

O cálculo dos golpes de aríete nos condutos de recalque (*)

Por F. DUC

A parada brusca duma bomba centrífuga por falha da corrente, causa nos condutos fenómenos de pressão capazes de provocar perigos graves, sobretudo em instalações de grande potência. Desde sempre, a firma Sulzer Frères ligou grande atenção a estes problemas de pressão na projecção das bombas de sua fabricação. O presente artigo examina o método gráfico que permite determinar de antemão estes golpes de aríete e prever as medidas de protecção apropriadas. Exemplos de aplicação ilustram este método, cuja precisão é confirmada pelos resultados das medições.

Com sua obra "Teoria do movimento variado da água nos condutos sob pressão", publicada em 1903, *Alliévi* trouxe uma importante contribuição para o problema dos golpes de aríete, conhecido desde longa data mesmo nessa época. Desde então, este domínio da técnica deu origem a numerosas publicações¹. Não tardou que se verificasse que estes problemas, cuja aplicação inicialmente se tinha limitado mais ou menos ao campo das turbinas hidráulicas, tinham também a sua importância nas instalações de bombas de recalque e foi depois desenvolvido, nos anos após 1930, o método gráfico para o cálculo dos golpes de aríete, adaptado especialmente por *Schnyder*² e por *Bergeron*³. Como igualmente estes trabalhos deram lugar a numerosas novas contribuições na literatura técnica, podemos admitir que este método, baseado na representação gráfica das equações de golpes de aríete de *Alliévi*, é suficientemente conhecido pelos especialistas.

Recordemos todavia, em atenção aos leitores menos familiarizados com os problemas da hidráulica, que o escoamento dum fluido num conduto sob pressão depende de duas grandes características, que são a pressão e a velocidade de escoamento. Estas duas grandezas estão ligadas uma à outra, em cada caso particular, numa relação determinada por diversos factores. Qualquer variação local de uma destas grandezas — como por exemplo, da vazão na manobra dum órgão de obturação — repercute-se na outra numa proporção dependente da elasticidade da parede do tubo e do próprio fluido. Em consequência disso, a obturação do dispositivo de regulação duma turbina hidráulica provocará um aumento de pressão, enquanto que a parada duma bomba centrífuga provocará uma queda de pressão.

Outros estudos anteriores⁴ fizeram já notar que os golpes de aríete devidos à parada brusca de bombas são de natureza mais complexa do que os fenómenos correspondentes observados na operação das turbinas hidráulicas. Enquanto que os fenómenos de golpes de aríete que se manifestam neste último caso, são o resultado de movimentos de regulação, previstos pelo construtor e por conseguinte comandados de forma bem determinada, estes fenómenos nas instalações de bombas de recalque são provocados em regra por um acontecimento imprevisto, por exemplo pelo raio ou por uma manobra errada. Além disso, é evidente que o excedente de energia hidráulica, liberto pela desligação dum grupo de turbinas, pode ser facilmente evacuado por um deflector ou por um orifício compensador, ao passo que, no caso duma bomba, o fenómeno do golpe de aríete é provocado por uma carência de energia, que nem sempre é fácil de evitar.

Em outros termos, não é difícil determinar antecipadamente, numa instalação de turbina, a evolução da sobrepressão consecutiva a um desacoplamento e por consequência limitar-

(*) Artigo transcrito da Revista Técnica Sulzer, N.º 1, 1955.

(1) R. Lövy: Druckchwankungen in Duckrohrleitungen, 1928, Ed. Springer, Viena e W. Gandenberger: Druckschwankungen in Wasserversorgungsleitungen, 1950, Ed. R. Oldenburg, Munique. Ambos com índice de literatura.

(2) O. Schnyder: Druckstöße in Pumpensteigleitungen, Schweiz. Bauzeitung, 1929; e: Über Druckstöße in Rohrleitungen. Wasserkraft und Wasserwirtschaft, 1932.

(3) L. Bergeron: "Du coup de bélier en hydraulique au coup de foudre en électricité", 1950, Dunod, Paris.

(4) P. Bergeron: Complexité des phénomènes de coups de bélier sur les installations de pompage et essai de classification des solutions générales pour y remédier. La Houille Blanche No. B 1949.

lhe o valor máximo, enquanto que, ao contrário, o construtor de bombas deve enfrentar, muitas vezes, sem dispor de meios próprios para a remediar, uma brusca queda de pressão, devida ao esgotamento da reserva de energia cinética do grupo. Embora seja possível, na maioria dos casos, tomar medidas apropriadas para dominar os problemas dos golpes de aríete nas instalações de bombas, não faltam os exemplos de avarias e acidentes graves, cuja causa reside nos fenômenos deste género.

Nas linhas que seguem, dois exemplos práticos mostrarão o processo dos cálculos relativos a estes fenômenos e cujos resultados serão comparados aos das medições ulteriores. Em razão dos numerosos trabalhos publicados sobre o método de cálculo gráfico, podemos dispensar-nos de expor em pormenor as suas bases teóricas. Limitamo-nos apenas a recordar que as equações fundamentais, estabelecidas por Alliévi, sobre a mútua dependência da velocidade de escoamento e da pressão, podem representar-se por um sistema de retas características, cujo coeficiente angular é

$$\pm \frac{a}{g} \text{ e cuja posição é, de uma para outra,}$$

determinada pelas condições-limite do sistema de condutos. Por condição-limite entende-se, no que segue, a representação gráfica da evolução em qualquer extremidade do conduto de qualquer das duas grandezas características (pressão e velocidade), antecipadamente dada ou calculada pelas condições momentâneas de funcionamento, e cuja intersecção com uma reta característica do conduto dá o ponto de partida para a reta seguinte. E' assim, por exemplo, que o nível superior da água numa instalação de turbinas ou de bombas representa a condição-limite invariável para a pressão na extremidade superior do conduto.

Pela natureza deste fenómeno, qualquer modificação das condições de escoamento dá forçosamente lugar a um golpe de aríete; todavia, nas instalações de bombas, podemos contentar-nos com a limitação do cálculo dos golpes de aríete ao caso da interrupção intempestiva por desligação da rede. Em todos os outros casos suscitados pela operação, por exemplo, numa aceleração muito rápida do grupo de bomba com o registro aberto, ou mesmo numa abertura brusca desta última com a bomba já em rotação, as pontas de pressão não podem deixar de ser inferiores. Com efeito, a elevação de pressão provocada na coluna de água ainda imóvel no primeiro momento, só pode atingir, quando muito, o vértice da curva característica da bomba, curva

que representa a condição-limite na extremidade inferior do conduto.

A interrupção da energia motora fornecida a uma bomba centrífuga, tem por consequência uma rápida queda da velocidade rotativa, conforme resulta das equações seguintes:

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{M}{\Theta}, \text{ ou, como } \Theta = \frac{GD^2}{4g}, \text{ e}$$

$$\omega = \frac{\pi \cdot n}{30} \cdot \frac{dn}{dt} = \frac{120 \cdot g \cdot M}{\pi \cdot GD^2} = 374 \frac{M}{GD^2}$$

Com a redução do número de rotações baixam simultaneamente a vazão e a altura de recalque. Portanto, enquanto o recalque da bomba cessa rapidamente, a coluna de água contida no conduto tem, devido à sua energia cinética, tendência a continuar no seu movimento.

Em regra geral, a queda de pressão que assim resulta na extremidade inferior do conduto, prossegue até parar completamente a massa de água. Esta fase, cuja duração é determinada essencialmente pela reserva de energia da instalação de bomba em forma cinética ou potencial, assim como pela característica da bomba, não é idêntica ao período de reflexão $\frac{2L}{a}$ do conduto. Se este último é de

maior comprimento, o recalque cessa antes da chegada da onda reflectida no nível superior da água, de maneira que o golpe de aríete

atinge o seu valor-limite $\frac{aVo}{g}$, chamado de

Alliévi, já antes do fim do primeiro período; pelo contrário, se a reserva de energia fôr suficiente, como, por exemplo no caso do emprego duma câmara de ar, esta primeira fase pode estender-se a vários períodos. E' a esta primeira fase que se limita o cálculo na maioria das instalações de pequena ou média importância (por exemplo nas distribuições de água), onde um órgão de retenção — eventualmente combinado com um aparelho automático de descarga — impede o refluxo da água através da bomba. A figura 1 é um exemplo de cálculo relativo a uma instalação de recalque compreendendo dois grupos de bomba, de vazões diferentes. Nos casos deste género, é fácil amentar a reserva de energia do sistema por adjução de volantes às bombas, ou pelo emprego de câmaras de ar. E' assim que a figura 2 mostra um grupo moto-bomba de grandeza média, cujo momento de rotação foi aproximadamente quintuplicado pela adjução dum volante.

No caso das instalações de recalque mais importantes, em especial das bombas de

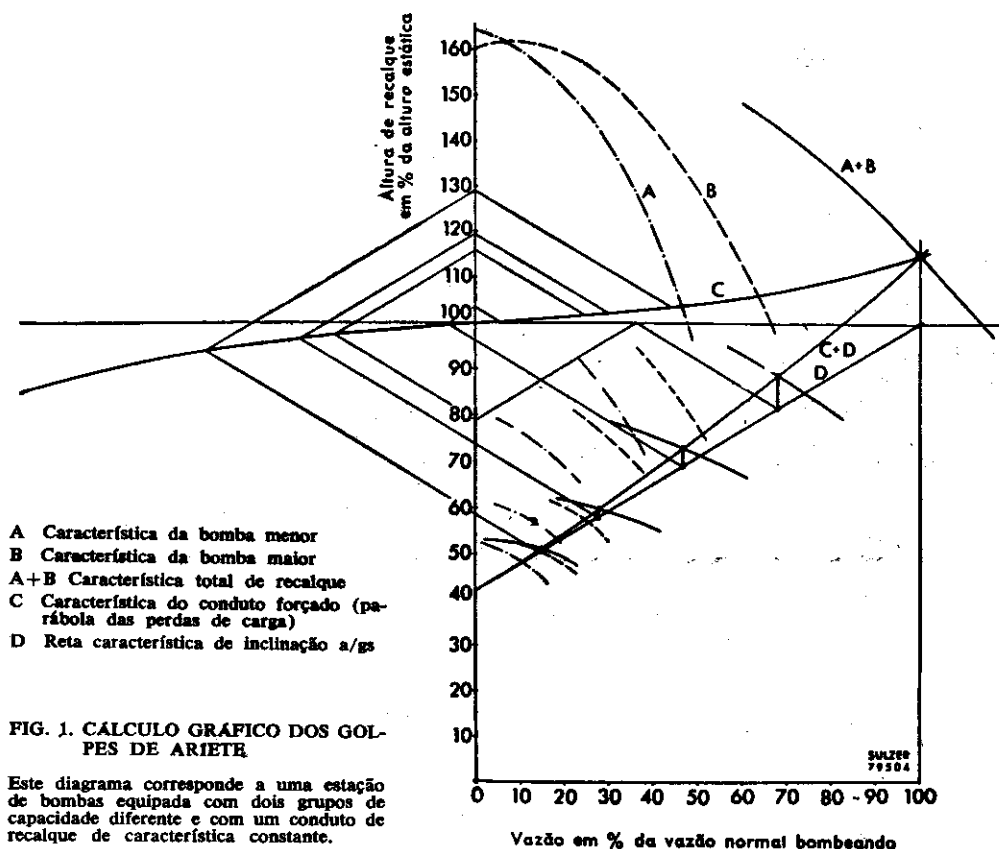


FIG. 1. CALCULO GRÁFICO DOS GOLPES DE ARIETE

Este diagrama corresponde a uma estação de bombas equipada com dois grupos de capacidade diferente e com um conduto de recalque de característica constante.

acumulação, das quais se trata especialmente aqui e que põem em jogo potências muito mais elevadas, os órgãos de retenção habituais já não bastam, por razões de construção diversas, para impedir o refluxo da coluna de água. Além disso, as dimensões das máquinas e as potências que entram aqui em linha de conta, são tais que um acréscimo do momento de rotação — por desejável que seja sempre uma maior reserva de energia — já não é possível, ou pelo menos só o é em quantidade modesta e pouco eficaz. Por este motivo, a queda de pressão, devida à carência de energia durante a primeira fase do golpe de ariete, será com frequência muito importante, e a sobrepressão

da onda reflectida, chegando no tempo $\frac{2L}{a}$,

só poderá ser reduzida por um certo refluxo de água no conduto. Este refluxo, comandado pelo registro principal em curso de encerramento progressivo, passa através da própria bomba, que é submetida durante certo tempo a condições de funcionamento muito especiais. Neste caso, o cálculo do golpe de ariete deve naturalmente abranger também estes fenómenos e estender-se assim até ao encerramento completo do registro.

Um cálculo deste género exige conhecimentos profundos do comportamento da bomba nas condições anormais, provocadas pelo refluxo da água, quer seja em rotação positiva, durante o período chamado de frenagem, quer seja na marcha em sentido contrário, quando este refluxo for de duração prolongada.

E' pois muito importante determinar as linhas características das bombas centrífugas nos domínios da frenagem e da marcha em sentido contrário, para se poderem calcular os golpes de ariete nas instalações de recalque de maiores potências. Medições deste género, efectuadas repetidas vezes em bombas relativamente pequenas, foram já objecto de diversas publicações⁵. Contudo, no propósito de melhor esclarecer os fenómenos em questão, a Casa Sulzer Frères procedeu, há algum tempo, a pesquisas aprofundadas num modelo, em escala bastante grande, duma bomba de acumulação. A instalação de ensaio, duma potência total de cerca de 1000 CV, está representada pelas figuras 3 e 4; vê-se à direita o potente grupo de bomba de recalque, e à

(5) Entre outras "Escher-Wyss-Mitteilungen", 1929, No. 1-2, e "Revista Técnica Sulzer" No. 3, 1951: "Die Speicherpumpenanlage des Eitzelwerkes".

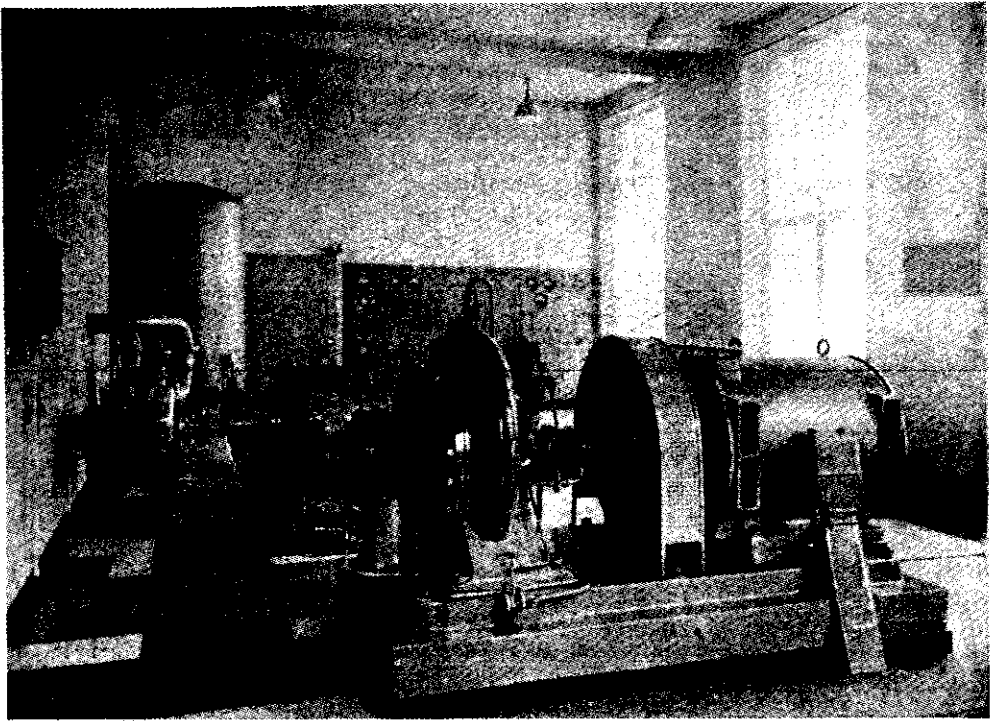


FIG. 2. GRUPO DE BOMBA DE POTÊNCIA MÉDIA, EQUIPADO COM UM VOLANTE

esquerda a bomba de prova, por um lado com o motor que a acciona contra a corrente de água (funcionamento em freio, figura 3), por outro lado com o freio hidráulico (funcionamento em turbina, figura 4). Estes ensaios, executados nas mais diversas condições, permitiram obter conhecimentos muito preciosos. A título de exemplo, a figura 5 mostra, depois da verificação das medições, um dos domínios de funcionamento sistematicamente explorados. Os diagramas deste género dão as bases indispensáveis para a determinação das condições-limite na bomba e nas quais se baseia o cálculo gráfico dos golpes de aríete.

Já precedentemente se mencionou que, após a desligação, o recalque da bomba cessa muito rapidamente e, ao cabo de alguns segundos — conforme as dimensões do conduto e a característica da bomba — a água reflui, através do registro ainda parcialmente aberto, para dentro da bomba, cuja rotação primeiramente positiva, pode em seguida inverter-se⁶, de modo que os fenómenos essenciais a examinar se desenrolam pois quase por completo nestes domínios de funcionamento, inteiramente diferentes do regime normal do serviço da bomba.

(6) Numa instalação actualmente em vias de execução, equipada com duas bombas de acumulação Sulzer, chegou-se mesmo a fechar muito rapidamente as válvulas principais, imediatamente depois da desligação, abrindo pequenas válvulas de by-pass depois de período de reflexão para enfim serem fechadas lentamente.

A figura 6 mostra um exemplo dum cálculo gráfico deste género, relativo a uma bomba alimentada por um conduto de adução bastante extenso e de diâmetro gradualmente variado que termina numa curta galeria sob pressão, e recalcando para um conduto montado a descoberto numa galeria seguida dum poço blindado.

Cada um dos trechos do conduto deve ser introduzido no cálculo com a inclinação corres-

pondente $\frac{a}{gs}$ da sua reta característica, o que

naturalmente implica o conhecimento da velocidade de propagação a das ondas de pressão. No caso dos trechos de conduto montados abertos ou enterrados, esta velocidade calcula-se pela fórmula deduzida da teoria de Allievi

$$a = \sqrt{\frac{9900}{48 + \varphi \frac{D}{e}}}$$
, na qual são

D = o diâmetro interior do conduto, e

e = a espessura da parede do conduto, enquanto que

φ é um coeficiente determinado pela elasticidade da parede, e que é, por exemplo, de cerca de 0,5 para aço, 1,0 para ferro fundido, 4 para cimento-amianto e 5 para concreto.

E' mais difícil a determinação da velocidade

de a num poço blindado, visto que, neste caso, as forças produzidas pela pressão interior se transmitem em parte considerável para a rocha, de maneira que a elasticidade da chapa de blindagem apenas desempenha um papel secundário. Julgando pelas bastante raras publicações técnicas, e por alguns resultados de medições de golpes de aríete, pode duma ma-

bém a distribuição judiciosa destes trechos no plano geral das ondas (fig. 6, em cima, à esquerda). E' vantajoso, em benefício da simplicidade e da clareza do cálculo gráfico, deslocar ficticiamente os pontos de transição dos diversos trechos, isto é, os lugares onde varia a inclinação das retas características correspondentes, e cuja posição efectiva é evidente-

FIG. 3. DISPOSIÇÃO DOS ENSAIOS PARA O ESTUDO DUMA BOMBA CENTRIFUGA EM DOMINIO DE FRENAGEM

A bomba de recalque, à direita, impete a água à bomba de ensaio, accionado pelo seu motor contra o refluxo de água.

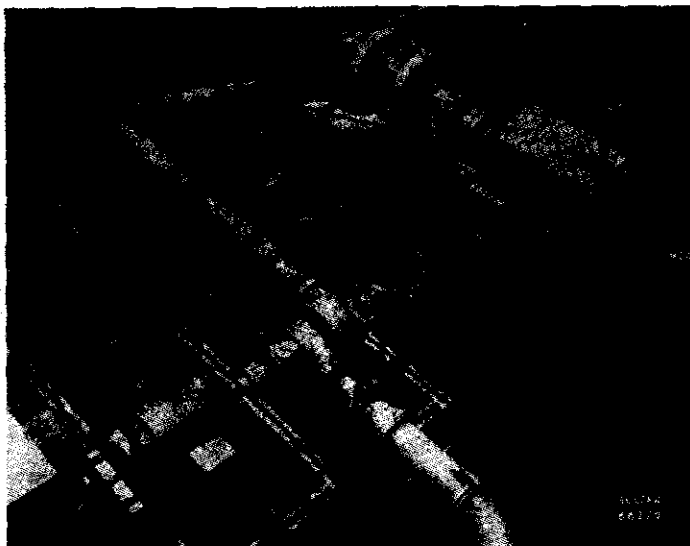


FIG. 4. DISPOSIÇÃO DOS ENSAIOS PARA O ESTUDO DO FUNCIONAMENTO EM TURBINA

A bomba, funcionando em turbina, está acoplada com um freio.

neira geral admitir-se a velocidade de propagação das ondas, nos poços blindados, como sendo da ordem de 1300 a 1350 m/seg.

Uma vez determinadas as inclinações $\frac{a}{gs}$ das retas características correspondentes aos diversos trechos do conduto, os preliminares indispensáveis ao cálculo compreendem tam-

mente determinada pelos planos da instalação,

até que todos os períodos parciais $\frac{l}{a}$ sejam

múltiplos inteiros dum lapso de tempo que se pode escolher como intervalo de cálculo Δt . No exemplo da figura 6, este intervalo é de 0,28 seg. e corresponde, após esta redução fictícia dos trechos a um divisor comum, ao

período de escoamento do conduto montado em galeria aberta, intercalado entre a bomba e o poço blindado, assim como da curta galeria sob pressão que precede o conduto de adução. Esta adaptação fictícia dos comprimentos e períodos parciais, que é uma questão de experiências e de prática nestes cálculos, muito pouco influir na exactidão dos resultados, mas contribuirá bastante para a clareza do cálculo, por si já muito complicado.

Depois destes preparativos, passa-se no cálculo progressivamente de um ponto para o seguinte, calculando cada vez de novo, depois de cada intervalo de 0,28 seg., as condições-limite da reprodução gráfica, dependentes da velocidade rotativa constantemente variante da bomba e da comporta, cujo encerramento se acaba lentamente.

Depois de determinadas as inclinações das retas características e do intervalo de cálculo Δt para os diversos trechos de conduto, o cálculo só depende das condições-limite, e pode-se portanto empregar o mesmo diáfagma também para esclarecer todas as condições de operação susceptíveis de intervirem na instalação estudada, isto é, por exemplo, a falha completa da comporta de obturação rápida, com disparo negativo da bomba sob a influência do refluxo da água, o atraso eventual na intervenção dessa comporta, etc. A título de exemplo, a figura 6 mostra também, à esquerda, o começo do cálculo relativo ao disparo da bomba; neste caso, a perda de carga do registro, que ficou aberto, já não aparece no cálculo, de maneira que a condição-limite na bomba não depende senão das características desta última, às quais vêm adicionar-se as retas características do conduto de adução.

Não é evidentemente possível, na aplicação dum método gráfico deste género, escolher como ponto de partida um resultado final desejado para trazer ao cálculo um factor duma influência essencial, por exemplo, o momento de rotação do grupo. Muito ao contrário, só se podem admitir, antes de passar ao cálculo, todas as grandezas que não são dadas antecipadamente. Se os resultados não satisfizerem sob qualquer aspecto — depressão ou sobrepressão, retardamento da marcha negativa da bomba — a única solução é recommear o cálculo desde o princípio com base em novas grandezas admitidas. E' portanto compreensível que a determinação da lei do encerramento óptimo para a comporta — para reduzir, por exemplo, tanto quanto possível a sobrepressão na segunda fase, evitando ao mesmo tempo a marcha negativa, indesejável pelo menos para

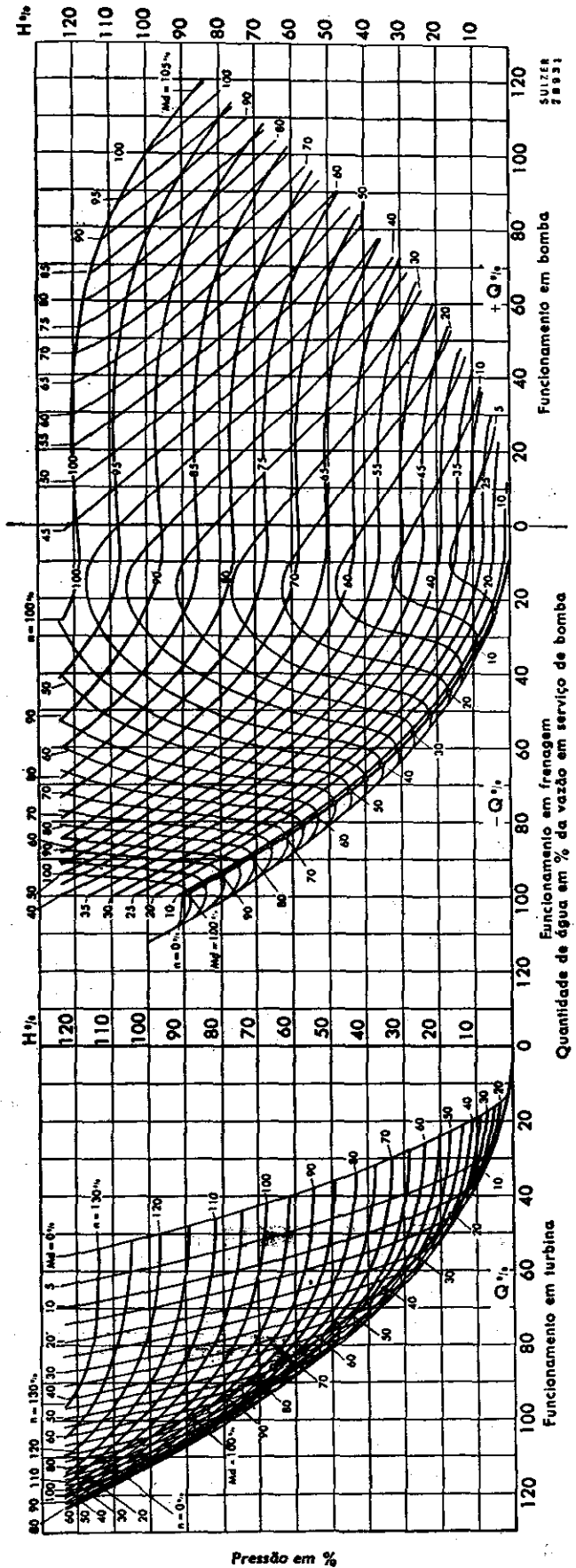


FIG. 5. CAMPO COMPLETO DAS CARACTERÍSTICAS DUMA BOMBA CENTRÍFUGA

Pressão em %

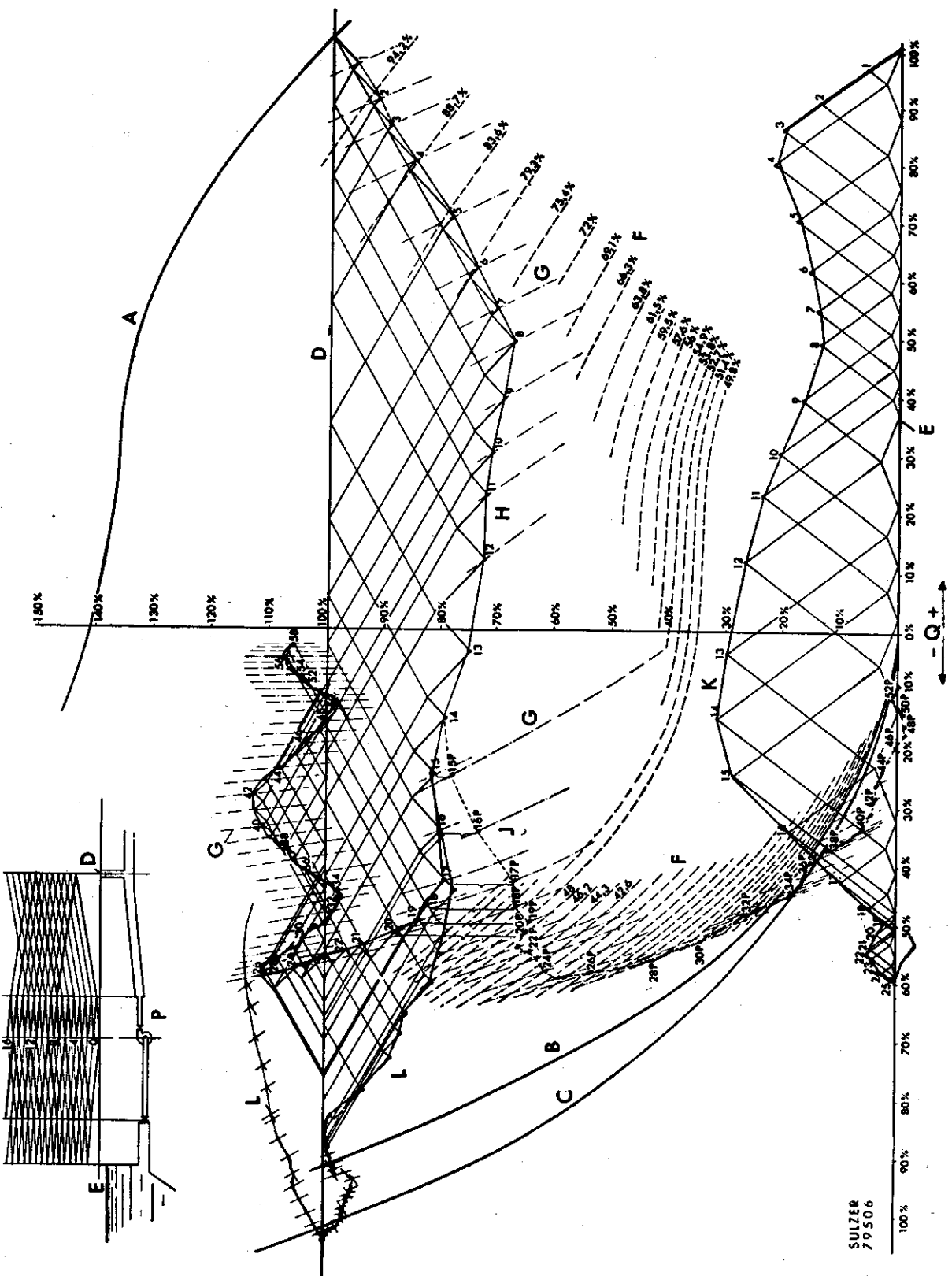


FIG. 6. EXEMPLO DUM CÁLCULO GRÁFICO PARA OS GOLPES DE ARIETE NUMA ESTAÇÃO DE BOMBAS DE ACUMULAÇÃO COM CONDUTOS DE CARACTERÍSTICAS VARIÁVEIS.

- A Característica da bomba a $n = 100\%$
- B Característica da bomba a $n = 0$
- C Envolvente das características no disparo
- D Linha de pressão no lado de recalque (sem perdas de carga)
- E Linha de pressão no lado de adução
- F Velocidade de rotação

- G Condição-limite resultante na comporta da bomba
- H Pressão na comporta de fechamento rápido
- J Pressão à saída da bomba
- K Pressão à entrada da bomba
- L Pressão à saída da bomba em caso de falha da comporta (disparo)
- Perda de carga na comporta de fechamento rápido

as máquinas maiores — dê lugar a um trabalho de grande fôlego.

Podem representar-se depois os fenómenos consecutivos a uma desligação, tais como são dados, quer directamente pelo diagrama das vazões e pressões, quer pelo cálculo das condições-limite, levando-os conforme o tempo para outro diagrama (fig. 7). Este último, que não é mais do que a tradução cronológica do cálculo gráfico da figura 6, mostra claramente, com a sua evolução, tôdas as grandezas

duma desligação, isto pode conduzir a uma diminuição sensível da ponta de pressão inicial, mas que o aumento de pressão ulterior é aproximadamente da mesma grandeza que o golpe de aríete comandado pelo funcionamento da comporta de obturação rápida. Estas considerações referem-se contudo apenas ao caso representado na figura 6, relativo a uma instalação de acumulação equipada com um único grupo de bomba. Se a estação de acumulação fôr dotada de várias bombas, ou se o número

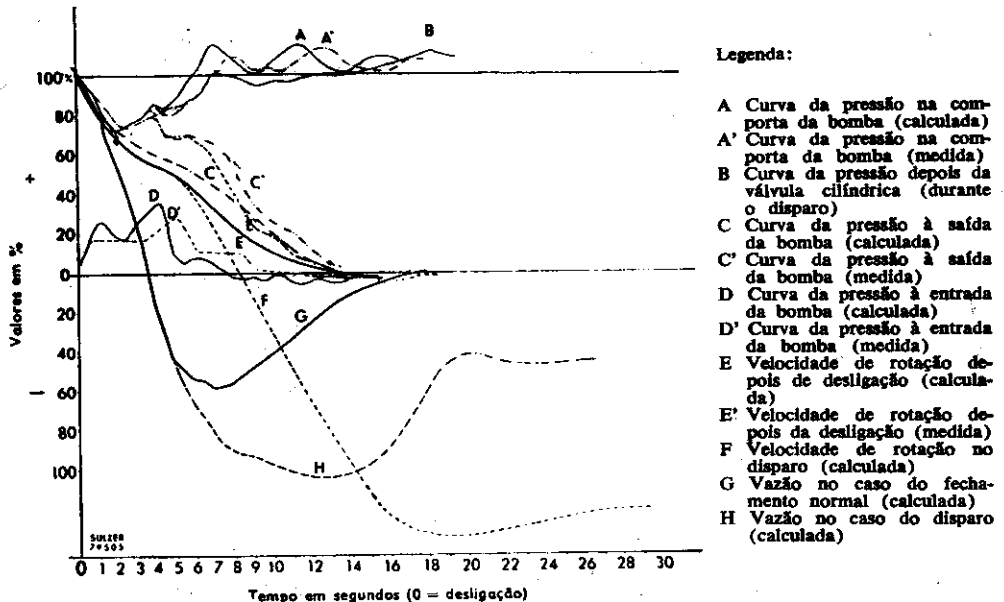


FIG. 7. REPRESENTAÇÃO CRONOLÓGICA DOS GOLPES DE ARIETE CALCULADOS NA FIG. 6, E COMPARAÇÃO COM OS RESULTADOS DE ENSAIOS
As linhas coloridas têm a mesma significação que as da figura 6.

afectadas pela variação do escoamento no sistema dos condutos.

Esta figura mostra também os fenómenos que se produzem no disparo dum grupo de bomba. Em consequência do intenso efeito de frenagem da água em refluxo através da bomba — visto que a perda de carga da comporta, intervindo a partir do ponto 15 no diagrama da figura 6, fica suprimida neste caso — o grupo pára dentro de alguns segundos e é depois rapidamente acelerado em sentido inverso. Ao começo, o refluxo de água continua a aumentar (ver figura 5), para atingir o seu máximo, de cerca de 110%, numa velocidade rotativa de aproximadamente 70%. À medida que o escoamento continua a aumentar, o escoamento é rapidamente trazido ao seu valor de regime permanente, de cerca de 50%, o que pode também causar um sensível aumento de pressão, que se repercute eventualmente por um leve aumento momentâneo da velocidade rotativa em relação ao valor do disparo permanente. Vê-se assim que, deixando um grupo de bomba disparar depois

destas últimas fôr inferior ao das turbinas, para as quais o conduto forçado foi estabelecido, é evidente que as condições se tornam mais favoráveis. Por um lado, a probabilidade dum falha simultânea de todas as comportas de fechamento rápido — cuja segurança de funcionamento é de qualquer modo muito elevada — é desprezável, de maneira que neste caso, já de si muito raro, será só um grupo que disparará. Por outro lado, as condições de escoamento, provocadas pelo disparo de uma bomba, num conduto forçado estabelecido para a vazão correspondente a um múltiplo da quantidade de água em questão, far-se-ão naturalmente sentir muito pouco.

Como se sabe, o método de cálculo gráfico permite também determinar as variações de pressão em vários pontos ao longo do conduto, conforme a escolha do intervalo de cálculo

$$\text{lo } \Delta t \text{ em relação ao próprio período } \frac{2L}{a}$$

do conduto. Esta possibilidade é particularmente importante nas instalações de bombas,

pois o golpe de aríete começa, depois da desligação, como se verificou mais acima, por uma onda de depressão por vezes considerável que se propaga ao longo do conduto com uma amplitude absoluta constante até que a sua reflexão no nível de água superior, passado o

tempo $\frac{L}{a}$, tendo a restabelecer a pressão inicial. Pelo cálculo gráfico pode-se determinar a distribuição da pressão mínima ao longo do conduto, e a superposição destas duas linhas, como mostra a figura 8, faz ressaltar os eventuais pontos, onde há perigo de formação dum vácuo por insuficiência da pressão estática.

No caso do exemplo da figura 1, tratava-se, em primeiro lugar, de levantar a pressão mínima na parte superior do conduto. A adjução dum volante ao grupo de bomba, tanto quanto esta medida é compatível com as possibilida-

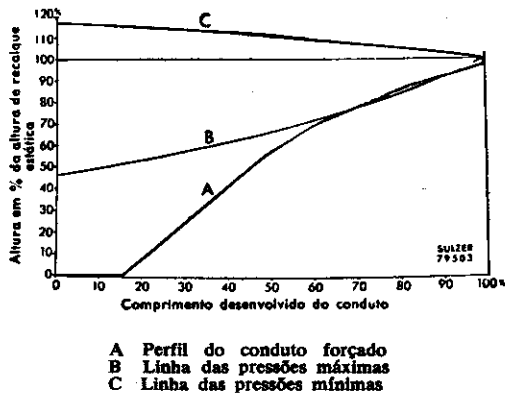


FIG. 8. PERFIL ESQUEMÁTICO DUM CONDUTO FORÇADO COM LINHA DAS PRESSÕES MÍNIMAS, PERMITINDO O CONTRÔLE DUM RISCO DE VÁCUO EVENTUAL, E LINHA DAS SUPERPRESSÕES

des práticas, presta-se particularmente a este objectivo, se o local afectado pelo perigo de vácuo se encontra aproximadamente no meio do conduto.

Notou-se sem dúvida que, no cálculo gráfico da figura 6, as perdas de carga por atrito não foram tomadas em consideração. Não haveria nenhuma dificuldade apreciável em levar em conta estas perdas, como o mostra a figura 1, concentrando-as de maneira fictícia à saída da bomba, ou escalonando-as ao longo do conduto; todavia, elas não exercem qualquer influência sensível sobre os resultados, enquanto fôrem fracas em relação à altura de recalque total. Visto que este é geralmente o caso das instalações de acumulação, são desprezadas tanto quanto possível, afim de não carregar desnecessariamente o cálculo já em si bastante complicado. A este propósito pode, aliás, notar-se que as perdas de carga têm sempre um efeito amortecedor, visto que ab-

sorvem a energia das ondas de pressão e influenciam assim favoravelmente os valores de ponta e o processo cronológico dos golpes de aríete. Desprezando-as, nada mais se faz afinal do que manter o cálculo do lado seguro.

Depois destas considerações sobre as possibilidades de determinar graficamente os golpes de aríete nos condutos de água, estamos no direito de perguntar, até que ponto os cálculos deste género são exactos e seguros.

Examinando esta questão primeiro sob o ponto de vista teórico, podemos notar que, em princípio, é sempre possível decompor o conduto em segmentos, para os quais a velocidade de propagação média a é fácil de determinar, e combinar em seguida estes trechos, de maneira já acima indicada, até obter períodos parciais que não difiram uns dos outros senão por factores inteiros. É verdade que esta distribuição fictícia conduz a alguns desvios em relação aos valores inicialmente calculados para "a", mas estas diferenças não desempenham praticamente qualquer papel, visto que, embora se tornem sensíveis no coeficiente angular

a — das retas características, aparecem no gs tanto ao mesmo tempo no denominador da expressão para o período $\frac{l}{a}$, de maneira que

o resultado final não é sensivelmente influenciado por elas. Nada impede de decompor o conduto em tantos trechos parciais quantos se queira, sem que o cálculo por esse motivo se torne demasiado complicado, visto que o plano das ondas, representado na figura 6, contribui bastante para a clareza do desenho. Contudo, o cálculo trona-se muito mais moroso, visto que o intervalo de tempo Δt , de um ponto de cálculo para outro, se torna cada vez mais curto, pelo que se eleva o número das operações de cálculo parciais para a determinação das condições-limite variáveis. Está indicado, pela experiência, escolher um interva-

lo de cálculo Δt igual a $0,1$ ou $0,2 \frac{L}{a}$, ou a $0,2 - 1$ seg., conforme as condições variáveis dum caso para outro.

A figura 7, na qual se increveram as pressões registradas no decurso dos ensaios de recepção, mostra que os resultados do cálculo gráfico reproduzem bastante fielmente a característica qualitativa do fenómeno, mas que também lhe colhem com muita aproximação os valores numéricos. Tomando em consideração os diversos factores que não podem determinar-se com exactidão absoluta, e as hipóteses, em parte simplificadoras, nas quais se deve fundamentar um tal cálculo e que, apesar de

tulo, não podem corresponder exactamente à realidade, a concordância do cálculo e das medições é muito satisfatória.

Em complemento do cálculo representado na figura 1, a figura 9 mostra o resultado duma medição feita, na casa das máquinas,

A firma Sulzer Frères prestou sempre a maior atenção a estes problemas dos golpes de aríete no estudo das bombas de acumulação. A grande experiência que adquiriu neste domínio, permite-lhes determinar antecipadamente, com grande precisão, os golpes de aríete

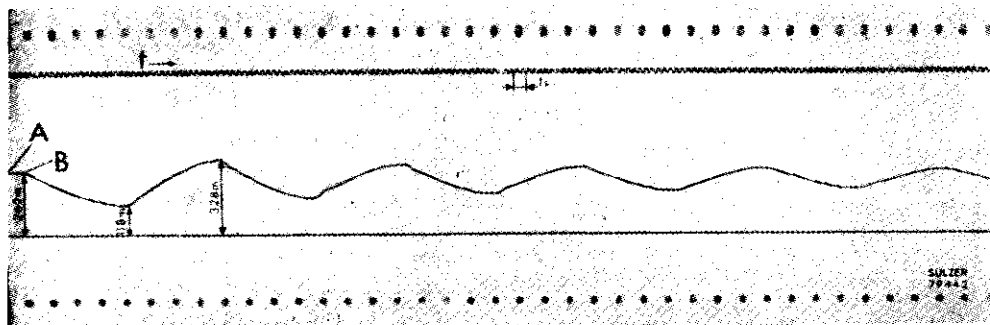


FIG. 9. REGISTRO DAS PRESSÕES DEPOIS DE UMA DESLIGACÃO NA ESTAÇÃO DE BOMBAS ESTUDADA NA FIGURA 1

A Pressão de recalque em serviço normal B Desligação Tempo

depois da desligação simultânea dos dois grupos de bomba. Enquanto que o cálculo fazia prevêr um queda de pressão até 51% da pressão estática, o mínimo de pressão atingiu, no ensaio, 118 m em valor absoluto, ou sejam 51,4% do altura estática.

que são de esperar, para tomar ou propor correspondentemente as medidas necessárias de protecção. A segurança de serviço que assim resulta para toda a instalação de bomba, justifica plenamente o trabalho e o tempo que é necessário consagrara a estes cálculos por vezes muito prolongados.

Produtos Químicos para

INDÚSTRIA • AGRICULTURA TRATAMENTO DE ÁGUAS

CLORO LÍQUIDO • TRICLOREILENO • HIPOCLORITO DE SÓDIO
ÁCIDO CLORÍDRICO (MURIÁTICO) • MONOCLORBENZENO
GAMELCLOR • HEXACLORETO DE BENZENO (B.H.C.)

Fabricantes:

Indústrias Químicas



Eletro-Cloro S. A.

Distribuidores Exclusivos:

COMPANHIA IMPERIAL DE INDÚSTRIAS QUÍMICAS DO BRASIL

Rua Xavier de Toledo, 14 - 8.º andar - São Paulo

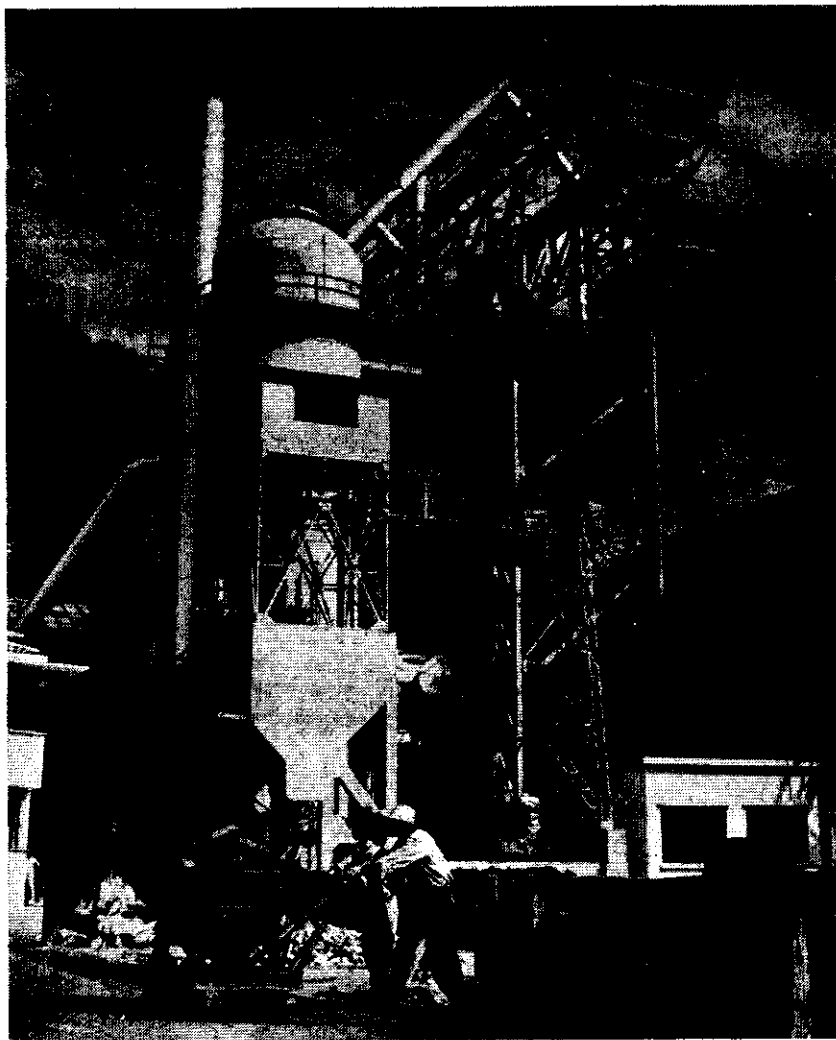
FILIAIS E AGENTES EM TODO O PAÍS

No Brasil a Maior Fundição de Tubos da America Latina

Acontecimento de real importância para o parque manufatureiro de nosso País, se registrou a 24 de Maio P.P. quando a Companhia Metalúrgica Barbará, pioneira da fabricação dos tubos de ferro fundido no Brasil, inaugurou suas novas e moderníssimas instalações na Fábrica de Barra Mansa, no Estado do Rio de Janeiro.

A origem da indústria de tubos de ferro fundido para canalização de água, data de 1664 quando os arquitetos e engenheiros de Luiz XIV empregaram os primeiros tubos fundidos para adução de água destinada a alimentar as fontes e os lagos do famoso parque do Castelo de Versailles. E após quase três séculos de uso, ainda se encontram esses tubos em perfeito estado, atestando a excelência do material.

Antigamente esses tubos eram fundidos verticalmente no chão, em moldes de areia, trabalho que exigia grande perícia e especialidade dos fundidores. Daí para cá, os processos evoluíram incessantemente, cabendo ao Brasil assimilada importância na evolução técnica de fabricação de tubos, de vez que os modernos processos de centrifugação, hoje universalmente adotados, tiveram sua origem no Brasil.



ALTO-FORNO

Coube ao brasileiro Fernando Arens e ao belga De Lavand a invenção do processo de centrifugação do ferro para a fabricação dos tubos. As suas experiências datam de 1915 e o início da industrialização desse processo coube à antiga Companhia Brasileira de Metalurgia, organizada por Arens, com sua usina instalada em Indianópolis (S. Paulo), no mesmo local onde a Companhia Metalúrgica Barbará mantém outra fábrica de tubos e peças de ferro fundido.

As patentes brasileiras do processo, a partir de 1920, foram transferidas para os Estados Unidos, Inglaterra, França, Alemanha e outras nações.

Em 1928 o industrial Baldonero Barbará adquirira os direitos das patentes para o Brasil e, após vencer dificuldades técnicas quase insuperáveis, instalava a primeira Usina em Caeté, no Estado de Minas Gerais, onde dera início à produção dos tubos em escala industrial.

Anos após, decidiu Baldonero Barbará montar outra fábrica em Barra Mansa, no Estado do Rio de Janeiro, no local onde ora se processam melhoramentos de vulto nas instalações da Usina existente que a coloca como a maior e a mais bem aparelhada fundição de tubos da América Latina.

É evidente que a posterior escolha do local para construção da Usina de Volta Redonda, da Companhia Siderúrgica Nacional, atestam a visão e acerto com que esse grande pioneiro da indústria metalúrgica brasileira agiu na escolha de Barra Mansa como ponto mais aconselhável e conveniente para a localização da atual Usina.

A partir de 1937, quando da instalação da Usina de Barra Mansa, a produção da Companhia Metalúrgica Barbará vem aumentando seguidamente; em 1940 a produção dessa Usina era de 5.700 toneladas anuais; em 1951 alcançava 14.000 tons.; em 1953, 28.000 tons.; e em 1956 com as novas instalações está a Usina possibilitada a produzir 60.000 tons. anuais.

A ampliação das Usinas Barbará recebeu o mais completo apoio do Governo e o plano de modernização fora submetido à antiga Comissão Mixta Brasil-Estados Unidos, sendo logo após aprovado. Requeria esse plano grande investimento, de vez que propunha dotar a Companhia Metalúrgica Barbará do mais moderno equipamento nesse ramo de indústria.

O Export & Import Bank de Washington, trouxe sua colaboração com um empréstimo de US\$ 1.800.000,00, posteriormente reforçado com mais US\$ 325.000,00 para aquisição de equipamento especializado nos Estados Unidos e especialmente de um moderníssimo Alto-Forno, cuja fotografia estampamos na página anterior com capacidade de produção de 36.000 toneladas de ferro gusa por ano.

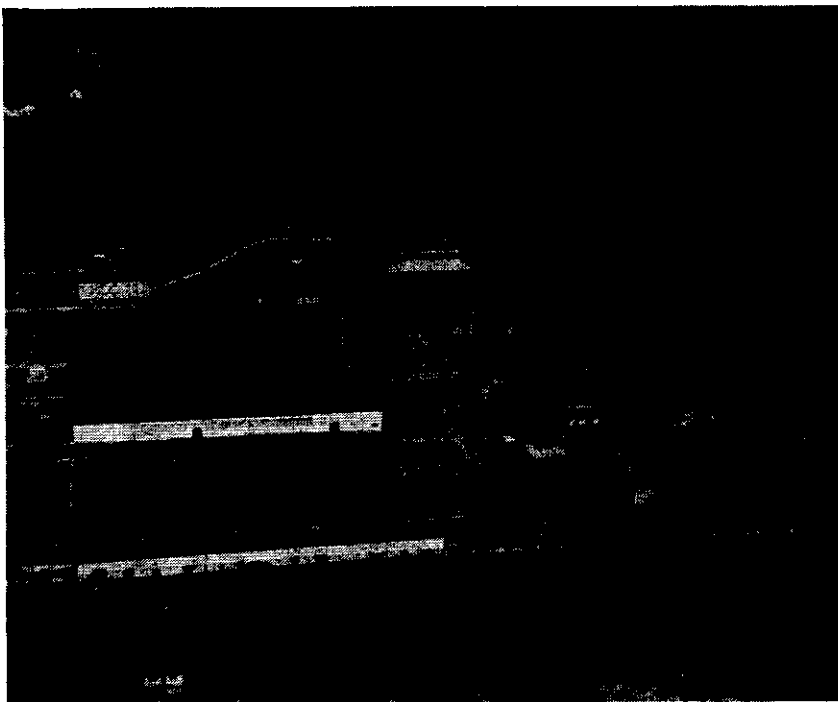
O Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico também emprestou sua colaboração a esse grande empreendimento concedendo um empréstimo de Cr\$ 25.000.000,00 para ocorrer às despesas para a montagem de equipamento importado.

Do ponto de vista técnico destaca-se a eficiente colaboração prestada pela Compagnie de Pont-à-Mousson, possuidora da mais eficiente e adiantada técnica no ramo da fabricação dos tubos de ferro fundido. Não faltou a essa colaboração o fornecimento de equipamento altamente especializada para a fabricação dos tubos de ferro fundido, dos quais se destacam as máquinas de centrifugar, o forno térmico de recozimento, etc.

Em matéria de canalizações de água potável, os canos de maior utilização no mundo inteiro, numa proporção de 90%, são os de ferro fundido e semente podem produzi-los os países ricos em minério de ferro e entre eles o Brasil.

O parque metalúrgico brasileiro está agora em condições de atender a todas as necessidades do consumo interno e capacidade ainda em exportar para os mercados do exterior os excedentes de sua produção.

Para o Brasil tal exportação é de máxima importância, principalmente por ser mais um produto com possibilidade de aliviar a balança comercial. Ademais é um produto 100% nacional, pois o minério de ferro, o carvão, os demais materiais empregados na sua fabricação e acabamento são estritamente nacionais. E quanto à qualidade, os tubos brasileiros são fabricados com o melhor minério do mundo.



Fábrica de Tubos da Companhia Metalúrgica Barbará, em Barra Mansa, Estado do Rio de Janeiro.

A Companhia elaborou um catálogo de todos os seus produtos, contendo tabélas e figuras de cada tipo de peça e com uma apologia sobre o emprego dos produtos de sua fabricação. É uma obra muito interessante e de grande utilidade para todos aqueles que estão em contato ou trabalham em obras de abastecimento de água, estudos e projetos, etc.