

Engº Edézio Quintal de Oliveira	(2)
Engº Otávio Augusto de Souza	(3)
TI Lyceu Francisco da Costa	(4)
TI Ricardo Coutinho	(5)
TI Henrique de Faria Dutra	(6)

R E S U M O

É analisada a tecnologia de lubrificação da interface cilindro-laminado não plano. Descreve-se o sistema de lubrificação desenvolvido, projetado e construído na CSN e implantado no laminador de trilhos e perfis.

Os resultados obtidos ao longo de vários processamentos experimentais, especialmente TR-68 NIOBRÁS 200, são apresentados e discutidos tendo em vista os aspectos de redução de desgaste de cilindros, consumo energético e qualidade superficial do produto acabado associados ao menor custo de manutenção e produção do LTP.

- 
- (1) Trabalho a ser apresentado no Seminário da COLAM 1981 - Rio de Janeiro.
  - (2) Engº Ind. Metalúrgico, Master of Metallurgy, Consultor Tecnológico do Centro de Pesquisas da CSN, Sócio da ABM.
  - (3) Engº Ind. Metalúrgico, Engenheiro do Controle Técnico de Laminação a Quente da CSN, Sócio da ABM.
  - (4) Técnico Mecânico do Centro de Pesquisas da CSN.
  - (5) Técnico de Pesquisas do Centro de Pesquisas da CSN.
  - (6) Técnico de Indústria da Superintendência de Manutenção Eletrônica e Comunicação da CSN.

A resistência contrária à continuidade regular do movimento relativo do cilindro de laminação sobre o laminado é denominado atrito. Este parâmetro, fundamental ao processo de laminação, controla a amplitude e a distribuição da pressão de laminação entre os cilindros e o laminado.

O atrito excessivo, no entanto, promove o desgaste do cilindro através de arrancamento de partículas. Conseqüentemente, a vida útil dos passes é reduzida, acarretando em ciclos curtos de laminação, paradas de produção para trocas de cilindros, má qualidade superficial do produto acabado, etc.

O emprego da lubrificação, visando controlar a intensidade do atrito através da separação efetiva entre as superfícies de contato dos cilindros de laminação e do laminado, é uma moderna tecnologia que resulta nos seguintes benefícios técnico-econômicos na laminação de produtos acabados a quente:

- aumento da vida útil dos cilindros;
- redução do número de reusinagens dos cilindros por tonelada laminada;
- redução do custo dos cilindros por tonelada laminada;
- aumento da taxa de utilização do laminador;
- redução do custo de mão-de-obra de manutenção;
- redução do consumo de energia para deformação a quente;
- melhor qualidade superficial do produto acabado;
- aumento do rendimento lingote - produto acabado

A CSN, face ao potencial técnico-econômico da lubrificação das interfaces cilindro-laminado a quente, vem concentrando esforços no sentido de desenvolver uma tecnologia própria, neste campo, tanto para a produção de produtos planos como não planos.

Este trabalho aborda o sistema de lubrificação desenvolvido para o laminador de trilhos e perfis (LTP) da CSN e os resultados

obtidos com sua implantação em escala industrial.

## 2.0 LUBRIFICAÇÃO DOS PASSES DOS CILINDROS DE LAMINAÇÃO DE PRODUTOS NÃO PLANOS

A efetividade desta tecnologia depende, fundamentalmente, de parâmetros técnico-operacionais, como: tipos de produtos, grau de mistura do aço, etc.

Os mais importantes desses parâmetros serão discutidos, separadamente, a seguir para o caso do LTP/CSN.

### 2.1 TIPO DE LUBRIFICANTE

O lubrificante a ser utilizado na laminação de não planos a quente deve apresentar as seguintes características:

- Capacidade de atuação sobre uma larga faixa de elevada pressão, temperatura e velocidade de laminação.
- Capacidade de aderência e de manutenção (untuosidade)
- Estabilidade térmica e de resistência ao ataque bacteriológico e/ou de outros contaminantes.
- Aptidão a manter dispersão e fluidez no sistema
- Viabilidade econômica aos benefícios de sua utilização
- Boa emulsibilidade

Existe boa disponibilidade, no mercado nacional, de produtos que possuem as propriedades físicas necessárias à formação de película lubrificante entre o laminado e os canais de cilindros de laminação a quente.

### 2.2 TÉCNICA DE APLICAÇÃO DO LUBRIFICANTE

Os métodos mais utilizados na lubrificação da zona de deformação a quente dos produtos não planos são, resumidamente, discutidos a seguir:

a) Lubrificante Puro: O equipamento necessário é bastante simples consistindo, basicamente, num reservatório localizado próximo ao laminador. O lubrificante é lançado, através do bombeamento ou mesmo gravidade até os bicos de lubrificação instalados próximo aos passes dos cilindros. A simplicidade deste método é, negativamente, contrabalançada pela sua ineficiência, com consumo excessivo de lubrificante, entupimentos frequentes dos bicos de lubrificação, além de outras desvantagens.

b) Lubrificante + Água de Refrigeração: Neste método, o lubrificante é lançado juntamente com a água de refrigeração sobre todo o corpo do cilindro. Seus principais inconvenientes são:

- A lubrificação é ineficiente, pois, não é direcionada para a zona de deformação, existindo, também, grande possibilidade do lubrificante ser levado pela água de refrigeração, antes mesmo que cumpra sua finalidade;

- Consumo excessivo do lubrificante que é lançado, intermitentemente, sobre todo o cilindro;

- Dificuldade na "pega de laminação", podendo mesmo causar problemas operacionais com fraturas de cilindros, etc.

c) Emulsão: Neste método a emulsão (óleo + água + dispersante) é, previamente, preparada num reservatório e lançada sobre o canal do cilindro de laminação. A combinação da pressão do bombeamento do lubrificante e a concepção mecânica dos bicos de lubrificação permitem a formação de um "spray" que é lançado sobre a zona de deformação do laminador logo após a pega do material até o momento que este deixa o passe de laminação. As principais vantagens deste método comparadas aos anteriores são abaixo relacionadas:

- Menor consumo de lubrificante;

- Maior flexibilidade de concentração de lubrificante, tendo em vista a diversificação dos produtos;

- Lubricidade mais eficiente, devido a melhor aderência do laminado-lubrificante-cilindro;



- Possibilidade de automação, etc.

d) Atomização: Este foi o método desenvolvido para a laminação a quente de produtos não planos da CSN. O lubrificante, armazenado num reservatório é bombeado até os bicos de lubrificação do tados de câmara de atomização. Em paralelo, o ar comprimido (ou vapor) injetado nesta câmara pulveriza o lubrificante lançando-o através de um fluxo de ar (ou vapor), sob forma de névoa, sobre a zona de deformação do laminado, num determinado passe.

Este método apresenta as mesmas vantagens obtidas pelo processo de emulsão quando comparado aos primeiros métodos. Em comparação com o método de emulsão, ressaltam-se as vantagens relacionadas com os equipamentos (dispensa potentes agitadores para pré emulsão, tubulações de maior diâmetro considerando o espaço disponível no laminador, etc.), a melhor lubricidade/volume unitário de lubrificante e o menor consumo de lubrificante.

### 2.3 INTENSIDADE DE LUBRIFICAÇÃO

Este parâmetro é muito importante sob o aspecto técnico-econômico, devendo-se utilizar o menor volume possível de lubrificante para uma efetiva lubricidade. A intensidade de lubrificação depende diretamente do tipo do aço e do produto a ser laminado. O volume ótimo de lubrificante deve ser determinado empiricamente para cada tipo de produto e de aço a ser laminado.

### 2.4 TEMPERATURA DE LAMINAÇÃO

Os dois aspectos relacionados com este parâmetro, que devem ser considerados são:

- Tempo de contato cilindro-lubrificante devido a possibilidade de queima de lubrificante;
- Maior desgaste do cilindro à baixa temperatura de laminação. Deve-se, assim, procurar um balanço entre esses dois fatores

para uma efetiva lubrificação. Ressalta-se, no entanto, que a temperatura de laminação é determinada pelo tipo do aço em laminação e, conseqüentemente, deve ser mantida dentro de uma faixa especificada.

## 2.5 TIPOS DE PRODUTOS E GRAU DE MISTURA DO AÇO

O laminador de não planos processa vários tipos (seções) de produtos acarretando frequentes trocas de cilindros. Torna-se necessário, então, avaliar os produtos que resultam em maior desgaste de cilindros e, conseqüentemente, mais carentes de lubrificação. Baseado neste grau de carência, deve-se implantar a lubrificação, gradativamente, até se atingir a totalidade dos produtos que economicamente justificam a utilização do sistema. Para cada produto deve-se ajustar a posição ótima (distância, ângulo, etc.) dos bicos de lubrificação. A mesma sistemática deve ser utilizada com relação a qualidade do aço que também influencia fortemente no desgaste dos cilindros.

## 2.6 SELEÇÃO DOS PASSES A SEREM LUBRIFICADOS

Considerando a necessidade da determinação empírica dos valores ótimos dos parâmetros, acima mencionados, ficou estabelecido para o laminador da CSN o que se segue:

- Implantou-se a lubrificação inicialmente na cadeira de acabamento, determinado as melhores condições técnicas-operacionais-econômicas dos parâmetros envolvidos nesta tecnologia.
- Aplicou-se a sistemática acima, subseqüentemente, para os passes de cadeira intermediária.

## 3.0 O SISTEMA DE LUBRIFICAÇÃO PARA O LAMINADOR DE TRILHOS E PERFIS (LTP) DA CSN

A figura 1 representa esquematicamente o funcionamento do siste-

ma de lubrificação e os componentes a ele agregado. O lubrificante, armazenado num reservatório é bombeado até os bicos de lubrificação, dotado de uma câmara de atomização.

Em paralelo ar comprimido (ou vapor) é injetado nesta câmara promovendo a pulverização do lubrificante, lançando-o através de um fluxo de ar (ou vapor), sob forma de névoa, sobre a zona de deformação do laminado, num determinado passe.

#### - RESERVATÓRIO

A capacidade do reservatório de lubrificante é função da capacidade de produção do laminador, devendo permitir o suprimento de lubrificante para o sistema de lubrificação, durante várias horas de operação.

Este componente deve apresentar facilidade para reabastecimento, limpeza, indicação de volume para pressurização, etc. O lubrificante poderá ser conduzido do reservatório para os bicos de lubrificação, tanto através do seu bombeamento como pela sua compressão, no tanque reservatório, por meio de ar comprimido ou vapor dependendo da disponibilidade destes, na área operacional.

Facilidades para promover o aquecimento e homogeneidade do lubrificante, no tanque reservatório, podem ser previstos em função do lubrificante a ser utilizado de modo a garantir a sua boa fluidez e uniformidade. Alguns lubrificantes, devido às suas características físicas, dispensam estes requisitos.

#### - BOMBA

O lubrificante é bombeado, no caso da CSN, do reservatório por uma bomba de enrenagem, com capacidade de 7,5 l/min e pressão de 2 a 10 kgf/cm<sup>2</sup>. Esta bomba pode ser controlada, através de um pressostato, entrando em funcionamento quando atingir as condições de pressão pré-especificada. Opcionalmente, como mencionado anteriormente, pode-se utilizar a compressão do reservatório através de ar comprimido ou vapor.

## - LINHAS DE ABASTECIMENTO

Estas são compostas por tubulações de diâmetro definido em função das condições operacionais do equipamento e produto a serem lubrificados. Filtros, manômetros, válvulas reguladoras de pressão, solenóides e bicos lubrificadores são utilizados para o controle de lubrificação.

As válvulas tipo ponta-agulha e solenóides são utilizadas para controlar a vazão do lubrificante, sendo o excesso retornado ao tanque reservatório. Os filtros são previstos para evitar que possíveis contaminações (impurezas) do lubrificante possam chegar até os bicos lubrificadores e entupí-los. Tais filtros devem ser capazes de suportar o fluxo de consumo específico de lubrificante, sem que ocorra perda de pressão na linha de abastecimento. Deve ser prevista instalação de filtros de reserva para entrada em operação, de modo a permitir a limpeza dos filtros anteriormente utilizados independentemente do interrompimento da produção.

Os bicos lubrificadores são ligados às linhas de alimentação através de tubulações flexíveis para se obter o seu melhor posicionamento em relação ao passe a ser lubrificado e também melhorar as suas condições de instalação, sem prejudicar o controle visual do operador do laminador, em cada passe, assim como as operações de manutenção.

Em paralelo, linhas de abastecimento de ar comprimido são utilizadas neste sistema com as seguintes finalidades:

- controlar a abertura e fechamento dos bicos lubrificadores;
- promover a atomização do lubrificante, na câmara atomizadora dos bicos de lubrificação, lançando-o sobre a zona de deformação do laminado, em forma de névoa, conforme exemplificado para a laminação de trilhos, na figura 2.

Os bicos lubrificadores são instalados, no laminador, de modo a dirigir o lubrificante diretamente no passe do cilindro, como ilustrado na figura 2. O número de bicos, tipo e seu posicionamento está diretamente relacionado com as características dimensionais, tipo de produto, equipamento, etc. a ser lubrificado.

## CONTROLE AUTOMÁTICO DA LUBRIFICAÇÃO

A efetividade da lubrificação está associada à aplicação do óleo somente durante a deformação. Caso utilizada continuamente, poderá causar problemas operacionais, tais como: fratura ou deslizamento do cilindro na "mordida", consumo excessivo de lubrificantes, etc. Para evitar tais inconvenientes e controlar o fluxo normal do óleo, é previsto um sistema automatizado visando liberar o lubrificante somente no instante em que se deseja a presença do mesmo

Na figura 3 está inserida basicamente as principais unidades componentes do sistema:

- a) Sensor de absorção de sinal.
- b) Comando eletrônico central.
- c) Conjunto de válvulas solenóides.

- a) Sensor de Absorção de Sinal.

Este componente tem por finalidade transformar um sinal de origem térmica numa milivoltagem.

- b) Comando Eletrônico Central.

A sua finalidade é captar a milivoltagem gerada anteriormente, amplificando-a, fornecendo o "input" para fechamento do circuito que irá comandar a abertura da válvula solenóide correspondente à direção em questão.

Para efeito de regulagem dessa unidade, foi previsto um controle simulativo que aciona a injeção do óleo sem a presença de material a ser processado, que permite previamente checar todo o sistema simultaneamente.

- c) Conjunto de Válvulas Solenóides (Figura 4).

Tendo em vista o direcionamento que se deseja dar ao escoamento de lubrificante, em função do passe a ser lubrificado, foi projetada, uma unidade composta de válvulas solenóides. Para que o óleo seja atomizado, é necessário que a válvula de passagem ao ar ou vapor de controle que comanda o fechamento, ou abertura do lubrificante no bico. Ressalta-se que a linha de óleo é independente e embora exista o bloqueio do lubrificante para o canal, pode-se garantir que ele já está presente na linha. A sua liberação estará correlacionada à solenóide que atua associada ao bico.

## SISTEMA INTEGRADO DE CONTROLE DA LUBRIFICAÇÃO.

Este sistema visa a integração das unidades envolvidas para uma perfeita atomização do lubrificante. Na sequência de operações, podemos identificar as seguintes etapas:

- captação pelo sensor do sinal emitido
- transformação deste sinal numa milivoltagem
- absorção da milivoltagem pelo comando eletrônico central, amplificando o sinal recebido e fechando o circuito.
- energização da bobina da válvula solenóide, dando passagem ao ar ou vapor de controle.
- atomização do óleo, injetando-o na região desejada.

Na figura 3 apresentamos um esquema onde toda a sequência operacional pode ser identificada.

### 4.0 RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Para se determinar a viabilidade técnica-econômica do emprego do sistema de lubrificação no LTP efetuou-se, em conjunto com os órgãos de operação, programação e manutenção, um planejamento experimental visando o levantamento de dados operacionais (desgaste de cilindros, consumo de energia, inspeção superficial do produto acabado, etc) que possibilitasse atender a esta finalidade.

Cerca de 60.000 t de produto não planos já foram processados após a implantação do sistema de lubrificação, com excelentes resultados operacionais e econômicos. Estes podem ser constatados através da análise técnico-econômica do processamento de trilhos, de diversas seções, de aço ao carbono e Niobrãs 200 no qual foi utilizado o sistema de lubrificação desenvolvido na CSN.

Na tabela 1, estão apresentados as reduções percentuais de desgaste de cilindro e de consumo energético obtidos com a implantação da lubrificação no processamento de trilhos, com consumo de lubrificante variando de 0,05 a 0,07 l/t em função da seção dos produtos laminados.

Observa-se que a redução percentual de desgaste de cilindro variou de 42 a 137 % em diâmetro e de 20 a 88 % na largura do passe,

de acordo com a seção produzida, comparando as condições de laminação com e sem lubrificação. A redução de energia variou entre 4 a 13% com o uso da lubrificação no processamento de trilhos.

A efetividade da lubrificação no processamento de trilhos referente a produtividade, taxa de utilização, toneladas programadas, toneladas obtidas por turno e nº de turno para completar um ciclo de laminação é apresentada através das curvas da figura 5. Todos estes resultados referem-se a um mesmo produto (Tr-45) produzidos em 4 diferentes ciclos. Para este produto a tonelada programada era limitada em torno de 2000t devido ao desgaste acentuado dos passes dos cilindros, favorecendo ao aparecimento de defeitos superficiais e de tolerâncias no produto acabado. Face a redução de desgaste dos passes dos cilindros, anteriormente analisada, foi aumentado em 50% a tonelada programada (de 2000 para 3000t/ciclo de trilho (TR 45), conforme a figura 5.a. Ressalta-se que os ciclos 17,18 e 19 foram parcialmente laminados com lubrificação (metade do ciclo) enquanto que o ciclo 20 foi totalmente processado com a lubrificação.

Com este aumento de tonelada programada/ciclo, o tempo total destinado a troca de passes e cadeiras foi reduzido refletindo, assim, em acréscimos de produtividade e taxa de utilização ( $\pm 20\%$ ) do laminador, conforme a figura 5.b, além de minimizar a manutenção (Hh.) do equipamento.

O acréscimo significativo de tonelada média/turno obtido nos ciclos parcialmente e totalmente lubrificados em comparação com o valor esperado sem lubrificação é mostrado na figura 5.c. Salienta-se que no ciclo 20, totalmente lubrificado, foi batido o recorde de produção por turno, para este produto, desde a implantação da laminação de não planos na CSN. Com isto dois turnos a menos são necessários para a produção de um ciclo de laminação (3000 t) quando se utiliza a lubrificação dos passes dos cilindros, conforme figura 5d.

Considerando a prática adotada na CSN de usinagem de cilindros não planos (9,5 mm/ciclo) a lubrificação dos passes permite uma

redução do custo de reposição de cilindros em torno de 30%. Tal economia, por si só, cobrirá em curto espaço de tempo, o custo de implantação, manutenção, operação do sistema de lubrificação assim como o consumo do óleo lubrificante utilizado, conforme tabela 2.

Os resultados acima analisados vieram gradativamente modificar a programação de produção da linha de não planos através do aumento de toneladas programadas/ciclo dos diversos tipos de produtos acabado.

Em adição, o sistema de lubrificação vem contribuindo enormemente na melhoria de qualidade superficial e da uniformidade dimensional do produto acabado, assim como facilitando os mestres de laminação na resolução de problemas operacionais bastante comuns, como exemplo evitar o enrolamento de vigas leves durante sua laminação no passe acabador.

## 5.0 CONCLUSÕES

- O sistema de lubrificação desenvolvido, projetado e construído para o laminador de trilhos e perfis da CSN é relativamente simples, de custo baixo e sua montagem não implica em mão de obra e tempo adicional à linha.
- Os resultados obtidos pela implantação da lubrificação na laminação de não planos na CSN mostraram-se bastante satisfatórios. A maior produtividade e taxa de utilização do laminador, o menor consumo de energia associados a melhor qualidade e índice de rendimento do produto acabado são os benefícios, diretamente obtidos, através desta tecnologia.



RESULTADOS EXPERIMENTAIS

PRODUTO	TON. LAMINADA			CADEIRA	REDUÇÃO	DESG.	REDUÇÃO ENERGIA (%)	CONSUMO LUB. €/TON. LAMINADA
	TOTAL	C/LUB.	S/LUB.		Ø (%)	ALARG. (%)		
TR 37C	1449	855	594	INTER	46	-	-	0.05
				ACAB.	74			
TR 68N	4467	2628	1839	INTER.	95	32	13	0.07
				ACAB.	61	29		
TR 45C	1996	1132	864	INTER.	73	20	8.5	0.06
				ACAB.	42	31		
TR 57C	4998	2753	2245	INTER.	34	88	4.0	0.06
				ACAB.	139	86		
TOTAL	12910	7368	5542	INTER.	62	47	8.5	0.06
				ACAB.	79	49		

TABELA 1.

PRODUÇÃO ANUAL NO LTP DE TR - 45 (t)	GASTOS COM CILINDROS SEM USAR ÓLEO Cr\$	GASTOS COM CILINDROS SISTEMA AUTOMATIZADO - COM ÓLEO - Cr\$	ECONOMIA ANUAL INCLUINDO CONSUMO DE ÓLEO (Cr\$)	REDUÇÃO DE CUSTO %
50.000	6.239.500,00	4.159.500,00	1.885.000,00	30.0
60.000	7.487.400,00	4.991.400,00	2.262.000,00	30.0
70.000	8.735.300,00	5.823.300,00	2.639.000,00	30.0

\* Valores de Julho de 1980.

SEM ÓLEO	COM ÓLEO	CUSTO DE ÓLEO
$X = \frac{\text{Custo do conj.}}{\text{Vida do conj.}} \text{ (Cr$/t)}$	$Y = \frac{\text{Custo do conj.}}{\text{Vida do conj.}} \text{ (Cr$/t)}$	$Z = \text{(Cr$/t)}$
$\text{GANHO} = X - (Y + Z)$		

TABELA 2.

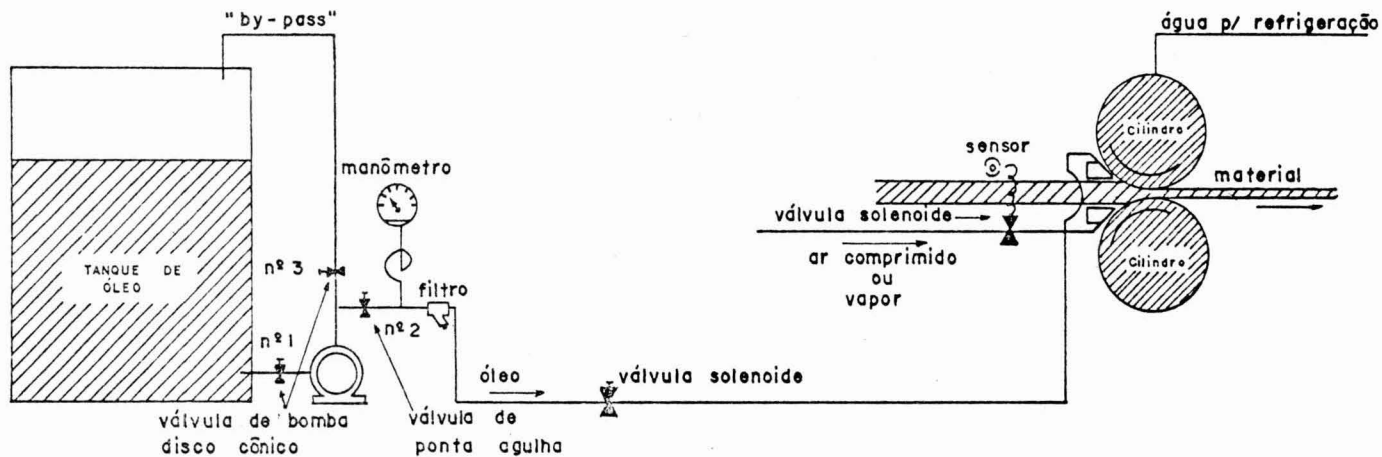
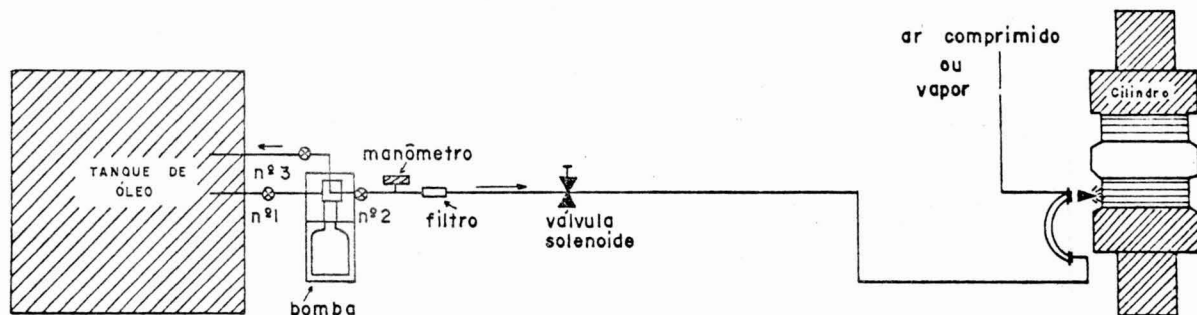


FIGURA I- ESQUEMA DO SISTEMA PROPOSTO PARA LUBRIFICAÇÃO DO LAMINADOR DE TRILHOS E PERFIS.

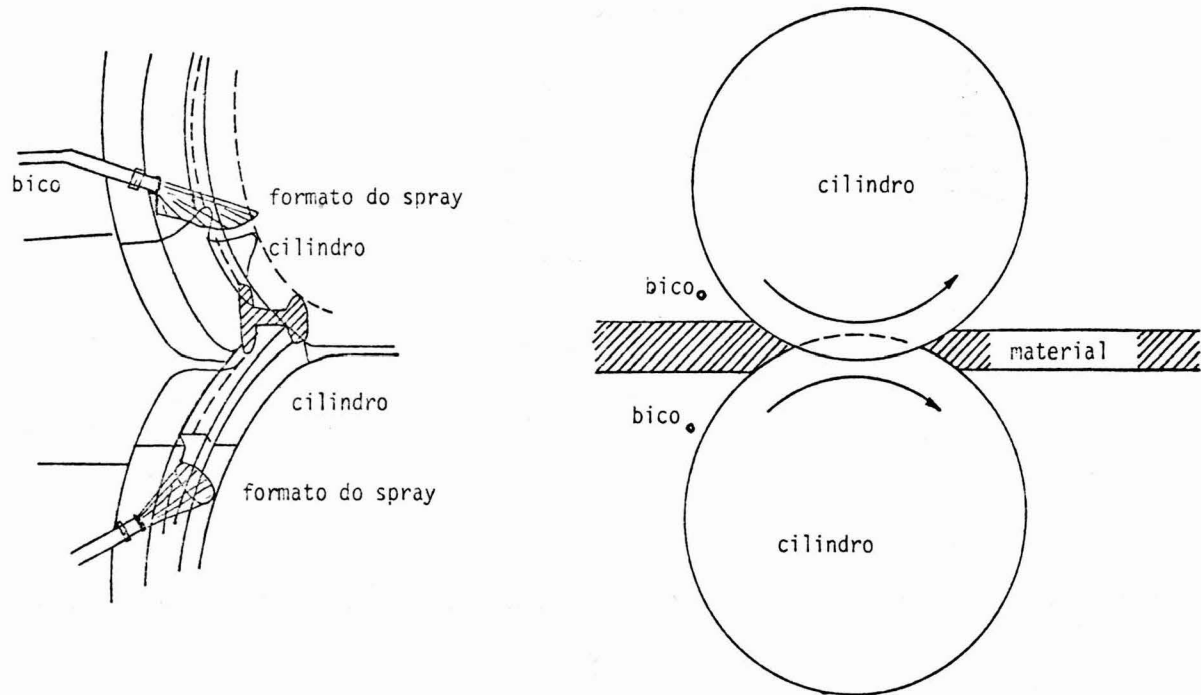


FIGURA 2 - ESQUEMA DE DISPOSIÇÃO DOS BICOS DE LUBRIFICAÇÃO EM RELAÇÃO AO PASSE DOS CILINDROS

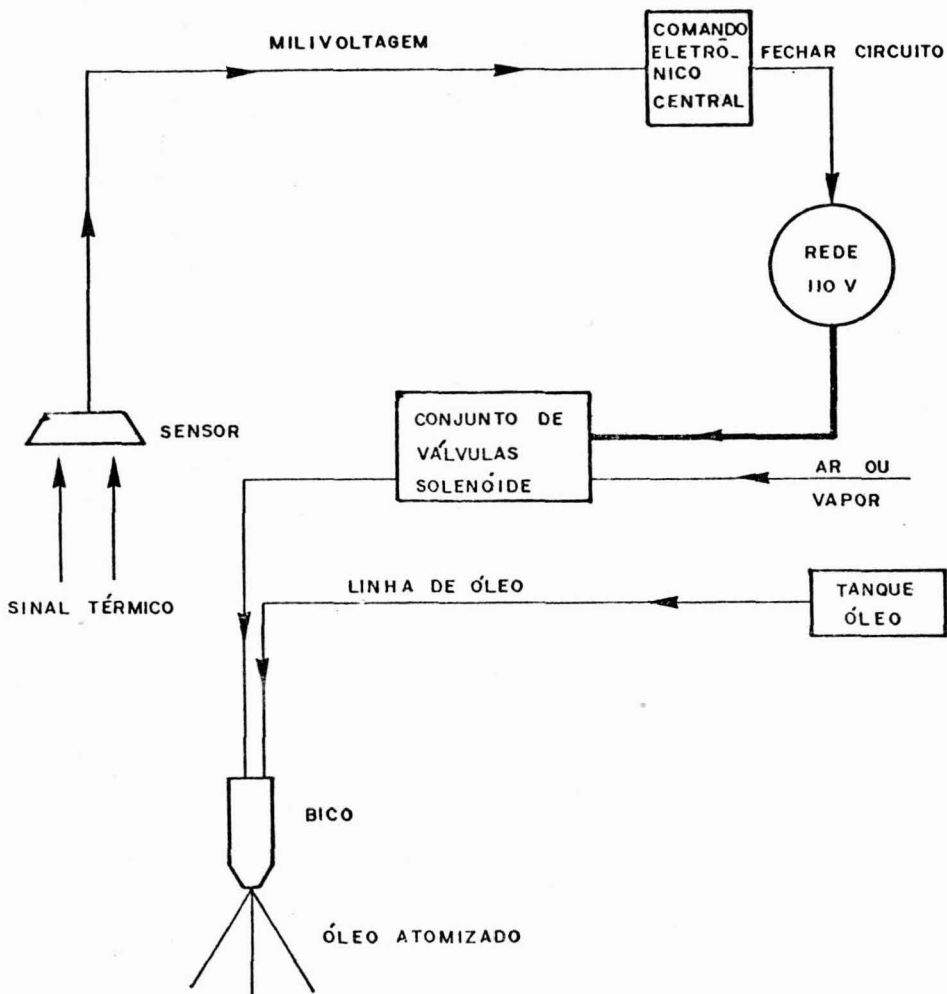
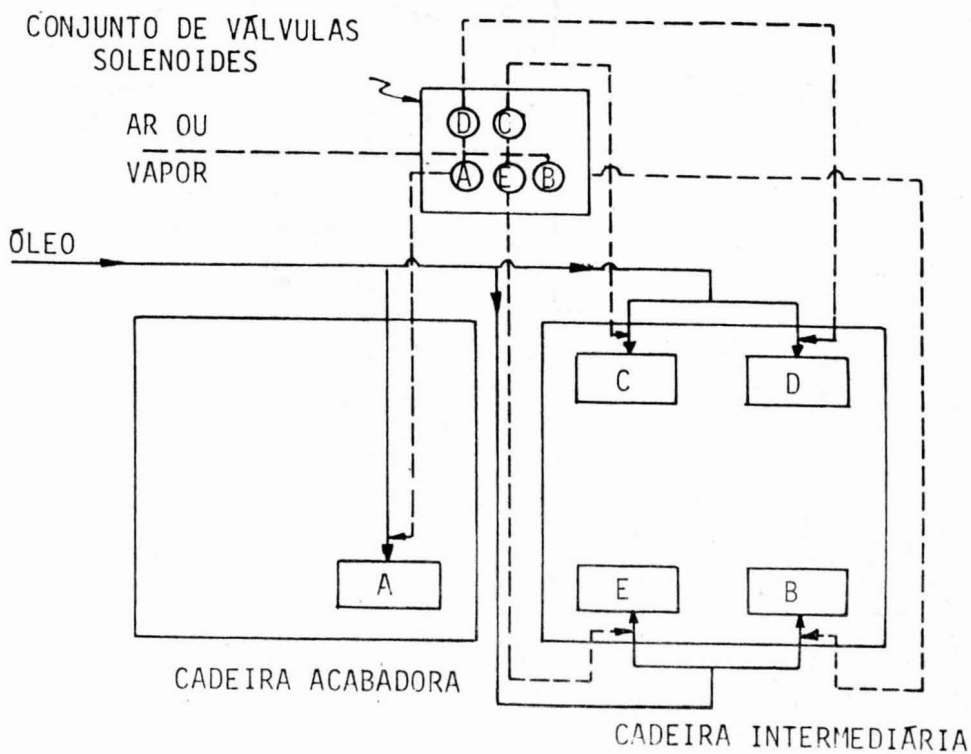


FIGURA 3 - CONTROLE AUTOMÁTICO DE LUBRIFICAÇÃO



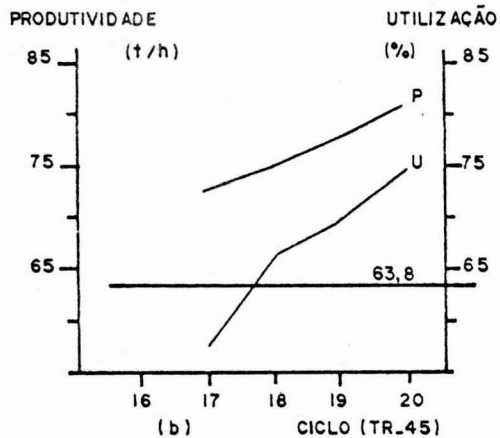
□ - PASSE

— - LINHA DE ABASTECIMENTO DE ÓLEO.

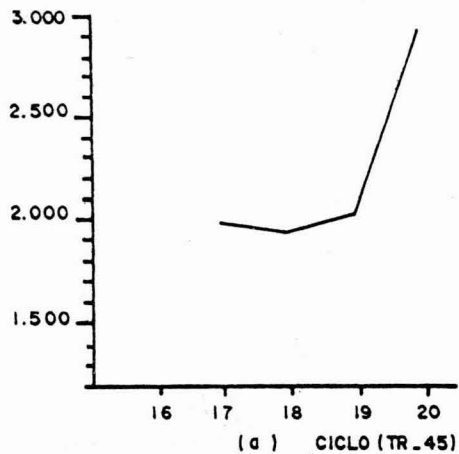
- - - LINHA DE FORNECIMENTO DE AR OU VAPOR.

FIGURA 4- ESQUEMA DA UNIDADE DE CONTROLE DE LUBRIFICAÇÃO

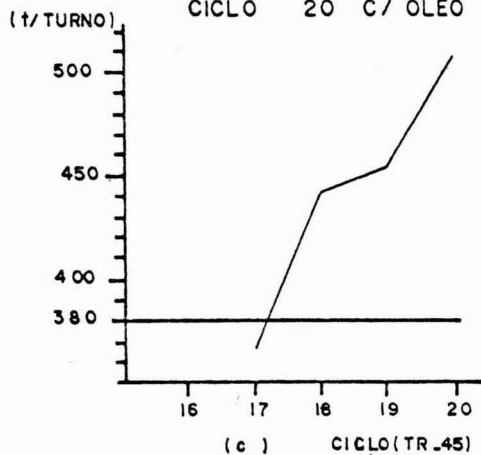
CICLO 20 C/ ÓLEO



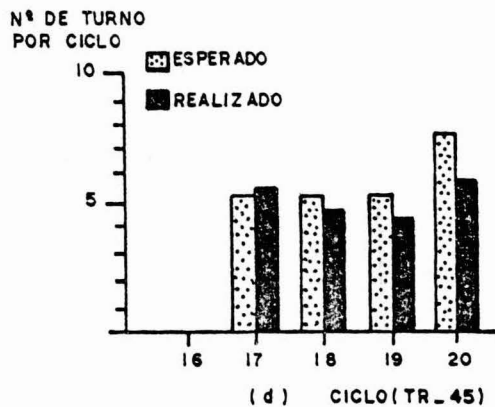
(t) CICLO 20 C/ÓLEO



CICLO 20 C/ ÓLEO



CICLO 20 C/ÓLEO



CAPACIDADE EM MEGATONS PARA LAMINAÇÃO A QUENTE

UTILIZANDO AQUECIMENTO POR INDUÇÃO

Por

N. V. Ross

Diretor de Desenvolvidmentos

AJAX MAGNETHERMIC CORP. USA

Apresentado no

SEMINÁRIO SOBRE LAMINAÇÃO - 81 COLAM

SETEMBRO DE 1981

RIO DE JANEIRO, BRASIL

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE METAIS

COMISSÃO DE LAMINAÇÃO

UTILIZANDO AQUECIMENTO POR INDUÇÃO

Por

M. V. Ross

Nos últimos anos, tem ocorrido enormes mudanças na indústria com relação à conservação de energia e de recursos. Todos estão procurando melhores meios de aquecimento, meios que, em sua essência, consomem menos energia, e energia que possa ser adquirida. Há um fato fundamental que não pode ser negado, isto é que, embora todas as formas de energia conhecidas da humanidade, como a hidráulica, a eólica, a solar, a do gás, do petróleo, do carvão, ou a nuclear, possam não aquecer metais diretamente, todas as formas de energia podem ser convertidas em energia elétrica que, por sua vez, pode ser aproveitada para aquecer metais. O aquecimento por indução é um meio direto de converter energia elétrica na destinada ao aquecimento de metais de uma forma extremamente eficiente, que se revelou como sendo rápida, limpa, fácil de automatizar, e econômica, tanto em termos de espaço, como de dinheiro.

Para ilustrar a aplicabilidade do aquecimento por indução na indústria de laminação, preferi descrever diversas instalações.

Tais instalações abrangem uma variedade de



formas, tamanhos, ligas, gamas de temperatura e de cadências de produção, com uma gama correspondente de frequências de aquecimento.

A energia absorvida ("input") total, combinada das instalações é superior a um megaton por hora, com uma capacidade instalada de aquecimento de 323 megawatts.

É um fato conhecido, em teoria de aquecimento por indução, que as dimensões e liga da carga a ser aquecida determinam a frequência a ser empregada para se obter um projeto eficiente. Quanto maior a seção transversal, menor a frequência; quanto menor a seção transversal, maior a frequência. A resistividade elétrica desempenha papel semelhante: quanto mais elevada a resistividade, mais baixa a frequência, quanto mais baixa a resistividade, mais elevada a frequência.

O Quadro I apresenta um resumo das características de cada uma das instalações.

A seguir damos uma breve descrição de cada uma.

#### LONE STAR STEEL - AQUECIMENTO DE PRODUTOS TUBULARES

A empresa Lone Star, de Lone Star, no Texas, E.U.A., é produtora de uma gama completa de produtos tubulares, que compreendem: revestimentos de tubos padrão A.P.I. (American Petroleum Institute), com diâmetros de 4,5 a 13,4 polegadas; tubos de oleoduto A.P.I., com diâmetros de 2 a 15,75 polegadas, e mate-

rial tubular A.P.I. de extremidade simples e de extremidade externa recalçada, entre 2 e 4,5 polegadas de diâmetro.

A maior linha para têmpera de tubos por indução dos E.U.A., uma instalação de 13.000 kW, foi posta em operação em 1969, tendo sido basicamente projetada para aquecêr, resfriar bruscamente e temperar tubos de perfuração soldados com resistência elétrica, e tubos de revestimento de poços, de acordo com as especificações A.P.I. N-80 para tubos de perfuração e revestimentos de poços, sendo igualmente empregada para tubos de oleodutos.

A necessidade de temperar a quente estes tubos de perfuração e de revestimento de poços decorre da procura de parte dos consumidores por material de custo mais baixo e de maior relação de resistência para peso. Em condições de uso, o tubo de perfuração é empregado para perfuração por broca rotativa, e, portanto, deve possuir grande resistência à torção, e ser também, altamente resistente a tensões de fadiga. O tubo de revestimento do poço deve ser resistente o bastante para suportar as elevadas expressões externas a que está sujeito em poços profundos.

A demanda de tubos de alta resistência, como os produzidos por essa linha, está em ascensão, devendo continuar a crescer à medida que sejam perfurados poços mais profundos.

É difícil obter a resistência elevada do tu-

bo N- 80 a partir de aço soldado por eletricidade por meio de métodos que não sejam o de aquecimento seguido de resfriamento brusco, porque o aumento do teor de carbono ou de manganês, ou o acréscimo de outras ligas acarreta dificuldades de solda a alta velocidade. Os fabricantes portanto são forçados a usar ligas de custo mais alto e produtos sem costura a fim de cumprir as exigências, se preferirem não proceder ao aquecimento seguido do resfriamento brusco.

O tratamento de t $\hat{e}$ mpera de tubos de perfuração e tubos de revestimento não  $\acute{e}$  novo, tendo sido um processo padr $\tilde{a}$ o durante muitos anos, com tubos sem costura. Rigorosamente do ponto de vista metal $\acute{u}$ rgico, o processo de indução  $\acute{e}$  id $\hat{e}$ ntico a m $\acute{e}$ todos mais antigos, no fato de o produto ser aquecido a 1650 $\text{ }^{\circ}\text{F}$ , e imediatamente resfriado. Uma operaç $\tilde{a}$ o de revenido a 1000-1200 $\text{ }^{\circ}\text{F}$  completa a de tratamanto t $\acute{e}$ rmico.

Recentemente, a Lone Star decidiu converter as usinas existentes de "hot-sink" e de estiramento a quente, que eram a g $\acute{a}$ s, para aquecimento por indução.

A usina de "hot-sink" ir $\acute{a}$  laminar tubos entre 7 e 16 polegadas de di $\hat{a}$ metro a 180 ton/h, quando pre-aquecidos a 2000 $\text{ }^{\circ}\text{F}$ .

Para conseguir isto, s $\tilde{a}$ o necess $\acute{a}$ rios dois tamanhos de bobina: um para di $\hat{a}$ metros entre 13-3/8 e 16 polegadas, e o outro para di $\hat{a}$ metros entre 7 e 9-5/8 polegadas.

H $\hat{a}$  32 bobinas na linha, sendo cada uma de 48

polegadas de comprimento em centros de rolo de laminação de 84 polegadas.

O aquecimento por indução é obtido por meio de doze geradores SCR de 300 Hz, para 4 MW nominais cada um, para uma capacidade instalada de 48 MW. A tensão primária é de 34,5 kV.

Um diagrama monofilar consiste em uma chave desligadora de alta-tensão, um transformador de isolamento de 34,5 kV a 1260 volts, o conversor SCR, uma estação de aquecimento composta de capacitadores de 300 Hz e das bobinas de indução.

Quatro fontes de energia de 4 MW cada uma fornecem energia a quatro bobinas de aquecimento por indução, ligadas em paralelo, operando a 2500 volts. Uma assim chamada seção de pre-aquecimento compreende 16 bobinas de diâmetro maior que o das 16 bobinas seguintes da seção de pós aquecimento. A finalidade do diâmetro maior é deixar margem para que desvios existentes no tubo passem enquanto o tubo estiver frio. À medida que se aquece, o tubo tende a descan-sar, podendo ser utilizadas folgas maiores.

A seção de pós-aquecimento compõe-se de oito geradores SCR de 4 MW, cada um dos quais fornece energia a duas bobinas em paralelo, a 2500 volts, e a 300 HZ.

A usina de estiramento a quente aquece um tubo de 6-5/6, ou 7-1/4 polegadas de diversas espessuras de parede de 0,125 a 0,415 de polegada a 112 ton/h,

quando pre-aquecido até 2000°F.

Isto é feito com 20 bobinas em série. Cada bobina tem o comprimento aproximado de 48 polegadas com centro de rolos laminadores a 84 polegadas.

Também nesse caso, há uma seção de pre-aquecimento de abertura de bobina maior do que o normal, compondo-se de 12 bobinas, 3 fontes de força de 4 MW cada, a 500 Hz, ligadas a quatro bobinas em paralelo a 2500 volts.

Há um espaço na linha entre a seção de pre-aquecimento e a de pós-aquecimento, de modo que o tubo pode estar na usina de estiramento onde não pode estar girando. Os comprimentos dos tubos para esta usina vão até 290 pés.

A seção de pós-aquecimento de oito bobinas é alimentada por quatro geradores SCR, cada um com 4 MW, e ligado a duas bobinas em paralelo a 2500 volts.

Esta linha tem capacidade de 28 MW, tendo um diagrama monofilar semelhante ao para a usina de "hot sink".

Os geradores SCR, transformadores, chave desligadora e diversos tamanhos de bobinas são intercambiáveis entre as usinas de "hot-sink" e as de estiramento a quente.

Com essa carga suplementar, a Lone Star Steel terá instalado aproximadamente 150 MW de aquecimento por indução, vindo logo atrás da McLouth, de 210 MW para os seus aquecedores de placas.

Esta instalação compõe-se de um lingotamento contínuo de molde curvo de um veio, uma tesoura em linha, reaquecimento por indução em linha na frente da primeira cadeira, quatro cadeiras, um segundo reaquecimento por indução à frente da quinta cadeira, seguido por sete cadeiras de laminação em linha.

Os reaquecimentos de indução consistem de duas bobinas, cada uma com 24 polegadas de comprimento e alimentada por 1000 KW a 1000 Hz.

O objetivo é elevar a temperatura superficial a uma temperatura de laminação. O perfil de temperatura sobre a seção transversal do tarugo, devido ao aquecimento por indução, é singularmente oposto ao perfil de temperatura devido a perdas, sendo um excelente modo de reestabelecer um padrão de temperatura uniforme por toda a seção transversal dos processos em linha.

Paralelamente à linha acima está uma linha de 15 bobinas de indução para aquecer os tarugos que resfriaram até a temperatura ambiente, devido a paralisações do laminador enquanto o lingotamento contínuo estava ainda funcionando.

O equipamento é fornecido para aquecer barras de aço carbono de 6 polegadas de RCS e 4,5 por 8,5 polegadas de seção transversal de 70°F a 2100°F. A capacidade de produção do aquecedor de barra por indução é

de 85,000 libras por hora.

O aquecedor compõe-se de uma linha simples de 15 bobinas de indução de 92.5 pés de comprimento. Cada bobina tem um comprimento de aproximadamente 55 polegadas, colocada entre rolos de laminação com espaços de 74 polegadas entre um e outro. O equipamento motriz se acha localizado perto da linha de bobinas em uma sala de força de acesso restrito. As bobinas de indução estão projetadas de modo a aceitarem as barras de RCS de 6 polegadas no plano e as barras de seção transversal de 4,5 por 8,5 polegadas, com o lado de 8,5 polegadas para baixo.

A potência nominal total do sistema é de 12.000 kW. Esta potência é fornecida por doze conversores de frequência de 1000 kW, a 300 Hz. Cada uma das estações de aquecimento está localizada junto a seu respectivo conversor de frequência.

#### Bobinas de Indução de 300 Hz

Cada bobina de aquecimento por indução de 300 Hz é uma unidade de camada simples, refrigerada a água, para serviço pesado, de alta temperatura, isolada, projetada para operar continuamente à plena capacidade nominal. Todas as bobinas de indução a 300 Hz são intercambiáveis entre si.

O enrolamento da bobina é construído de material tubular de cobre de alta pureza, e com paredes espessas, empregado na seção de transporte de corrente

refrigerado a água. O conjunto todo é mantido no lugar fundindo-se o enrolamento da bobina em um refratário pesado em torno de uma armação de alumínio. São usadas chapas de rosto de aço inoxidável para proteger ainda melhor as extremidades das bobinas.

O cobre do enrolamento da bobina primeiramente é limpo por meio de jato de areia, e então um epoxi isolante, aplicado eletrostaticamente é vaporizado sobre a sua superfície de modo a proteger de curtos-circuitos ou ligações à terra devidos a partículas de óxido que passem através de pequenas rachaduras no refratário principal. A bobina tem um revestimento interior refratário pesado que permite isolamento térmico, bem como resistência a choque térmico.

As vias de refrigeração a água dentro da bobina são todas independentes entre si, de modo a não sofrerem interferência de um fluxo contínuo de água de refrigeração. Cada via é alimentada a partir de um coletor comum de entrada e descarrega em um coletor, também comum. Todos os coletores de água são feitos de cobre a fim de eliminar a corrosão ou ferrugem dentro do sistema de refrigeração. São presos olhais para suspensão em cada bobina a fim de facilitar a sua substituição.

### Estações de Calor

Cada uma das doze estações de calor de 300 Hz consiste em uma armação de aço estrutural prefabricada, embuti-



tida com painéis de aço. As seções de calor são projetadas para serem montadas junto às bobinas de indução que alimentam.

#### Unidade de Fornecimento de Energia a 300 Hz

A energia a 300 Hz é fornecida por conversores de frequência "solid state" de corrente constante "Ajax Magnathermic" de 1000 kW. Essas unidades convertem a linha trifásica em corrente contínua, e depois em alta frequência monofásica. Os conversores utilizam circuitos patenteados especiais, que constituem uma unidade de armazenagem de alta energia, resultando em elevada eficiência operacional.

Cada unidade de fornecimento de energia a 300 Hz está alojada em uma armação de aço estrutural encerrada com painéis de aço. Em toda ela é empregada construção modular, sendo simplificada a manutenção com acesso por uma porta dianteira e aparelhos SCR montados em um conjunto de porta de vai-e-vem.

#### Controles de Produção

Em condições normais de operação, a temperatura de saída das barras produzidas é determinada por uma combinação da saída do fornecimento de energia e da velocidade da linha.

À cadência de produção a plena capacidade nominal e temperatura máxima, todas as bobinas de aquecimento são energizadas à cadência de produção de e-

nergia do conversos de frequência. Para uma temperatura mais baixa, ou uma cadência de produção reduzida, é ajustado o nível da energia proveniente dos conversores de frequência.

O equipamento é projetado de modo a manter a temperatura (respectiva) das barras na bobina durante os períodos de interrupção de produção. Se fôr causada uma demora na produção na usina de laminação, ou no transportador de entrada, seria anti-econômico permitir que as barras aquecidas continuassem a ser descarregadas. Em tais casos, o controle do aquecedor é ligado para a posição de retenção pelo operador, sendo reduzido o fluxo de material, a fim de satisfazer a velocidade reduzida das barras através das bobinas.

A técnica de controle da retenção não é uma técnica estática de retenção, mas uma retenção de movimento lento, arrastado. Quando o aquecedor é sujeito a esta técnica, reduz-se a energia nos conversores de frequência. Como é conveniente manter a mesma distribuição de temperatura relativa das barras ao longo do comprimento da linha da bobina, a força é reduzida de acordo com as perdas de radiação nas diversas partes da linha de tarugos. Já que se perde mais calor a partir da extremidade quente, deverá ser fornecida mais energia nesta extremidade do que na extremidade fria.

O resultado líquido deste controle é acomodar a interrupção do fluxo de produção durante períodos curtos. Ao ser reiniciada a produção, podem ser

atingidas condições semelhantes de temperatura de barra que existiam antes de ter sido interrompida a produção plena.

No caso de atrasos prolongados na usina, a linha de aquecimento é desligada, sendo impelidas para fora e rejeitadas as barras existentes na linha. A linha poderá ser posta em funcionamento a partir do frio, em cerca de 10 minutos.

A colocação em funcionamento do aquecedor poderá ser realizada com as linhas de bobinas vazias ou com a linha cheia de barras frias.

Começando com a linha da bobina vazia, as seções da bobina são ligadas manualmente de forma progressiva, à medida que as barras são impelidas pela linha, a fim de simular uma condição firme. A primeira barra não terá alcançado a uniformidade de temperatura desejada e deverá ser deixada de lado.

Começando com uma linha plena de tarugos frios, as bobinas são energizadas na forma acima. Será necessário deixar de lado as barras na linha, até que seja alcançada a temperatura desejada.

#### WASHINGTON STEEL AQUECIMENTO DE PLACAS

A Washington Steel Corporation, uma das principais fornecedoras de tiras de aço inoxidável, recentemente instalou um laminador a quente à sua usina de Houston, no Estado da Pensilvânia. Esta usina possui um laminador acabador

reversível, uma laminador reversível a quente, e uma instalação de aquecimento de placas por indução. O laminador acabador é capaz de laminar aço inoxidável, produtos de alta liga, bem como titânio. As larguras das tiras variam entre 27 polegadas e 52 polegadas, sendoas espessuras de até 0,090 de polegada.

Os aquecedores por indução são do mesmo desenho WCR que os encontrados na McLouth Steel. As espessuras das placas são de 5, 6 e 7 polegadas para as de aço, e de 8 para titânio, variando as larguras em gradações de 1 polegada de 27 a 52 polegadas; as placas vão de 207 a 276 polegadas de comprimento. O peso máximo das placas é de 15 toneladas.

Por causa da espessura de placa de 5 polegadas, é usada uma frequência mais elevada que a frequência "mains", neste caso, de 180 Hz. Tanto a eficiência de aquecimento, como a uniformidade de temperatura são funções da relação entre a espessura da placa para a profundidade de penetração.

Há três aquecedores de indução WRC de estágio simples, sendo cada um deles alimentado por um triplicador de frequência magnético de 6,6 MW. A Figura (5) mostra o diagrama monofilar desta instalação. As placas são aquecidas a partir da temperatura ambiente até a temperatura final de laminação de 2300°F em um único estágio. Cada aquecedor se acha classificado para produção de 20 t/h, para uma capacidade total nomi-

nal de 60 t/h, para os tres aquecedores.

As placas são aquecidas apoiadas sobre seus cantos, como ocorre na instalação da McLouth. As placas de 12 polegadas de espessura na McLouth eram estáveis e podiam se manter em pé durante o processo de aquecimento. Tal não ocorre com as placas mais finas na Washington Steel, onde teve que ser projetado um estabilizador a fim de manter as placas verticais durante o aquecimento. O estabilizador se projeta pelo topo da bobina WRC, estendendo-se para baixo, para o seu interior; entra em contato com o lado superior da placa a partir do momento em que fôr erguido para dentro do aquecedor WRC, permanecendo em contato com ele durante o ciclo de aquecimento. O estabilizador é projetado de modo a não aquecer por indução, de modo muito semelhante ao dos dedos de apoio da placa no fundo em que se apoia a placa.

A instalação da Washington Steel entrou em funcionamento em inícios de 1977.

#### CASA DA MOEDA DOS E.U.A. - AQUECIMENTO DE PLACAS

Uma segunda instalação de aquecimento de placas existe na Casa da Moeda dos E.U.A. em Filadélfia, na Pensilvânia.

A Casa da Moeda aquece placas de cobre, latão e cupro-níquel para laminar em tiras para fabricação de moedas.

O conjunto da instalação de aquecimento de

placas compõem-se de duas bobinas, cada uma com 2350 kW nominais, e capaz de aquecer uma placa de cobre ou de "gilding metal" em cerca de 10 minutos para o seu período de aquecimento inicial. É necessário mais tempo para manter a fim de reduzir a temperatura final a valores aceitáveis para a prática de laminação. O consumo de energia aproximado é de 236 kWh/ton para cobre, 203 kWh/ton para auricalco, e 213 kWh/ton para uma liga de cupro-níquel a 75/25.

A bobina é energizada monofasicamente a partir de um circuito equilibrador de fase patenteado, conforme indicado na Fig. (4). Um transformador trifásico de 2500 kVA reduz a tensão da linha de fornecimento de 13,2 kV para trifásica de 3160 volts, em que o chaveamento da energia se faz por meio de um contactor de desligamento pneumático. A partir do contactor, a energia é alimentada a dois transformadores monofásicos ligados em delta aberto. Esses dois transformadores têm a mesma kVA nominal mas operam a tensões secundárias diferentes. O transformador da esquerda é chamado de transformador de equilíbrio de fase, sendo o da direita o transformador de força. O banco de capacitores, que deve ser exatamente igual em kVA ao total de kVA da bobina de indução em condições de equilíbrio exato, se acha ligado sobre o secundário do transformador de força. Os secundários dos dois transformadores têm um terminal em comum, e a bobina de indução se acha ligada sobre o secundário ligado em sé-

rie dos dois transformadores. O nível de energia da bobina poderá ser ajustado por meio de um cambiador de derivação de descarga no transformador de força. O banco de capacitores dispõe de uma série de contactores operáveis a distância, de modo que os kVA do banco podem ser ajustados de modo a igualar os kVA da bobina de indução. O transformador de equilíbrio de fase está equipado com um cambiador de derivação de descarga que pode ser usado para ajustar o ângulo de fase entre a tensão do transformador principal, ou banco de capacitores, e a tensão da bobina de indução.

As duas bobinas de indução se acham dispostas de extremidade a extremidade, paralelamente a e ao lado de um transportador de rolos movido eletricamente, que entrega as placas frias para aquecimento. Cada placa fria move-se transportadora abaixo, apoiada sobre sua superfície de 16 por 103 polegadas. Na seção de entrada está um medidor de tarugos que detecta a presença de qualquer placa que seja espessa demais, ou empenada demais, para passar com segurança pelo sistema. Tal placa dará um alarme visual e auditivo, parando o motor da transportadora, e acendendo uma lâmpada testemunha.

Uma placa em condições continuará a descer a transportadora. Se houver que ser alimentada para o primeiro aquecedor, uma barreira hidráulica passará em frente à transportadora, diante da placa, a fim de posicioná-la convenientemente para carregá-la para den-

tro da bobina. No momento em que a placa alcança a barreira, pára o motor da transportadora.

Um par de braços hidráulicos previamente instalados entre os rolos da transportadora gira, nesse momento, para cima, a fim de receber a placa da transportadora, erguendo-a para uma posição vertical sobre seu canto de 6 por 103 polegadas, diretamente abaixo da abertura inferior da bobina de indução. Um cilindro hidráulico então eleva a placa dos dedos suspensores, mantendo-a na posição de aquecimento. Os dedos suspensores então retornam a sua posição de repouso entre os rolos da transportadora que entra, a fim de preparar a elevação da próxima placa.

Após aquecida a placa, o guincho a abaixa sobre um par de dedos abaixadores que elevam a placa à sua posição plana sobre o lado da bobina que estiver oposto à carregadora. Aqui, move-se lateralmente sobre rolos loucos pivotáveis que a transferem a outra transportadora de rolos, que, por sua vez, a levam à laminação.

As placas frias a serem aquecidas na segunda bobina passam pela barreira aberta na primeira posição de aquecedor, continuando até uma parada fixa na segunda posição do aquecedor.

#### McLOUTH STEEL - AQUECIMENTO DE PLACAS

A McLouth Steel Corporation se acha situada no coração da indústria automobilística norte-americana, uma das maiores regiões consumidoras de aço



do mundo. A empresa produz dois milhões de toneladas de aço de alta qualidade por ano. Seus principais produtos são aço de chapas frias para estampagem profunda, de baixo carbono, bem como aço inoxidável, e aços de alta resistência e baixa liga para automóveis, aparelhos, equipamento de processamento de alimentos, etc. Em sua usina principal em Trenton, Michigan, quatro máquinas de lingotamento contínuo de 60 polegadas de largura com linhas de interrupção ("cut off"), e 18 aquecedores por indução WRC, foram acrescentados em 1968, a fim de fornecer para uma usina de laminação de 60 polegadas.

O sistema de aquecimento de placas por indução consiste de seis linhas de aquecimento, cada uma com a capacidade de 100 ton/hr, para um total de 600 ton/h. Isto se baseia no aquecimento de placas de 12 polegadas de espessura por 60 de largura, e 312 polegadas de comprimento, de 70°F a 2250°F. Uma placa é entregue à usina a cada três minutos (20 placas por hora).

Cada linha de aquecimento por indução compõe-se de três aquecedores, constituindo cada aquecedor um estágio de aquecimento. A placa é inserida no primeiro aquecedor ou estágio, e sua temperatura é aumentada de 70°F para 1550°F. Ao final de 17 minutos, a placa é transferida ao segundo estágio, onde é aquecida a uma temperatura média de 2000°F. Dezesete minutos mais tarde, é transferida ao terceiro e último

estágio, onde é aquecida até 2250°F. O tempo total de aquecimento do início ao fim é de 54 minutos.

Cada estágio de aquecimento consiste de aquecedores WRC fisicamente idênticos, mas varia eletricamente. O primeiro estágio tem uma potência de ponta nominal de 20 MW a 2700 V; o segundo estágio tem uma potência de ponta nominal de 10 MW a 2400 V; e o terceiro estágio tem uma potência de ponta nominal de 5 MW a 1685 V. A instalação, em seu todo, tem uma capacidade conjunta de 210 MW.

Cada aquecedor é alimentado por transformadores individuais, monofásicos, com uma tensão primária de 120 kV, reduzida diretamente à tensão de aquecimento. Cada aquecedor consiste de quatro seções de bobina ligadas em paralelo. Os capacitores de fator de potência são ligados em derivação em cada seção de bobina. A regulagem de tensão individual de cada seção de bobina é possível através de quatro autotransformadores. A regulagem de tensão é necessária, a fim de aquecer uniformemente as diferentes espessuras de placa, que são: 36 polegadas, 44 polegadas, 52, e 60 polegadas. Todas as placas têm uma espessura de 12 polegadas, variando em comprimento entre 196 e 312 polegadas.

Visto que a McLouth lamina diretamente a partir de placas de 12 polegadas, para atingir a medida de tira acabada, consome-se bastante tempo nos dois

laminadores reversíveis. Devido a isso, as temperaturas de placa exigidas no reaquecimento são superiores às da maioria das usinas. As temperaturas necessárias variam de 2350°F. Pretendia-se, inicialmente, que uma parte considerável do calor residual existentes nas placas ficasse retido. Infelizmente, isto não resultou conforme havia sido planejado originalmente. O tempo de trânsito médio das placas, do corte até a alimentação para dentro do aquecedor por indução, é de dois dias, correspondente a uma temperatura de placa no aquecedor de aproximadamente 300°F.

Durante o início de operação do sistema de aquecimento por indução, em 1968, uma linha estava disponível para verificação completa. Esta linha de aquecimento por indução estava plenamente equipada com instrumentos elétricos, medidores de fluxo de água, e termopares. Vinte e quatro termopares foram enterrados por toda a espessura da placa, e por toda a área de superfície lateral da placa. Assim, pudemos obter um equilíbrio térmico em todo o sistema, a responder por todos os kWh consumidos.

Desde 1968, outros testes individuais foram realizados a fim de verificar o desempenho dos aquecedores. Um levantamento completo de temperatura em todo o laminador a quente foi igualmente realizado em 15 de janeiro de 1970, e novamente em 7 de janeiro de 1971. Desde o início, foram tirados dados de produção. Durante o quadriênio 1971-1974, e os qua-

tro primeiros meses de 1975, quase 8,5 milhões de toneladas de aço foram aquecidas no sistema de indução, com uma média de consumo de energia de 331 kWh/ton. O consumo energético inclui o devido a retenção durante atrasos de usina, e que vão de 25 a 30%, demoras em carregar placas, baseando-se em aquecimento de 300°F a 2400°F de temperatura média; também compreende uma gama completa de larguras de placa.

Ajustando o consumo de energia para aquecimento a 2400°F, a fim de corresponder ao aquecimento até 2250°F, chegamos a 291 kWh/ton como valor real de produção. Este dado baseia-se no aquecimento de 8.5 milhões de placas.

Desde 1968, cerca de 20 milhões de toneladas de placas foram aquecidas por indução na McLouth.

### CONCLUSÃO

De que modo progredirá o nosso mundo dependerá de como tratemos de certos fenômenos, como carência de combustíveis fósseis e produção de resíduos industriais. As tendências futuras, como o prosseguimento do desenvolvimento da energia atômica, o interesse crescente pela ecologia, e a qualidade de vida, permitem antever um emprego mais largo do aquecimento por indução para aquecimento de massa maiores de metal. Acredita-se que o futuro reserva grandes promessas para este tipo de aquecimento em aplicações para grandes tonelagens, descritas na presente monografia.

## REFERÊNCIAS

- (1) N. V. Ross. "A System for Induction Heating of Large Steel Slabs". - Proc. IEEE 9a. Conf. Bional sobre Aquecimento por Processos Elétricos na Indústria, 1969, pp. 26-34.
- (2) C. N. Howell. "Slab Heating at the Philadelphia Mint." - IEEE IAS, 7a. Reunião Anual, Filadélfia, 1972, pp. 355-360.
- (3) P. Dessarts, G. L. Lamarque, J. F. Pupier. "Aspects Techniques du Rechauffages Avant Laminage Par Voie Eléctrique" - Comitê Francês de Eletrotermia, Colloque, 8-9 de abril de 1976, I.B. 4.
- (4) B. E. McArthur. "A New Induction Heating Concept". "Iron and Steel Engineer", setembro de 1968.
- (5) N. V. Ross, Patentes norte-americanas ns. 3424836, 3485986, 3489875, 3497658, 3505492.
- (6) N. V. Ross e J. A. Logan, Patente norte-americana n? 3485985.
- (7) N. V. Ross e M. Tama, Patente norte-americana n? 3485983.
- (8) J. W. Williamson, Patente norte-americana n? 3004208.
- (9) J. Seitz, Patente norte-americana n? 3053920.
- (10) J. W. Williamson e M. Tama, Patente norte-americana n? 3412317.

TABELA I

COMPANHIA	SEÇÃO	CONFORMAÇÃO A QUENTE OPERAÇÃO	TONS/HR	MW	MATERIAL	TEMPºF	KWh/TON	TOTAL	FREQUENCIA Hz
				CAPACIDADE				EEF %	
McLouth Steel	Placa	Laminação	600	210	Aço Carbono	2350	300	72.3	60
U.S. Mint	Placa	Laminação	20	5	Cobre	1600	213	45.0	60
					Gildin	1500	200	50.0	
					Cu-Ni	1900	213	57.0	
Washington Steel	Placa	Laminação	60	20	Aço Inox	2350	295	65.4	180
					Titânio	1550	210	60.0	
Nucor	Quadrado	Laminação	45	12	Aço Carbono	2350	300	72.3	300
Lone Star	Tube	Laminador redu- tor	180	48	" "	2000	238	78.2	300
Lone Star	Tube	Laminador esti- rador	112	28	" "	2000	243	76.5	500

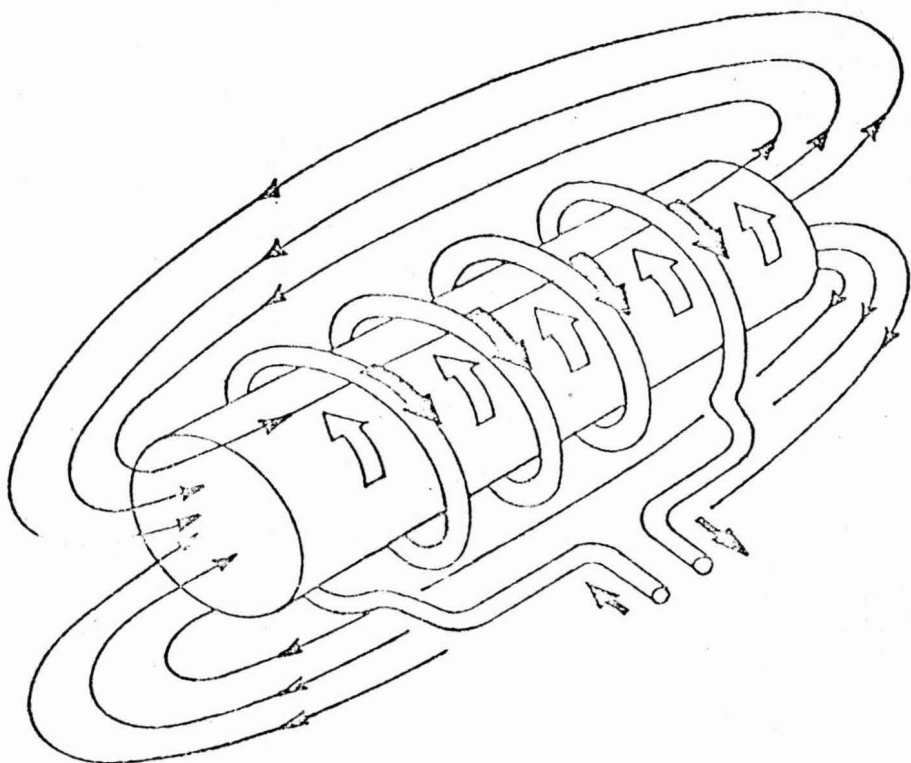


Fig. 1 - Bobina a indução solenoidal convencional.

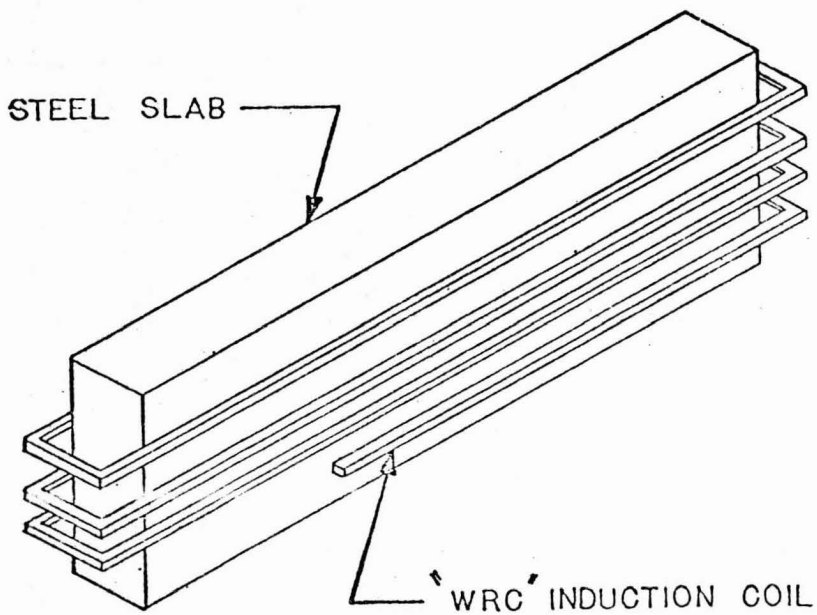


Fig. 2 - Bobina retangular larga (WRC) para aquecimento de placas.



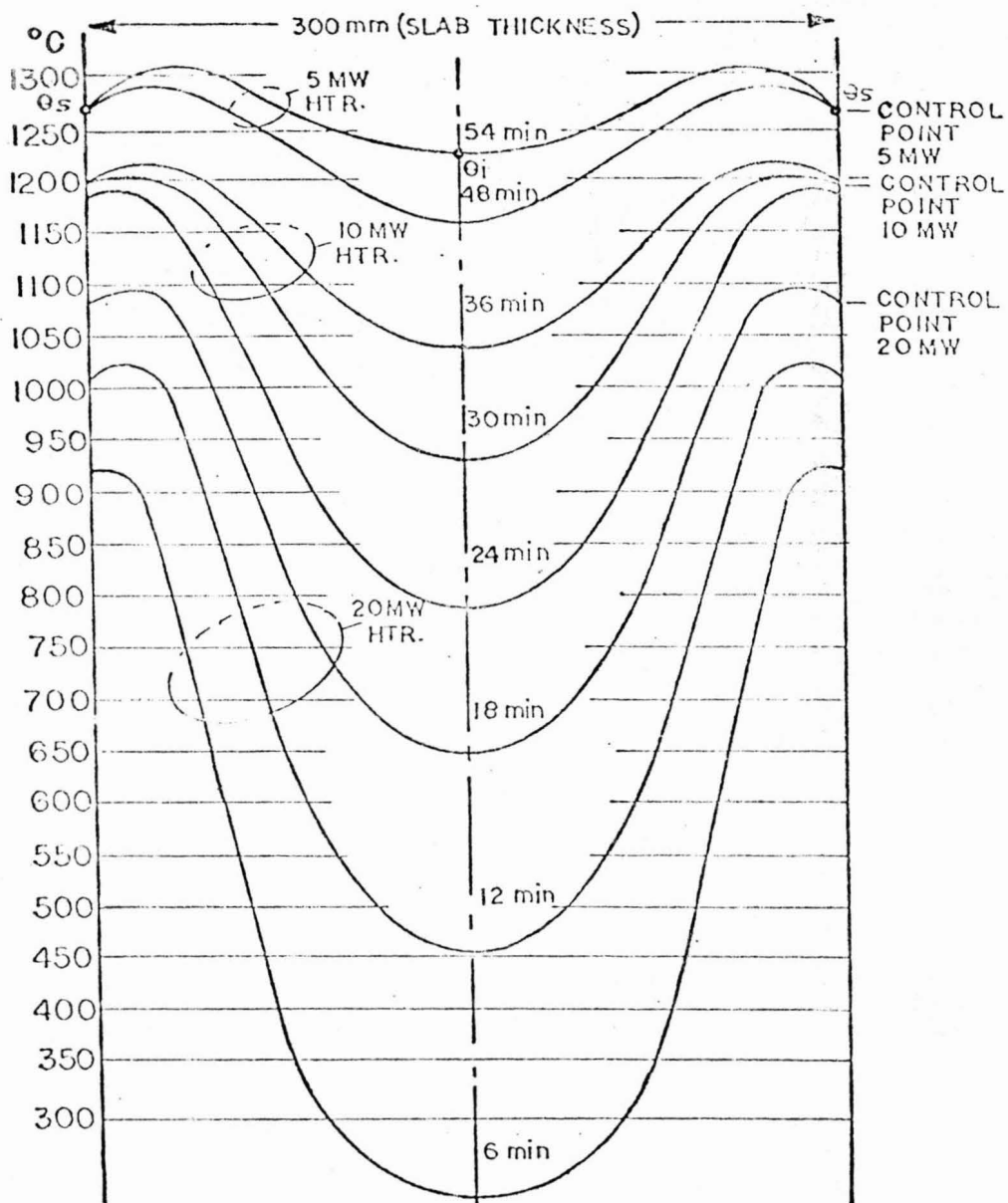


Fig. 3 - Distribuição de temperatura numa placa de aço de 12 polegadas de espessura.

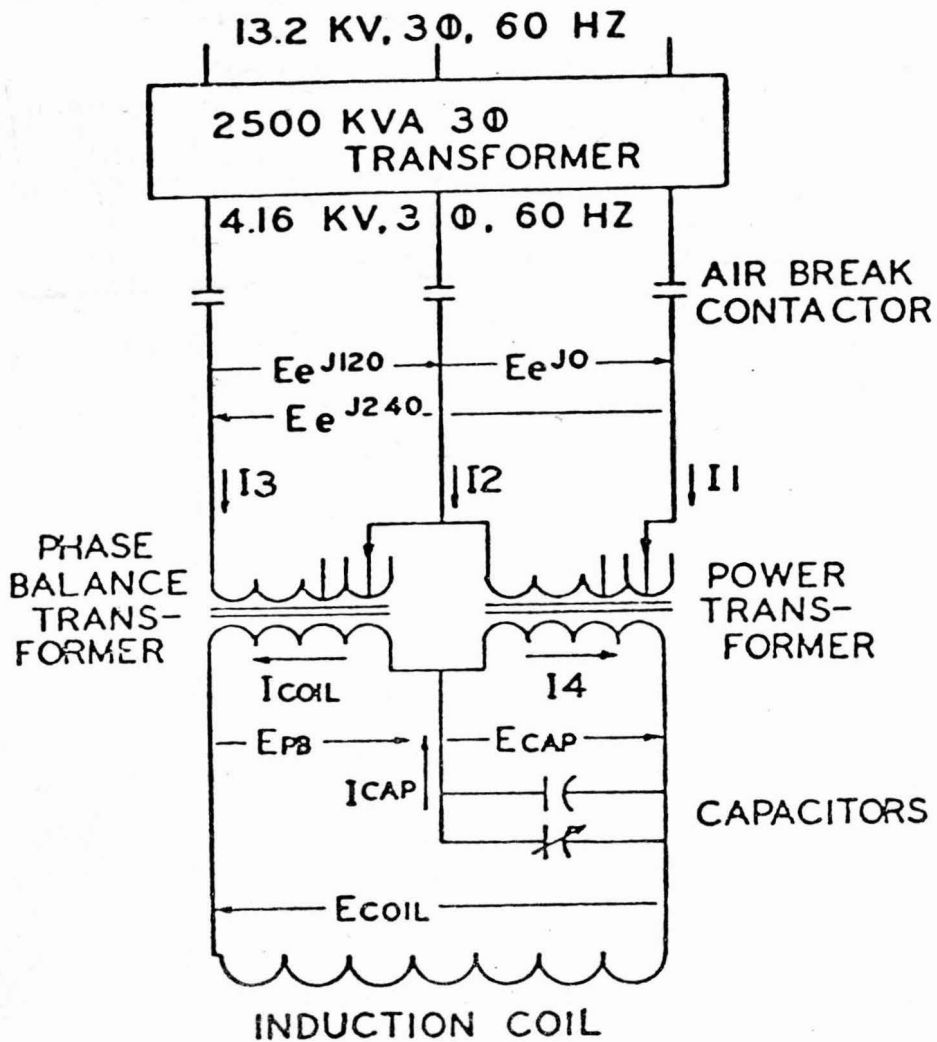


Fig. 4 - Diagrama esquemático de um circuito de força de phase-balanceada.

# 25 KV- 60Hz- 3 PH SUPPLY

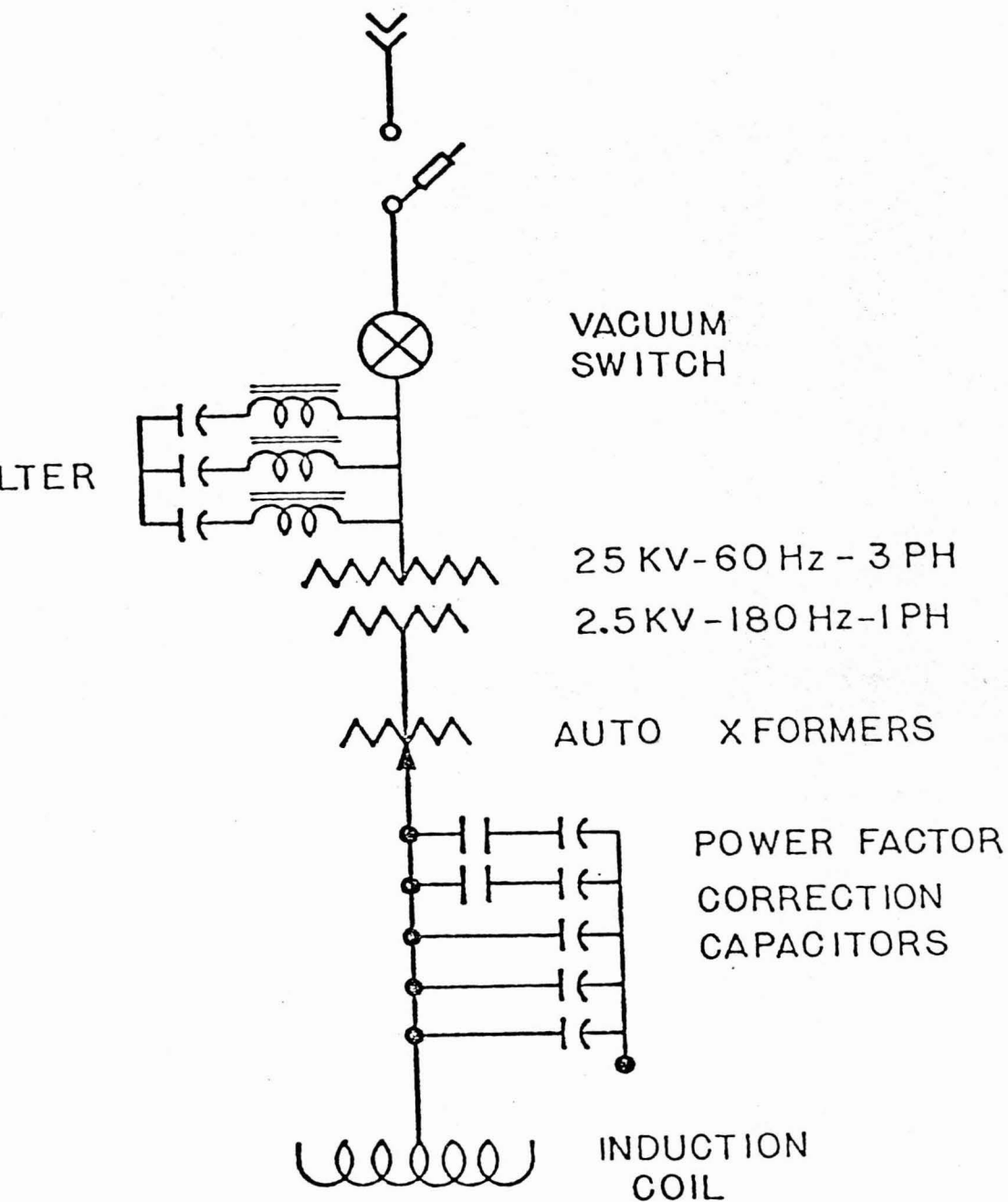
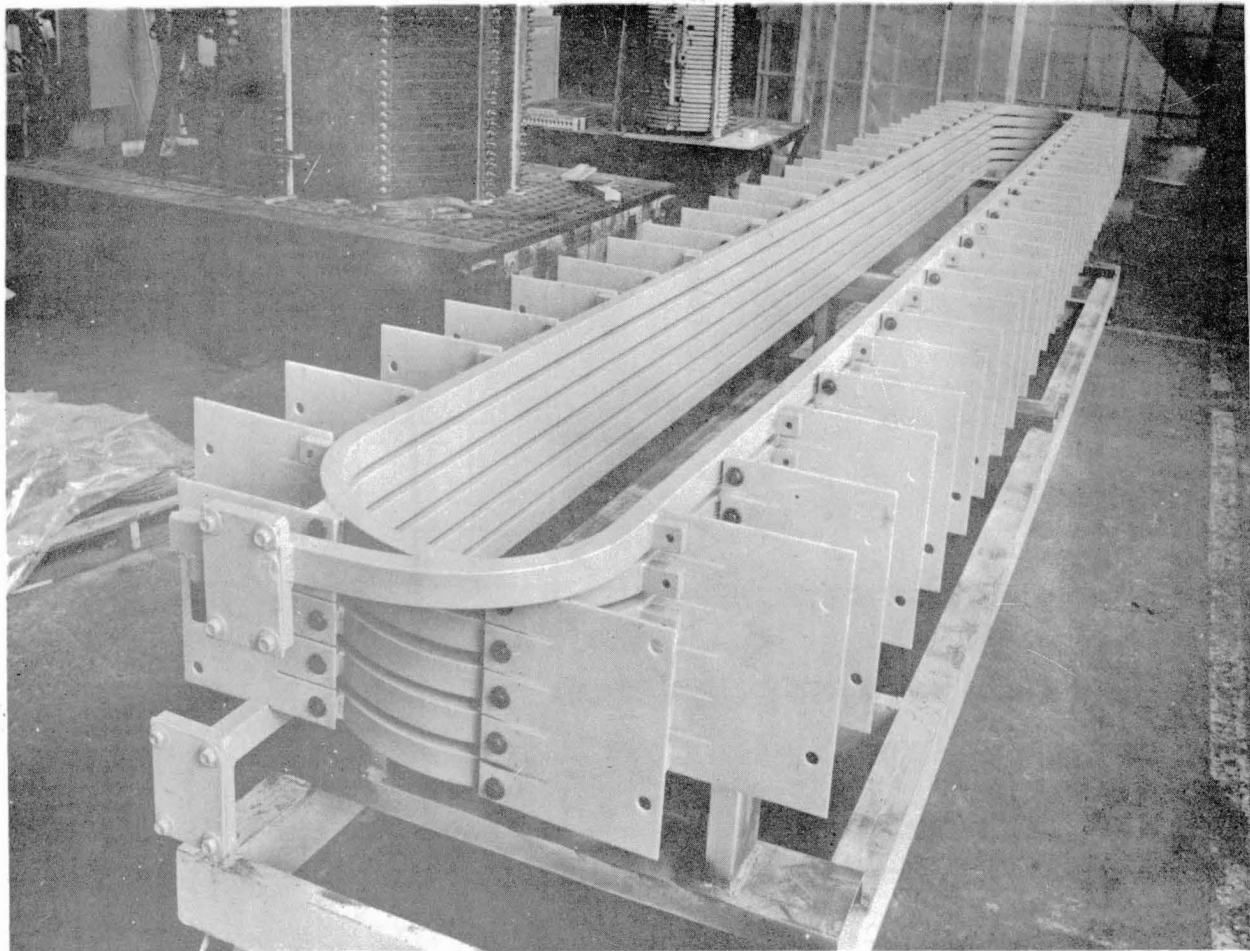
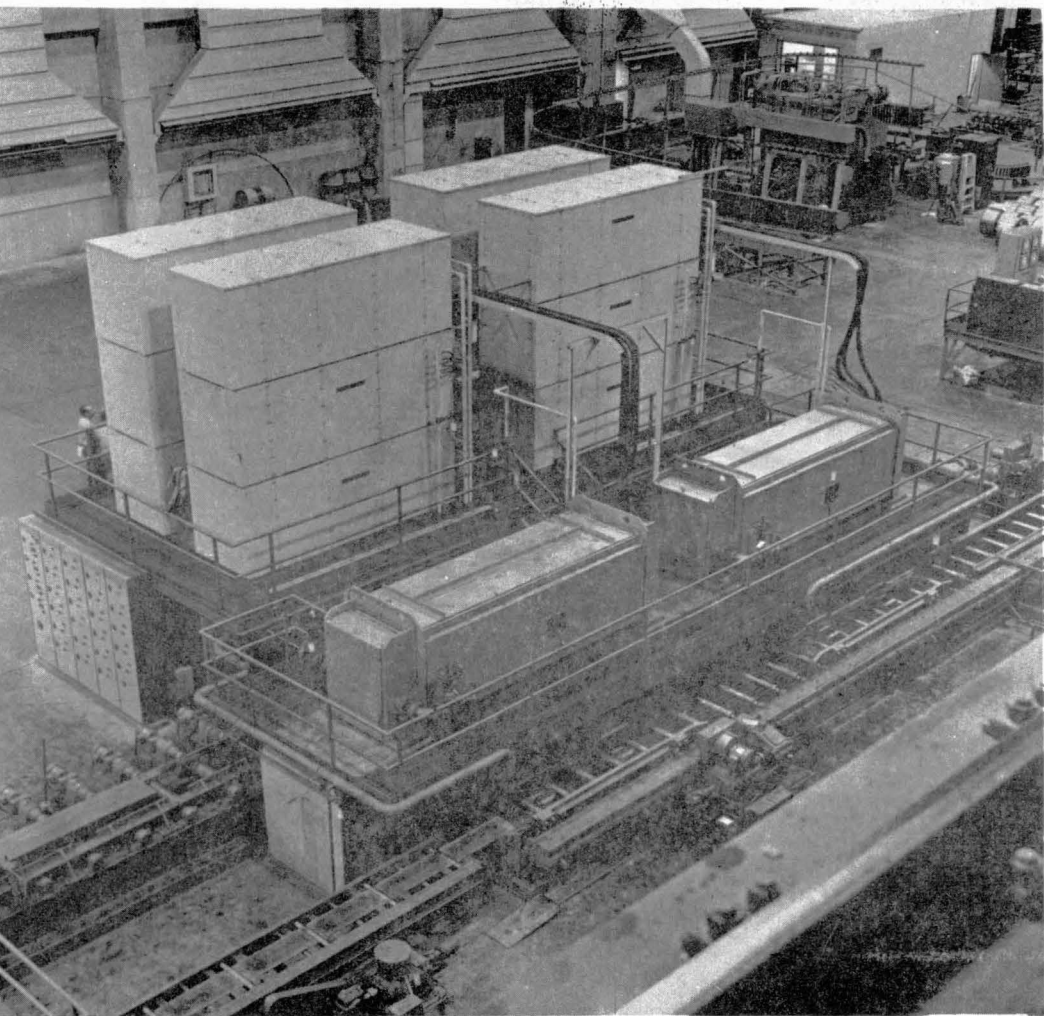


Fig. 5 - Diagrama linear de um aquecedor a induçãõ.

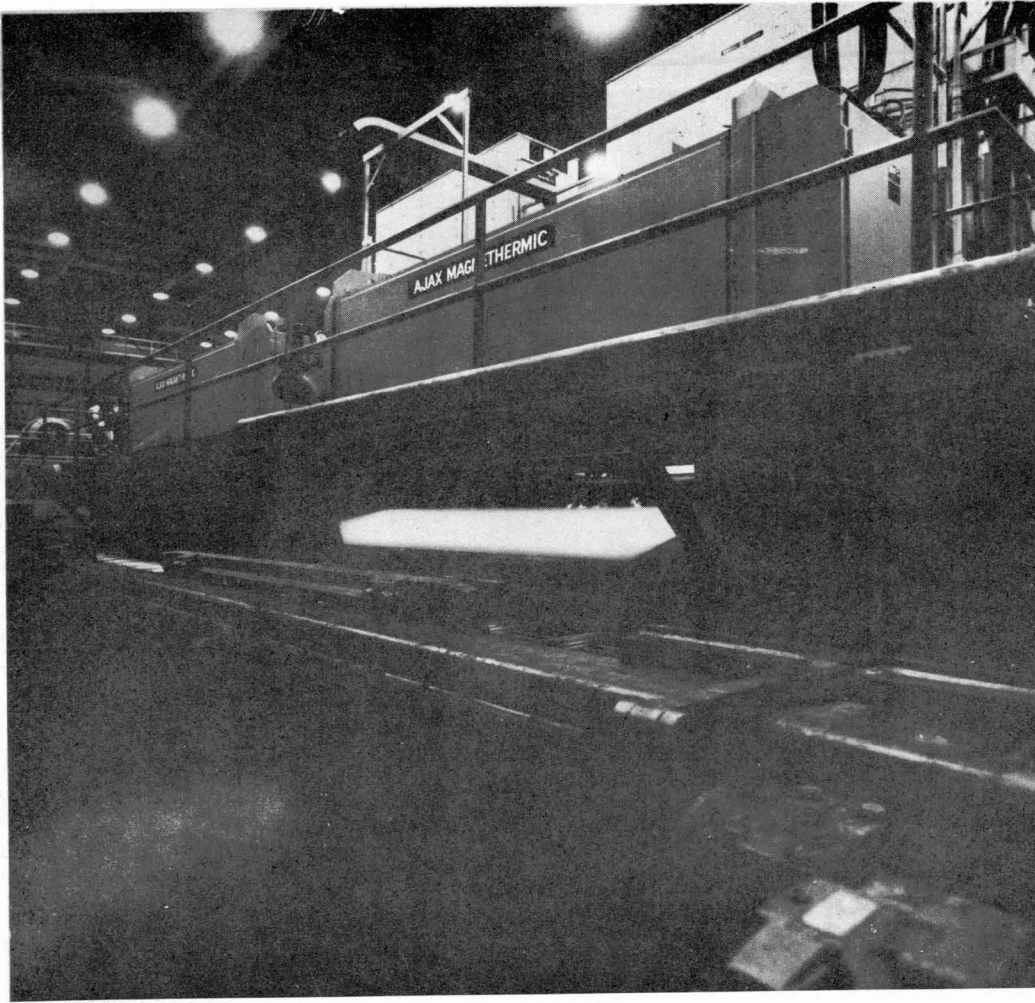




AJAX MAGNETHERMIC Corporation

Fig. 7

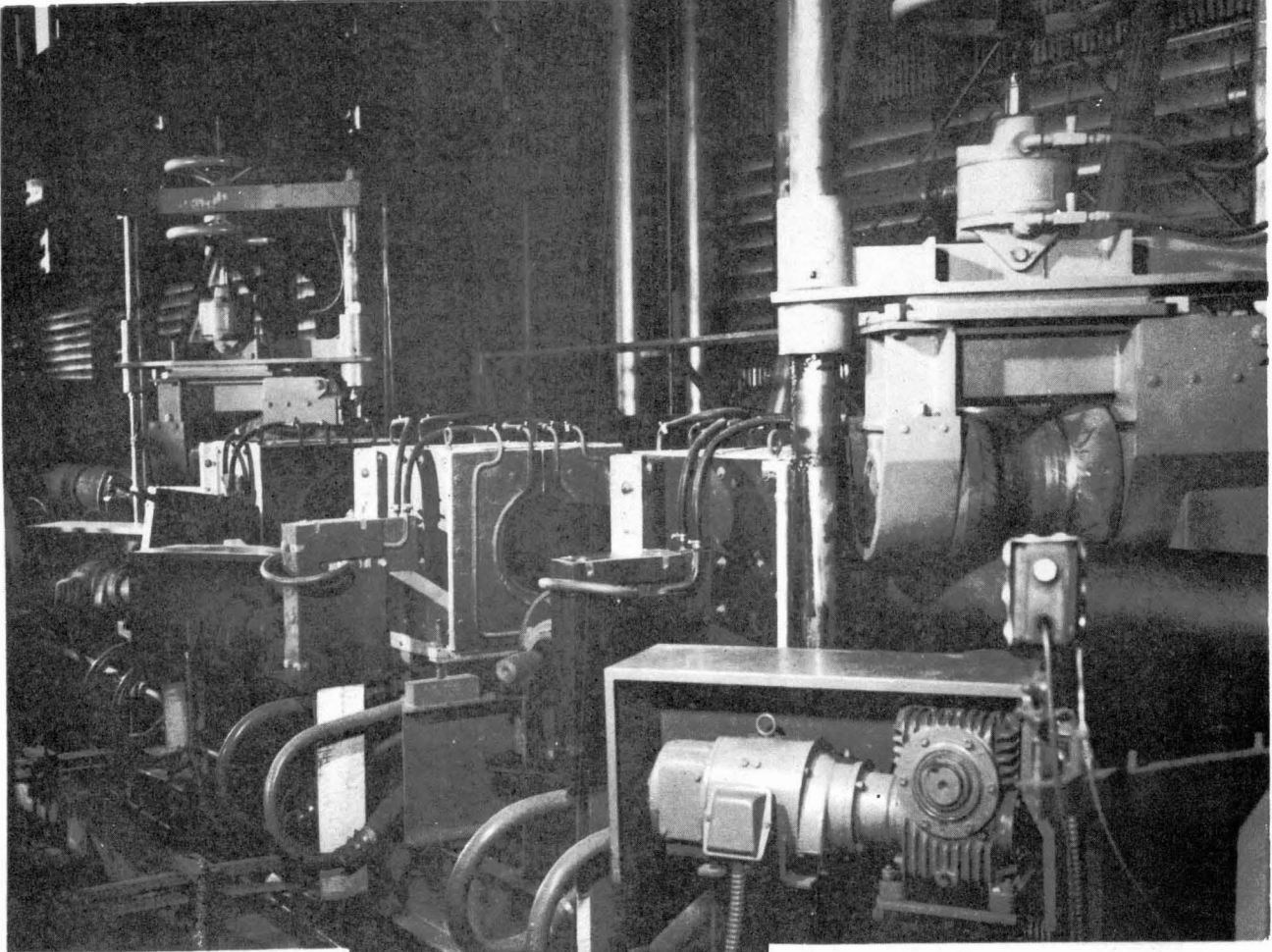
Overall view of U. S. Mint  
copper slab heater,  
Philadelphia, Pa.



**AJAX MAGNETHERMIC Corporation**

Fig. 8

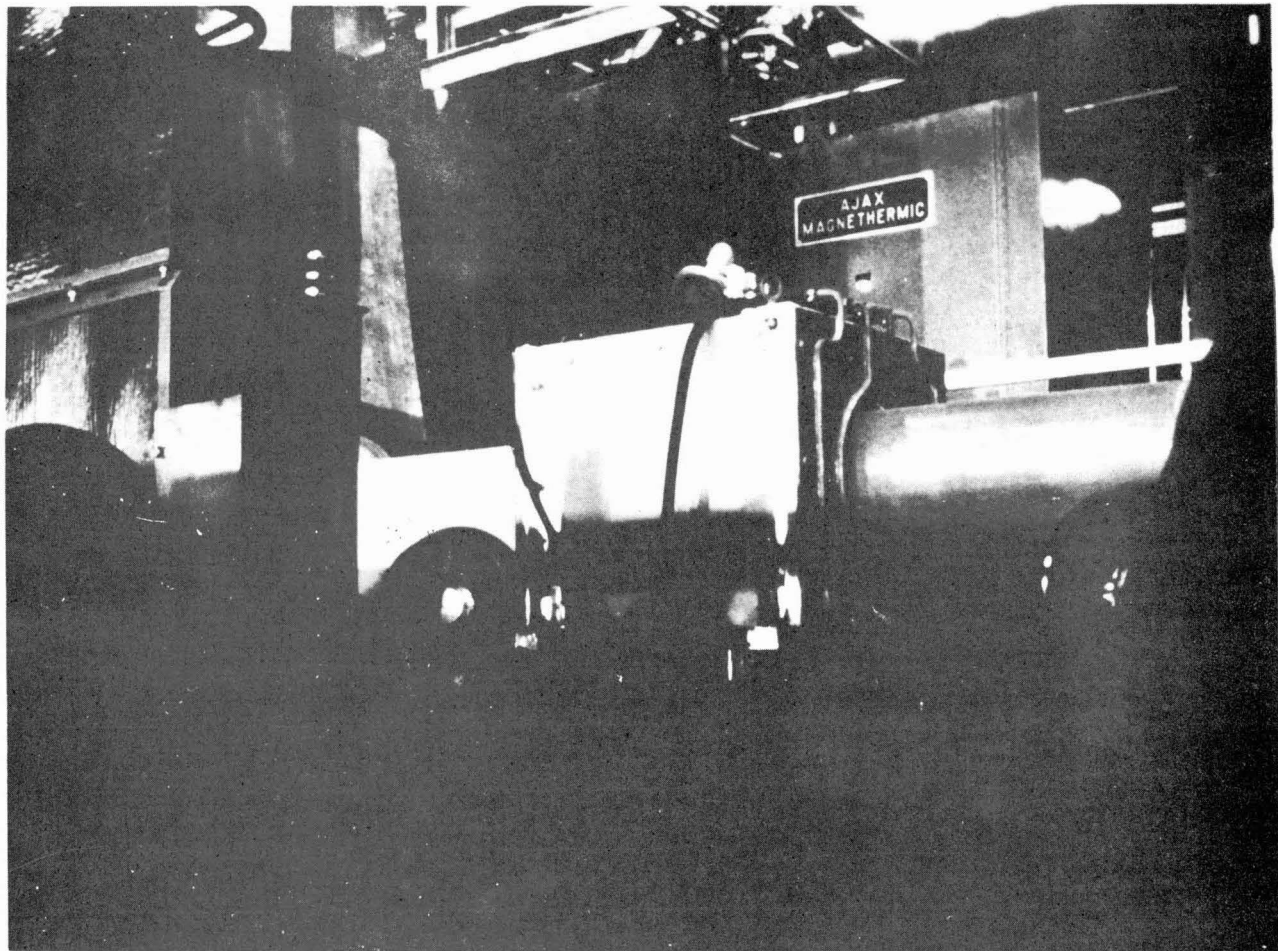
induction slab heater for  
copper slabs - U. S. Mint,  
Philadelphia, Pa.



AJAX MAGNETHERMIC Corporation

Fig. 9 Closeup View of Inductor Coil Annealing Line - Lone Star Steel.





AJAX MAGNETHERMIC Corporation

Fig. 10

Pipe and casing hardened and tempered up to 16" diameter/42 tons an hour -- 12,000 KW, 180 Hz power.