

INSTITUTOS SUPERIORES DE ENSINO DO CENSA
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CIÊNCIAS SOCIAIS APLICADAS E DA SAÚDE
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

PROJETO E INSTALAÇÃO DE UM ISOLAMENTO TÉRMICO PARA UM FORNO
ELÉTRICO UTILIZADO EM TRATAMENTOS TÉRMICOS.

Por

Cyro Martins Passos de Azevedo

Campos dos Goytacazes - RJ

2017

INSTITUTOS SUPERIORES DE ENSINO DO CENSA
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CIÊNCIAS SOCIAIS APLICADAS E DA SAÚDE
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

PROJETO E INSTALAÇÃO DE UM ISOLAMENTO TÉRMICO PARA UM FORNO
ELÉTRICO UTILIZADO EM TRATAMENTOS TÉRMICOS.

Por

Cyro Martins Passos de Azevedo

Trabalho de fim de curso apresentado em cumprimento às exigências para a obtenção do grau no Curso de Graduação em Engenharia Mecânica no Instituto Superior de Ensino do CENSA.

Orientador: Silvio Eduardo Teixeira Pinto da Silva- M. Sc

Campos dos Goytacazes - RJ

2017

Ficha Catalográfica (A SER DEFINIDA)

A large, empty rectangular box with a thin black border, positioned below the text. It is intended for the user to define the catalog card content.

PROJETO E INSTALAÇÃO DE UM ISOLAMENTO TÉRMICO PARA UM FORNO
ELÉTRICO UTILIZADO EM TRATAMENTOS TÉRMICOS.

Por

Cyro Martins passos de Azevedo

Trabalho de fim de curso apresentado em
cumprimento às exigências para a obtenção
do grau no Curso de Graduação em
Engenharia Mecânica no Instituto Superior
de Ensino do CENSA.

Aprovada em _____ de _____ de _____

BANCA EXAMINADORA

Silvio Eduardo Teixeira Pinto da Silva- M. Sc

Nome do membro da banca, titulação - Instituição

Nome do membro da banca, titulação - Instituição

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais Francisco e Dorinha, meu Padrinho Monsenhor Joaquim Ferreira Sobrinho, minha tia e mãe do coração Cecilia, minha namorada, amiga e companheira Maiara, que durante esses anos de luta e dedicação não me deixaram desanimar e me incentivaram a dar sempre o meu melhor em todos os sentidos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a Deus por me abençoar com uma família e amigos que me ajudam e incentivam sempre, e por iluminar meu caminho.

Agradeço também aos meus pais Francisco e Dorinha que sempre me apoiaram nos momentos de dificuldades durante o curso, me mostraram o caminho correto na vida e fizeram de mim um homem íntegro e honesto.

Agradeço de forma especial a minha namorada e companheira Maiara, que me ajudou a percorrer o longo caminho da graduação, com palavras de incentivo e carinho, que não me deixaram desanimar quando o cansaço chegava.

Não posso também me esquecer dos amigos Raí, Douglas, Guilherme, Maria, Marcos, Arnaldo, Pierre e Hugo, que sempre me acompanharam nestes cinco anos e tornaram essa jornada cheia de risadas e boas lembranças, amigos que certamente levarei para o resto de minha vida por mais que o término de nosso curso nos distancie.

EPÍGRAFE

“Sucesso é a capacidade de ir de fracasso em fracasso sem perder o entusiasmo”

Winston Churchill

LISTAS DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ISECENSA- Institutos Superiores de Ensino do CENSA.

CENSA-Centro Educacional Nossa Senhora Auxiliadora

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: características de materiais de fibra cerâmica.....	27
Tabela 2: Resistência térmica da lã de vidro	29
Tabela 3: Temperatura de operação do silicato de cálcio.	29
Tabela 4: Especificações do cimento isolante.....	30

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Principais modos de transferência de calor.....	14
Figura 2: associação da transferência de calor por condução.	15
Figura 3: Perfil de velocidade e temperatura num fluxo de calor na convecção.	17
Figura 4: Demonstração da convecção forçada e natural.	17
Figura 5: A radiação de corpo negro	19
Figura 6: Fluxo térmico em uma parede plana	21
Figura 7: Principais equipamentos do forno elétrico a arco.....	23
Figura 8 :Sequência de operações de um forno elétrico a arco.	24
Figura 9: Partes de um forno elétrico por indução.....	25
Figura 10: Demonstração da incumbustibilidade o da lã de rocha.	27
Figura 11: Lã de vidro.	28
Figura 12: silicato de cálcio em formato de segmentos.....	30

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1: Lei de Fourier	15
Equação 2: Gradiente de temperatura em situação estacionaria.....	16
Equação 3: Fluxo térmico.....	16
Equação 4: Lei de Newton de resfriamento	18
Equação 5: Emissão de radiação da superfície de corpo negro	19
Equação 6: Transferência de calor por radiação.....	19
Equação 7: Resistencia térmica na condução em uma parede plana.....	20
Equação 8: Resistência térmica na convecção em uma parede plana	20
Equação 9: Taxa de transferência de calor numa parede plana	21
Equação 10: Taxa de transferência de calor numa parede plana	21
Equação 11: Resistência térmica total em uma parede plana.....	21

SUMÁRIO

LISTAS DE SIGLAS E ABREVIATURAS.....	vii
LISTA DE TABELAS	viii
LISTA DE FIGURAS.....	ix
LISTA DE EQUAÇÕES	x
SUMÁRIO	xi
PARTE I - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	12
1. INTRODUÇÃO	12
2. METODOS BASICOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR.....	14
2.1. Condução	14
2.2. Convecção.....	16
2.3. Radiação	18
3. RESISTÊNCIA TÉRMICA	20
4. FORNOS INDUSTRIAIS	22
4.1. Forno a Arco Elétrico.....	22
4.2. Forno Elétrico por Indução	24
5-TIPOS DE ISOLAMENTO TÉRMICO	26
5.1. Fibras Cerâmicas	26
5. 2. Lã de Rocha.....	27
5.3. Lã de Vidro.....	28
5.4. Silicato de Cálcio	29
PARTE II – ARTIGO CIENTÍFICO	1
PARTE III – REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	35

PARTE I - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1. INTRODUÇÃO

Após a revolução industrial que se iniciou no sec. XVII, uma nova gama de materiais antes nunca imaginados começou a ser explorado e utilizado para modificar de forma assustadora a sociedade. Os aços passaram a dominar a construção civil e permitiram que a humanidade erguesse arranha-céus que mudaram completamente a paisagem urbana. Com o desenvolvimento da Engenharia, foram descobertos meios de melhorar as propriedades físicas dos aços, tornando-os mais resistentes e conseqüentemente mais confiáveis. Um dos processos mais utilizados para tal finalidade é o tratamento térmico, onde o aço é aquecido e resfriado para que altere suas propriedades físicas e mecânicas sem alterar a sua forma.

Atualmente os tratamentos térmicos são feitos, em sua maioria, em fornos elétricos, visto que em fornos convencionais, as chamas ao entrarem em contato com o aço podem alterar sua composição e propriedades.

Ao se trabalhar em um ambiente onde se encontra em funcionamento um forno, é essencial que a temperatura externa do mesmo esteja em uma faixa que não seja agressiva aos que estão ao seu redor, para isso, é essencial que o isolamento térmico em questão seja bem projetado, visando a segurança dos envolvidos. Os materiais de isolamento térmico devem apresentar baixa condutividade térmica. Na maioria dos casos ela é obtida através do aprisionamento do ar ou de algum outro gás dentro de pequenas cavidades em um sólido (KREITH, BOHN; 2014). Tendo tal fato em mente, este trabalho propõe-se em projetar o isolamento térmico de um forno elétrico que terá as seguintes dimensões: 300 milímetros de largura, 300 milímetros de comprimento e 400 milímetros de altura, e terá por finalidade realizar tratamentos térmicos que será construído no laboratório do ISECENSA, visando não só a segurança dos alunos

e professores como também a utilização de materiais compatíveis com a finalidade desejada e economicamente viáveis.

O forno trabalha com uma temperatura interna que pode atingir de 1200°C até 1300°C e que devesse chegar até a superfície externa com uma temperatura não prejudicial para os alunos e professores, que será definida durante os estudos desenvolvidos no decorrer das pesquisas.

2. METODOS BASICOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR

Quando dois corpos que se encontram em temperaturas diferentes interagem entre si, existe uma tendência natural do calor ser transferido do corpo mais “quente” para o mais “frio”, ou seja, do corpo mais energético para o menos energético. Esse calor pode ser transferido de três formas diferentes, sendo levado em conta o estado físico e a movimentação das moléculas dos corpos em contato. Essas formas de transferência são: Condução. Convecção e Radiação. A Figura 1 mostra de forma básica, como cada uma dessas formas de transferência de calor atua.

Condução através de um sólido ou de um fluido estacionário	Convecção de uma superfície para um fluido em movimento	Troca líquida de calor por radiação entre duas superfícies
		

Figura 1: Principais modos de transferência de calor.

Fonte: Adaptado de Incropera (2014).

2.1. Condução

A condução pode ser vista como a transferência de energia das partículas mais energéticas para as menos energéticas de uma substância devido às interações entre partículas (INCROPERA, 2014). Ou seja, a condução ocorre em nível molecular quando dois sólidos ou fluidos estacionários estão em contato e a energia flui do mais “quente” (maior energia) para o menos “quente” (menor energia).

Segundo Incropera (2014):

Temperaturas mais altas estão associadas a energias moleculares mais altas. Quando moléculas vizinhas se chocam, como fazem constantemente, uma transferência de energia das moléculas mais energéticas para as menos energéticas deve ocorrer. Na presença de um gradiente de temperatura, transferência de energia por condução deve, então, ocorrer no sentido da diminuição da temperatura. Isso seria verdade mesmo na ausência de colisões.

Na Figura 2 é possível ver a transferência de calor por condução associada a difusão de energia devido a atividade molecular.

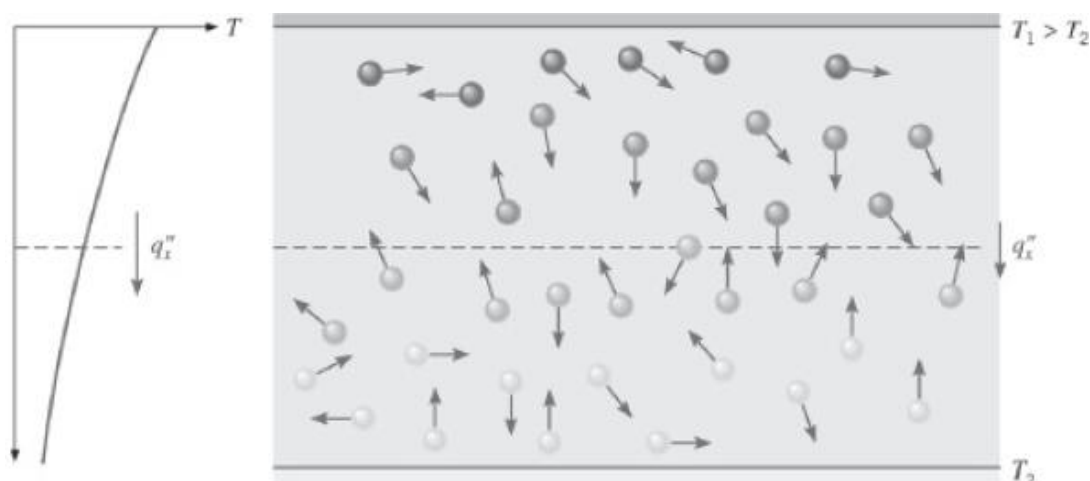


Figura 2: associação da transferência de calor por condução.

Fonte: adaptado de Incropera (2014).

Segundo Incropera (2014), “Processos de transferência de calor podem ser quantificados através de equações de taxa apropriada. Essas equações podem ser usadas para calcular a quantidade de energia sendo transferida por unidade de tempo”. Em se tratando de Condução Térmica, utiliza-se a Lei de Fourier. Para paredes planas unidimensionais, com distribuição de temperatura $T(x)$, a equação é:

$$q''_x = -k \frac{dT}{dx} \quad (1)$$

Segundo Incropera (2014)

O fluxo térmico q''_x (W/m²) é a taxa de transferência de calor na direção x por unidade de área perpendicular a direção da transferência e ele é proporcional ao gradiente de temperatura, dT/dx , nesta direção. O parâmetro k é uma propriedade de transporte conhecida como condutividade térmica (W/(m . k)) e é uma característica do material da parede. O sinal de menos é uma consequência do fato do calor ser transferido no sentido da temperatura decrescente.

Quando se analisa situações de estado estacionário, onde a distribuição de temperatura é linear, o gradiente de temperatura é:

$$\frac{dT}{dx} = \frac{T_2 - T_3}{L} \quad (2)$$

O fluxo térmico é:

$$q''_x = -k \frac{T_2 - T_1}{L} \quad (3)$$

2.2. Convecção

O modo de transferência de calor por convecção, na realidade, consiste de dois mecanismos operando simultaneamente. O primeiro é a transferência de energia atribuída ao movimento molecular, ou seja, o modo condutivo. Sobreposta a ele está a transferência de energia através do movimento macroscópico de parcelas do fluido (KREITH, BOHN; 2014).

Segundo Kreith, Bohn (2014)

O gradiente de temperatura na interface depende da taxa na qual os movimentos macroscópicos e microscópicos do fluido transportam o calor para longe da interface. Consequentemente, o gradiente de temperatura na interface do fluido-placa depende da natureza do campo de fluxo, particularmente da velocidade de fluxo livre.

A Figura 3 mostra o perfil da velocidade e temperatura para a transferência de calor por convecção de uma placa aquecida com fluxo ao longo de sua superfície

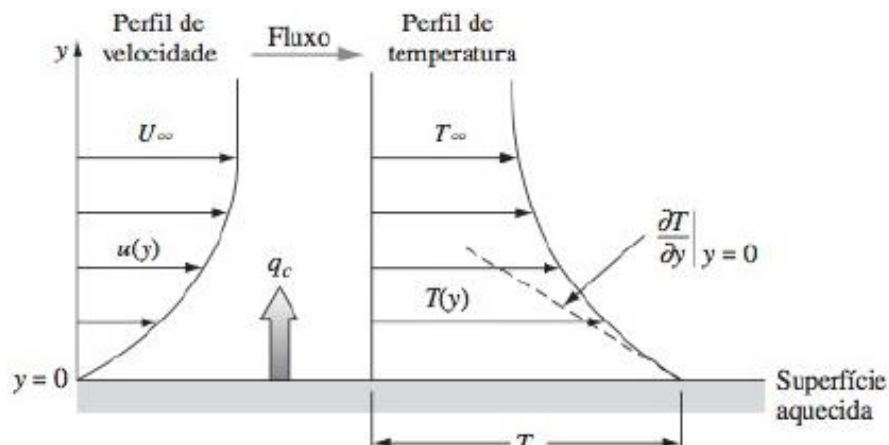


Figura 3: Perfil de velocidade e temperatura num fluxo de calor na convecção.
Fonte: adaptado de Kreith, Bohn (2014).

A convecção ocorre quando temos um fluido em movimento interagindo com uma superfície sólida ou outra superfície fluida, se a passagem do líquido for forçada por algum meio externo, é chamada de convecção forçada. Porém se o movimento for causado por forças oriundas da diferença de densidade provenientes das diferentes temperaturas envolvidas, mostrado na Figura 4.

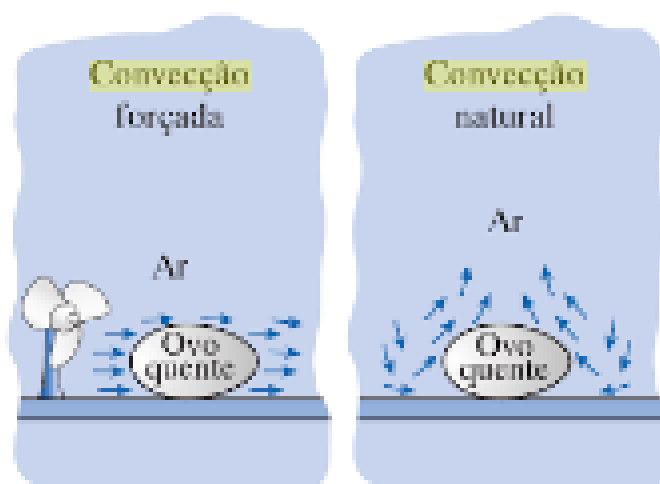


Figura 4: Demonstração da convecção forçada e natural.
Fonte adaptado de Çengel (2012)

Segundo Çengel (2012) “Apesar da complexidade, observa-se que a taxa de transferência de calor por convecção é proporcional a diferença de

temperatura, sendo convenientemente expressa pela lei de Newton do resfriamento.”

$$Q = hA\Delta T \quad (4)$$

Onde na fórmula, h representa o coeficiente de transferência de calor por convecção, e delta T a diferença de temperatura do ambiente e da superfície.

Çengel (2012) ainda diz:

O coeficiente de transferência de calor por convecção h não é uma propriedade do fluido. Trata-se de um parâmetro determinado experimentalmente, cujo valor depende de todas as variáveis que influenciam a convecção, como geometria da superfície, natureza do movimento do fluido, propriedades do fluido e velocidade da massa de fluido.

2.3. Radiação

Radiação: Radiação é a energia emitida pela matéria sob a forma de ondas eletromagnéticas (ou fótons) como resultado das mudanças nas configurações eletrônicas de átomos ou moléculas (ÇENGEL, 2012). Toda matéria que se encontre a uma temperatura diferente do zero kelvin, emite radiação, e por ser uma forma de emissão.

Corpo negro, ou radiador ideal, é um corpo que, em qualquer temperatura, emite e absorve a quantidade máxima de radiação em qualquer comprimento de onda determinado. O radiador ideal é um conceito teórico que define um limite máximo para a emissão de radiação em conformidade com a Segunda Lei da Termodinâmica (KREITH, BOHN, 2014).

A Figura 5 demonstra a quantidade máxima de radiação emitida por um corpo negro, como foi dito anteriormente, é um exemplo teórico para representar

como seria a emissão total de radiação sem levar em consideração a absorção e reflexão dos corpos reais.

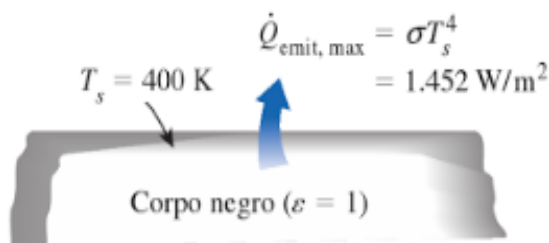


Figura 5: A radiação de corpo negro.
Fonte: Adaptado de Çengel (2012).

O radiador perfeito (corpo negro) emite radiação de sua superfície seguindo a fórmula

$$qr = \sigma \cdot A \cdot T^4 \quad (5)$$

Segundo Kreith, Bohn (2014)

“Em problemas de engenharia, a radiação é combinada com outros modos de transferência de calor. Muitas vezes a solução de tais problemas pode ser simplificada usando uma condutância térmica Kr' ou uma resistência térmica Rr' por radiação. A definição de Kr é semelhante a de Kk' a condutância térmica por condução.”

A transferência de calor por radiação é:

$$qr = Kr(T_1 - T_2) \quad (6)$$

Diante disso, quando há um problema real referente à transferência de calor, deve levar-se em consideração os outros dois mecanismos de transferência.

3. RESISTÊNCIA TÉRMICA

Incropera (2014) diz que “Da mesma maneira que uma resistência elétrica está associada a uma condução de eletricidade, uma resistência térmica pode ser associada a uma condução de calor”. Portanto indica a capacidade que cada material ou composto possui de dificultar que o calor seja transferido através dele.

A resistência térmica está diretamente relacionada a geometria em que material se encontra, sendo assim em uma parede plana, a resistência térmica para condução é:

$$R_{t,cond} = \frac{T_{s1} - T_{s2}}{qx} = \frac{L}{kA} \quad (7)$$

Uma resistência térmica também pode estar associada a uma convecção seguindo a lei de resfriamento de Newton, portanto, a resistência térmica na convecção é:

$$R_{t,conv} = \frac{T_s - T_\infty}{q} = \frac{1}{hA} \quad (8)$$

Incropera (2014) diz que “Representações na forma de circuito fornecem uma ferramenta útil tanto para a conceituação quanto para a quantificação de problemas da transferência de calor [...] A taxa de transferência de calor pode ser determinada pela consideração em separado de cada elemento da rede.”

Na Figura 6 podemos ver o fluxo térmico em uma parede plana, também como a sua representação análoga a um circuito elétrico.

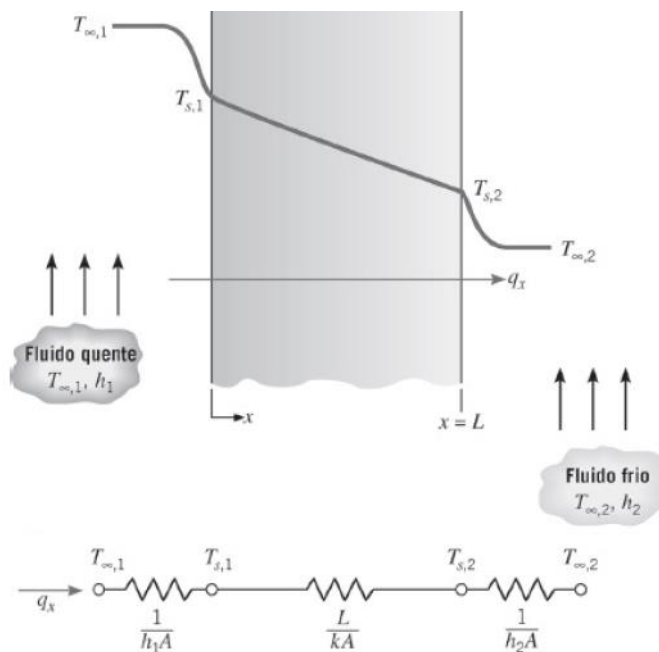


Figura 6: Fluxo térmico em uma parede plana.

Fonte: Adaptado de INCROPERA (2014).

Portanto, uma vez que q_x é constante em todo o sistema, podemos definir a taxa de transferência de calor como:

$$q_x = \frac{T_{\infty 1} - T_{s1}}{1/h_1A} = \frac{T_{s1} - T_{s2}}{L/kA} = \frac{T_{s2} - T_{\infty 2}}{1/h_2A} \quad (9)$$

Incropera (2014) diz ainda que “Em termos de temperatura global $T_{\infty,1}$ – $T_{\infty,2}$, e da resistência térmica total, R_{tot} , a taxa de transferência de calor pode também ser representada por:”

$$q_x = \frac{T_{\infty 1} - T_{\infty 2}}{R_{tot}} \quad (10)$$

E em razão das resistências de convecção e condução estarem em série e poderem ser somadas, temos que a resistência total do sistema é:

$$R_{tot} = \frac{1}{h_1A} + \frac{L}{kA} + \frac{1}{h_2A} \quad (11)$$

4. FORNOS INDUSTRIAIS

Quando um forno está em pleno funcionamento, todos os três mecanismos básicos de transferência de calor agem simultaneamente. Os gases que são aquecidos dentro da câmara transmitirão o calor através da radiação, emitida por qualquer matéria acima da temperatura de 0K, e por ser um fluido aquecido em movimento também terá convecção. Ao atingir a parede interna do fluido, por ser um material sólido, o calor será transmitido por condução até a parede externa, que por sua vez trocará calor com o ar à sua volta e novamente ocorrerá a convecção e radiação.

A transferência de calor de forma completa no forno é altamente perigosa para aqueles que não só operam diretamente o equipamento como também aqueles em volta, visto que a convecção irá aumentar de forma considerável a temperatura do ar em volta do forno, como também qualquer um que encostar-se à parede externa sofrerá queimaduras severas. Frente a tal fenômeno se faz necessário utilizar um sistema de isolamento térmico no equipamento, com o intuito de reduzir a níveis aceitáveis para os envolvidos na operação.

O isolamento térmico pode ser obtido com a adição de uma camada de materiais ou compósitos que possuem um baixo nível de transferência de calor, desse modo teremos um aumento na diferença de temperatura da parede interna (quente) para a parede externa (fria).

4.1. Forno a Arco Elétrico

O forno a arco elétrico é um tipo de forno industrial que utiliza uma corrente elétrica alternada para produzir calor. Em se tratando de tratamentos térmicos, os fornos a arco elétrico são a forma mais utilizada, pois não há produção de chamas durante a geração de calor. Essa chama seria um problema para o material que está sendo tratado, pois o contato direto da chama com o mesmo poderia gerar um resíduo de carbono proveniente da combustão que poderia alterar as propriedades físicas do material.

Uma concha de pedra pesada forma o corpo do forno e impede a contenção de calor em materiais fundidos. A fornalha da unidade é geralmente removível, de modo que as matérias-primas podem ser inseridas. Três eletrodos metálicos sobressaem a partir da abertura do forno, e cada eletrodo pode ser ajustado para controlar o percurso do arco elétrico. O metal acabado sai da fornalha através de uma abertura ao longo de um elevado lateral do aparelho, acima do nível do aço fundido. Outros modelos de forno de arco elétrico também são construídos sobre uma plataforma de inclinação, de modo que o material acabado pode ser facilmente despejado em moldes próximos (BRANCO, 2012).

Abaixo, na Figura 7, é mostrado os principais equipamentos de um forno elétrico a arco e a disposição de cada um deles no forno em pleno funcionamento.

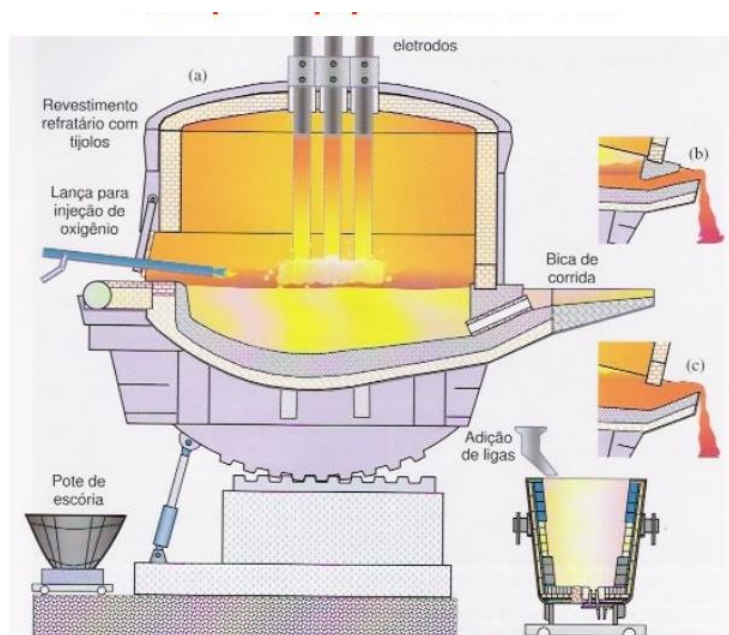


Figura 7: Principais equipamentos do forno elétrico a arco.
Fonte: Adaptado de Cardoso ([201-?]).

Quando em funcionamento, o forno elétrico a arco segue uma sequência de operações: primeiro temos a fase de carregamento, onde o material a ser fundido é colocado no forno. Depois temos a fusão, onde os eletrodos irão gerar uma corrente elétrica alternada que produzirá calor e por consequência o material presente no interior no forno passará da sua forma sólida cristalina para a forma

liquida. A terceira fase consiste no Refino, onde é atingido o nível de carbono necessário para a produção do aço, o teor de fosforo no aço líquida é reduzido abaixo da especificação, a temperatura e composição do aço é homogeneizada e aquece o mesmo ate a temperatura necessário para o vazamento. A quarta e quinta fase são respectivamente o vazamento do aço e da escória, que por diferença de densidade, escoam por lados opostos do forno. Esse processo pode ser visto em sequência na Figura 8.



Figura 8 :Sequência de operações de um forno elétrico a arco.

Fonte: Adaptado de Cardoso ([201-?]).

Um dos benefícios mais importantes para a utilização de um forno a arco elétrico é a sua capacidade de produção de aço utilizando somente sucatas de metal. Trabalhadores colocam a sucata dentro do forno, onde é fundida e usada para formar um novo aço. Esse recurso ajuda a manter os custos mais baixos de material, e também maximizam a reciclagem, reduzindo o consumo de energia. Estes fornos são também menores do que os altos-fornos tradicionais, e exigem um menor investimento inicial. Isto significa que os moinhos de aço podem ser construídos no local, conforme necessário, para ajudar a reduzir o custo de transporte e de tempo (BRANCO, 2012).

4.2. Forno Elétrico por Indução

Leme (2011), explica que “o funcionamento dos fornos por indução, baseia-se na indução eletromagnética. Faraday estudou este fenômeno e concluiu que num condutor elétrico submetido a um fluxo magnético variável, surge uma f.e.m (força eletro motriz) tanto maior quanto maior for a variação do fluxo”.

Leme (2011) continua dizendo que “Sendo muito usado para fusão de materiais condutores, formam-se nestes materiais correntes de Foucault (correntes induzidas em massas metálicas) que produzem grande elevação de temperatura. Se os materiais forem magnéticos, haverá também o fenômeno da histerese, que contribui para o aumento de temperatura.”.

A Figura 9 mostra as partes de um forno elétrico por indução.

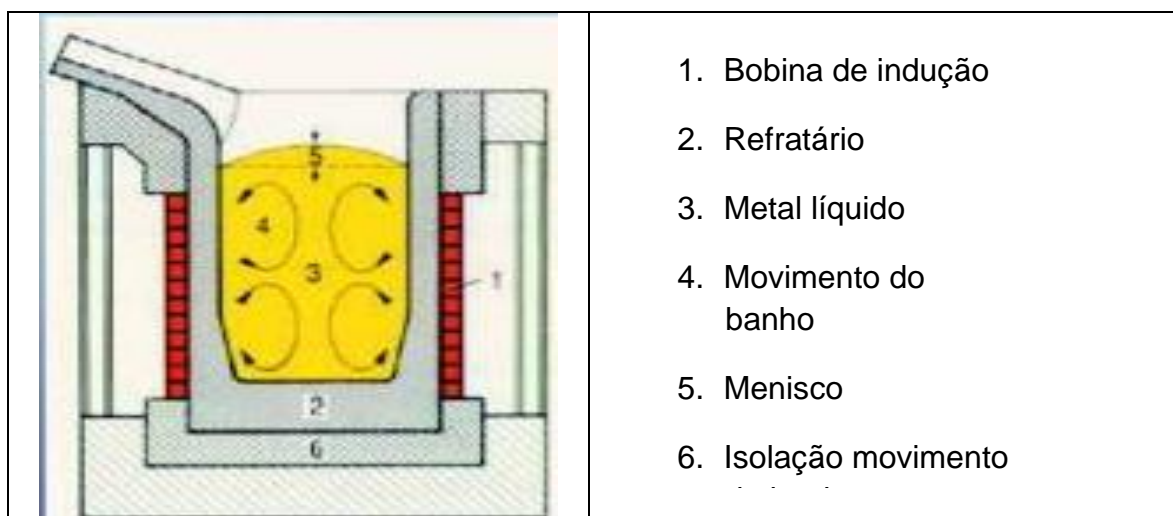


Figura 9: Partes de um forno elétrico por indução.

Fonte: Adaptado de Cardoso ([201-?]).

O processo de fusão do forno a indução se baseia no princípio de uma corrente elétrica alternada de alta intensidade, atravessando um condutor (bobina solenoide) e que gera um campo magnético alternado a sua volta, o qual induz correntes na carga metálica, aquecendo-a diretamente. Tem-se uma bobina solenoide em torno da carga metálica. Passa-se uma corrente alternada pela bobina. Criam-se fluxos magnéticos variáveis em forma de anéis elípticos passando interna e externamente à carga. Estes fluxos magnéticos induzem correntes elétricas que percorrem a carga metálica. A carga metálica oferece resistência à passagem da corrente elétrica que por efeito joule se aquece (CARDOSO, [201-?]).

5-TIPOS DE ISOLAMENTO TÉRMICO

O isolamento térmico consiste em criar uma camada de um material com baixa condutividade térmica com o intuito de impor dificuldades para que os meios básicos de transferência de calor possam agir. Existem vários tipos de materiais diferentes que podem ser usados com esse fim, sendo cada um mais indicado para funções específicas.

Segundo Kreith, Bohn (2014)

“Materiais de isolamento térmico devem representar baixa condutividade térmica. Na maioria dos casos isso é obtido pelo aprisionamento do ar ou algum outro gás dentro de pequenas cavidades existentes em uma superfície sólida, mas, por vezes, o mesmo efeito pode ser obtido com o preenchimento dos espaços vazios com pequenas partículas sólidas e aprisionamento do ar entre essas partículas, o que reduz o fluxo de calor.”

5.1. Fibras Cerâmicas

As fibras cerâmicas são materiais vítreos fibrosos, que possuem características refratárias e isolantes, que são obtidas através da fusão de óxidos, seguidos do estiramento das fibras através de um processo de super-resfriamento.

Possuem como características estabilidade térmica e química, excelente resistência à corrosão, excelente resistência a choque térmico, baixa densidade aparente, baixo coeficiente de dilatação térmica, baixa condutividade térmica e elevada resistência à oxidação e redução. Devido a essas características, as fibras cerâmicas são muito utilizadas como isolante térmico, principalmente por possuírem baixa condutividade térmica e baixo coeficiente de dilatação térmica.

A tabela 1 mostra a temperatura de uso e de pico da fibra cerâmica com diferentes acabamentos e a temperatura de amolecimento da fibra

Tabela 1: Características de materiais de fibra cerâmica.

Meterial	Acabemento	Temperatura de uso	Temperatura de pico	Ponto de amolecimento da fibra
Fibra cerâmica	Aluminizada	130 °C	150 °C	1200 °C
	Siliconizada	220 °C	250 °C	1200 °C
	PTFE	250 °C	280 °C	1200 °C
	Natural FG	600 °C	700 °C	1200 °C
	Natural SS	700 °C	800 °C	1200 °C
	Grafitada	800 °C	900 °C	1200 °C

Fonte: Adaptado de Fibertex ([201-?]).

5. 2. Lã de rocha

A Lã de rocha é fabricada a partir de rochas basálticas e outros minerais. São fabricados a partir do aquecimento das rochas a cerca de 1500 °C que são transformados em filamentos e aglomerados com resina orgânica, e que dependendo do grau de compactação podem ter diferentes características físicas.

Possui como características ser resistente ao fogo, ter uma boa absorção acústica e apresenta incumbustibilidade, além de possuir um fácil manuseio, uma boa resiliência e boa resistência a vibrações baixa condutividade térmica garantindo o seu uso como isolante térmico em diversos meios. A lã de rocha, porém, não resiste a temperaturas muito altas, tendo um limite de cerca de 600 °C, não sendo utilizadas em fornos que podem facilmente ultrapassar tal temperatura. A Figura 10 mostra a incumbustibilidade da lã de rocha e sua baixa resistência térmica.

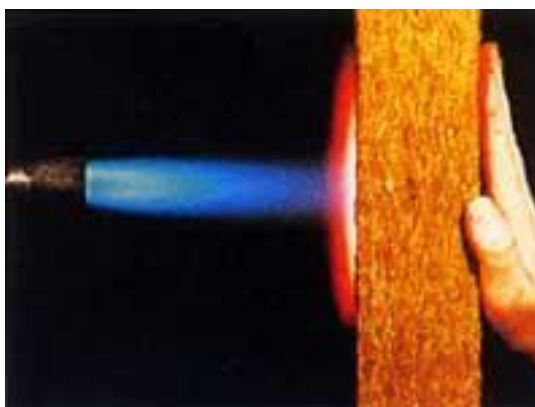


Figura 10: Demonstração da incumbustibilidade da lã de rocha.

Fonte: Adaptado de Metálica ([201-?]).

5.3. Lã de vidro

Devido as suas características físicas e químicas, a lã de vidro é um dos isolantes térmicos e também acústicos mais utilizados de forma geral. É fabricada em alto forno a partir de sílica e sódio, aglomerados por resinas sintéticas.

Possui como características ser leve e fácil de manusear, ser incombustível, não ataca as superfícies com a qual está em contato, não favorece a proliferação de fungos e bactérias, não se deteriora, não tem o desempenho comprometido quando exposto a maresia e nem perde sua capacidade isolante com o tempo. A Figura 11 mostra a lã de vidro e a tabela em sequencia mostra e resistência térmica da lã de vidro de acordo com a sua espessura

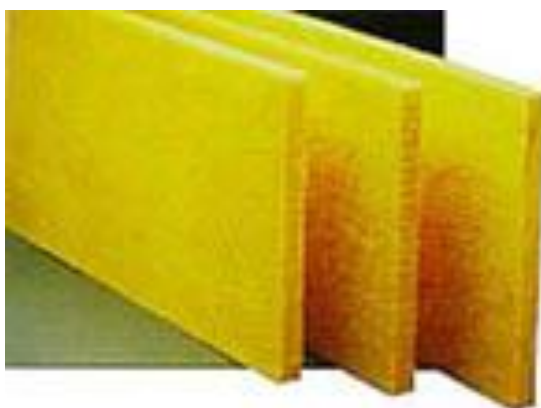


Figura 11: Lã de vidro.

Fonte: Adaptado de Metálica ([201-?]).

A tabela 2 demonstra a resistência térmica que a lã de vidro possui. Relacionando a sua densidade, espessura, condutividade térmica e resistência térmica.

Tabela 2: Resistência térmica da lã de vidro

Resistência Térmica de Lã de vidro				
Material	Densidade KG/M3	Espessura	Condutividade Térmica – K (W/ m°C) Temp. Méd. = 24°C	Resistência Térmica – R (m2 °C/W)
Lã de vidro	12	50 mm	0,045	1,11
	20	50 mm	0,038	1,32
	35	50 mm	0,034	1,47
	12	75 mm	0,045	1,67

Fonte: Adaptado de Metálica ([201-?]).

5.4. Silicato de cálcio

O silicato de cálcio é feito a partir da cal virgem e diatomita, reforçadas por fibras de celulose e de vidro. É amplamente utilizado nas refinarias de petróleo, petroquímicas e termoelétricas e sua utilização é feita em diversos formatos como placas utilizadas em superfícies planas e em caldeiras, tanques e trocadores de calor, tubos bipartidos que são utilizados como isolamento térmico de tubulações aquecidas até 650° C e sujeitos o grande esforço mecânico, e tubos em segmento, utilizados em tubulações de grande diâmetro.

Na tabela 3 podemos ver a temperatura de operação seguida de sua condutividade térmica.

Tabela 3: Temperatura de operação do silicato de cálcio.

Temperatura de operação (°C)								
50	100	150	200	300	400	500	600	650
0,048	0,051	0,054	0,57	0,62	0,068	0,073	0,078	0,080

Fonte: Adaptado de Neotérmica ([201-?]).

O silicato de cálcio tem como características boas propriedades mecânicas, bom desempenho térmico, é isento de amianto, possui inercia

química, é resistente ao fogo e possui fácil instalação. A Figura abaixo mostra o silicato de cálcio em formato de segmentos.



Figura 12: silicato de cálcio em formato de segmentos.
Fonte: Adaptado de Isar ([201-?]).

O silicato de cálcio pode ser utilizado também para fazer cimento isolante, que pode ser utilizado em rejuntamento de tubos placas e segmentos, colagem e rejuntamentos de curvas e cotovelos, isolamento de pequenas conexões e válvulas, reparos em superfícies isoladas e acabamento de superfícies irregulares.

A tabela 4 mostra as especificações do cimento isolante.

Tabela 4: Especificações do cimento isolante.

Especificações	
Temperatura máxima de operação	650 °C
Capacidade de cobertura após a secagem quando aplicados 100 Kg de cimento seco, com 1 cm de espessura	20m ²
Proporção água/cimento CSC (l:Kg)	2:1
Variação volumétrica máxima	16%
Resistência à compressão com 5% de deformação	6,6Kg/cm ³
Embalagem: sacos de papel kraft	20 Kg

Fonte: Adaptado de Neotérmica ([201-?]).

PARTE II – ARTIGO CIENTÍFICO

PARTE III - REFERÊNCIAS

BRANCO, Renata. **Como funciona um forno a arco elétrico**. Disponível em: <<http://www.manutencaoesuprimentos.com.br/conteudo/7327-como-funciona-um-forno-a-arco-eletrico>> 2012. Acesso em: 17 set. 2017.

CARDOSO, Alex. **Fornos elétricos Industriais**. [201-?] Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAf13sAC/fornos-eletricos-industriais>> Acesso em: 17 set. 2017.

ÇENGEL, Yunus A.; GHAJAR, Afshin J. **Transferência de Calor e Massa**. 4^o edição. Amgh Editora, 2012.

FIBERTEX. **Revestimento de Fibra Cerâmica – Isolamento Térmico**. [201-?] Disponível em: <<http://www.fibertex.com.br/produto/revestimento-de-fibra-ceramica-para-isolamento-termico>> Acesso em: 21 set. 2017.

INCROPERA F. *et al.* **Fundamentos de Transferência de Calor e de Massa**. 7^o edição. Rio de Janeiro: LTC, 2014.

ISAR. **Silicato de Cálcio**. [201-?] Disponível em: <<http://www.isar.com.br/produtos/isolamento-termico/silicato-de-calcio/>> Acesso em 24 out. 2017.

KREITH F.; BOHN M. S. **Princípios de Transferência de Calor**. 1^o edição. São Paulo: Cengage Learning, 2014.

LEME, Rodrigo Moraes. **Características dos Fornos a Indução com Conversores IGBTs**. Trabalho de Conclusão de Curso Universidade São Francisco. São Paulo: USF, 2011.

NEOTÉRMICA. **Silicato de Cálcio e Cimento Isolante**. [201-?] Disponível em: <<http://www.neotermica.com.br/html/isolante-termico/silicato-calcio-cimento-isolante-sp.html>>, Acesso em 24 out. 2017.

PORTAL MET@LICA. **Lã de Rocha: Isolamento Térmico e Acústico.** [201-?]

Disponível em: <<http://wwwo.metallica.com.br/la-de-rocha-isolamento-termico-e-acustico>> Acesso em 21 set. 2017.