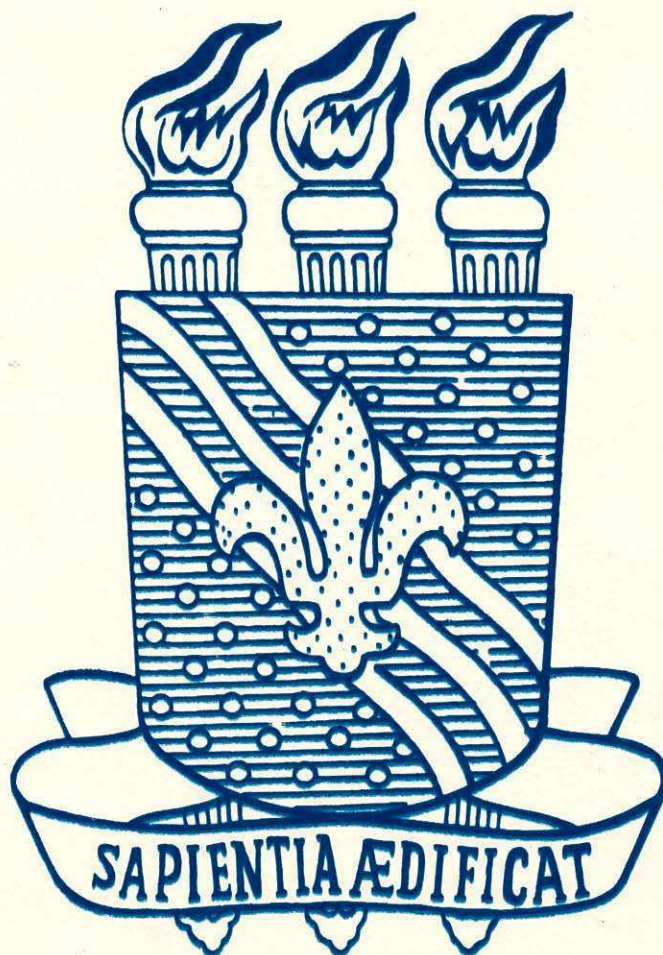


Universidade Federal da Paraíba

PRÓ-REITORIA PARA ASSUNTOS DO INTERIOR

CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA



ESTAGIO SUPERVISIONADO
RELATÓRIO FINAL

NOME : CLAUDIO JOSÉ MAGALHÃES DE LIMA
CURSO : ENGENHARIA DE MATERIAIS
MATRICULA : 8411236-X
ORIENTADOR : PROF. HÉLIO DE LUCENA LIRA
EMPRESA : ALUMAR ADMINISTRAÇÃO INDUSTRIAL S. A.

AV. APRIGIO VELOSO, 882 · BODOCONGO 58.100 · CAMPINA GRANDE · PARAÍBA

CONT (082) 221 7222 RAMAL 420 421 CX 10057



Biblioteca Setorial do CDSA. Abril de 2021.

Sumé - PB

ESTÁGIO SUPERVISIONADO - JULGADO EM 26, 05, 92

NOTA : 9,5 (nove e meio)

EXAMINADORES :

Spangro e Pires
Stela de Lucena Lima
Tomaz Carlos A. de Mello

CAMPINA GRANDE - PARAIBA

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAIBA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA

RELATÓRIO FINAL
ESTÁGIO SUPERVISIONADO

TRABALHO REALIZADO POR :

CLAUDIO JOSÉ MAGALHÃES DE LIMA
MATRÍCULA : 8411236-X

LOCAL DE ESTÁGIO : ALUMAR ADMINISTRAÇÃO INDUSTRIAL S. A

ORIENTADOR : HÉLIO DE LUCENA LIRA

SUPERVISOR NA EMPRESA : SILVIO PORTO (06/11/90 - 06/04/91)

LUIZ HENRIQUE (08/04/91 - 31/07/91)


ALUMAR ADMINISTRAÇÃO INDUSTRIAL S.A.
BR-135 KM 18 - PEDRINHAS
FONES: (098) 216-1277/1363
CAIXA POSTAL: 661 CEP: 65.000
TELEX: 982438-982438
SÃO LUIZ-MA

D E C L A R A Ç Ã O

Declaramos para os devidos fins, que o Sr. Claudio Jose Magalhães de Lima, foi estagiário de Enga de Materiais nesta empresa no período de 06/11/90 a 31/07/91, perfazendo um total de 1.335,30 horas.

Por ser verdade, assinamos a presente declaração.

São Luis, 14 de Março de 1992.


CONSÓRCIO DE ALUMÍNIO DO MARANHÃO
Luzia de Fátima Martins Silva - 2757

ANOTAÇÕES GERAIS

(Atestado médico, alteração do contrato do trabalho, registros profissionais e outras anotações autorizadas por lei)

ESTAGIÁRIO - CTPS

O Estagiário, frequentando o curso de Eng. de Materiais na Universidade Univ. Federal da PB fará estágio curricular na ALUMAR ADMINISTRAÇÃO INDUSTRIAL S. A., no período de 11.09.00 a 04.09.01 conforme Termo de Compromisso de Estágio.

Alumar Administração Industrial SA

O estágio acima foi prorrogado até o dia 31.07.91 Alumar Administração Industrial SA

ANOTAÇÕES GERAIS

(Atestado médico, alteração do contrato do trabalho, registros profissionais e outras anotações autorizadas por lei)

O Estágio ao lado encerrado em 31.07.91 Alumar Administração Industrial SA

AGRADECIMENTOS

Primeiramente e sempre, agradeço a Deus por seu apoio, principalmente nos piores momentos.

À tōda minha família, e em especial, à minha mãe.

Agradeço, também em especial, à Professora Élide E. Famá, pelo intenso esforço que dispensou para conseguir o Estágio na ALUMAR.

Ao Professor Hélio de Lucena Lira, pelo apoio e esforços realizados, visando sempre a melhor maneira para orientar, apesar da distância.

A todos aqueles que sempre me apoiaram e nunca se negaram a fornecer informações ou esclarecer quaisquer dúvidas, principalmente aos profissionais dos Fornos de Cozimento de Anodos:

- Silvio Porto (Engº de Processo)
- Marco Aurélio e Hécio Campelo (Técnicos de Processo)
- Luís Carlos Benedetti (Encarregado de Manutenção dos Fornos).

RESUMO

O estágio supervisionado realizado na ALUMAR Administração Industrial S.A - São Luís - Maranhão, foi dividido em duas etapas, todas elas no setor de REDUÇÃO da fábrica.

1ª Etapa - Realizada no período compreendido entre 08/11/90 a 06/04/91 nos Fornos de Cozimento de Anodos, no qual foram feitas investigações nos materiais cerâmicos (tijolos isolantes/refratários e blocos de exaustão) utilizados na construção das paredes dos condutos dos fornos .

2ª Etapa - Realizada no período compreendido entre 08/04/91 a 31/07/91 no Lingotamento, cujo objetivo foi se fazer um acompanhamento no processo operacional envolvido no mesmo.

ABSTRACT

This work was developed at ALUMAR Administração Industrial S.A. in São Luis, Maranhão. The work comprised two stages, both developed at the factory's REDUCTION sector.

Stage 1 - Was performed from November 11, 1990 to April 6, 1991 at the Baking Furnace, it dealt with the study of ceramic materials (isolating/furnace bricks and exhaustion blocks) used on the conducting walls of the furnaces.

Stage 2 - Was performed from April 8, 1991 to July 31, 1991 at the Ingot Plant, it dealt with observing and controlling the operational process involved in Ingot Plant.

ÍNDICE

	PAG.
ÍNDICE DE FIGURAS.....	01
PARTE I - VISÃO GERAL DA EMPRESA.....	02
CAPÍTULO I - HISTÓRICO DA EMPRESA.....	03
1.1 - SURGIMENTO/DESENVOLVIMENTO.....	03
1.2 - PRINCIPAIS PRODUTOS.....	03
1.3 - VOLUME DE PRODUÇÃO.....	04
CAPÍTULO II - ORGANOGRAMA DA EMPRESA.....	05
2.1 - INTRODUÇÃO.....	05
CAPÍTULO III - INFORMAÇÕES SOBRE OS SETORES DA EMPRESA.....	06
3.1 - INTRODUÇÃO.....	06
3.2 - REFINARIA.....	06
3.3 - REDUÇÃO.....	07
3.3.1 - DEPARTAMENTO DE ELETRODOS.....	07
3.3.1.1 - FÁBRICA DE ANODOS.....	07
3.3.1.2 - FORNOS DE COZIMENTO DE ANODOS.....	08
3.3.1.3 - CHUMBAMENTO DE ANODOS.....	08
3.3.2 - SALAS DE CUBAS.....	09
3.3.3 - LINGOTAMENTO.....	12
CAPÍTULO IV - INFORMAÇÕES SOBRE OS SETORES ONDE REALIZOU-SE O ESTÁGIO.....	12
4.1 - INTRODUÇÃO.....	12
4.2 - ORGANOGRAMA DOS FORNOS DE COZIMENTO DE ANODOS.....	13

	PAG.
4.3 - FORNOS DE COZIMENTO DE ANODOS (DESCRIÇÃO, PROCESSO E EQUIPAMENTOS).....	13
4.4 - ORGANOGRAMA DO LINGOTAMENTO.....	18
4.5 - LINGOTAMENTO (PROCESSO BÁSICO).....	19
 PARTE II - ATIVIDADES REALIZADAS DURANTE O ESTAGIO.....	 24
 CAPÍTULO V - CRONOGRAMA DAS ATIVIDADES.....	 25
5.1 - ATIVIDADES REALIZADAS NOS FORNOS DE COZIMENTO DE ANODOS.....	25
5.2 - ATIVIDADES REALIZADAS NO LINGOTAMENTO.....	25
 CAPÍTULO VI - TRABALHO REALIZADO NOS FORNOS DE COZIMENTO DE ANODOS.....	 25
6.1 - INTRODUÇÃO.....	25
 CAPÍTULO VII - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	 26
7.1 - INTRODUÇÃO.....	26
7.2 - PRINCIPAIS REQUISITOS DE UM REFRATÁRIO.....	28
7.3 - CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE UM REFRATÁRIO.....	29
7.3.1 - CARACTERÍSTICAS TÉRMICAS.....	29
7.3.1.1 - REFRATARIEDADE.....	29
7.3.1.2 - EXPANSIBILIDADE TÉRMICA REVERSÍVEL.....	30
7.3.1.3 - CONDUTIVIDADE TÉRMICA.....	30
7.3.2 - CARACTERÍSTICAS TERMOMECÂNICAS.....	30
7.3.2.1 - RESISTÊNCIA À QUENTE.....	30
7.3.3 - CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS.....	32
7.3.3.1 - COMPORTAMENTO TERMOQUÍMICO.....	32
7.3.3.2 - ANÁLISE QUÍMICA.....	33

	PAG.
CAPÍTULO VIII - OBSERVAÇÕES, RECOMENDAÇÕES E CONCLUSÃO.....	33
8.1 - OBSERVAÇÕES E RECOMENDAÇÕES.....	33
8.2 - CONCLUSÃO TÉCNICA.....	36
CAPÍTULO IX - BIBLIOGRAFIA.....	38

INDICE DE FIGURAS

	PAG.
FIGURA 1 - ANODO COZIDO E CHUMBADO COM HASTE DE COBRE.....	08
FIGURA 2 - DISPOSIÇÃO DAS CUBAS ELETROLITICAS EM CADA SALA.....	10
FIGURA 3 - CORTE TRANSVERSAL DE UMA CUBA ELETROLITICA.....	11
FIGURA 4 - MODELO DO LINGOTE DE 22,5 Kg.....	12
FIGURA 5 - LAY OUT DO FORNO DE COZIMENTO COM TRATAMENTO DE GASES.....	14
FIGURA 6 - VISTA DE UM POÇO COM ANODOS ENFORNADOS E CONDUTOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR.....	15
FIGURA 7 - CONFIGURAÇÃO CONVENCIONAL EM UM "FIRE".....	16
FIGURA 8 - FLUXO DO PROCESSO BÁSICO.....	19
FIGURA 9 - ESQUEMA DA PONTE ROLANTE DO LINGOTAMENTO.....	20
FIGURA 10 - FORMATO DO "SOW" (LINGOTE DE 350 Kg).....	21
FIGURA 11 - AMARRADO CINTADO E PRONTO PARA EMBARQUE.....	22
FIGURA 12 - BLOCO DE EXAUSTÃO DE GASES.....	34
FIGURA 13 - CURVA DAS TEMPERATURAS DE COZIMENTO DOS ANODOS.....	35

PARTE I - VISAO GERAL DA EMPRESA

CAPITULO I - HISTÓRICO DA EMPRESA

1.1 - Surgimento/Desenvolvimento

A ALUMAR Administração Industrial S.A., está localizada à BR - 135, Km 18 - Pedrinhas, em São Luís - Ma, sendo um consórcio entre ALCOA (Aluminium Company of America) com 60 % e BILLITON METAIS S.A. (Subsidiária da SHELL do BRASIL S.A.) com 40 % .

Suas obras foram iniciadas em 1980 e, em 1984 foi inaugurada sua 1ª fase. Hoje, com oito anos de operação e com mais duas fases em funcionamento é uma das mais modernas instalações para produção de alumínio, contando com mais de 4.000 funcionários.

1.2 - PRINCIPAIS PRODUTOS

A ALUMAR produz alumina, alumínio, ligas de alumínio e anodos, mas seu principal objetivo é a obtenção do alumínio primário.

A alumina é produzida na Refinaria através do refinamento do minério Bauxito pelo processo BAYER, sendo o minério extraído das minas localizadas em Trombetas, no Pará, e recebidas através do complexo portuário localizado na própria fábrica.

O alumínio é produzido nas Salas de Cubas com a quebra das moléculas de alumina (Al_2O_3) através do processo eletrolítico Hall - Heroult, cujo teor mínimo desejado é de 99,70 % de alumínio.

Os anodos são blocos de carvão retangulares, pesando cerca de 1 tonelada, produzidos através de uma mistura de coque

de petróleo e piche (aglutinante) por compactação à vácuo e vibração mecânica.

1.3 - VOLUME DE PRODUÇÃO

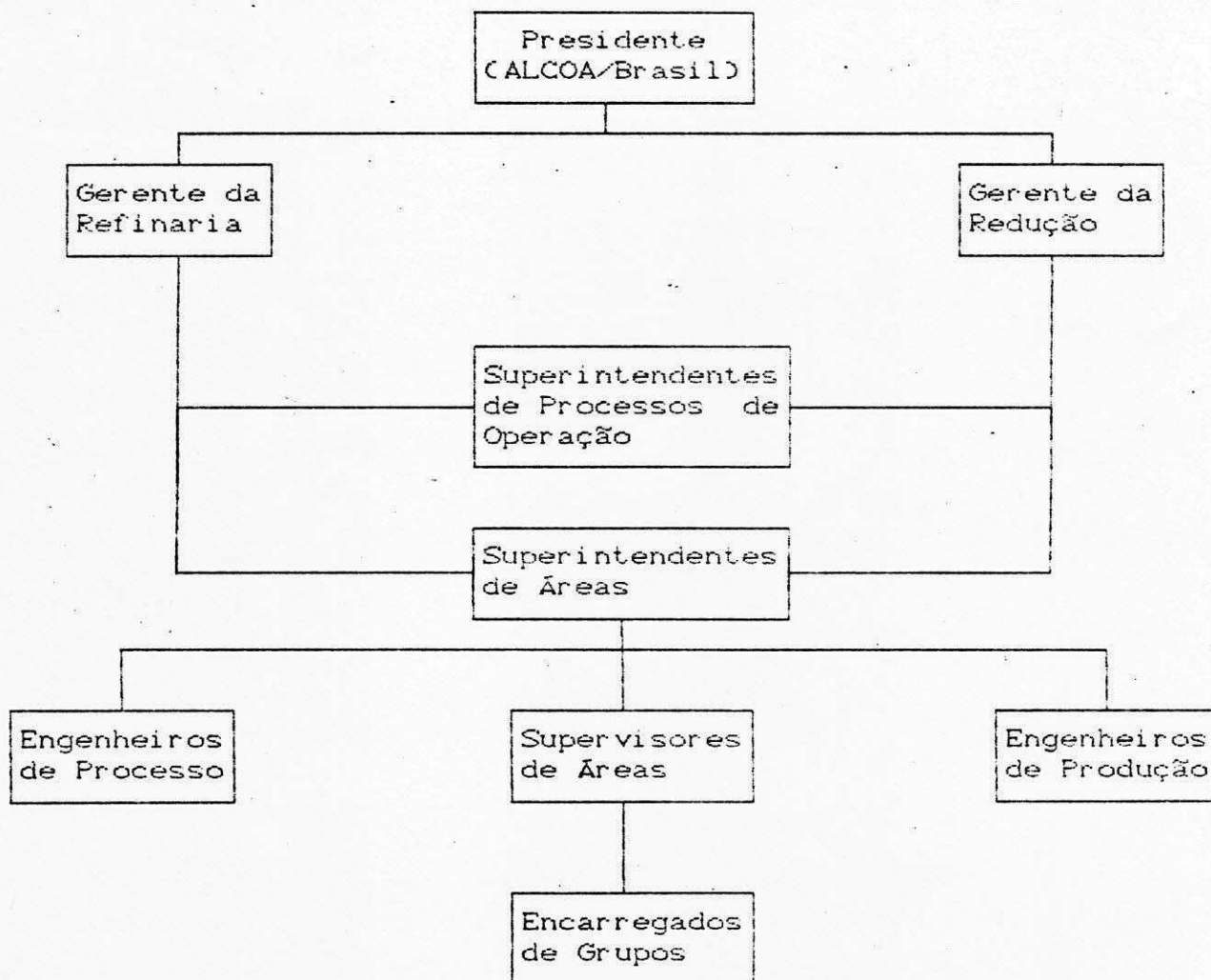
Alumina - 957.039 Ton / Ano (Produzidas na Refinaria)
- 683.328 Ton / Ano (Processadas nas Cubas)
- 273.711 Ton / Ano (Exportadas)
Alumínio - 351.700 Ton / Ano
Anodos - 205.000 Anodos / Ano

* Dados referentes ao ano de 1991.

CAPÍTULO II - ORGANOGRAMA DA EMPRESA

2.1 - INTRODUÇÃO

O fluxograma abaixo mostra a maneira pela qual a administração da ALUMAR se distribui.



CAPITULO III - INFORMAÇÕES SOBRE OS SETORES DA EMPRESA

3.1 - INTRODUÇÃO

A ALUMAR está dividida em duas partes distintas, denominadas de Refinaria e Redução, onde a interação dos processos envolvidos em cada uma, BAYER e HALL-HEROULT, respectivamente, viabiliza a produção de alumínio.

3.2 - REFINARIA

A Refinaria tem como objetivo transformar o minério Bauxito em alumina (Al_2O_3), utilizando-se o processo BAYER. Esta área possui o apoio de um laboratório que controla, através das suas análises, a qualidade das matérias primas usadas na refinaria para a fabricação da alumina, na redução para a fabricação do alumínio, entre outros.

Na verdade, o laboratório presta serviços para toda a fábrica. Suas análises variam desde a qualidade das matérias primas, alumina, alumínio, análises do ambiente dentro e na área de influência da fábrica (esta para o meio ambiente), análises do ambiente de trabalho, que incluem vários parâmetros (estas para a segurança e higiene do trabalho), análises dos óleos (para manutenção) e até análises de urina (estas para o ambulatório) que são feitas anualmante para medir e controlar o nível de fluoretos em todos os funcionários que trabalham na redução. São 41 pessoas, entre químicos, técnicos de desenvolvimento, líderes, amostristas e analistas responsáveis por mais de 120.000 resultados de análises mensais.

3.3 - REDUÇÃO

É o setor onde são fabricados os anodos, reduz-se a alumina e produz-se o alumínio.

A redução é composta por três áreas:

- Departamento de Eletrodos
- Salas de Cubas
- Lingotamento

3.3.1 - DEPARTAMENTO DE ELETRODOS

Este departamento tem como objetivo, confeccionar, cozer e chumbar os blocos de carvão (anodos), que são utilizados como eletrodos positivos, para a passagem da corrente elétrica no processo de redução da alumina nas cubas eletrolíticas.

O Departamento de Eletrodos divide-se em três sub-áreas:

- Fábrica de Anodos
- Fornos de Cozimento de Anodos
- Chumbamento de Anodos

3.3.1.1 - FÁBRICA DE ANODOS

Sua função é promover a mistura eficaz entre os dois principais insumos: coque e piche, compactar esta mistura na forma de um bloco retangular, denominado de "anodo verde", para posterior cozimento nos fornos. As dimensões do Anodo Verde são:

Comprimento	- 1565 mm
Largura	- 730 mm
Altura	- 610 mm

3.3.1.2 - FORNOS DE COZIMENTO

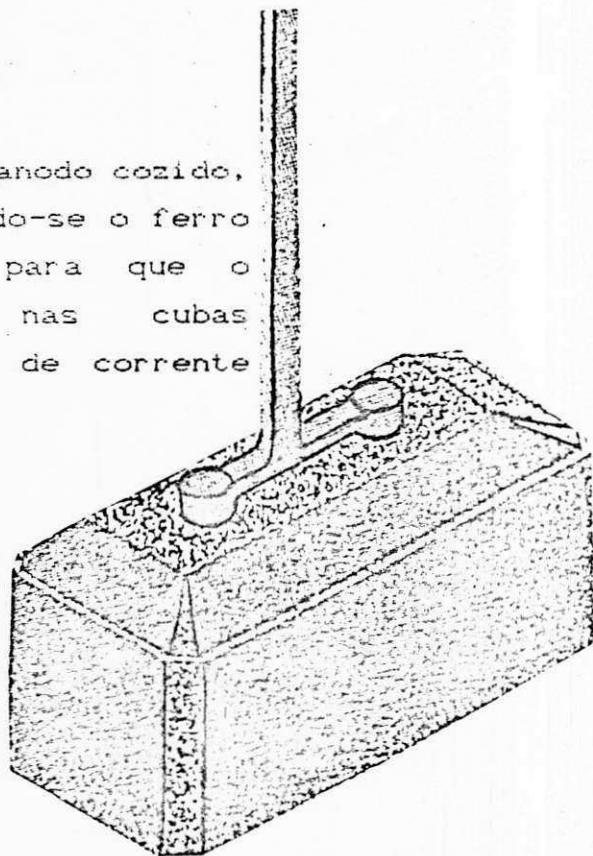
O objetivo desta sub-área é promover, através do aquecimento até o cozimento, a conversão em carbono dos hidrocarbonetos contidos no material aglutinante (piche) usado na fábrica de anodos. O processo de cozimento deverá produzir um coque, proveniente do material aglutinante, de qualidade aproximadamente igual ao material do agregado (coque de petróleo). Isto minimizará preferencialmente a oxidação do coque proveniente do aglutinante, bem como reduzirá o consumo líquido de carbono e a produção de pó de coque nas cubas de redução. As dimensões do Anodo Cozido são:

Comprimento	- 1550 mm
Largura	- 720 mm
Altura	- 610 mm

3.3.1.3 - CHUMBAMENTO DE ANODOS

Nesta sub-área é fixado, ao anodo cozido, uma haste de cobre (fig.1). Utilizando-se o ferro fundido a aproximadamente 1500°C para que o conjunto possa ser utilizado nas cubas eletrolíticas como elemento condutor de corrente elétrica para produção de alumínio.

Fig.1 - Anodo Cozido e chumbado com haste de cobre



3.3.2 - SALAS DE CUBAS

As salas de cubas são as áreas onde se encontram as cubas eletrolíticas (figs.2 e 3) e que contêm os quatro componentes fundamentais na produção de alumínio:

- Eletricidade
- Alumina
- Criolita (banho)
- Carbono (anodo)

A criolita ($3\text{NaF} \cdot \text{AlF}_3$) é o eletrólito utilizado, servindo como meio adequado no qual se solubiliza o elemento a ser separado. Além disso, reúne condições tais como:

- Não reage com o alumínio
- Possui boa condutividade elétrica
- Densidade menor que a do alumínio
- Ponto de fusão relativamente baixo

Esta área funciona sob uma tensão de 1,25 KV que gera uma corrente contínua de 200 KA necessária para o processo.

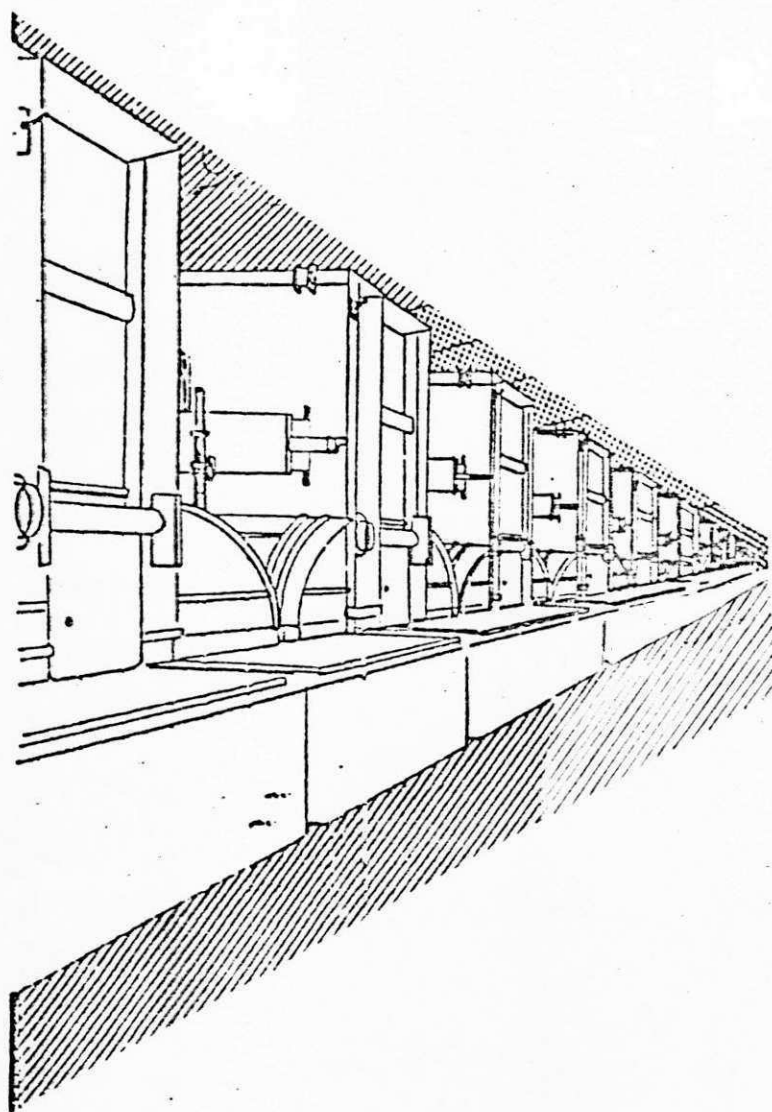


Fig. 2 - Disposição das Cubas Eletrolíticas em cada Sala

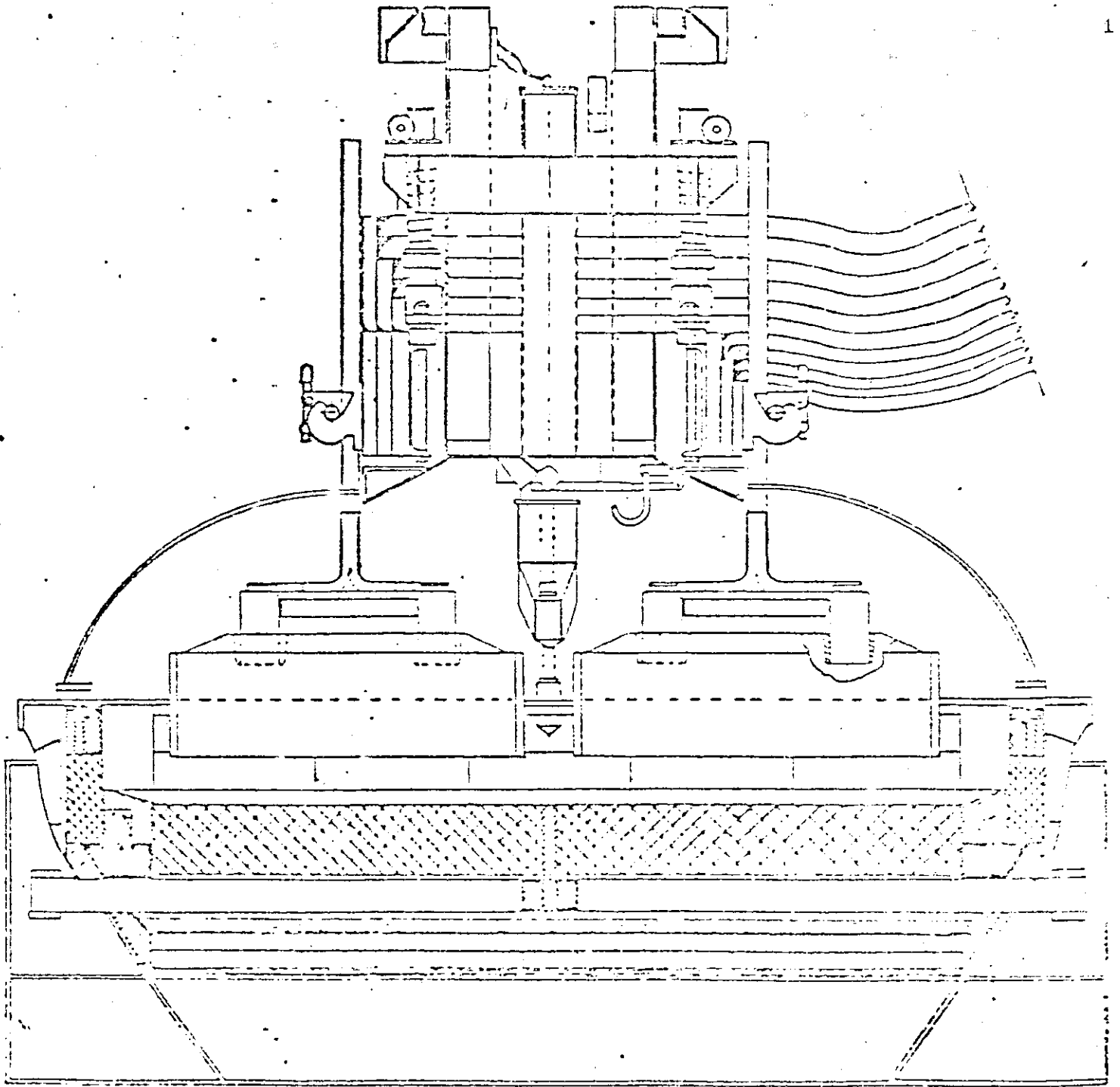


Fig. 3 - Corte transversal de uma Cuba Eletrolítica

3.3.3 - LINGOTAMENTO

O lingotamento é a fase final de produção do alumínio. É a fundição propriamente dita, e o processo da área é de receber o metal líquido das salas de cubas e transformá-lo em lingotes (fig.4), dentro dos padrões de qualidade exigidos pelos consorciados.

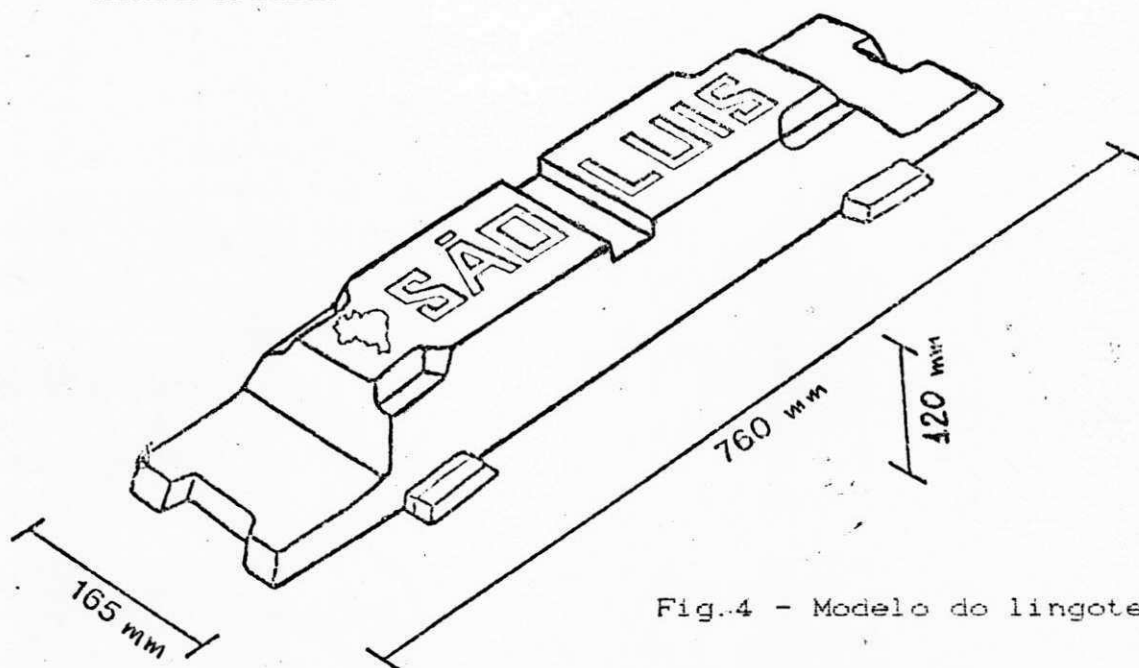


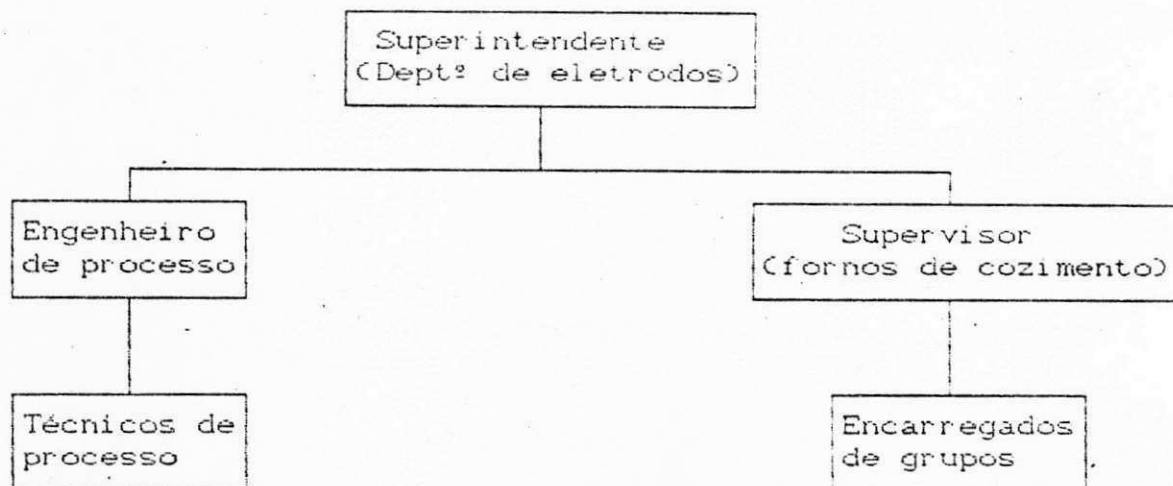
Fig.4 - Modelo do lingote de 22,5 Kg

CAPITULO IV - INFORMAÇÕES SOBRE OS SETORES ONDE REALIZOU-SE O ESTÁGIO

4.1 - INTRODUÇÃO

Os cinco primeiros meses de estágio foram feitos nos Fornos de Cozimento de Anodos (uma das sub-áreas do Departamento de Eletrodos), e os quatro meses finais, no Lingotamento.

4.2 - ORGANOGRAMA DOS FORNOS DE COZIMENTO DE ANODOS



4.3 - FORNOS DE COZIMENTO DE ANODOS (DESCRIÇÃO, PROCESSO E EQUIPAMENTOS)

Fornos são equipamentos destinados ao aquecimento de materiais com vários objetivos: Cozimento, Fusão, Calcinação, Tratamento Térmico, Secagem etc..

A característica primordial de um forno, qualquer que seja sua finalidade, é transferir ao material o calor necessário gerado por uma fonte de calor, com o máximo de eficiência, uniformidade e segurança.

O forno de cozimento de anodos é o maior e o mais complexo centro de consumo de refratários de todas as fases do processo de produção do alumínio primário, sendo responsável por cerca de 80% deste consumo.

O forno (fig.5) é constituído por centenas de fornos poços colocados lado a lado, formando seções com quantidades variáveis de poços. As seções por sua vez, estão também colocadas lado a lado, em fiadas simétricas. Este forno é conhecido como "forno tipo Anel" devido ao seu método de queima sequencial de ciclo intermitente.

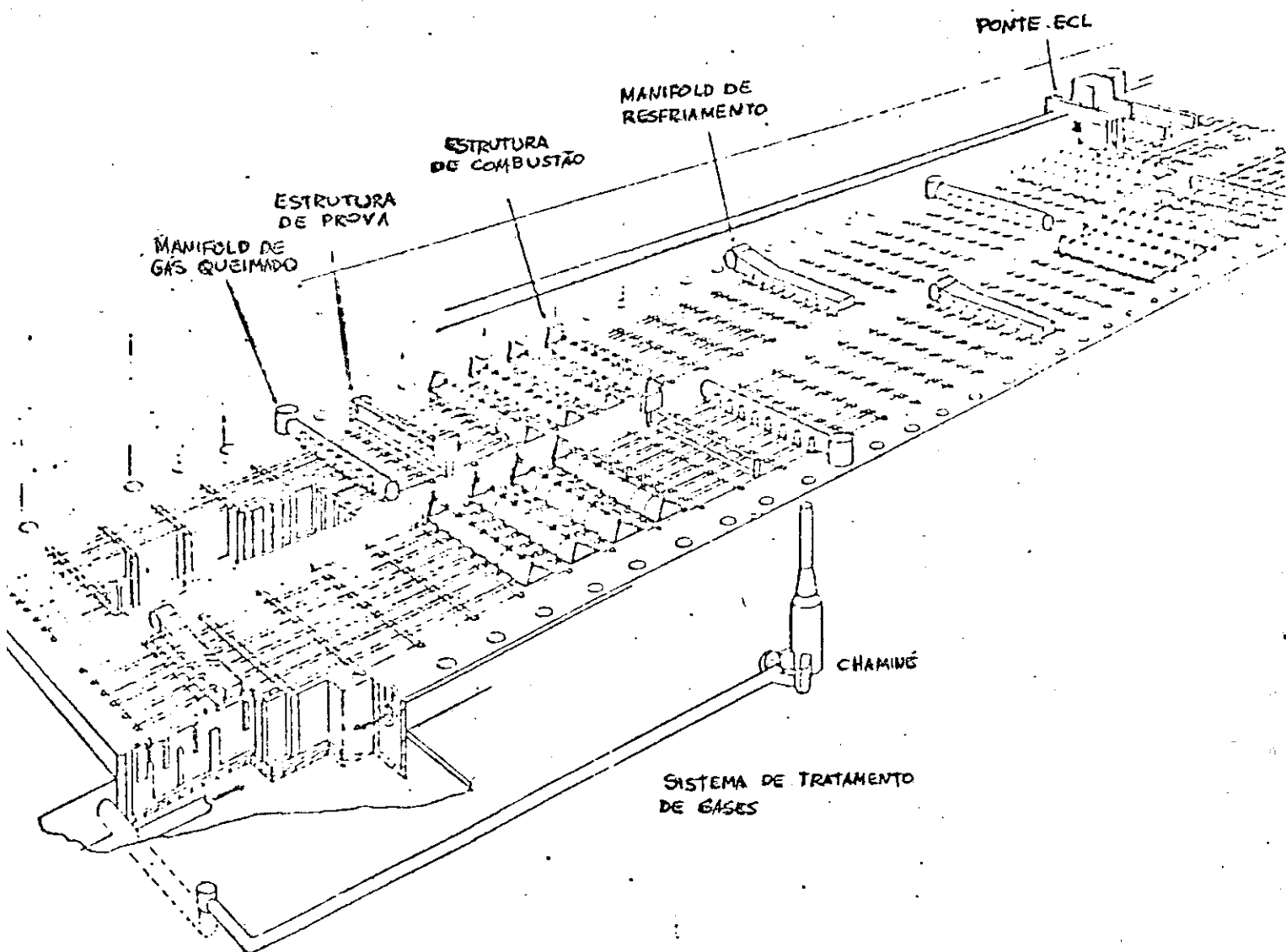


Fig.5 - Lay Out do Forno de Cozimento com tratamento de Gases

No forno em anel, os anodos verdes são colocados dentro de poços abertos e completamente cobertos com material de empacotamento ou enforamento (coque de petróleo fluido). As extremidades dos poços são formadas por estruturas refratárias chamadas paredes cabeceiras. As paredes laterais são formadas por tijolos refratários. A combustão ocorre no interior dos condutos de gases (câmara de combustão) e o calor se propaga através dos refratários das paredes dos condutos e pelo material de empacotamento, desta forma, aquecendo e proporcionando o cozimento dos anodos verdes previamente enforados (fig.6).

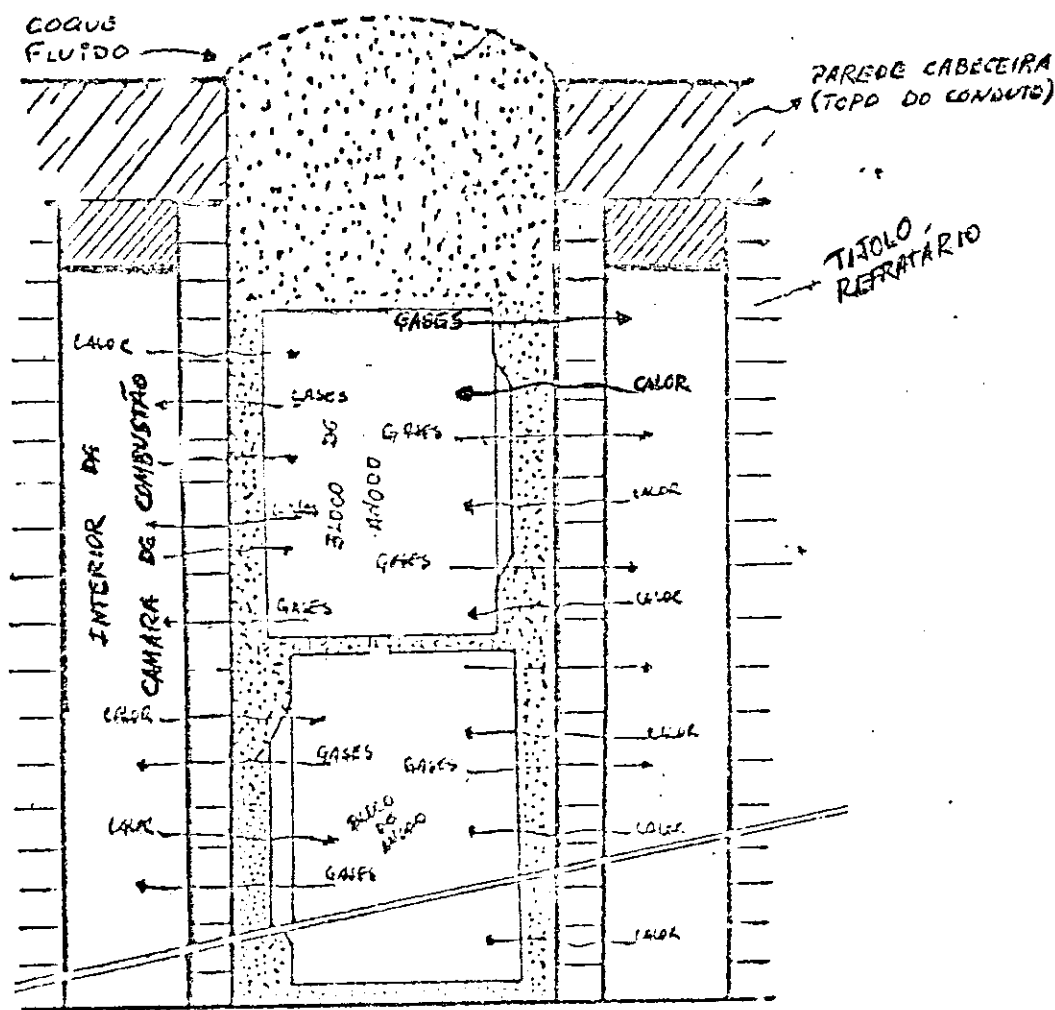


Fig. 6 - Vista de um poço com anodos enforados e condutos de transferência de calor

Um conjunto de seções limitadas pelos "manifold" de gás queimado e "manifold" de resfriamento consiste de duas zonas distintas de transferência de calor (fig.7):

1 - As zonas de pré-aquecimento e cozimento nas quais a temperatura dos anodos são elevadas até a desejada temperatura final de cozimento ($\approx 1200^{\circ}\text{C}$).

2 - A zona de resfriamento, na qual os anodos previamente cozidos são resfriados a uma temperatura abaixo de 300°C para que se realize o desenformamento dos anodos, bem como pré-aquecer o ar de combustão antes de atingir as seções em cozimento.

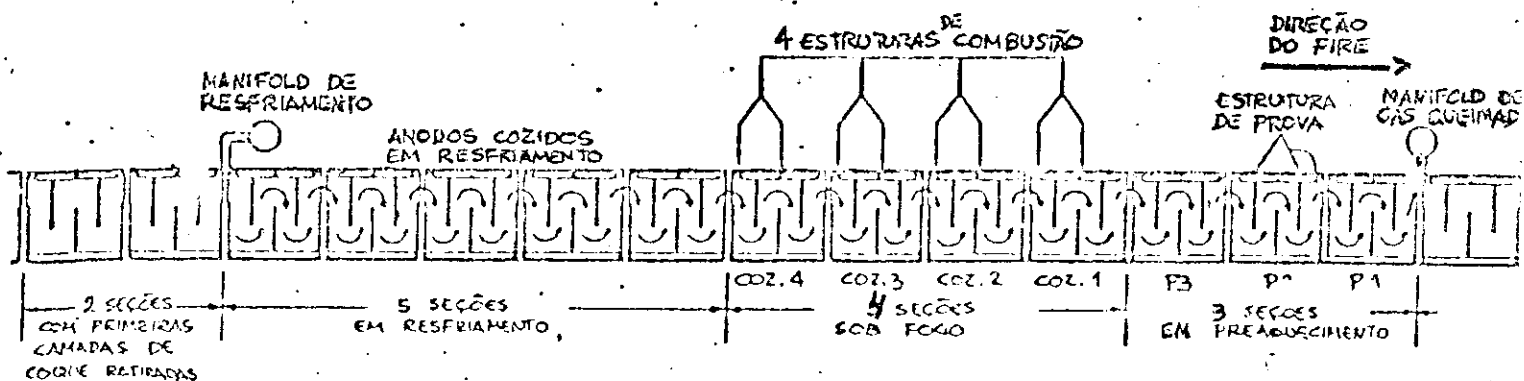


Fig.7 - Configuração Convencional em um "fire"

A ALUMAR possui três fornos para cozimento de anodos. Sendo o Forno I o maior, com 76 seções, 38 em cada lado.

Um sistema de conduto de transferência em cada extremidade do forno permite o movimento do conjunto dos equipamentos de combustão, da extremidade de um lado para a extremidade do outro lado do forno, sem que haja interrupção do ciclo de aquecimento, isto permite a passagem dos gases de combustão de um lado para o outro do forno (Ver fig.5).

Cada seção (Forno I) contém oito poços e nove condutos de gases de combustão. Os poços e os condutos do forno I têm as seguintes dimensões:

	POÇOS	CONDUTOS
Largura	74,30 cm	22,80 cm
Profundidade	350,50 cm	321,70 cm
Comprimento	406,40 cm	452,00 cm

Cada poço pode conter 10 anodos distribuídos em duas camadas de cinco anodos, posicionados com o comprimento dos mesmos paralelos às paredes dos condutos de gases e com a cúpula em posição alternada para compensar a conicidade dos anodos verdes (ver fig.6).

Os equipamentos de combustão para cada conjunto de seções em pré-aquecimento, cozimento e resfriamento (ver fig.7) são:

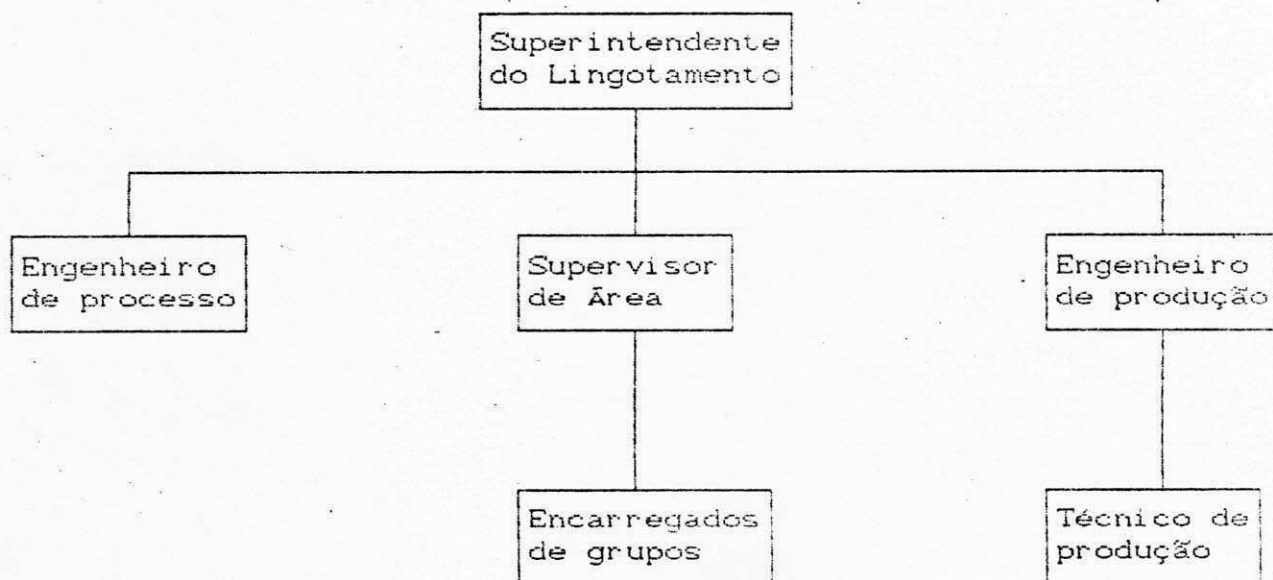
1 - MANIFOLD DE RESFRIAMENTO, tem por finalidade suprir ar de resfriamento para os anodos previamente cozidos, pré-aquecer o ar de combustão, bem como ajudar o manifold de gás queimado no movimento de ar através dos condutos de gases das seções de cozimento e pré-aquecimento.

2 - QUATRO ESTRUTURAS DO SISTEMA DE COMBUSTÃO, cada uma contendo duas fileiras com nove queimadores.

3 - ESTRUTURA DO SISTEMA DE PROVA, eletricamente conectada com o manifold de gás queimado, para ajustagem individual a cada conduto de gases.

4 - MANIFOLD DE GÁS QUEIMADO, tem por finalidade puxar o ar de combustão através das seções em cozimento e remover para a chaminé os gases provenientes da combustão.

4.4 - ORGANOGRAMA DO LINGOTAMENTO



4.5 - LINGOTAMENTO (PROCESSO BÁSICO)

O metal líquido é recebido das salas de cubas e processado pela área de lingotamento.

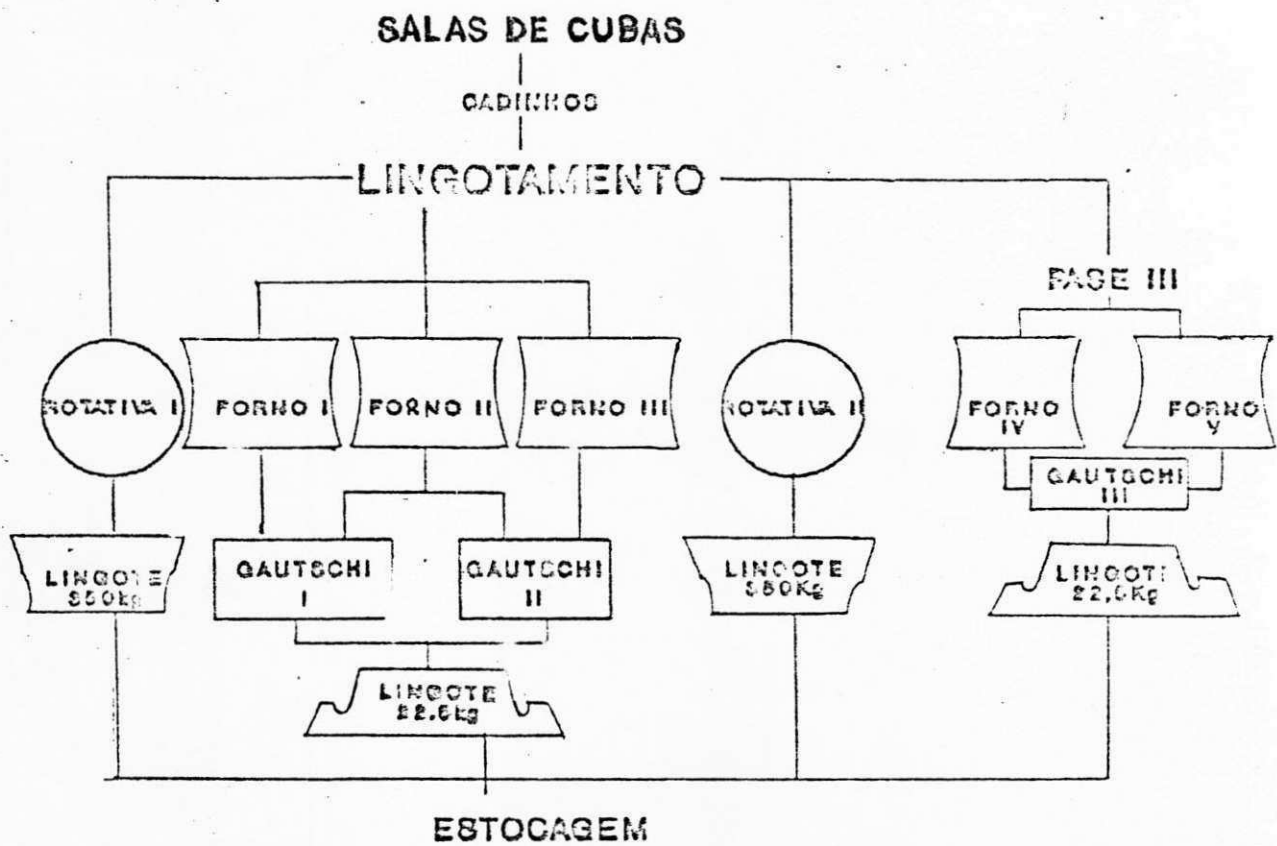


Fig.8 - Fluxo do Processo Básico

O metal é enviado ao lingotamento em cadinhos com capacidade de 9 ton de alumínio líquido, a uma temperatura em torno de 850°C.

O operador da ponte rolante (fig.9) do lingotamento, deverá amostrar e pesar cada cadinho de metal antes de sua liberação para o forno de espera e/ou uma das máquinas de lingotar rotativas.

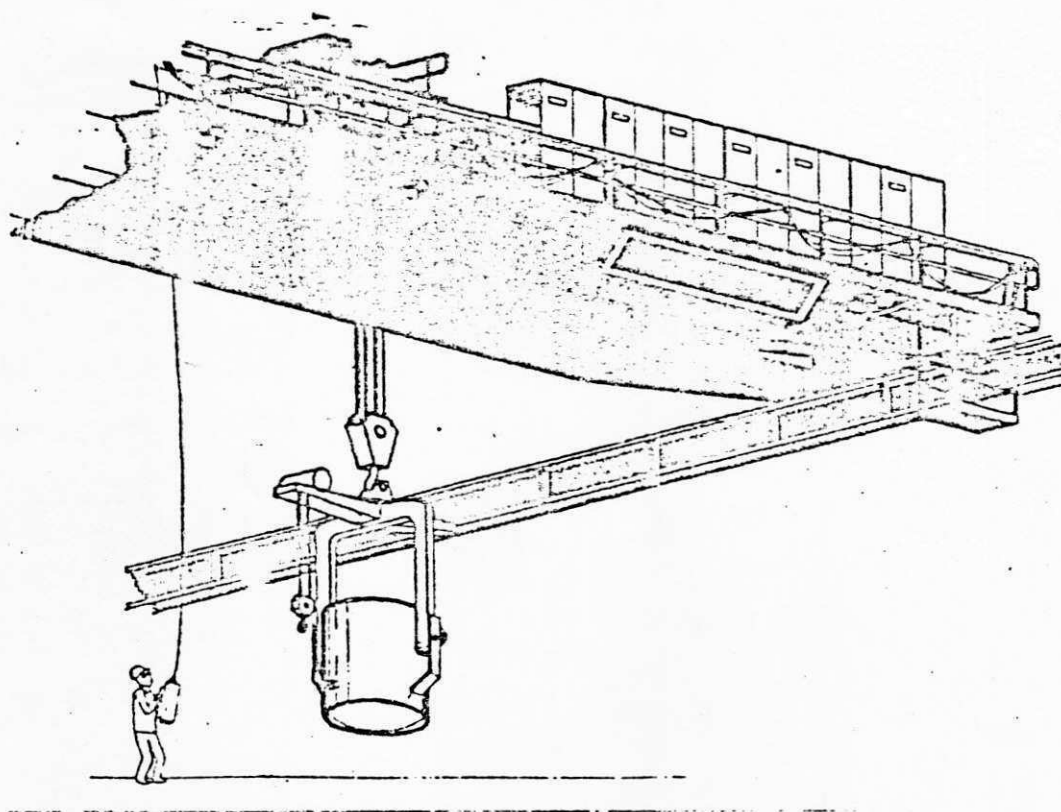


Fig.9 - Esquema da Ponte Rolante do Lingotamento

A área de lingotamento possui cinco fornos de espera com capacidade de 45 ton cada, basculante e aquecidos eletricamente.

Os fornos são alimentados com metal líquido diretamente pelos cadinhos que são basculados com o auxílio de uma mesa hidráulica. As máquinas de lingotar Gautschi's são alimentadas por estes fornos.

Nas máquinas de ligotar rotativas os moldes em número de 24, são dispostos na extremidade de uma plataforma circular.

Estas máquinas são alimentadas diretamente por cadinhos através de mesas basculantes hidráulicas. Os moldes, após serem preenchidos com metal líquido, são deslocados, passando por uma área de resfriamento (jatos d'água na parte inferior dos moldes).

Após essa área de resfriamento, os lingotes são retirados dos moldes com uma tenaz e com o auxílio de uma monovia, pesados e identificados, antes de serem enviados para área de armazenamento. Esta máquina produz "Sows", que são lingotes de 350 Kg (fig.10).

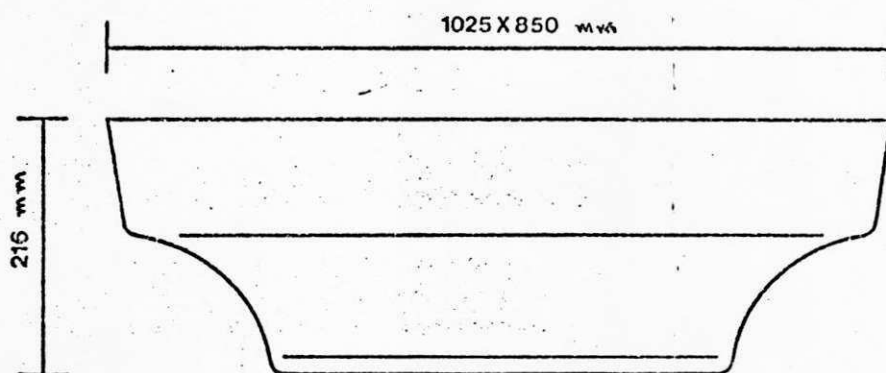


Fig.10 - Formato do "Sow" (lingote de 350 Kg)

Nas máquinas de lingotar Gautschi's, os moldes são dispostos lado a lado e fixados em suas extremidades por parafusos a um par de correntes.

Estas máquinas recebem metal líquido provenientes dos fornos elétricos. O metal chega até as máquinas através de calhas. O vazamento de metal líquido nos moldes é feito através da roda de fundição, que distribui o metal líquido nos moldes localizados na esteira de fundição. O acionamento horizontal desta esteira (correntes mais moldes), é feito por intermédio de dois conjuntos de rodas dentadas. Os moldes da parte superior da esteira se deslocam dentro de uma bacia d'água (em circuito fechado) que fará o resfriamento da parte inferior dos moldes e conseqüentemente do alumínio contido nestes.

Na extremidade final da esteira, os lingotes de alumínio já sólidos, são identificados e retirados dos moldes, resfriados por jatos d'água e automaticamente dispostos e empilhados até formar um "amarrado", que contém 44 lingotes e pesa em torno de 1025 Kg (fig.11). Depois disto serão cintados, pesados e transportados para a área de estocagem.

A capacidade de produção destas máquinas é de 20 ton/hora, em lingotes de 22,5 Kg (ver fig.4).

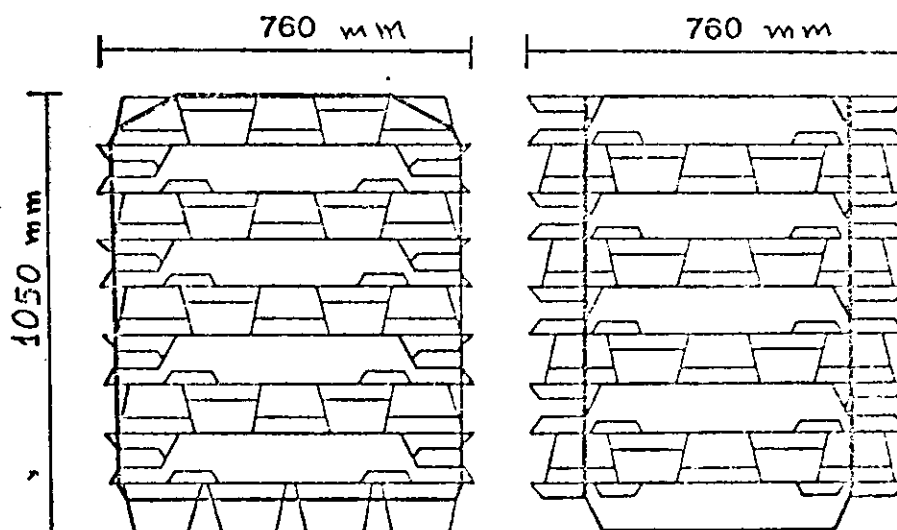


Fig.11 - Amarrado cintado e pronto para embarque

É também nesta área, onde se produz ligas especiais, tendo como base o metal primário, mais a adição de anti-ligas, de acordo com sua especificação, entre outros elementos também controlados, tais como: Titânio (Ti), Magnésio (Mg), Cobre (Cu), Estroncio (Sr), Silício (Si) e Ferro (Fe), sendo o Si e Fe os mais importantes.

Dentre as ligas especiais produzidas na ALUMAR, no lingotamento, pode-se citar como exemplo a liga EC, para condutores elétricos (electric conductor) e A356.2, liga utilizada para fabricação de componentes de motores, aeronaves e mísseis, rodas automobilísticas etc..

PARTE II - ATIVIDADES REALIZADAS DURANTE O ESTAGIO

CAPITULO V - CRONOGRAMA DAS ATIVIDADES

5.1 - ATIVIDADES REALIZADAS NOS FORNOS DE COZIMENTO DE ANODOS

- Levantamento bibliográfico sobre materiais isolantes e refratários.
- Medição de fluxo de óleo Diesel/BPF nas estruturas de combustão dos fornos.
- Acompanhamento do processo operacional e produtivo da área.
- Curso de reciclagem das Práticas Padrões de operação dos fornos de cozimento.

5.2 - ATIVIDADES REALIZADAS NO LINGOTAMENTO

- Observação e controle de temperaturas nas máquinas de lingotar Gautschi's e fornos elétricos basculantes.
- Acompanhamento no funcionamento das torres de resfriamento da água utilizada nas lingoteiras.
- Acompanhamento e participação na preparação dos fornos para produção de ligas e no controle de qualidade das mesmas.

CAPITULO VI - TRABALHO REALIZADO NOS FORNOS DE COZIMENTO DE ANODOS

6.1 - INTRODUÇÃO

Este trabalho foi realizado devido a dúvida de se estar trabalhando com materiais deteriorados por consequência da má estocagem dos materiais cerâmicos isolantes/refratários, utilizados na construção das paredes e topos dos fornos de cozimento de anodos. A partir daí, foi proposto um trabalho, cujo

título foi :

ESTUDO DA ESTOCAGEM INADEQUADA DE TIJOLOS
ISOLANTES/REFRATÁRIOS NA VIDA ÚTIL DOS CONDUTOS DOS
FORNOS DE COZIMENTO.

CAPITULO VII - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

7.1 - INTRODUÇÃO

Denominam-se refratários certos produtos fabricados com materiais minerais, destinados ao revestimento de fornos e aparelhos industriais que funcionam a temperaturas muito elevadas e que sejam capazes de resistir, por prazos razoavelmente longos, às solicitações térmicas, mecânicas, químicas e físico-químicas que nele se desenvolvam.

Os refratários se usam em grandes proporções, cumprindo que sejam então, materiais relativamente baratos e, sendo essencialmente materiais estruturais, destinados a condições de serviço muito severas, que se agravam pelo fato de se verificarem sob altas temperaturas, exatamente quando são piores as condições dos materiais em geral para suportá-las, devem possuir estrutura e material adequados a tais condições.

Os refratários utilizados nas paredes condutoras dos fornos de cozimento de anodos enfrentam o contato direto com substâncias que tendem a danificá-lo. O quadro 1 mostra, quais substâncias os lados das paredes estão em contato.

QUADRO 1

PAREDES CONDUTORAS	FORNO ABERTO
Fases voltadas para o interior das células	Contato com : - Coque de enchimento - Voláteis do piche - Ar
Fases voltadas para o interior do canal	Contato com : - Gases da queima do combustível de aquecimento do forno - Gases da queima parcial dos voláteis do piche - Voláteis do piche - Gases da queima do coque de enchimento - Ar

Portanto, para suportar toda agressividade do meio onde é utilizado, estes materiais devem ser armazenados em local adequado para que possam preservar suas características e propriedades, essenciais para um ótimo desempenho em sua aplicação.

7.2 - PRINCIPAIS REQUISITOS DE UM REFROTÁRIO

Tendo em vista as condições gerais em que os refratários se empregam, eles devem atender a três requisitos básicos:

- 1º - Refratariedade : no sentido de não sofrer fusão às temperaturas de serviço.
- 2º - Estabilidade Mecânica : no sentido de resistir, sob altas temperaturas, aos efeitos mecânicos que sobre eles se exercem - compressões, cisalhamentos, expansões e contrações, abrasão, penetração pelos banhos fundidos etc..
- 3º - Estabilidade Química : no sentido de resistir à destruição por efeitos das ações químicas e físico-químicas, que se podem originar na sua própria massa, entre seus constituintes elementares quer entre os refratários e os materiais em tratamento (ações estas que podem não existir em temperaturas baixas, mas que são sempre existentes e agressivas às altas temperaturas).

Conquanto todos os três requisitos sejam essenciais, cumpre realçar de início, a estabilidade mecânica para caracterizar o seguinte fato:

Qualquer que seja a forma sob a qual o refratário é aplicado - quer como tijolo ou peças pré-fabricadas de qualquer forma, quer como material granulado para recobrir recipientes de banhos metalúrgicos - ele acaba por assumir, se já não a possui, uma estrutura litóide (semelhante à das pedras naturais), que é a mais adequada às funções estruturais deles exigidas.

7.3 - CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE UM REFRATÁRIO

As qualidades ou propriedades dos refratários, pelas quais se possam julgar da sua aplicabilidade, são definidas em função de ensaios convencionais, geralmente padronizados, de modo a se terem números ou critérios comparativos que se designam como "características técnicas dos refratários".

De acordo com o uso geral, relata-se abaixo algumas das mais importantes características dos refratários.

7.3.1 - CARACTERÍSTICAS TÉRMICAS

7.3.1.1 - REFRATARIEDADE

No conceito comum, é o poder de resistir às altas temperaturas sem fusão. Para fins técnicos adota-se, para definição, o fenómeno da plasticidade da matéria em altas temperaturas.

Quando um corpo refratário é aquecido, chega-se a uma temperatura em que principia a formação de uma fase pastosa. A rigidez do corpo cessa, perdendo a elasticidade para tornar-se plástico, com uma mobilidade dos grãos sólidos dentro da massa viscosa. O corpo pode então deformar-se sem, no entanto, romper-se.

Convenciona-se escolher uma peça da substância, de forma cônica ou piramidal, colocada sobre suporte refratário, submetendo-a a um regime de temperaturas crescentes em fornos elétricos, até que a peça toque sua ponta na base. A temperatura que este toque se verifica denomina-se "Ponto de Queda" e define o "Poder Piroscópico" da substância ensaiada.

7.3.1.2 - EXPANSIBILIDADE TÉRMICA REVERSÍVEL

Os refratários, como todos os corpos em geral, dilatam-se com o aumento e contraem-se com o abaixamento da temperatura. Porém, certos refratários podem apresentar transformações constitucionais na escala das temperaturas, neste caso, a expansão ou contração pode não ser reversível.

A expansibilidade térmica tem importância não só pelos cuidados que exige quando tais variações se dão, como também, no caso geral para permitir o cálculo da expansão das alvenarias refratárias, para efeito de provê-las de juntas de dilatação e os meios necessários para atendê-las no caso dos arcos e abóbodas dos fornos.

7.3.1.3 - CONDUTIVIDADE TÉRMICA

Traduz a transmissibilidade do calor através da massa do refratário. A condutividade térmica tem especial importância em que o calor útil é fornecido ao material em tratamento através do corpo refratário (retortas de coqueria, muflas etc.). Para um mesmo material, a condutividade é maior quanto mais denso seja.

7.3.2 - CARACTERÍSTICAS TERMOMECÂNICAS

7.3.2.1 - RESISTÊNCIA A QUENTE

As características verdadeiramente importantes dos refratários seriam aquelas referentes às temperaturas de serviço. Estas, porém, são difícilísimas de determinar, principalmente porque estas condições são variáveis e nem sempre é possível reproduzi-las em aparelhos experimentais.

Entretanto, duas características permitem o julgamento das qualidades dos refratários para serviços em altas temperaturas:

- 1º - Deformabilidade sob carga a quente
- 2º - Resistência ao choque térmico

A deformabilidade sob carga a quente permite avaliar a capacidade de resistência a compressão em altas temperaturas e baseia-se no seguinte fato:

Um refratário se comporta como um corpo elástico até as temperaturas em que começa a aparecer uma fase viscosa em sua estrutura. Daí por diante, aumentando a temperatura, comporta-se como um corpo plástico, que cede perante carga e no sentido desta, tanto mais quanto mais forte é a carga e mais alta a temperatura, em virtude do aumento da fluidez da sua fase viscosa. Adotando-se carga de prova consecutiva de serviço, pode-se julgar a capacidade de resistência a tais temperaturas.

Os refratários, quando em serviço e sujeitos a variações de temperatura, podem apresentar fissuramento, trincas e mesmo escamamento das superfícies. É o fenômeno denominado "SPALLING" ou desintegração térmica.

O fenômeno é atribuído a várias causas, só ou somadas, tais como, as diferenças de temperatura entre pontos do interior da peça, a transformação mineralógica nos constituintes, diferenças de tensões entre partes, quer por defeitos estruturais, quer em consequência da conformação das peças etc... Mas tais fenômenos sempre resultam quando o material é sujeito a variações de temperatura, e daí a inspiração do ensaio ao choque térmico.

Este ensaio consiste em submeter um corpo de prova a sucessivos resfriamentos até que apareçam trincas perceptíveis ou

mesmo a completa desagregação do material. Dentre outros ensaios, um dos mais simples se faz tomando-se um corpo de prova de forma cúbica de 50 mm de aresta e introduzindo-o em um forno, eleva-se sua temperatura até 1200°C, retirando-se a amostra posteriormente para resfriá-la até a temperatura ambiente. Esta operação deve-se repetir até que o corpo de prova se desfaça sobre a pressão dos dedos.

A classificação abaixo mostra a relação entre o número de ciclos e resistência ao choque térmico.

De 0 a 05 ciclos - péssima
De 05 a 10 ciclos - medíocre
De 10 a 15 ciclos - média
De 15 a 20 ciclos - boa
De 20 a 25 ciclos - muito boa
Acima de 25 ciclos - excelente

7.3.3 - CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS

7.3.3.1 - COMPORTAMENTO TERMOQUÍMICO

Em altas temperaturas os refratários se tornam quimicamente ativos, em função dos componentes que o compõem, podendo então dar lugar a reações entre os próprios refratários e os banhos metálicos de escória e mesmo com os materiais sólidos em contato com eles.

Na metalurgia, a sílica é a substância ácida por excelência simplesmente por ser o anidrido silícico (SiO_2), radical de grande atividade química quando em altas temperaturas.

Portanto, é necessário examinar qual a natureza química do sistema formado entre a carga e os refratários, para se poder escolher adequadamente o refratário a usar.

7.3.3.2 - ANÁLISE QUÍMICA

Tem sua importância química no quanto pode traduzir a sua composição relativa, dentro dos padrões consagrados para cada tipo. Não obstante, é oportuno lembrar que a composição química de nada adianta, em si mesma, se o material não atende as demais condições que o tornam um verdadeiro refratário, em particular, quanto a sua ceramisação.

CAPÍTULO VIII - OBSERVAÇÕES, RECOMENDAÇÕES E CONCLUSÃO

8.1 - OBSERVAÇÕES E RECOMENDAÇÕES

No pátio de estocagem estão materiais cerâmicos isolantes e refratários, expostos às bruscas variações climáticas, que se verificam em toda área da fábrica.

Os tijolos refratários são bem mais resistentes que os isolantes, mas a exposição às intempéries por períodos longos irão prejudicá-los e os resultados com sua utilização não terão um máximo de aproveitamento.

Os tijolos isolantes existentes, no pátio de estocagem, em sua maioria, pode-se dizer, estão completamente impróprios para uso. Isto pode ser verificado através de leve pressão dos dedos nas próprias arestas dos tijolos, para se constatar a fragilidade pela qual os mesmos se encontram.

Estes materiais, quando da necessidade são utilizados qualquer que seja seu estado, úmido ou seco. Sendo o maior problema utilizá-lo úmido, pois a velocidade com que a água sairá dos seus poros (quando do aumento da temperatura nas paredes do conduto) poderá provocar fissuramentos, comprometendo tanto as paredes dos condutos como o isolamento dos topos dos mesmos, causando perdas de energia.

Além da falta de preocupação com estes materiais ou por não acreditar que os mesmos, tratados de maneira apropriada, implique em melhorias, no que diz respeito ao processo de operação dos fornos, existe um outro problema sério, que são os trincamentos dos blocos de exaustão de gases (fig.12). Estes trincam após seu primeiro ciclo de fogo, dividindo-se quase que completamente em duas partes.

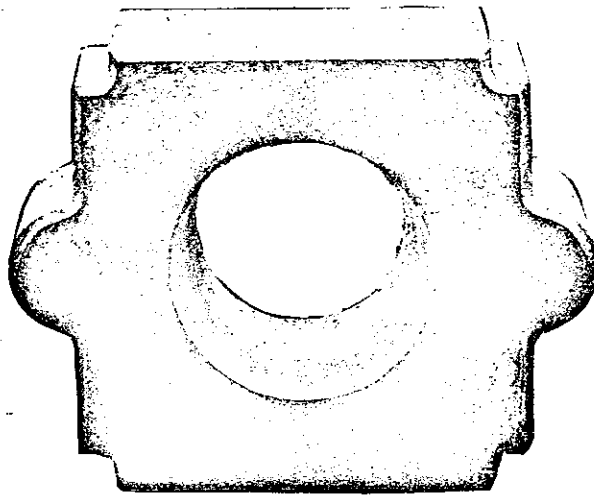


Fig.12 - Bloco de Exaustão de Gases .

Os motivos pelos quais ocorrem estes trincamentos podem ser provenientes de má estocagem, esforço mecânico, concentrações localizadas de agulhas de aço no corpo do bloco, processo de fabricação inadequado, composição química. Todas estas possíveis causas podem acontecer isoladamente ou em conjunto.

Existe, porém, a suspeita de que as causas mais prováveis para explicar estes trincamentos sejam:

- Composição Química : sendo estes materiais sílico-aluminosos, pode-se ter um alto teor de sílica livre, acarretando uma grande variação volumétrica quando do aumento de temperatura.
- Ceramisação : no que diz respeito a queima do bloco após sua conformação. O bloco deve ser ceramisado (queimado) segundo uma curva de aquecimento idêntica a curva de aquecimento do próprio forno.
- Concentradores de Tensão : devido ao seu formato, em especial, às "orelhas" laterais do bloco.

Todos os materiais cerâmicos moldados, utilizados nos fornos de cozimento da ALUMAR, são sílico-aluminosos.

Durante a visita do representante da ISOLTERMIC S.A. materiais refratários isolantes, foi proposto a confecção de blocos para teste a base de alumina, sem agulhas de aço e queimados dentro das faixas de temperaturas de serviço dos fornos de cozimento (fig.13).

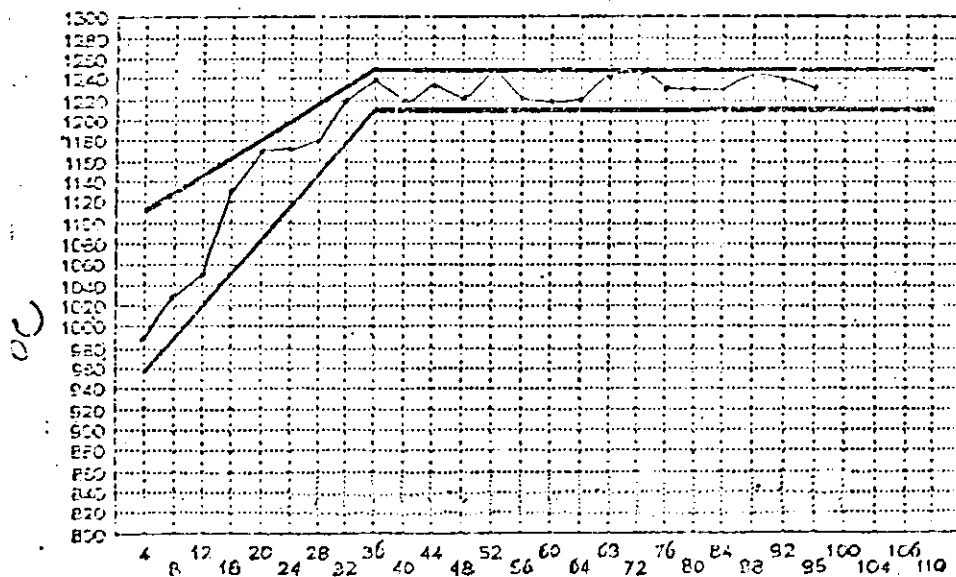


Fig.13 - Curva das Temperaturas de Cozimento dos Anodos

Foram enviadas amostras de tijolos isolantes e refratários à Universidade Federal da Paraíba, em Campina Grande, para serem feitas análises. Tais análises não foram realizadas por motivos superiores, ficando os resultados práticos deste trabalho, prejudicados.

Porém, recomenda-se serem feitas análises nos materiais isolantes e refratários, tais como:

- Análise Dilatométrica, Resistência Mecânica e Refratariedade sob Carga a Quente.
- Recomenda-se também, se fazer um levantamento econômico com o objetivo de saber se é viável a construção de containers ou continuar a trabalhar com materiais deteriorados.

8.2 - CONCLUSÃO TÉCNICA

Os materiais utilizados nos fornos de cozimento de anodos são do tipo especiais e, sendo assim, é inadmissível seu armazenamento nas atuais condições.

A forma pela qual estes materiais são tratados implica diretamente em uma maior ou menor vida útil.

Mesmo não tendo sido possível a realização de testes para comprovarmos que a maneira, hoje utilizada, para armazenagem dos materiais cerâmicos moldados, prejudica o processo dos fornos é absolutamente correto se afirmar que a construção de containers adequados para estocagem destes materiais é um passo consciente para se melhorar ainda mais o processo de operação dos fornos de cozimento de anodos.

Tudo que foi exposto nos dá motivos, mais do que suficientes para se tratar com mais seriedade sobre o assunto, e principalmente em se tratando de uma companhia na qual a ALUMAR faz parte.

Durante o período estipulado para o desenvolvimento do trabalho proposto, foi possível, além do próprio trabalho a realizar, a observação e o acompanhamento do processo envolvido na área dos fornos de cozimento de anodos, de tal forma que o conhecimento adquirido superou todas as expectativas.

BIBLIOGRAFIA

- Refratários para Fornos de Cozimento de Anodos
Denis Valle Neto (Magnesita S.A.)
Curso ABM
- Tecnologia de Produtos Refratários
C. G. Pereira
Editora Técnica Piping Ltda
Santo André - S.P.
- Diagramas de Fases - Teoria e Aplicação em Cerâmica
Ana Maria Segadães
Editora Edgard Blücher Ltda
São Paulo - S.P.
- Curso de Informações sobre Combustíveis e Combustão
I.B.P. - Instituto Brasileiro de Petróleo
Apostila - 11ª Edição
- A Indústria do Alumínio e os Refratários
Denis Valle Neto / José Mendes Nunes
Seminário sobre Tecnologia da Indústria do Alumínio
ABM - Novembro de 1987
- Manual de Operação dos Fornos de Cozimento de Anodos da ALUMAR
- Coletânea de Normas de Refratários
Associação Brasileira de Refratários - CB 19
- Refratários
Alberto Teixeira da Silva
Notas de Aulas
Belo Horizonte - Universidade de Minas Gerais
1960

