

O MÉTODO AVANÇADO DE SECAGEM E AQUECIMENTO
DE REVESTIMENTOS REFRAATÓRIOS NA
INDÚSTRIA SIDERÚRGICA

ABRÃO JOSÉ KAHN
 LINDBERG AQUECIMENTOS ESPECIAIS LTDA.
 Rua Rio de Janeiro, nº 200
 DIADEMA - SP

HARRY A. NELSON
 HOTWORK, INC.
 P.O.Box 23189
 LEXINGTON, KENTUCKY 40523
 U.S.A.

SUMMARY

The problems of quick heating, necessary to dry furnace refractory linings is analyzed.

A convective heating method to produce a rapid heat transfer at highly controlled temperatures, with uniform heating is explained. The portable equipment used based on natural gas or other available gaseous fuels (propane, coke oven gas, etc.), is described, together with the results achieved in the drying of 250 ton steel ladles, coppers, blast furnaces, reheating furnaces, soaking pits, open-hearth furnaces and in reactors for direct reduction.

INTRODUÇÃO

Processos térmicos em indústrias siderúrgicas dependem de refratários que resistam a elevadas temperaturas, ciclos térmicos e ataques químicos e mecânicos. Os fabricantes de refratários vêm continuamente melhorando a qualidade e produzindo novos produtos que ajudam a reduzir os custos por unidade produzida.

Novos e aperfeiçoados processos metalúrgicos têm exigido que os fabricantes de refratários desenvolvam melhor produto que resista a mais elevadas temperaturas e a mais severas condições operacionais, ao mesmo tempo em que possam proporcionar vida útil mais longa.

Propriedades aperfeiçoadas de refratários calcinados resultaram do emprego de melhores matérias primas, granulometria selecionada, novos aglutinantes e melhor mistura e também melhores operações na formação e queima.

(*) Trabalho apresentado no Congresso de Refratários da ILAFA-ALAFAR-Lima - Perú - Novembro de 1980

As propriedades dos produtos refratários, concretos e plásticos, são conseguidas pelo desenvolvimento de alta resistência, aglutinantes químicos e de aluminato de cálcio, matérias primas melhores, e o emprego de métodos e técnicas. Esforços de pesquisa e desenvolvimento continuam a fornecer novas composições de produtos e formas para alcançar a sempre crescente demanda exigida em refratários.

Em qualquer produto refratário que tenha sido instalado ou em qualquer processo de aquecimento envolvido, se necessária a secagem e aquecimento, o fabricante do refratário necessita proteger seu produto contra danos durante tal procedimento. O método usual é pela utilização de queimadores do próprio processo como uma fonte de calor ou quando isso não for possível, é então empregada uma fonte suplementar e temporária de calor. Poderão ser queimadores tubulares, salamandras ou simplesmente uma pilha de material combustível queimado dentro da unidade. As temperaturas são comumente controladas em patamares pré-determinados para assegurar este controle. O procedimento frequentemente exige prolongados períodos a um determinado patamar de temperatura para assegurar que na ocorrência de não uniformidade no aquecimento do refratário, patamares suficientes de temperatura possam proporcionar equilíbrio térmico antes de prosseguir a secagem ou aquecimento. No caso da formação de vapor visível, o período patamar deverá continuar normalmente até que cesse essa formação de vapor.

O EMPREGO DO MÉTODO AVANÇADO

Um método aperfeiçoado para secagem e aquecimento das paredes refratárias foi desenvolvido e que emprega técnicas e equipamento queimador especiais. Em operação, o queimador gera um movimento rápido de turbulência dos produtos da combustão e dessa forma alcança com eficiência todas as partes da estrutura refratária. Controles precisos de temperatura dos queimadores e de recirculação dos produtos de combustão asseguram que todas as partes da estrutura refratária recebam um tratamento térmico uniforme durante o procedimento de secagem e de aquecimento.

Esse método minimiza choques térmicos em refratários delicados, refratários calcinados, e também problemas de remoção da água no caso de refratários não calcinados, concretos e plásticos.

A Figura nº 1 mostra o sistema completo de combustão portátil da unidade de gás natural, queimando com potência calorífica em escala moderada. Cada sistema de combustão consiste de um queimador, uma ventoinha de ar, um painel de controle eletrônico, um programador de temperatura e mangueiras de ar e combustível. Um sensor de chama ultra-vio

leta é localizado no queimador e uma válvula de segurança para corte de combustível é posicionada no painel. O equipamento de combustão tem capacidade para queimar Propano, Gás de Coqueria, GLP, combustíveis leves destilados e mistura dos mesmos.

O método de secagem e aquecimento rápidos utiliza um único termopar de controle com termoelemento não revestido em uma posição pré-determinada. Para paredes refratárias de maiores dimensões e complexas, termopares adicionais são frequentemente instalados para controlar as variações de temperatura em vários locais durante o processo de secagem e aquecimento.

O termopar de controle em operação, acoplado a um controlador, é posicionado próximo à face quente do refratário. O controlador emite um sinal à válvula de servo controle do combustível para ajustar a injeção de combustível de forma precisa a manter o programa de temperatura previamente estabelecido do aquecimento para a estrutura com revestimento refratário. Outros sistemas mais simples de controle permitem controle manual do combustível, sendo que um sensor de chama e uma válvula de segurança para corte do combustível são incluídos em todas as unidades.

O sistema de combustão opera em princípios de segurança contra falhas. O corte de energia elétrica para as ventoinhas fecha a válvula de segurança e o sensor de chama ultra-violeta de cada queimador fecha automaticamente a válvula de segurança de corte de combustível no caso de que por algum motivo ocorra corte da chama no queimador.

A SECAGEM DE PANEIS E CAÇAMBAS DE VAZAMENTO

A Figura nº 2 trata de uma série de secagens reais de caçambas de revestimento monolítico para 250 ton. O objetivo era o de providenciar uma secagem rápida e segura em uma parede de refratário com uma composição de aproximadamente 40% AL_2O_3 , contendo 10% de umidade. Tentativas anteriores de secagem das paredes com queimadores tubulares ocasionaram grande porção de fissuras que foram atribuídas à falta de controle do queimador, o que causou super aquecimento localizado do refratário. Estas caçambas de corrida de aço foram revestidas por um mecanismo rotativo alimentador de material refratário o qual compactou aproximadamente 20 cm de espessura de material refratário entre a chaparia e o revestimento permanente da caçamba.

Estas 30 ton de material refratário foram instaladas em aproximadamente 40 minutos na caçamba de corrida de 250 ton comparado com aproximadamente 24 horas de tempo para a montagem dos tijolos em uma parede convencional de tijolos. As secagens 1, 2 e 3 foram feitas com um queimador de secagem operando através uma parede refratária vertical construída por projeção com as caçambas de corrida posicionadas horizontalmente e usando-se gás natural como combustível.

A primeira secagem seguiu um programa determinado pela usina siderúrgica e pelo fornecedor do refratário. E isso foi considerado como experimental, uma vez que não houve experiência anterior com o método de secagem rápida neste tipo de refratário. Não ocorreu trincas ou fissuras.

A segunda secagem eliminou o período patamar de baixa temperatura e foi concluída a uma temperatura máxima muito mais elevada do que a da primeira secagem.

A terceira secagem seguiu um programa pré-estabelecido com um período longo de baixa temperatura mais reduzido e uma máxima de 1100°C. Esta caçamba de corrida foi recolocada em serviço depois da secagem e exigiu novo revestimento após dezenove corridas comparadas com a média de 20 corridas no caso de caçambas de corrida revestidas com tijolos convencionais.

As secagens comprovaram que o refratário pode ser aquecido rapidamente com estas taxas de aquecimento variadas e não provocando fissuras ou danos por trincas. Incrementos de temperatura maiores do que 55°C por cm de espessura foram estimados haverem ocorrido. Vapor foi observado nos orifícios de drenagem nas caçambas de corrida logo após 7 horas depois que as secagens começaram e assim continuaram até a conclusão de cada secagem.

A SECAGEM EM UM REGENERADOR DE ALTO FORNO

A Figura nº 3 mostra três queimadores de secagem num regenerador de alto forno (Cowper) e o programa de temperaturas para secagem até 920 °C que foi terminado em 44 horas.

Este regenerador, incluindo a câmara de combustão e o empilhamento de tijolos refratários, totalizavam cerca de 12.500 m² de superfície a ser aquecida. A construção envolveu a recolocação de tijolos novos com 60% de AL₂O₃, medindo oito metros na parte superior e com uma câmara de combustão com paredes de refratário de alta temperatura (superduty) e mulita.

As paredes de refratário do regenerador e os tijolos inferiores do empilhamento não foram recolocados e os empilhamentos de tijolos foram lavados com água a elevada pressão, o que causou absorção de uma quantidade de água indeterminada pelos tijolos.

Gás natural foi fornecido a 1,4 kg/cm² através uma linha de 5 cm de diâmetro. O consumo total de combustível foi de 38.500 m³ de gás a uma vazão máxima de 480 m³ por hora por queimador até que se completasse a secagem.

Logo no início, com todos os queimadores em operação, observou-se uma resposta imediata no domo através do termopar de controle (T3). O combustível foi gradualmente adicionado aumentando a temperatura para 200°C, ocasião em que vapor foi observado no ponto de exaustão (T5). A 425°C um período de patamar foi estabelecido. O registro de tiragem da chaminé foi aberto e grandes volumes de vapor foram descarregados. Quando a temperatura de controle alcançou 700°C, o vapor não era mais visível na exaustão e a temperatura já estava acima de 100°C.

O programa de aquecimento a 30°C por hora foi concluído em 925°C quando o queimador do regenerador foi rápida e facilmente ligado com o gás do alto forno após a retirada dos queimadores da secagem.

Apesar de que este programa de secagem de 44 horas tenha sido uma secagem mais rápida do que a que seria usual para um regenerador com pouco ou nenhum reparo (usualmente 72 horas) e a secagem rápida de um novo regenerador de alta temperatura sem refratários de sílica (usualmente 96 horas), os resultados foram excelentes. Nenhum dano ao refratário ou problemas ocorreram durante ou depois da secagem.

Os empilhamentos de tijolos de sílica de alta temperatura, a câmara de combustão e a concepção do domo são utilizados para prover temperatura mais elevada no sopro quente, afim de aumentar a produtividade do alto forno.

Neste aquecimento a temperatura exigida na abóbada foi de 1100°C com uma máxima temperatura de 1150°C permitida na grelha suporte dos tijolos do empilhamento. Os queimadores de aquecimento em um caso foram usados para pré-aquecer as partes internas do queimador cerâmico, permitindo assim que não houvesse problema na partida dos queimadores cerâmicos na conclusão do aquecimento.

O programa de aquecimento de 17 dias representou um compromisso entre o projetista do regenerador que tinha experiência no manejo com refratários de sílica e sua característica térmica de expansão a baixa temperatura não usual e a companhia siderúrgica que deduziu de experiências prévias com método rápido de secagem de que o programa normal de 35 dias podia ser consideravelmente reduzido e com segurança. Comumente, alguns regeneradores de sílica são aquecidos em somente 10 dias sem qualquer problema.

A SECAGEM DE UM ALTO FORNO E SEU ANEL DE VENTO

Em alguns casos, a secagem simultânea do alto forno e do conduto circular de vento é executada.

A Figura nº 4 mostra o posicionamento dos queimadores de secagem e as curvas de temperaturas para vários termopares. Os queimadores foram posicionados no alto forno para aumentar a penetração de calor na soleira e para limitar a temperatura na parte superior para aproximadamente 290°C. A secagem foi concluída em aproximadamente 88 horas sob condições de controle de temperatura.

Em várias secagens de altos fornos a remoção da umidade dos refratários foi comandada por uma célula de ponto de orvalho posicionada no tubo de exaustão descendente. A experiência mostrou que após cerca de 96 horas a taxa de remoção da umidade fica reduzida e nenhum ganho significativo adicional será realizado em se mantendo temperatura e operando os queimadores na baixa temperatura determinada pelas exigências da soleira e do sino.

Também já se conseguiu a secagem simultânea de alto forno, do conduto circular de vento e do regenerador para atender as exigências de programação de produção e para dar partida nas instalações. Para estes casos, foram exigidas dezesseis unidades portáteis de queimadores para secagem e três grupos de dois técnicos em aquecimento para executar essas secagens. As secagens combinadas reduziram as perdas de tempo em produção em uma determinada siderúrgica por 14 dias.

AQUECIMENTO DE UM FORNO EMPURRADOR DE BARRAS

A Figura nº 5 mostra o aquecimento de um forno de reaquecimento com empurrador de barras e com duas zonas, operado a gás.

O equipamento de combustão consistia de 6 sistemas portáteis de queimadores, 2 em cada zona do forno.

Devido a que novos trilhos deslizantes ligados tenham sido instalados na zona de carga foi decidido que a temperatura não deveria exceder 600°C nesta área, afim de prevenir possível empenamento e distorsão dos trilhos. As zonas de encharque e pré-encharque foram construídas respectivamente de muita fundida e de refratários de alumina alfa-beta, conhecidos por sua pequena resistência a choques térmicos comparados com os refratários com aglutinantes. Pela manipulação dos queimadores da zona de pré-encharque em combinação com os aquecedores da zona de encharque, temperaturas em zonas de 600°C e 1000°C respectivamente, foram mantidas no mesmo forno sem necessidade de separação física das próprias zonas. Isso se tornou possível devido à controlabilidade do equipamento usado para o aquecimento no que concerne à temperatura e à sua faixa operacional.

Apesar de que o programa original de aquecimento estabelecesse um programa linear de 36 horas, problemas locais de concluir a parte do refratário e do trabalho mecânico reduziram o tempo disponível para aproximadamente 20 horas, afim de que se pudesse atender as exigências de produção da trefilação.

Apesar da falta de experiência da mão de obra da fábrica, cortes de energia e outras complicações, a retomada do forno foi conseguida a aproximadamente 1000°C com os técnicos do método de aquecimento rápido retirando o sistema temporário de combustão ao mesmo tempo em que recolocavam os queimadores do forno na zona de encharque.

O exame dos refratários do forno durante o aquecimento confirmou que os incrementos de temperaturas de 100°C além de 500°C da temperatura de controle para os blocos de refratário fundido da soleira, teve como resultado nenhuma evidência de lascas, trincas ou fissuras.

A construção do forno de encharque utilizando blocos refratários plásticos exige um procedimento cuidadoso de aquecimento para assegurar que as paredes divisórias permaneçam retas e estáveis para aumentar a vida operacional.

AQUECIMENTO DE FORNOS TIPO POÇO

A Figura nº 6 mostra a colocação do queimador e o programa de aquecimento para os poços duplos de encharque com uma parede divisória comum.

Devido a que esta foi a primeira experiência na usina siderúrgica com o método rápido de aquecimento, foi usado um programa de temperatura que incluísse diversos períodos patamares recomendados pelo fabricante do refratário.

O início de operação do poço foi conseguido sem dificuldade a 840°C e foi colocado em operação logo em seguida.

AQUECIMENTO DE FORNOS TIPO WALKING BEAM

A uniformidade de temperatura conseguida no aquecimento do poço de encharque e o controle do queimador de aquecimento convenceram o pessoal da produção da usina de que o forno Walking Beam mostrado na Figura nº 7 poderia ser aquecido sem os períodos patamares de temperatura normais. Os fabricantes do refratário recomendavam que o programa de aquecimento fosse de 144 horas, mas isso foi reduzido para 32 horas quando os queimadores do forno foram facilmente ligados para levar o forno para a temperatura de operação. Uma vez que a maioria dos problemas com as secagens e aquecimentos de refratários ocorrem a temperaturas anteriores ao calor irradiante seja atingido, a 870°C os queimadores do forno foram acesos e completaram o aquecimento sem qualquer evidência de lascas ou fissuras no refratário.

AQUECIMENTO DE UM FORNO SIEMENS MARTIN

Apesar de que o forno Siemens Martin (Open Hearth) esteja sendo rapidamente substituído por fornos básicos a oxigênio e por fornos elétricos, uma grande quantidade de Siemens Martin ainda operam com vários tipos de refratários, incluindo tijolos química e diretamente ligados com cromo magnesita, dióxido de magnésio socado, fosterita e tijolos de temperatura elevada, o aquecimento dos fornos Siemens Martin pode ser problemático se somente óleo combustível pesado for disponível para o início da operação.

A Figura nº 8 mostra o aquecimento rápido e controlado de um forno Siemens Martin utilizando-se Óleo Diesel como combustível para o aquecimento. Um equipamento especial de queima de óleo foi desenvolvido e se encontra disponível para utilização em secagens e situações de aquecimento onde não exista combustível gasoso disponível.

Dois queimadores de aquecimento foram colocados através de uma abertura especial nas extremidades do forno queimando em direção ao centro do forno. Termopares não revestidos foram posicionados através da abertura e em cada empilhamento de tijolos para controlar a temperatura dos produtos de combustão. Ao mesmo tempo em que o combustível era modulado para realizar o programa de aquecimento, ajustes eram feitos na ventoinha do ar de combustão e na chaminé de exaustão para atender as temperaturas requeridas nos empilhamentos (checkers).

As reversões do regenerador foram programadas para 15 minutos. A temperatura foi aumentada a razão de 85°C por hora e ajustes foram feitos para aumentar o ar de combustão a níveis operacionais. A comporta da chaminé foi aberta na posição operacional depois de 6 horas de aquecimento. As temperaturas dos três termopares foram continuamente controladas e registradas. Depois de 12 horas a temperatura da soleira alcançou 985°C e então a ignição dos queimadores do Siemens Martin foi facilmente conseguida. Logo que as condições da chama se estabilizaram, os queimadores de aquecimento foram removidos.

Apesar de que considerável volume de vapor foi gerado durante as primeiras nove horas nada se tornou visível quanto a trincas em nenhum refratário. O combustível total consumido foi de 12.000 litros. A temperatura nos empilhamentos alcançou 475°C indicando bom encharque de calor para a partida do forno Siemens Martin (Open Hearth).

AQUECIMENTO DE UM REATOR DE FERRO ESPONJA

O aquecimento de um reator de ferro esponja é mostrado na Figura nº 9.

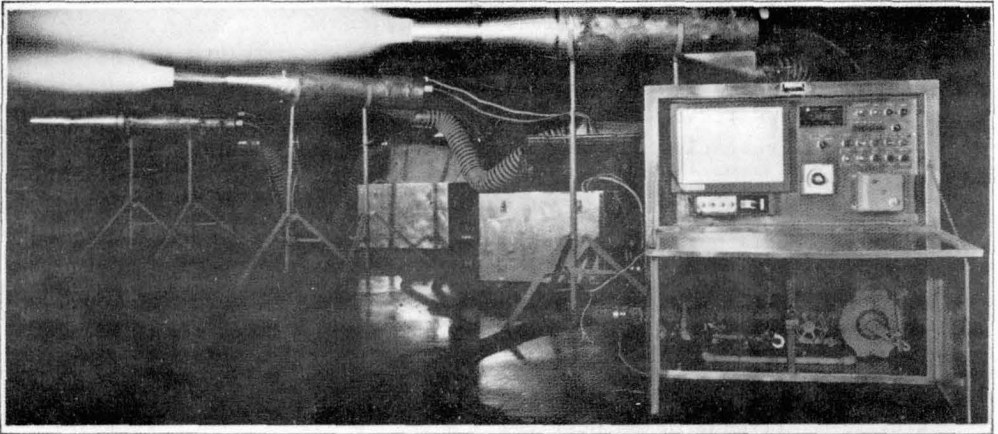
O reparo da unidade envolveu uma seção de 30 cm de espessura no domo com concreto de 63% de Alumina, enquanto que o restante das paredes eram os tijolos originais de elevada Alumina resistente à abrasão. Os produtos de combustão do queimador de aquecimento foram exauridos através da cobertura ajustável do domo. O programa de temperatura mostra um período de patamar demorado de baixa temperatura que foi recomendado pelo fornecedor do refratário. Ainda que um incremento muito rápido de aquecimento tenha sido seguido desde 1059C até 8409C não se tornou visível trincas ou lascas como danos aos refratários no reator de ferro esponja. A produção teve início logo após o término do aquecimento.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

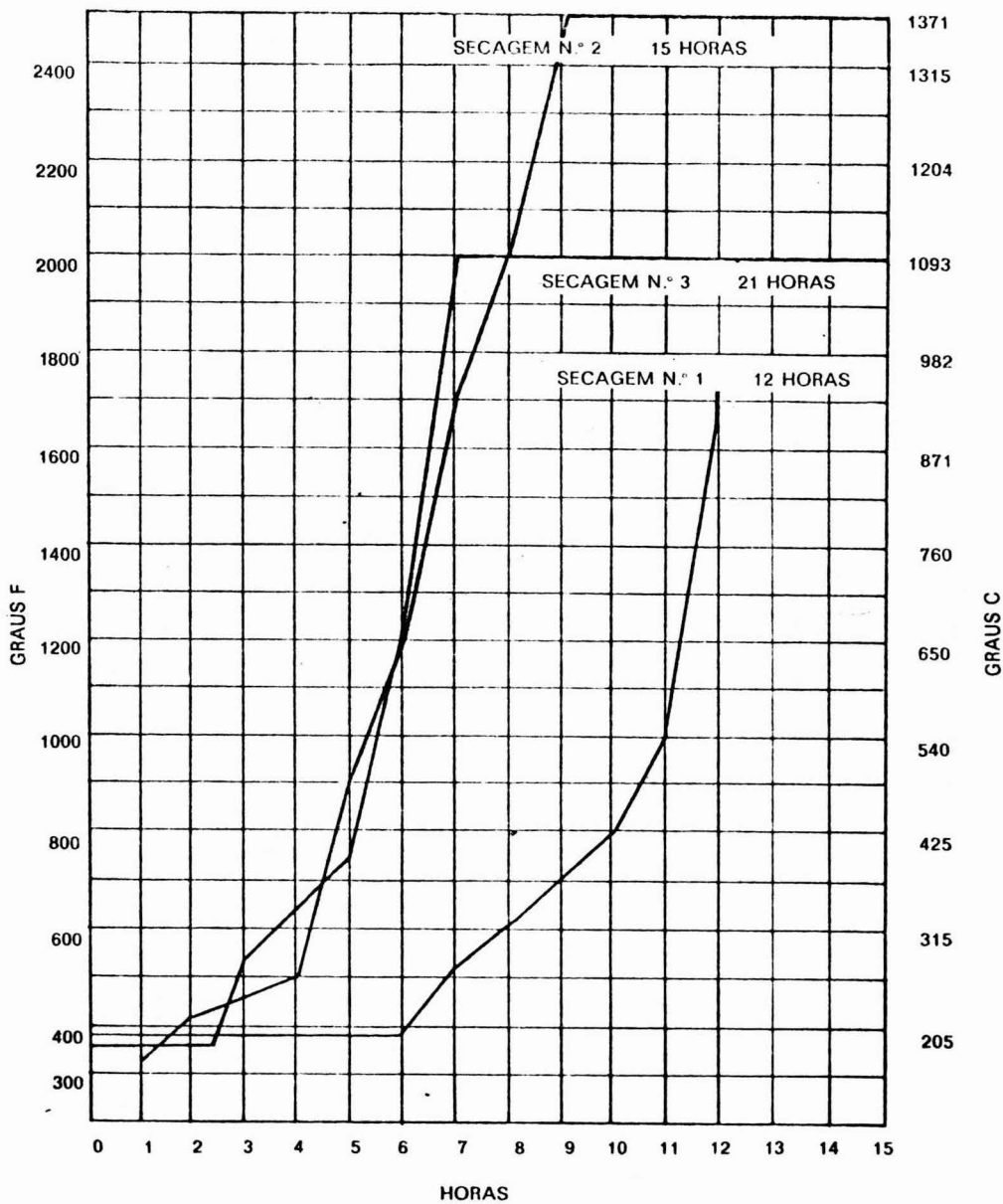
Estes exemplos de aplicação em indústrias siderúrgicas demonstram várias vantagens do sistema de secagens e aquecimentos controlados. Estas vantagens podem ser resumidas como segue:-

1. - Perfeição - Uma secagem ou aquecimento mais completo permite que os refratários tenham a máxima vida útil.
2. - Controlabilidade - O super aquecimento localizado que causa danos ao refratário no que concerne à fissuras ou trincas é eliminado.
3. - Uniformidade - Integral distribuição de calor por toda parede refratária permite programas mais rápidos de secagem e aquecimento.
4. - Tempo reduzido de secagem - A disponibilidade para produção é aumentada na medida que o tempo de paralização é reduzido.
5. - Portabilidade - O equipamento especial de combustão é adaptável a todas as condições existentes no local de trabalho.
6. - Flexibilidade de combustível - A grande maioria dos combustíveis gasosos podem ser usados sozinhos ou em combinação com combustíveis líquidos.
7. - Segurança - Sistemas de combustão com sistema de segurança asseguram proteção pessoal e das instalações para danos originados durante o processo de secagem ou aquecimento.
8. - Pessoal - Técnicos altamente treinados na secagem e aquecimento de refratários oferecem a experiência e o know-how obtidos em centenas de instalações de refratários nas Américas do Norte e do Sul.

A demanda crescente é observada em todos os processos de aquecimento e também se reconhece claramente a existência da necessidade de refratários de melhor qualidade. Para que se possa obter a máxima performance de refratários se torna indispensável que práticas de secagem e aquecimento assegurem a integridade do refratário desde a partida até o final da vida útil da unidade produtiva.

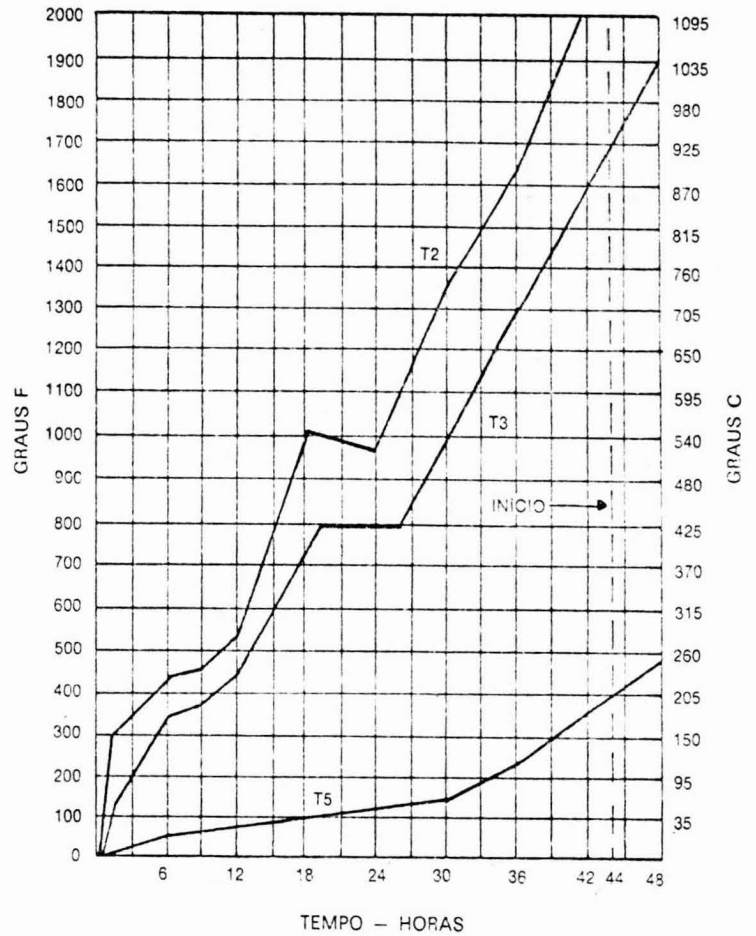
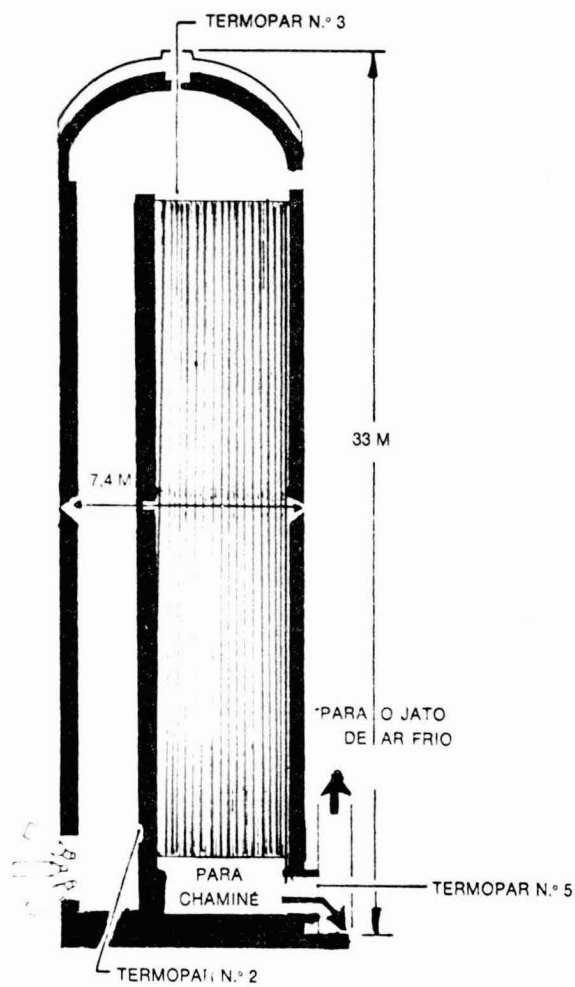


SISTEMA COMPLETO DE COMBUSTÃO PORTÁTIL



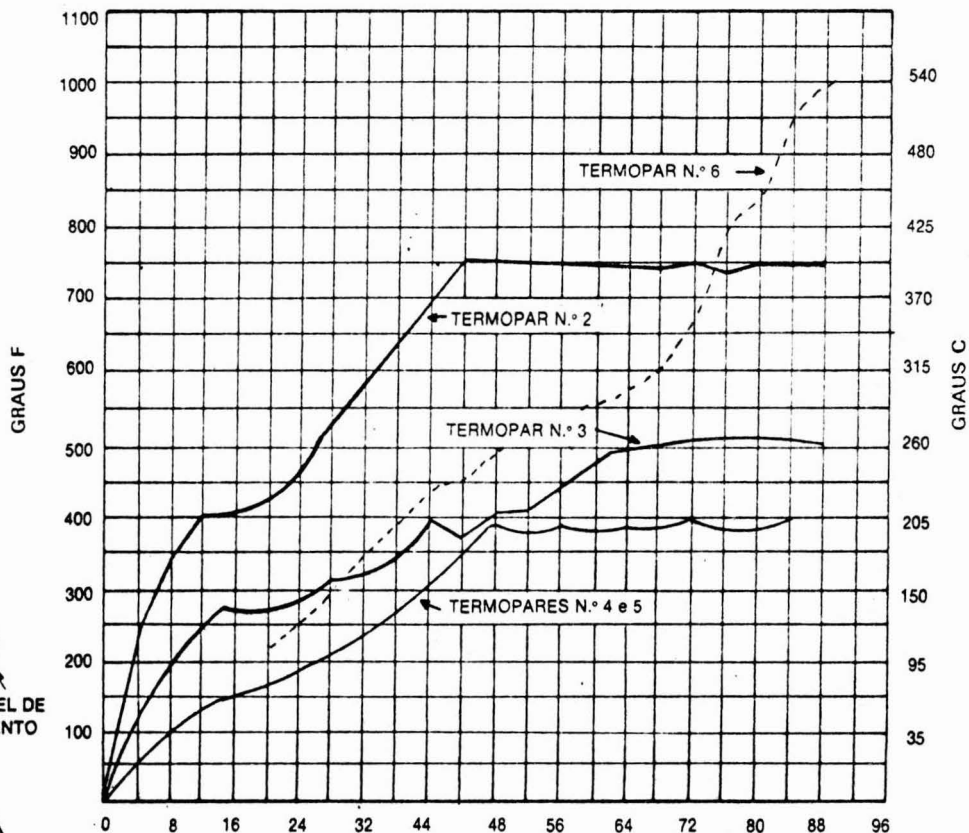
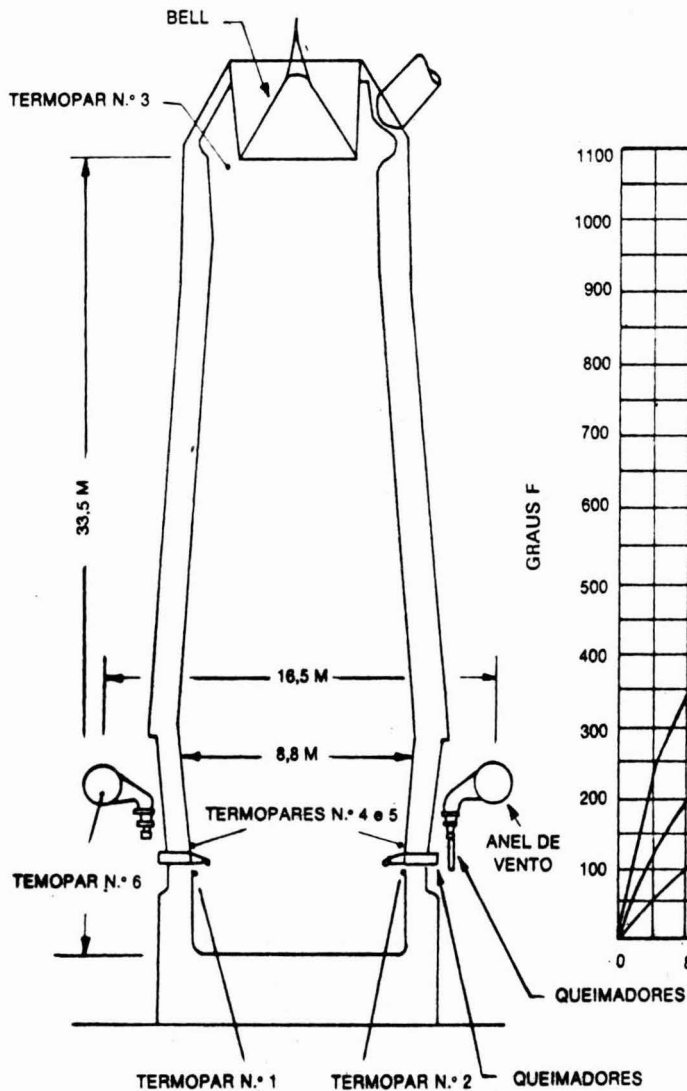
PANELAS DE REFROTÁRIO MONOLÍTICO 250 TON

FIGURA 2



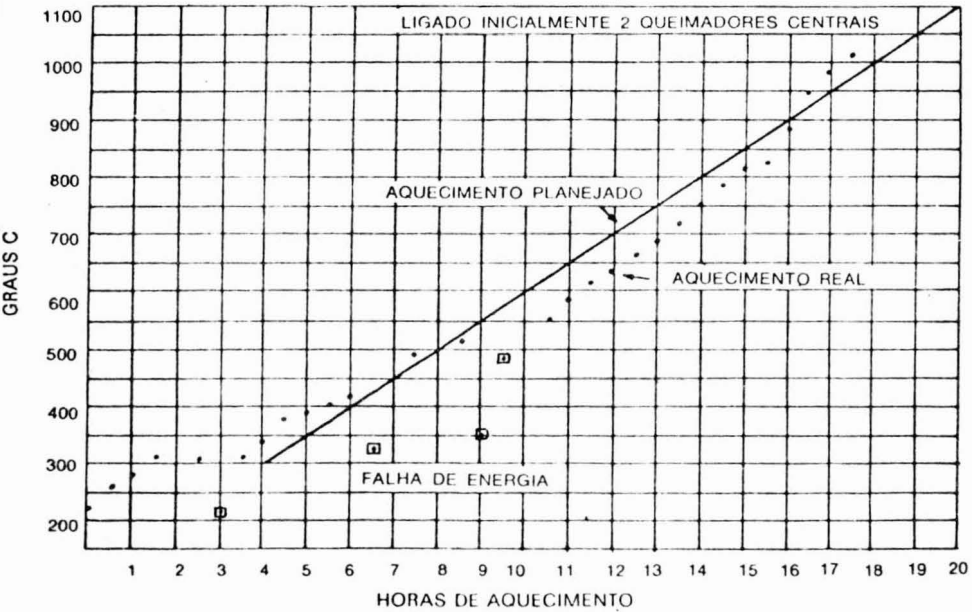
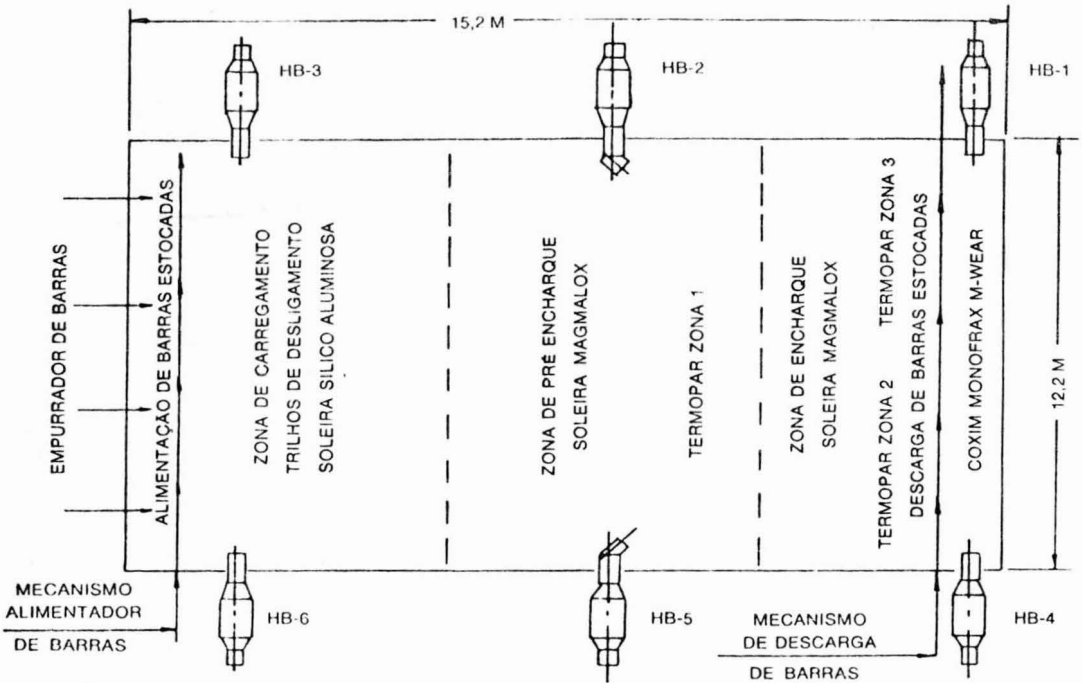
REGENERADOR DE ALTO FORNO (COWPER)

FIGURA 3



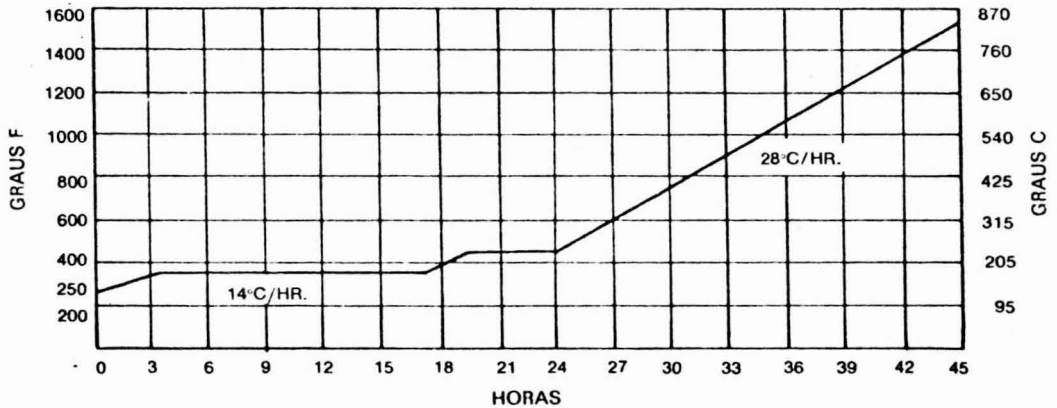
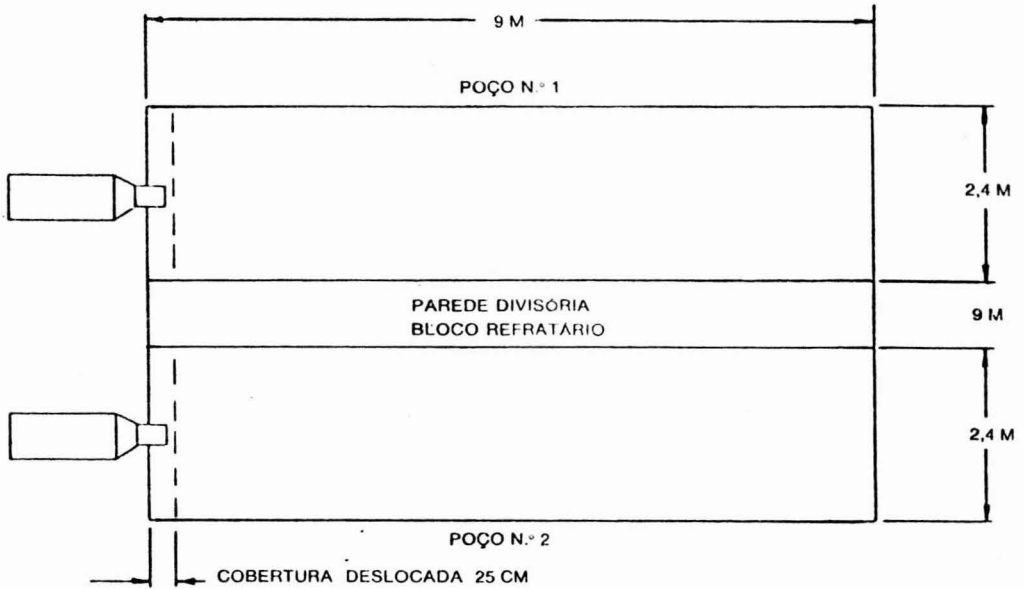
SECAGEM DE UM ALTO FORNO
E ANEL DE VENTO

FIGURA 4



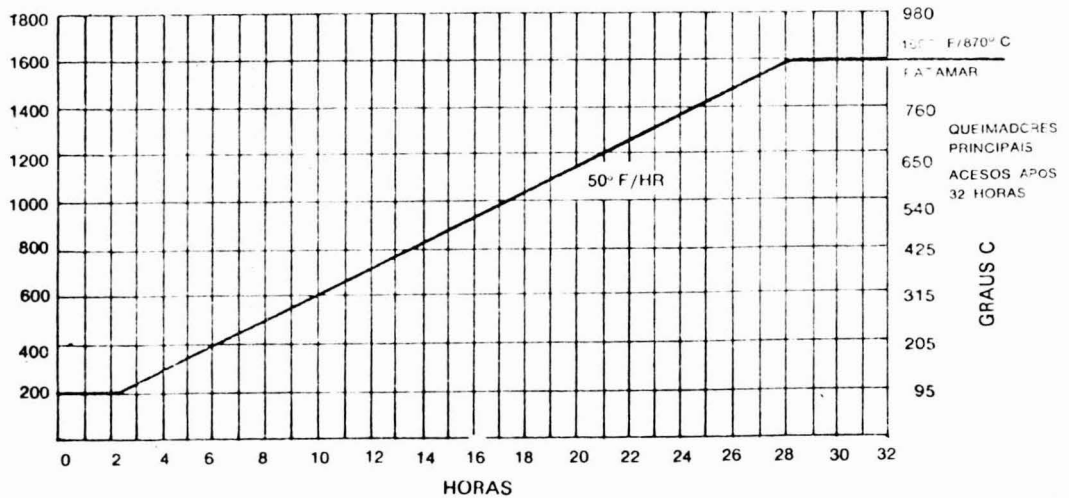
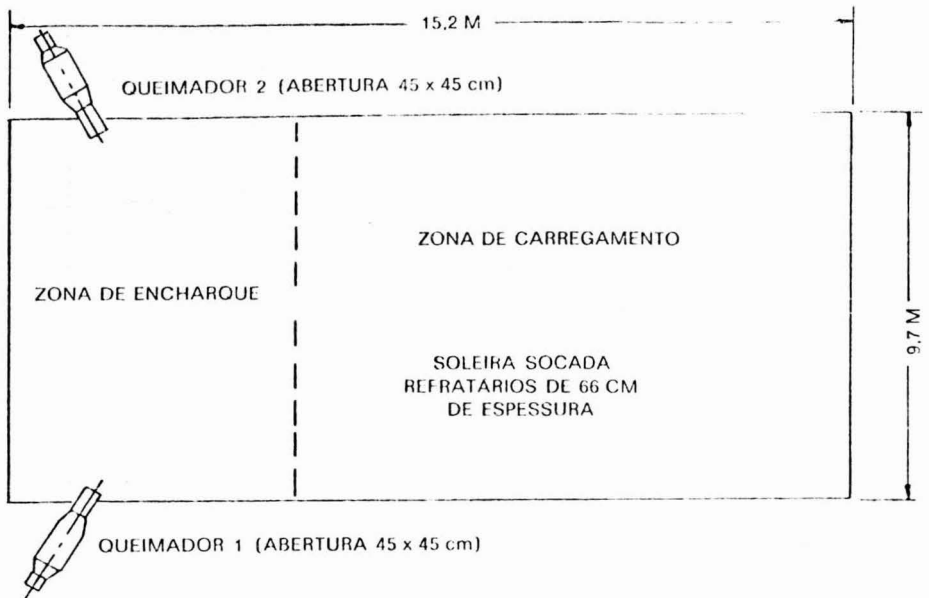
FORNO DE REAQUECIMENTO DE BARRAS

FIGURA 5



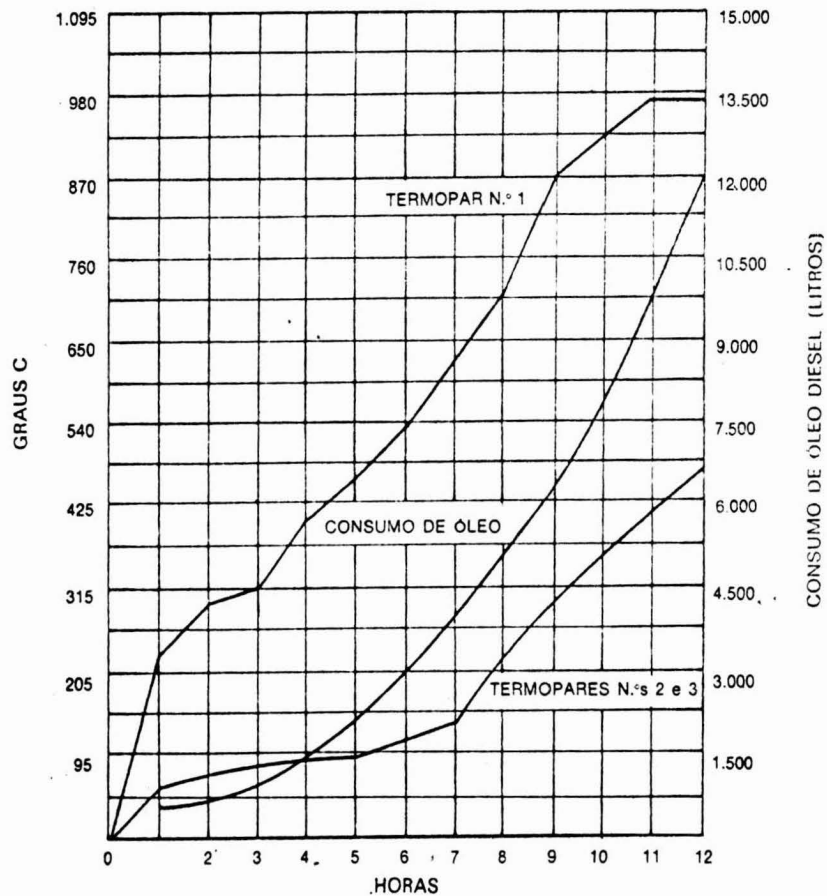
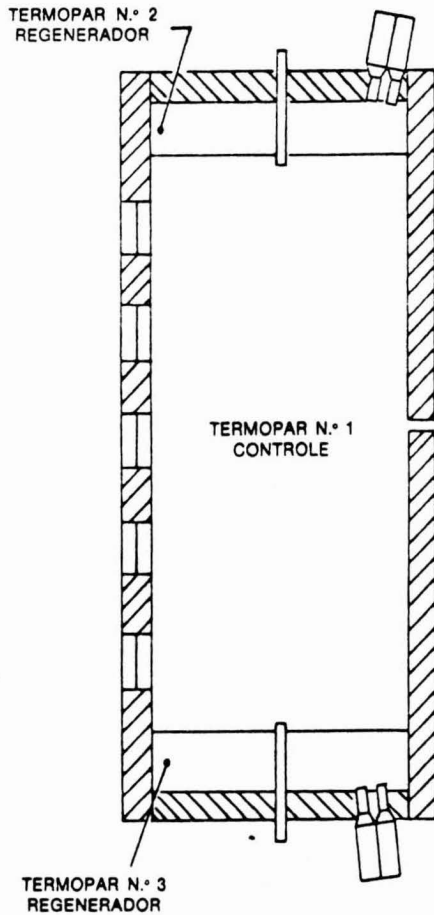
**FORNO POÇO (SOAKING PIT)
QUEIMADORES UNIDIRECIONAIS
SUPERIORES**

FIGURA 6



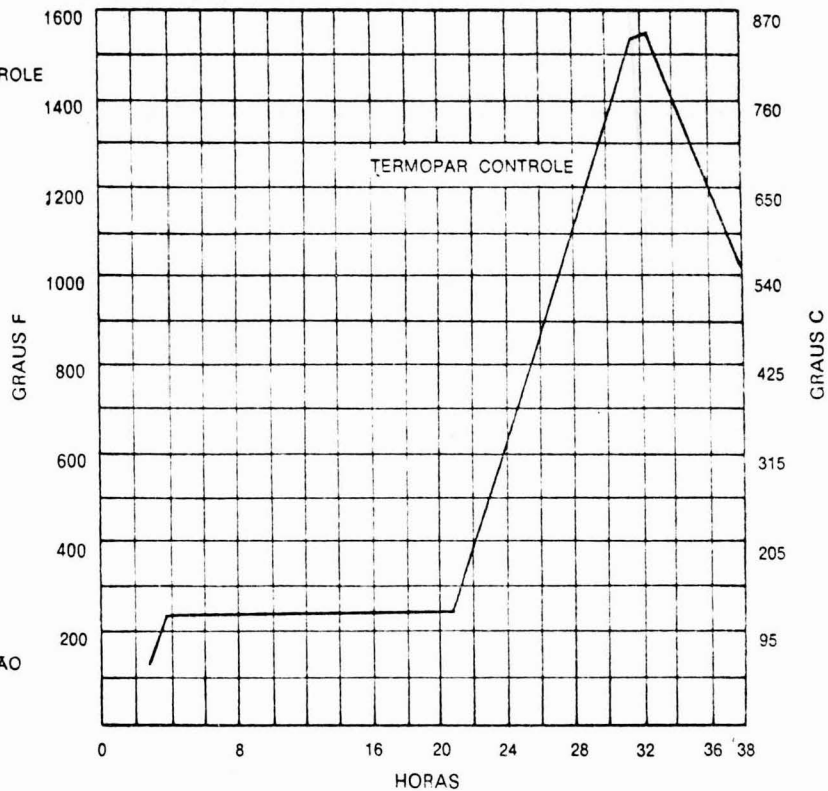
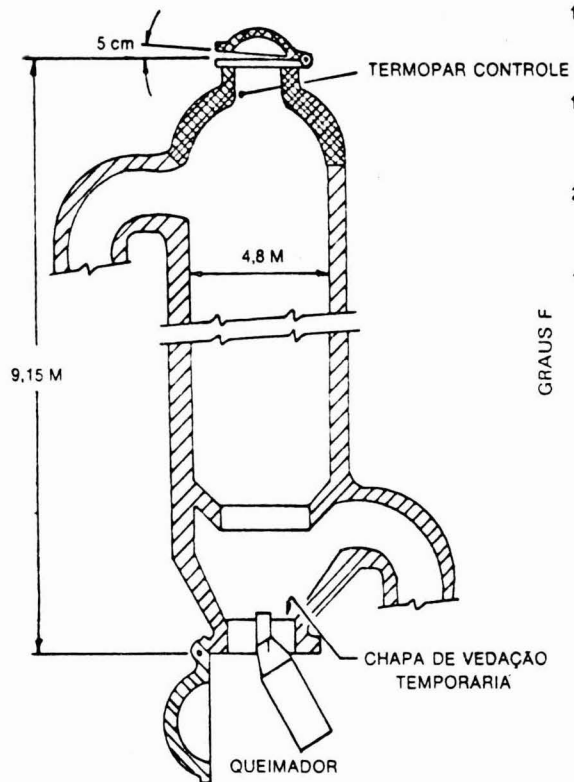
FORNO WALKING BEAM

FIGURA 7



FORNO SIEMENS MARTIN (OPEN HEARTH)

FIGURA 8



REATOR DE FERRO ESPONJA

FIGURA 9