por uma das partes inferior ou superior. Isso indicava que por essa parte a perda de carga no circuito de ar era menor.

Poder-se-ia então equilibrar as perdas de carga a fim de igualar as pressões dos ventiladores inferior e superior.

Com a máquina em funcionamento verificou-se que o circuito de ar estava desequilibrado e que a velocidade do ar era maior na seção inferior, abaixo dos resfriadores de ar. Colocou-se em 4 trocadores de calor, defasados entre si de 90° , 2 homens deitados sob cada um deles. Após a colocação do último homem verificou-se a normalização da ventilação da máquina, com a mesma em funcionamento.

Várias experiências foram realizadas quando a ventilação se desequilibrava. De imediato era providenciada a sua normalização mediante a utilização de homens como anteparos para aumento da perda de carga do circuito de ventilação inferior ou superior.

Passou-se então a instalar chapas de ferro, devidamente soldadas, sob os resfriadores de ar (pois era justamente pela seção inferior que o débito de ar era maior), com o objetivo de igualar as perdas de carga. Conseguiram-se resultados excelentes, pois, durante mais de dois meses o gerador ficou funcionando com a ventilação normal muito embora, nesse mesmo período, tenha sido parada a máquina por mais de cinco vezes.

3.0 - CONCLUSÃO

Os trabalhos recomendados pelo fabricante foram realizados em três geradores idênticos (projeto comum para os mesmos). Os resultados plenamente satisfatórios obtidos em dois deles comprovam que os fundamentos teóricos apresentados pela ASEA foram verificados praticamente. A pesquisa continuará a ser feita não só pela ASEA, mas também pelas equipes de engenheiros da CHESF que trabalham na produção de energia, com o objetivo de descobrir-se a causa dessa anomalia existente no gerador 7, que não se apresentou nas outras duas máquinas ASEA.

As maneiras de retornar à normalização do circuito de ar são as seguintes:

- Aumentar a perda de carga no circuito de ventilação, a fim de equilibrar-se as pressões dos ventiladores inferior e superior.
- Minimizar a influência do ar girante mediante instalação de placas de polietileno, para que a folga vertical seja a menor possível.
- Reduzir a quantidade de ar girante, gerado pelo rotor, mediante a eliminação de saliências e ressaltos existentes na parte interna dos segmentos suportes das aletas ventiladoras móveis.
- Instalar chapas na carcaça do estator, a fim de separar os circuitos de ventilação inferior e superior.

Funcionando o gerador com deficiência de ventilação, a temperatura esperada nos enrolamentos do estator, sob condição de 92 000 kVA, é de no máximo 110°C, estando, mesmo dentro dos limites de elevação de temperatura admissíveis.

Recife, fevereiro de 1972.

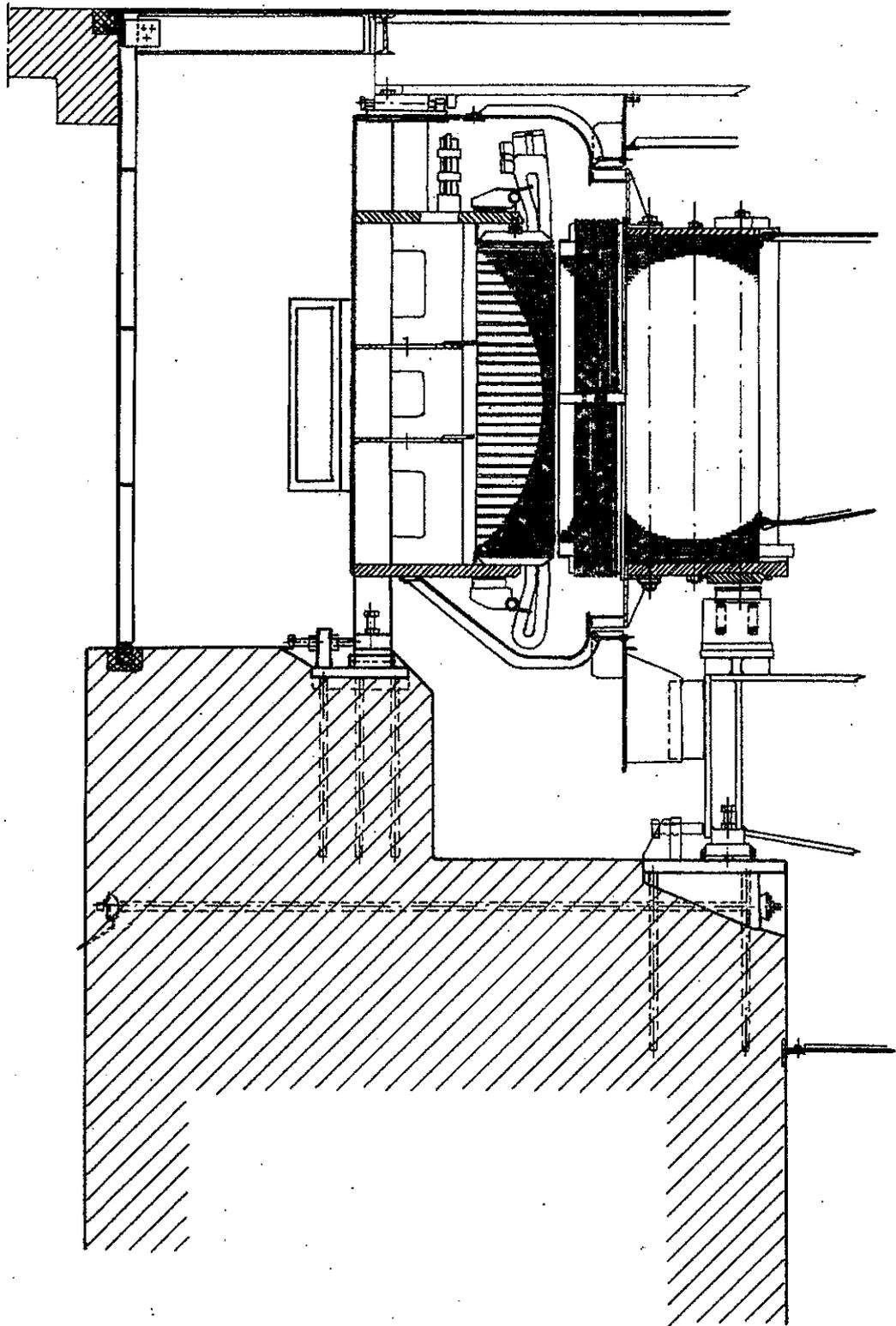


ILUSTRAÇÃO 2.1-1

- ① ALETA VENTILADORA MÓVEL
- ② ALETA VENTILADORA FIXA
- ③ COBERTURA DOS ENROLAMENTOS ESTATOR

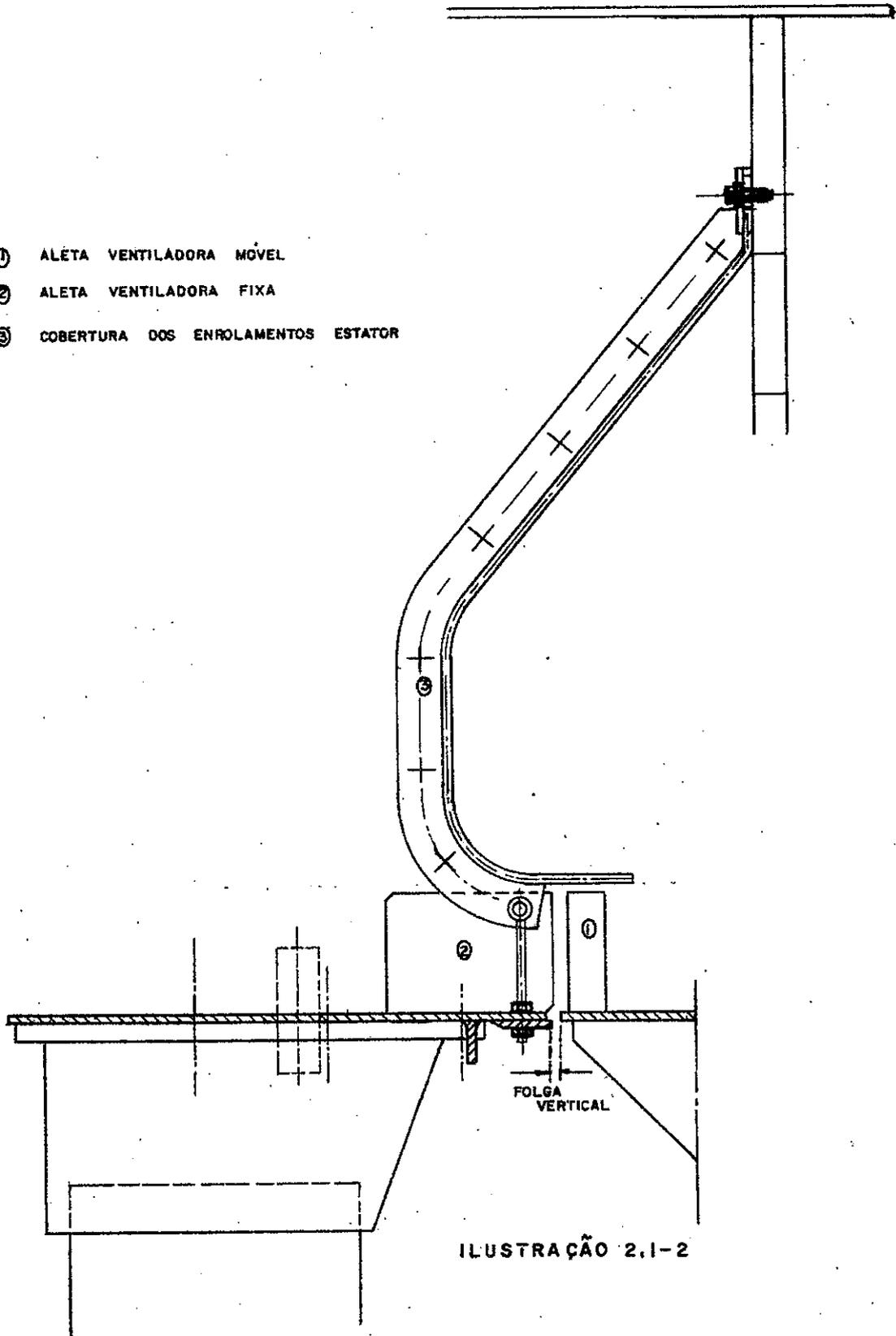


ILUSTRAÇÃO 2.1-2

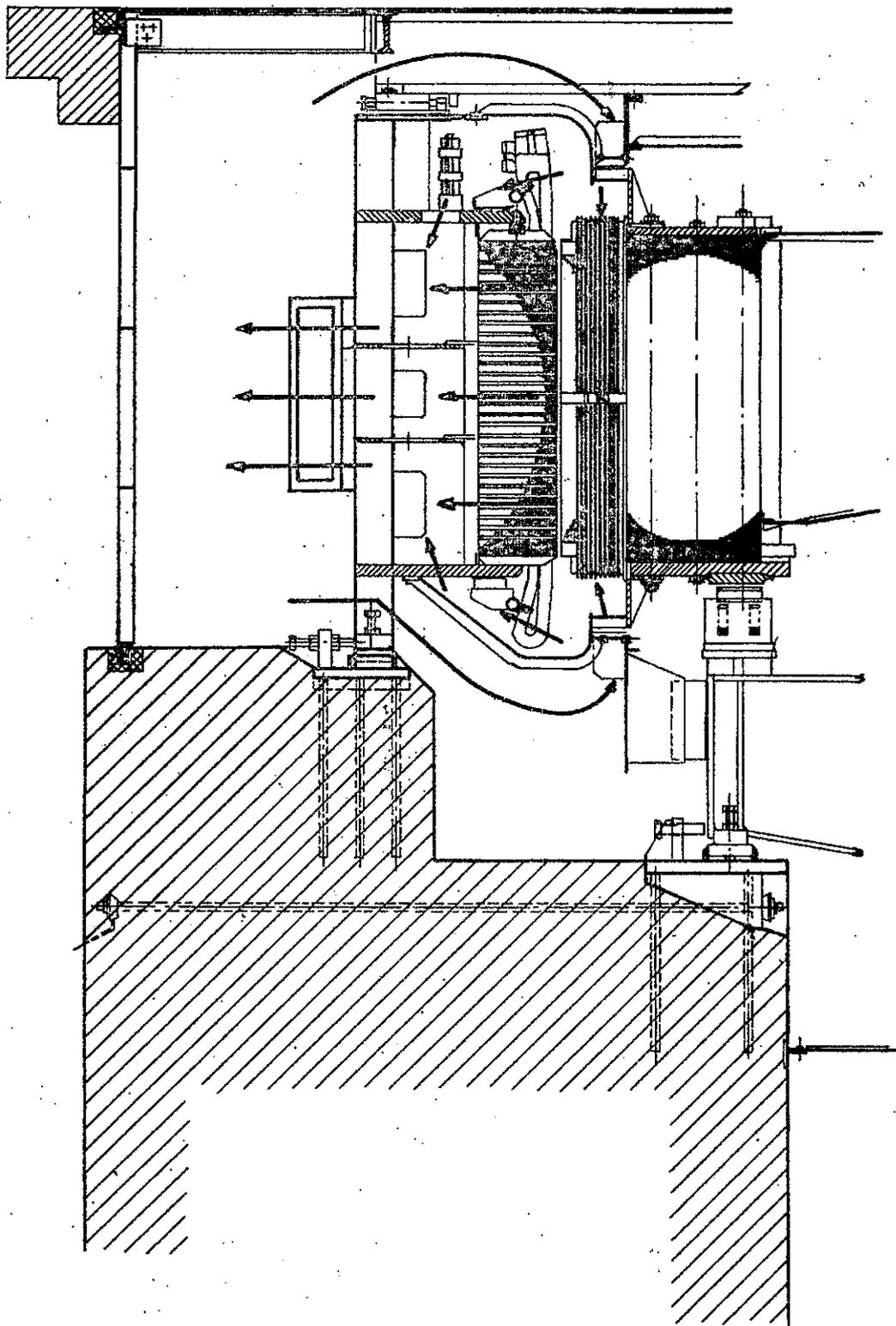


ILUSTRAÇÃO 2.1-3

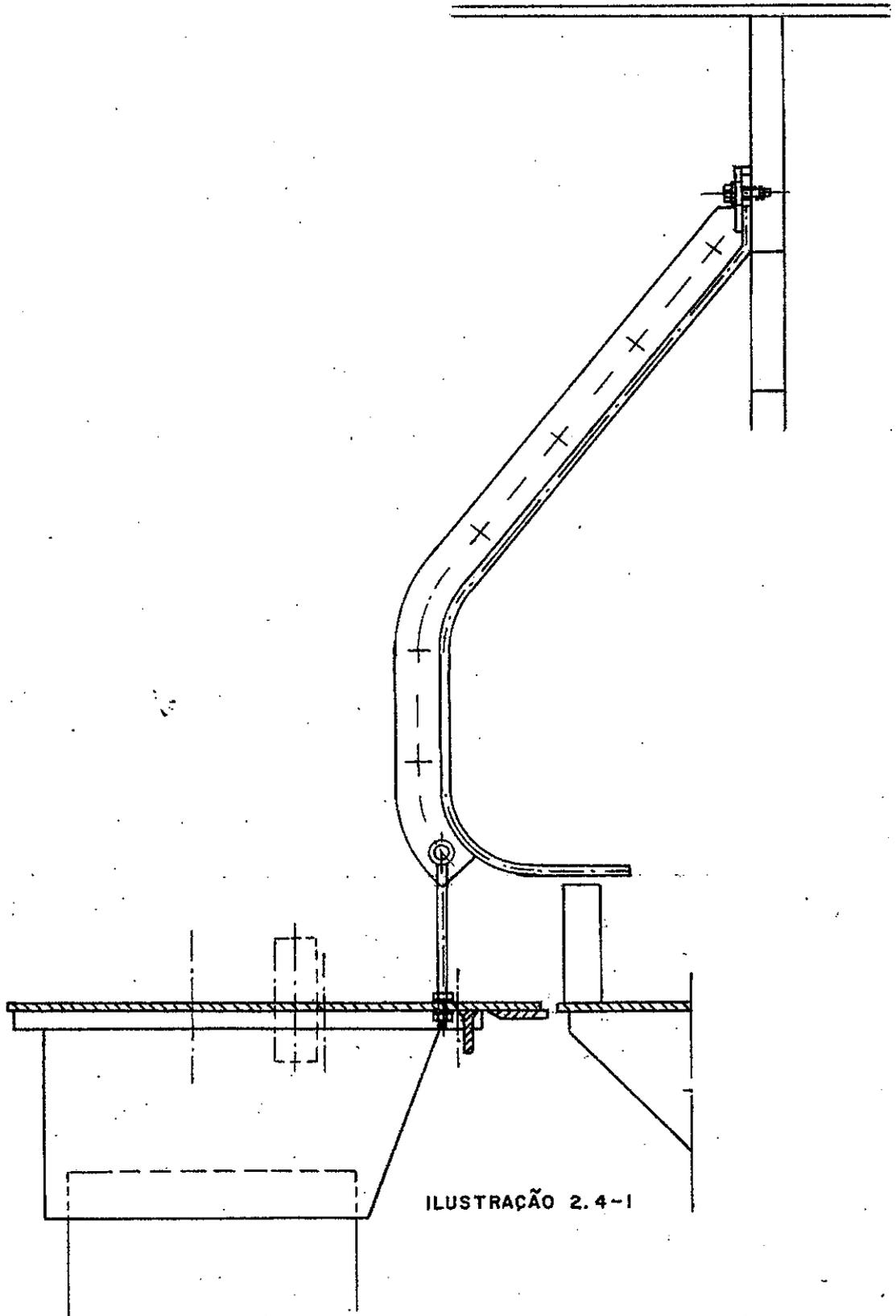


ILUSTRAÇÃO 2.4-1

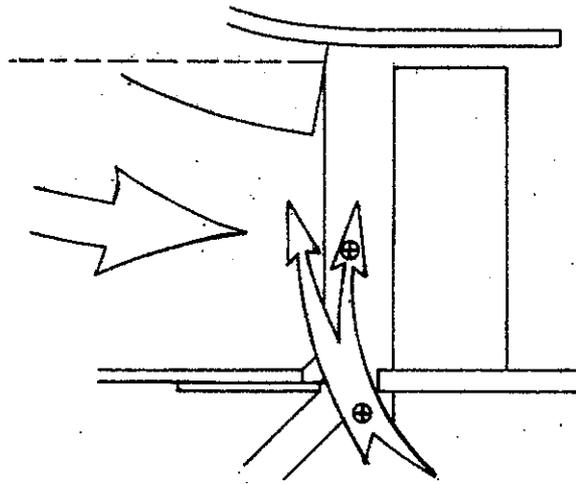


ILUSTRAÇÃO 2.6-1

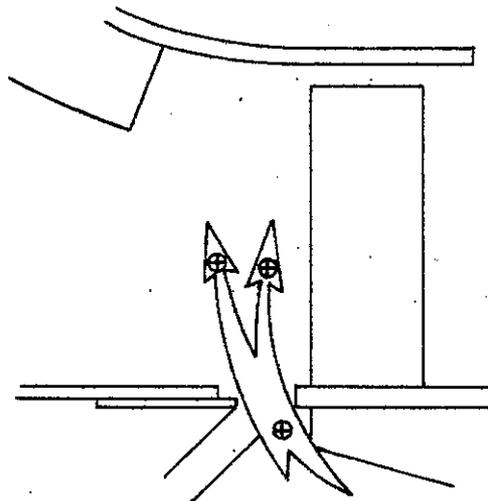


ILUSTRAÇÃO 2.6-2

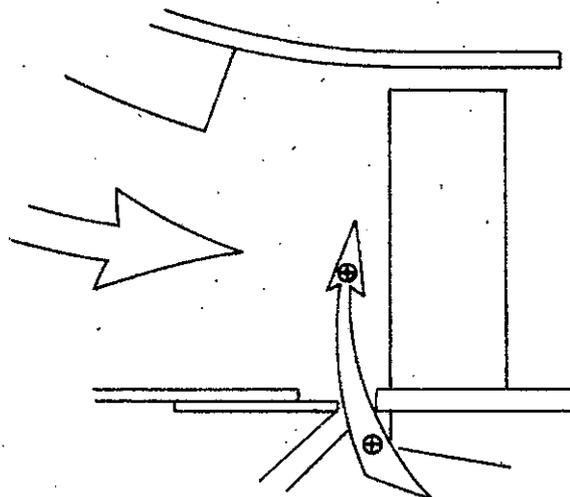


ILUSTRAÇÃO 2.6-3