Qualificação
© SENAI - PR, 2000

Trabalho elaborado pela Diretoria de Educação e Tecnologia
do Departamento Regional do SENAI - PR , através do
LABTEC - Laboratório de Tecnologia Educacional.

Coordenação geral	Marco Antonio Areias Secco
Elaboração técnica	Edson Roberto F. Bueno
	Francisco Ollé

Equipe de editoração

Coordenação	Lucio Suckow
Diagramação	Maria Angela Moscato
Revisão técnica	Francisco Ollé
Capa	Ricardo Mueller de Oliveira

Referência Bibliográfica.
NIT - Núcleo de Informação Tecnológica
CFP de Curitiba - SENAI — DR/PR

S474a SENAI - Departamento Regional do Paraná
Utilidades e instrumentação básica
DET, 2000.
141p.

CDU - 681.2

Direitos reservados ao
SENAI — Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial
Departamento Regional do Paraná
Avenida Cândido de Abreu, 200 - Centro Cívico
Telefone: (41) 350-7000
Telefax: (41) 350-7101
E-mail: senaidr@ctb.pr.senai.br
CEP 80530-902 — Curitiba - PR

UTILIDADES E INSTRUMENTAÇÃO BÁSICA

Sistemas métricos, unid. fundamentais e derivadas 7
Medidas de área, capacidade e volumes 13
Força, pressão, energia 19
Massa específica, peso específico e densidade 33
Viscosidade, viscosímetros 39
Mudanças de estado físico 45
Tipos de bombas, perda de carga 87
Água industrial 99
Ar comprimido, medidores de pressão (manômetros) 115
Características da água e do vapor 123
Transmissão de calor 131
Bibliografia 141

Sistemas Métricos, Unid. Fundamentais e Derivadas

SISTEMAS MÉTRICOS, UNIDADES FUNDAMENTAIS E DERIVADAS

Sistemas métricos

Desde a época dos primeiros cientistas experimentais, vários sistemas de medidas foram utilizados, sendo no entanto o “sistema métrico” o que melhor se adapta à medidas modernas.

Num sistema de medidas, as unidades são baseadas em certas grandezas físicas fundamentais, derivando-se destas todas as outras unidades.

Em Física, ordinariamente as grandezas consideradas como fundamentais são o comprimento, a massa e o tempo. Usualmente as grandezas consideradas derivadas são a velocidade, a aceleração e o volume.

Uma maneira de estabelecer as unidades fundamentais é atribuir valores arbitrários as certas quantidades físicas e derivar desses valores outras unidades, considerando, por exemplo, certa quantidade de matéria como unidade de massa. Toda a unidade estabelecida desse modo é dita unidade padrão.

Todas as quantidades físicas das Mecânica podem ser expressas em função das seguintes grandezas físicas fundamentais: comprimento, massa e tempo. Com o objetivo de padronizar os nomes e símbolos das unidades físicas foram organizadas comissões internacionais e em 1960 foi adotado o Sistema Internacional de Unidades (SI), também chamado sistema MKS pois três de suas unidades fundamentais são o metro (m), o quilograma (kg) e o segundo (s).

Grandeza física

São propriedades dos corpos. É tudo aquilo que se consegue medir.

Unidade de Comprimento

No SI a unidade fundamental do comprimento é o metro (m) assim definido: “é o comprimento igual a 1 650 763, 73 comprimentos de onda, no vácuo, da radiação laranja avermelhada do isótopo criptônio-86”.

1 m = 1 650 763,73 (Kr^{86})

O metro admite múltiplos como o quilômetro (Km) e submúltiplos como o decímetro (dm), o centímetro (cm) e o milímetro (mm).

1 km = 10^3 m

1 dm = 10^{-1} m

1 cm = 10^{-2} m

1 mm = 10^{-3} m

Unidade de massa

No SI a unidade de massa é o quilograma (kg) assim definido: “ é a massa de um cilindro de platina e irídio (quilograma padrão) guardado no instituto de Pesos e Medidas”.

Nota: A massa de 1 kg é muito próxima da de 1000 cm^3 de água pura à temperatura de 4ºC.

O quilograma admite múltiplos como a tonelada (t) e submúltiplos como a grama (g).

1 t = 10^3 kg

1 g = 10^{-3} kg

Unidade de tempo

No SI a unidade de tempo é o segundo (s) assim definido : “é a fração correspondente a 1/ 31.556.925,9747 do ano trópico de 1 de janeiro de 1900” ou: “é a duração de 9.192.631.770 períodos da radiação correspondente à transição entre dois níveis do átomo de Césio 133”.

O segundo admite múltiplos como o minuto (min) e a hora (h).

1 min = 60 s

1 h = 60 min = 3600 s

Erros em medidas

Ao efetuarmos a medida de uma grandeza, o valor encontrado não coincide com o valor real da mesma, devido a uma série de erros, taís como impressão do instrumento utilizado, paralaxe, etc.

O valor mais provável da medida da grandeza é obtido quando se efetuam várias medições da mesma, determinando-se sua aritmética. A essa medida chamados valor médio.

A diferença, em valor absoluto, do valor médio da medida e o valor de cada medida, é chamada desvio. A média aritmética dos desvios encontrados, chamamos desvio médio e representa a imprecisão da medida efetuada. Dessa forma, chamada V_m o valor médio e d m o desvio médio, exprimimos o valor real da medida por:

$$\boxed{V_m \pm d_m}$$

Por exemplo: deseja-se conhecer o comprimento de uma haste. Efetuando-se para isso, cinco medidas obtêm-se os seguintes valores:

V1 = 15,00 cm

V2 = 15,08 cm

V3 = 15,07 cm

V4 = 15,00 cm

V5 = 14,95 cm

Área das figuras planas

S = área
s = semi-perímetro

Superfície e volume dos sólidos

S = área total

Sl = área lateral

V = volume

SOLUCIONANDO PROBLEMAS

Procure avaliar o que você aprendeu até agora, fazendo os exercícios, a seguir.

1. Transforme:

A) 4,31 m para cm: _____

B) 216, 34 mm para m: _____

C) 800.000 km para m: _____

D) 21,36 L para cm^3: _____

E) 2000 mm^3 para l: _____

F) 400 g para kg: _____

G) 24 h para s: _____

H) 43.200 s para h: _____

I) 4 m^3 para ml: _____

2. Responda:

A) Qual o volume de uma caixa cuja as dimensões são 1,2 x 1,2 x 1,4 m?

_____

_____

B) Quanto de líquido é necessário para encher uma proveta de diâmetro interno 10 cm e altura 150 cm?

_____

_____

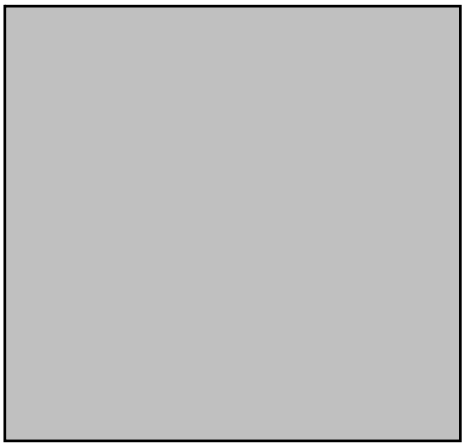
C) Quantas caixas de 10 cm^3 podem ser colocadas numa outra caixa de 1m^3?

_____

_____

Medida de uma força

Considere a figura:



Se uma força $\vec{F}$ atuando sobre a mola produz uma deformação x e outra força $\vec{F'}$, atuando sobre duas molas idênticas à primeira, produzir a mesma deformação, dizemos que a intensidade de $\vec{F'}$ é o dobro da intensidade de F' e escrevemos:

$$\boxed{F' = 2\,F}$$

Desse modo, medimos sempre uma força comparando-a com outra arbitrariamente tomada como unidade.

Nota: os aparelhos destinados à medição das forças são chamados dinamômetros.

Unidades de força

No SI a unidade de força é o Newton (N) assim definido: *"é a força que atuando sobre a massa de 1 g lhe imprime uma aceleração de 1 m/s² na direção da força"*.

Vimos que F = ma

Se:

m = 1 kg

a = 1 m/s², então:

$$F = 1kg \cdot 1\ m/s^2 = 1N$$

No sistema (CGS) a unidade de força é o dine assim definido: "é a força que atuando sobre a massa de 1g lhe imprime uma aceleração de 1 cm/s² na direção da força", isto é:

$$1\ dine = 1g \cdot 1\ cm/s^2$$

Nota: no sistema (CGS) temos:

C = comprimentos são expressos

G = massas: são expressas em grama

S = tempos: são expressos em segundos

No sistema gravitacional (M Kgf S) a unidade de força é o quilograma força (Kgf) assim definido: "é o peso de um corpo de um quilograma de massa".

Nota: no sistema gravitacional a massa é expressa em (u.t.m.) unidade técnica de massa.

$$1\ u.t.m = 9{,}81\ kg$$

Relações entre o Newton, o dine e o quilograma força.

$$1\ N = 10^5\ dinas$$

$$1\ kgf = 9{,}81\ N$$

Princípio de proporcionalidade da ação das forças ou 2º Lei de Newton do movimento

"Se a resultante de um sistema de forças que atua num ponto material é diferente de zero, o ponto material adquire uma aceleração proporcional ao módulo da resultante, e na mesma direção orientada".

Seja uma partícula (ponto material) de massa m sob a ação de uma força $\vec{F}_1$, que produz uma aceleração $\vec{a}_1$.

Idem para as forças $\vec{F}_2$, $\vec{F}_3$, etc.

Portanto: $F_1/a_1 = F_2/a_2 = F_3/a_3 = ... = m$ (constante)

A constante m, característica do ponto material considerado, é chamada massa inercial do corpo.

Genericamente a 2º Lei de Newton é expressa por:

$$\boxed{F = m\,a}$$

A representação gráfica da intensidade da força aplicada à partícula em função da aceleração adquirida é uma reta que passa pela origem.

Peso de um corpo

Seja um corpo de massa m próximo da superfície terrestre, como ilustra a figura:

Vimos que a força gravitacional é o peso do corpo. Portanto substituindo na 2ª Lei de Newton F = ma, $\vec{a}$ por $\vec{g}$ e $\vec{F}$ por $\vec{P}$ temos:

$$\boxed{\vec{P} = m\,\vec{g}}$$

Princípio da Independência da ação das forças

Seja um ponto material A colocado, sucessivamente, em presença d outros pontos materiais B,C,D.....Sejam $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$, $\vec{F}_3$, ... as forças que atuam sobre A em virtude da presença de cada uma das demais partículas.

As acelerações adquiridas por P, se colocado em presença apenas de cada uma das demais partículas, seriam:

$$\vec{a}_1 = \vec{F}_1/m \; ; \; a_2 = \vec{F}_2/m; \; a_3 = \vec{F}_3/m \qquad (1)$$

Vamos admitir que estando P sob à ação simultânea das forças F_1, F_2, F_3 ..., a sua aceleração será a soma das acelerações a_1, a_2, a_3..., isto é:

$$\vec{a} = \vec{a}_1 + \vec{a}_2 + \vec{a}_3 + \ldots \qquad (2)$$

Massa e peso

A massa é uma propriedade inerente a todos os corpos e pode ser compreendida como a “quantidade de matéria” contida num determinado corpo. A massa de um corpo (na Mecânica Clássica) é uma constante, isto é, não varia com a temperatura, com a pressão ou a sua localização no espaço. Um corpo de massa igual a 1 kg terá sempre essa massa em quaisquer condições de pressão e temperatura, seja em São Paulo, em Santos, ou em qualquer lugar da Terra, de Vênus ou de Marte.

Outra importante propriedade da matéria que devemos conhecer é a sua “resistência a forças”. Sabemos que toda a criança aprende a puxar ou empurrar os seus brinquedos. Tal procedimento evidencia a noção de “força”.

Por enquanto entendemos “força” como um “puxão” ou “um empurrão”.

Muitas vezes acreditamos que você tenha confundido peso com massa, e no entanto, são duas coisas diferentes.

Quando você abandona uma pedra a uma certa altura do solo, ela cai, isto é, ela é atraída pela Terra. A “força” com que a Terra “puxa” a pedra é o que entendemos por peso da pedra. Portanto concluí-se que peso é uma “força”. Com essa “força” é variável de local para local da Terra, o peso da pedra também sofrerá variação se repetirmos a experiência em locais diferentes. O mesmo ocorrerá se levarmos a pedra para Vênus ou Marte.

Em cada um desses planetas, na dependência do local, a pedra será atraída por forças diferentes, possuindo portanto pesos diferentes.

Condições de matéria

Algumas das propriedades da matéria variam com as condições do ambiente. Esse ambiente é conhecido como as “condições de matéria”. Nisto está incluída a pressão, a temperatura, a concentração (soluções), etc.

Em virtude do que afirmamos acima, cada substância tem um ponto de fusão (funde-se) a uma determinada pressão e temperatura, ocorrendo o mesmo para o seu ponto de ebulição.

No caso da água, ela “passa a gelo” a uma determinada pressão e temperatura e também “passa a vapor” em determinada condições de pressão e temperatura. Portanto nos dois casos as propriedades físicas da água foram as alteradas.

Conceito de energia

O que será que os físicos querem dizer quando falam em energia?

Podemos afirmar que na maioria das vezes pensam em corpos móveis.

O ar em movimento, ou um vento muito forte, pode levantar objetos pesados e carregá-los a grandes distâncias do ponto inicial onde se encontravam.

Uma corrente de água em movimento pode carregar grandes quantidades de terra, ou ainda fazer girar a roda ou a turbina de um gerador elétrico. Estas “capacidades do ar e da água realizarem tarefas como as acima mencionadas são exemplos do que os físicos entendem por energia”.

Apesar da energia não poder ser definida com facilidade, muitas “formas” de energia são percebidas pelos nossos órgãos sensoriais.

Assim, o calor, que é uma forma de energia, pode ser detectado pelo tato, que nos dá uma sensação de quente e frio.

Outras formas de energia são o som e a luz. Os nossos ouvidos detectam a energia sonora e os nossos olhos, a luminosa.

O estudo da energia é importantíssimo na Física, e, mais importante ainda é acompanhar e medir a passagem de uma forma de energia para outra, o que freqüentemente ocorre.

Falamos em medir porque a energia só pode ser medida quando em transformação. Como exemplos podemos citar: uma lâmpada transforma energia elétrica em energia térmica e luminosa. Um aparelho de rádio, energia elétrica em sonora, etc.

Relação entre matéria e energia

Discutimos até aqui matéria e energia como “entidades” completamente distintas no universo. Entretanto estão intimamente relacionadas. Quem desenvolveu essas relações entre matéria e energia foi “Albert Einstein”, um dos maiores físicos teóricos de nossos tempos.

Essa teoria foi desenvolvida em 1905 e recebeu o nome de “Teoria Especial da Relatividade”.

Einstein afirmava que a toda matéria estava associada uma quantidade de energia e a idéia de energia não possui sentido algum se não for associada a um determinado tipo de matéria.

A partir de condições teóricas Einstein apresentou a famosa fórmula que relacionava matéria e energia:

$$E = m \cdot c^2$$

Onde:

E = energia

m = massa

c = velocidade da luz no vácuo, que é aproximadamente 300.000 Km/s

Pressão

Consideramos uma força $\vec{F}$ aplicada perpendicularmente a uma superfície com área A. Definimos a pressão (p) aplicada pela força sobre a área pela Segunda relação.

$$p = \frac{|\vec{F}|}{A}$$

No SI, a unidade de pressão é o pascal (Pa) que corresponde a Nm^2. A seguir apresenta outras unidades de pressão e suas relações com a unidade do SI:

1 dyn/cm² (bária) = 0,1 Pa
1 kgf/cm² = 1 Pa
1 atm = $1{,}1013 \times 10^5$ Pa
1 lb/pol² = $6{,}9 \times 10^3$ Pa

O conceito de pressão nos permite entender muitos dos fenômenos físicos que nos rodeiam. Por exemplo, para cortar um pedaço de pão, utilizamos o lado afiado da faca (menor área), pois, para uma mesma força, quanto menor a área, maior a pressão produzida.

Exemplo

Compare a pressão exercida, sobre o solo, por uma pessoa com massa de 80 kg, apoiada na ponta de um único pé, com a pressão produzida por um elefante, de 2000 kg massa, apoiado nas quatro patas. Considere de 10 cm² a área de contato da ponta do pé da pessoa, e de 400 cm² a área de contato de cada pata do elefante. Considere também g = 10m/s².

Resolução

A pressão exercida pela pessoa no solo é dada pelo seu peso, dividido pela área da ponta do pé:

$P_{pessoa} = mg/A = 80.10/\ 10.10^{-4} = 8.10^5\ N/m^2$

A pressão exercida pelo elefante é dado por:

$P_{elefante} = mg/4A = 2000.10/\ 4.100.10^{-4} = 1{,}25.10^5\ N/m^2$

Comparando as duas pressões, temos que a pressão exercida pela pessoa é 6,4 vezes a pressão exercida pelo elefante.

SOLUCIONANDO PROBLEMAS

1. Aplica-se uma força de intensidade 10 N perpendicularmente sobre uma superfície quadrada de área 0,5 m². qual deveria ser a pressão exercida sobre a superfície?

(A) 5 N.m²
(B) 5 N/m²
(C) 20 N/m²
(D) 10 N/m²
(E) n.d.a.

2. Um tijolo de peso 32 N tem dimensões 16 cm x 8,0 cm x 4,0 cm. Quando apoiado em sua face de menor área, a pressão que ele exerce na superfície de 16 cm apoio é, em N/cm².

(A) 4,0
(B) 2,5
(C) 2,0
(D) 1,0
(E) 0,50

3. Uma caixa Uma caixa de 500 N tem faces retangulares e suas arestas medem 1,0 m, 2,0 m e 3,0 m. qual a pressão que a caixa exerce quando apoiada com sua face menor sobre uma superfície horizontal?

(A) 100 N/m²
(B) 125 N/m²
(C) 167 N/m²
(D) 250 N/m²
(E) 500 N/m²

SOLUCIONANDO PROBLEMAS

4. O salto de um sapato masculino em área de 64 cm². Supondo-se que a pessoa que calce tenha peso igual a 512 N e que esse peso esteja distribuído apenas no salto, então a pressão média então a pressão média exercida no piso vale:

(A) 120 KN/m²
(B) 80 KN/m²
(C) 60 KN/m²
(D) 40 KN/m²
(E) 20 KN/m²

5. Uma pessoa com peso de 600 N e que calça um par de sapatos que cobre uma área de 0,05 m² não consegue atravessar uma região nevada sem se afundar, porque essa região não suporta uma pressão superior a 10.000 Nm². Responda:

a) Qual a pressão exercida por essa pessoa sobre a neve?

_____

_____

b) Qual deve ser a área mínima de cada pé de um esqui que essa pessoa deveria usar para não afundar?

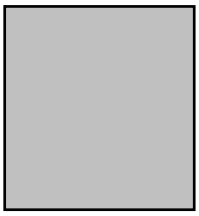
_____

_____

SOLUCIONANDO PROBLEMAS

6. A caixa da figura abaixo tem peso 400 N e dimensões a = 10 cm, b = 20 cm e c = 5 cm e apoia-se em uma superfície plana horizontal. Qual a pressão em N/cm², que a caixa exerce no apoio, através de sua base, em cada uma das situações propostas?

a)

b) 

c)

Fatores de conversão de unidades de pressão	
1atm = 1,0333kgf/cm²	1bar = 0,9867atm
1atm = 1,0134bar	1bar = 1,0196kgf/cm²
1atm = 14,697 PSI (1bf/po l²)	1bar = 14,503 PSI (1bf/po l²)
1atm = 760mnhg	1bar = 750mnHg
1kgf/cm² = 0,9677 atm	1 PSI = 0,0680atm
1kgf/cm² = 0,9807bar	1 PSI = 0,0703kgf/cm²
1kgf/cm² = 14,223 PSI (1bf/po l²)	1 PSI = 0,0689bar
1kgf/cm² = 736mnHg	1 PSI = 51,719mnHg

Hidrostática

Chama-se “Hidrostática” a parte da Mecânica que estuda os líquidos em repouso. Limitaremos o nosso estudo apenas a “líquidos perfeitos” (ou ideais) isto é, àqueles que apresentam as seguintes propriedades:

a) são incompressíveis;
b) não apresentam atrito entre as moléculas;
c) a pressão num ponto independe da direção;
d) não há atração entre as moléculas.

Consideremos um líquido ideal no interior de um recipiente e seja V o volume de uma porção qualquer, como mostra a figura: Sobre todo elemento de superfície ΔS que contorna V, atuam forças ΔF, exercidas pelo líquido exterior ao volume V. Nessas condições, para qualquer ΔS, ΔF é sempre normal a esse elemento de superfície. Pelo princípio da ação e reação, a porção de volume V reage a cada força ΔF com uma força $-\Delta F$, fato este que permite às suas moléculas deslizarem umas sobre as outras sem produzir trabalho.

$$\Delta\sigma = \Delta F \,.\, \Delta S \,.\, \cos 90°$$

Densidade absoluta ou massa específica

Sabemos que corpos de mesmo volume, mas constituídos de substâncias diferentes, não apresentam sempre a mesma massa (ou o mesmo peso). Para exprimir com precisão essas diferenças, temos necessidade de uma nova grandeza chamada densidade absoluta ou massa específica, a qual representa a massa de diferentes substâncias em unidade de volume. Dado um corpo de massa m e volume V, sua densidade é expressa pela razão entre a sua massa e o seu volume, a saber:

$$\boxed{\rho = \frac{m}{V}}$$

Unidades de densidade

No SI a densidade é expressa em kg/m³.

No sistema (CGS) a densidade é expressa em g/cm³.

Notas:

a) a densidade da água pura (a 4ºC) é, no SI, 1000 kg/m³ ou no sistema (CGS), 1 g/cm³ ou ainda 1 kg/l;

b) a densidade do ar, nas condições normais de temperatura e pressão (CNTP) é, no SI, 1,293 kg/m³.

Densidade relativa

Chama-se densidade relativa de uma substância ao número ρ_r que se obtém quando se divide a massa específica dessa substância pela massa específica de outra substância tomada para comparação.

Por exemplo: $\rho_{Hg} = 13{,}6$ g/cm³ e $\rho_{água} = 1$ g/cm³

$$\rho_r = \frac{\rho_{Hg}}{\rho_{água}} = 13{,}6 \quad \Rightarrow \quad \boxed{\rho_{Hg} = 13{,}6\ \rho_{água}}$$

"Isto significa que o mercúrio é 13,6 vezes mais denso do que a água".

Densidades de alguns sólidos, líquidos e gases (em g/cm³)

Peso específico

Seja um corpo de peso P e volume V como ilustra a figura:

Chama-se peso específico do corpo ao quociente entre o seu peso P e o seu volume V, isto é:

$$\gamma = \frac{P}{V}$$

Como P = mg, temos:

$$\gamma = \frac{mg}{V}$$

$$\gamma = \frac{m}{} . g = \rho g$$

SOLUCIONANDO PROBLEMAS

1. Que volume de platina corresponde à massa de 43 kg ? Que volume ocuparia uma massa idêntica de chumbo?

Solução:

$$\rho_{Pt} = \frac{m}{V_{Pt}} \Rightarrow 21{,}20 = \frac{43000}{V_{Pt}}$$

$$\boxed{V_{Pt} = \frac{43000}{21{,}20} \cong 2028{,}30 \text{ cm}^3}$$

$$\rho_{Pt} = \frac{m}{V_{Pt}} \Rightarrow 11{,}20 = \frac{43000}{V_{Pt}}$$

$$\boxed{V_{Pt} = \frac{43000}{11{,}20} \cong 3839{,}29 \text{ cm}^3}$$

2. Um bloco de gelo de 20 kg que volume ocupa? Depois de fundido, que volume ocupará a água dele resultante ? Dados $\rho_{gelo} = 0{,}92$ g/cm³, $\rho_{água} = 1$ g/cm³.

Solucionando Problemas

3. Os raios de duas esferas medem 2 cm e 4 cm respectivamente e suas massas são respectivamente 200 g e 300 g. Determine a relação entre suas massas específicas.

4. Um tubo cilíndrico de 1 m de comprimento e 1 m de comprimento e 1 cm de diâmetro interno tem massa igual a 100 g vazio e igual a 210 g quando cheio com líquido. Determine a massa específica do líquido.

Viscosidade

A viscosidade é a medida de resistência ao fluxo das moléculas de um líquido quando elas deslizam umas sobre as outras. É uma espécie de atrito. Um exemplo de líquido com alta viscosidade é o mel ou melado. A água é um líquido de baixa viscosidade.

Efeito da temperatura sobre a viscosidade

Uma garrafa de melado tirado da geladeira apresenta uma alta resistência ao fluxo. Tentar passar esse líquido por um funil constituí-se numa operação demorada.

Aquecendo-se o melado em uma panela, faz-se com que ele escoe perfeitamente pelo funil. O aquecimento das moléculas do melado faz com que elas deslizem umas às outras com maior facilidade. Conforme se aumenta a temperatura de um líquido, a sua viscosidade diminui.

SSU – Segundo Saybolt Universal

Uma das medidas da viscosidade dos fluídos é o SSU. O professor Saybolt aqueceu um líquido com volume pré determinado a uma dada temperatura, e faz o líquido passar por uma abertura de tamanho também especificado. Ele cronometrou o fluxo (em segundos), até que o líquido enchesse um recipiente com a capacidade de 60 milímetros. O resultado foi a medição da viscosidade em SSU.

Viscosidade gera calor

Um líquido de alta viscosidade, ou seja, de 500 SSU, apresentando maior resistência ao fluxo, gera mais calor no sistema do que um líquido de baixa viscosidade, digamos, de 100 SSU.

Em muitas aplicações industriais, a viscosidade do óleo deve ser de 150 SSU a 38°C.

A viscosidade é determinada em aparelhos denominados viscosímetros. Existem diversos tipos desses aparelhos sendo que cada qual tem unidade própria, o que implica na existência de diferentes escalas de viscosidade. Os viscosímetros mais usados são os seguintes:

- Saybolt (América do Norte)
- Redwood (Inglaterra e Reino Unido)
- Engler (Europa Continental)
- Cinemático

Os três primeiros têm construção semelhante. Compõe-se de um dispositivo, para o óleo com controle de temperatura. Na parte inferior do depósito há um orifício calibrado para o escoamento do óleo. A diferença entre eles reside no diâmetro do orifício de escoamento, temperatura do óleo em teste e volume tomado como referência. O viscosímetro cinemático constitui-se de um tubo capilar de vidro que regula o escoamento do fluído. O tempo gasto para o fluído passar por dois traços de referência e a constante K do diâmetro do tubo determinam a viscosidade do fluído. A unidade é o centistoke (cs). Por ser um aparelho simples e que oferece maior rapidez e precisão, seu uso tende a universalizar-se.

Tabela comparativa de viscosidade à mesma temperatura.

MUDANÇAS DE ESTADO FÍSICO

Introdução

As substâncias podem apresentar-se em três estados de agregação: sólido, líquido e gasoso.

Os sólidos são formados por partículas (moléculas, átomos ou íons) interligadas por grandes forças de atração (coesão), permanecendo, portanto, muito próximas entre si. Embora tais partículas permaneçam em posições (você pode compara-las com vários corpos interligados por molas) e, em geral, estão geometricamente bem ordenadas, constituindo a chamada estrutura cristalina. Exemplos:

No açúcar comum (sacarose), as partículas que formam a rede cristalina são as moléculas.

Os líquidos, em condições ambientes, são também formados, geralmente, por moléculas que se movem com facilidade umas em relações às outras, permitindo que o líquido ocupe a forma do recipiente que os contenha.

As substâncias no estado gasoso são igualmente formadas por moléculas (H_2, O_2, N_2, ...), em geral. Estas moléculas movem-se muito mais livre e desordenadamente que as moléculas dos líquidos, permitindo, pois, que as substâncias gasosas ocupem toda a extensão do recipiente que as contenha.

Se aquecermos um pedaço de gelo, ele se transforma em líquido que, por sua vez, pode ser transformado em vapor. Retirando-se gradativamente o calor, podemos obter o líquido e o gelo novamente.

Através deste exemplo, não é difícil verificar que a passagem sólido –> líquido –> gasoso se processa com absorção de calor pela substância, enquanto que a passagem gasoso –> líquido –> sólido se processa com libertação de calor.

As mudanças de um estado para outro recebem denominações conforme o esquema:

Observação:

A transição vapor –> líquido denomina-se também condensação.

A transição vapor –> sólido denomina-se também cristalização.

Fusão e solidificação

O que acontece a um pedaço de gelo quando ele recebe calor? Se o gelo estiver abaixo de 0ºC e à pressão normal (1 atmosfera), observa-se o seguinte:

1º) A temperatura do gelo sobe até 0°C.
2º) A 0°C o gelo começa a fundir (derreter)
3º) Durante a fusão, a temperatura mantêm-se constante em 0°C.
4º) Após a fusão, a temperatura da água começa a subir.

Graficamente, teremos o seguinte:

SOLUCIONANDO PROBLEMAS

Analisando o gráfico da página anterior, responda:

1. De A para B, o gelo está recebendo calor? Neste trecho, a temperatura está aumentando, diminuindo ou está constante?

   _____

2. Em que ponto do gráfico se inicia a fusão? Qual é a temperatura neste ponto?

   _____

3. Em que ponto do gráfico termina a fusão? Qual é a temperatura neste ponto?

   _____

   _____

4. De C para D, o que está acontecendo com a temperatura da água?

   _____

   Quando a água líquida é esfriada até –10°C, o gráfico da temperatura em função da quantidade de calor cedida será:

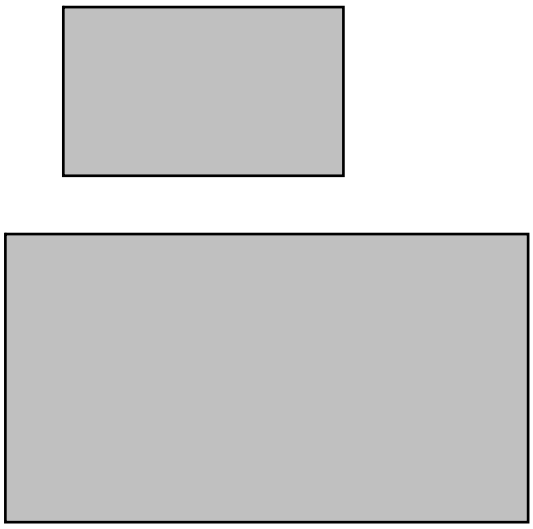
5. Em que trecho do gráfico a água está se solidificando? Qual é a temperatura de solidificação?

   _____

   _____

Influência da pressão

A temperatura em que ocorre a fusão (ou a solidificação) varia com a pressão. Veja, por exemplo, o enxofre:



Os pontos sobre o gráfico (curva de fusão) representam as pressões e temperaturas de fusão do enxofre.

Os pontos à esquerda da curva representam as pressões e temperaturas do enxofre no estado sólido.

Os pontos à direita da curva representam as pressões e temperaturas do enxofre no estado líquido.

De acordo com o gráfico, a passagem de sólido para líquido, ou vice-versa, pode ser feita variando-se só a pressão, ou só a temperatura, ou ambos, simultaneamente.

SOLUCIONANDO PROBLEMAS

6. Conforme a tabela da página anterior:

a) sob pressão de 1 atm, o enxofre se funde a ____°C.
b) sob pressão de 519 atm, o enxofre se funde a ____°C.
c) sob a pressão de 792 atm, o enxofre se funde a ____°C.
d) a 107°C e sob pressão maior que 1 atm, o enxofre está no estado _____.
e) a 135°C e sob pressão menor que 519 atm, o enxofre está no estado _____.

7. Para o enxofre, a temperatura de fusão aumenta com o aumento da pressão.

( ) Certo
( ) Errado

Ao se fundir, o volume da maioria das substâncias aumenta. Para estas substâncias, pode-se dizer que a temperatura de fusão aumenta com o aumento da pressão.

Muitos dos materiais do interior da Terra conseguem permanecer no estado sólido devido a grandes pressões ali reinantes. Durante a erupção de um vulcão, a redução de pressão provoca a fusão desses materiais, formando-se as lavas.

SOLUCIONANDO PROBLEMAS

A tabela a seguir representa as pressões e as correspondentes temperaturas de fusão (ou solidificação) para a água.

Nos pontos à direita da curva a água é líquida e nos pontos à esquerda da curva a água é sólida. Os pontos sobre a curva representam as pressões e temperaturas de fusão (ou solidificação) da água.

8. Conforme a tabela, sob pressão de:

a) 1 atm, o gelo se funde a ____°C
b) 1850 atm, o gelo se funde a ____°C
c) _____ atm, o gelo se funde a – 45°C

9. Sob pressão de 1850 atm a – 30°C, a água está no estado sólido ou líquido?

_____

10. Sob pressão de 1850 atm e a – 10°C, a água está no estado _____ .

11. Para o gelo (água sólida), a temperatura de fusão aumenta ou diminui com o aumento da pressão?

_____

Em algumas substâncias, como a água, o bismuto, a prata e o antimônio, os átomos estão mais próximos no estado líquido que no sólido, portanto, o volume dessas substâncias diminui quando se fundem. Para estas substâncias, pode-se dizer que a temperatura de fusão diminui com o aumento de pressão.

Leis da fusão e da solidificação

1ª) A temperatura em que se dá a fusão e a solidificação depende da pressão e da substância.

2ª) Para uma mesma substância, as temperaturas de fusão e de solidificação são iguais quando estão submetidas às mesmas pressões.

3ª) Sob pressão constante, durante a fusão e a solidificação, a temperatura da substância mantém-se constante.

SOLUCIONANDO PROBLEMAS

12. A temperatura de fusão e solidificação depende da pressão?

_____

_____

13. Para uma mesma substância, sob pressões iguais, as temperaturas de fusão e solidificação são:

( ) iguais
( ) diferentes

14. Sob pressão constante, durante a fusão e a solidificação, a temperatura da substância:

( ) varia
( ) não varia

Calor latente de fusão e solidificação

Enquanto um sólido não mudar de estado, o calor absorvido é utilizado no aumento da intensidade de vibração de seus átomos, acarretando a elevação de sua temperatura. A partir do instante em que se inicia a fusão, o calor absorvido não aumenta a temperatura: ele é utilizado para destruir a estrutura cristalina (veja na introdução) do sólido, transformando-a em estrutura de líquido.

No estado líquido, o calor absorvido novamente vai servir para aumentar a intensidade de movimento de moléculas, acarretando elevação de temperatura.

A quantidade de calor que massas iguais de uma mesma substância absorvem durante a fusão é igual à que elas libertam durante a solidificação. Esta quantidade de calor dividida pela massa da substância denomina-se calor latente de fusão (símbolo L_f) e calor latente de solidificação (símbolo L_s).

$$\boxed{L_f = \frac{Q}{m}} \quad e \quad \boxed{L_s = \frac{Q}{m}}$$

No capítulo anterior vimos que:

Q (absorvido) > 0 porque $\Delta t > 0$
Q (cedido) < 0 porque $\Delta t < 0$

Durante a fusão, a substância absorve calor e, na solidificação, cede calor; logo:

$$\boxed{L_f > 0} \quad e \quad \boxed{L_s < 0}$$

Para cada substância: $|L_f| = |L_s|$

Por exemplo, para a água:
L_f (gelo) = 80 cal/g e L_s (água) = - 80 cal/g

Solucionando Problemas

15. Qual é o significado físico de L_s (água) = - 80 cal/g?

16. Qual é o significado físico de L_s (água) = - 80 cal/g?

17. Quantas calorias são necessárias para fundir 5g de gelo?

18. Se 100g de uma substância absorvem 500 cal durante a fusão, calcule o seu calor latente de fusão e solidificação.

19. Qual é a quantidade de calor que devemos fornecer a 6g de gelo a 0°C para transformá-lo em água a 20°C?
Dado: L_f (gelo) = 80 cal/g

20. Para esfriar um corpo, você usaria gelo a 0°C ou água a 0°C? Explique:

O que é regelo?

No subitem “influência da pressão” foi visto que a pressão de:

a) 1 atm o gelo se funde a 0°C.
b) 1 850 atm o gelo se funde a – 20°C.
c) 6 000 atm o gelo se funde a – 45°C.

Isto é, o gelo pode ser fundido, mesmo que ele esteja em temperaturas abaixo de 0°C, bastando, para isso, submetê-lo a pressões elevadas.

Exercendo pressão sobre o gelo fundido novamente se solidifica.

Exemplo: Exercendo pressão de 1850 atm num bloco de gelo a – 20°C, podemos fundi-lo. Aliviando-lhe a pressão, o gelo fundido se solidifica.

Denomina-se regelo a ressolidificação da água devido à diminuição da pressão, sem o abaixamento de sua temperatura.

Solucionando Problemas

21. Você pode “soldar” dois pedaços de gelo a – 10°C, comprimindo-os um contra o outro?

22. O que acontece com o gelo quando um esquiador passa sobre ele?

O que é subrefusão ou superfusão?

Quando um líquido é esfriado, mantendo-se em completo repouso e livre de quaisquer impurezas, mesmo de fragmentos sólidos da mesma substância do líquido, pode ocorrer atraso na solidificação, isto é, a substância pode permanecer líquida em temperaturas inferiores à de solidificação, sob pressão constante. Este fenômeno denomina-se sobrefusão ou superfusão.

Sob pressão constante de 1 atm, a água se solidifica a 0°C, mas, sob condições especiais, nesta mesma pressão, consegue- se água líquida abaixo de 0°C.

Vaporização e liquefação (condensação)

A vaporização de um líquido pode ocorrer de duas maneiras: por evaporação e por ebulição.

Evaporação

Você já deve ter verificado que o volume de álcool, gasolina, ou um outro líquido, deixado num recipiente aberto, diminui com o transcorrer do tempo. A água dos lagos e oceanos evapora-se. A roupa estendida no varal seca por evaporação.

Estes exemplos permitem-nos dizer que a evaporação é um processo lento, espontâneo e imperceptível de vaporização. A evaporação é tanto mais facilitada quanto maior a área da superfície livre do líquido, maior a temperatura do líquido e menor a pressão exercida sobre o mesmo. De fato:

a) Se a temperatura do ambiente aumenta, aumentando por conseguinte a do líquido, as suas moléculas agitam-se mais porque adquiriram mais energia e, em conseqüência, podem escapar mais facilmente da superfície do líquido. O conjunto de moléculas que assim escapam forma o vapor.

b) Se a pressão sobre o líquido diminui, as moléculas também escapam com mais facilidade da superfície do líquido.

A temperatura de um líquido é determinada pelo grau de agitação de suas moléculas. Durante a evaporação, as moléculas que se agitam mais, ou seja, aquelas que possuem mais energia, escapam mais facilmente da massa líquida , deixando-as menos energéticas. Como estas moléculas com menor energia se agitam menos, a temperatura do líquido diminui.

A evaporação esfria o líquido.

Quando suamos, perdemos calor devido à evaporação do suor. Nos dias de verão, quando o clima é úmido, sentimos mais calor porque a evaporação do suor se processa mais lentamente.

O resfriamento do interior das geladeiras é feito através da evaporação de líquidos voláteis como o amoníaco e o freon.

Nota: A passagem das substâncias do estado sólido para o gasoso (e vice-versa) denominando-se sublimação. Entretanto, na linguagem comum, usa-se o termo “evaporação” para a passagem espontânea do sólido vapor. Isto ocorre, por exemplo, com a naftalina, o iodo, a cânfora, o gelo seco (CO_2 sólido).

Solucionando Problemas

23. Diminuindo-se a pressão dificulta-se ou facilita-se a evaporação?

24. A evaporação no vácuo é demorada.

( ) certo
( ) errado

25. Onde a evaporação é mais rápida: no alto da serra ou no litoral, à mesma temperatura? Justifique:

26. A evaporação esfria o líquido?

27. Embora as temperaturas sejam iguais, sente-se mais calor em regiões de clima úmido do que em regiões de clima seco.

( ) certo
( ) errado

Ebulição

Tome um vaso transparente com água e coloque-0 sobre uma chama. Após certo tempo você vai observar que começam a se formar bolhas no interior do líquido, e a vaporização processa-se de maneira rápida e turbulenta. A esse tipo de vaporização que se processa de uma maneira rápida e turbulenta, como formação de bolhas no interior do líquido, denominamos ebulição.

Ao contrário da evaporação, a ebulição ocorre sob condições determinadas de pressão e temperatura, isto é, a temperatura de ebulição depende da pressão exercida sobre o líquido. A tabela abaixo representa a temperatura de ebulição da água em diferentes pressões.

A diminuição da pressão sobre o líquido, através de uma bomba de vácuo, facilita a formação de bolhas, fazendo com que o líquido entre em ebulição em temperaturas abaixo de 100°C. Dizemos, então, que o líquido ferve a 10°C, 20°C, 30°C...

O aumento da pressão sobre o líquido, como nas panelas de pressão e caldeiras, dificulta a formação de bolhas uma vez que estas vão sendo esmagadas pela elevada pressão. Conseqüentemente, a ebulição só ocorre em temperaturas mais altas. Sob pressão de 218 atm, a água pode ser mantida líquida até a temperatura de 374°C, denominada temperatura crítica.

Solucionando Problemas

28. A água ferve somente a 100°C?

29. Pode-se ter água líquida acima de 100°C?

30. Aumentando a pressão sobre o líquido, a temperatura de ebulição:

( ) aumenta
( ) diminui

31. Diminuindo a pressão sobre o líquido, a temperatura de ebulição aumenta ou diminui?

SOLUCIONANDO PROBLEMAS

32. Um líquido contido numa panela sem tampa ferve mais rápido no litoral ou no alto da serra? Explique.

33. Por que a panela de pressão cozinha mais rápido alimentos do que as panelas comuns?

34. Uma panela aberta cozinha alimentos mais rapidamente no literal ou no alto da serra? Explique:

Leis da ebulição e liquefação

1ª) A temperatura em que se dá a ebulição e a liquefação depende da pressão e da substância.

2ª) Para uma mesma substância, as temperaturas de ebulição e de liquefação são iguais quando estão submetidas às mesmas pressões.

3ª) Sob pressão constante, durante a pressão constante, durante a ebulição e a liquefação, a temperatura da substância mantém-se constante.

Você notou que estas leis são semelhantes às leis de fusão e solidificação? Só houve troca de palavras: fusão e solidificação por ebulição e liquefação.

SOLUCIONANDO PROBLEMAS

35. As temperaturas de ebulição e liquefação dependem da pressão?

36. Para uma mesma substância, sob pressões iguais, as temperaturas de ebulição e de liquefação são:

( ) iguais
( ) diferentes

37. Sob pressão de 15,3 atm a água ferve a 200°C; então, sob mesma pressão o vapor se condensa a ___°C.

38. Sob pressão constante, durante a ebulição e a liquefação, a temperatura da substância:

( ) varia
( ) não varia

Calor latente de vaporização e liquefação

A quantidade de calor que massas iguais de uma mesma substância absorvem durante a ebulição é igual à que elas libertam durante a liquefação. Esta quantidade de calor dividida pela massa de substância denomina-se calor latente de vaporização (símbolo L_v) e calor latente de liquefação (símbolo L_l).

$$L_v = \frac{Q}{m} \quad \text{e} \quad L_l = \frac{Q}{m}$$

No capítulo anterior vimos que:

Q (absorvido) > 0 porque $\Delta t > 0$

Q (cedido) < 0 porque $\Delta t < 0$

Durante a vaporização, a substância absorve calor e, na liquefação, cede calor; logo:

$$L_v > 0 \quad \text{e} \quad L_l < 0$$

Para cada substância: $|L_v| = |L_l|$

Por exemplo, para a água a 1 atm:

L_v (água) = 539 cal/g e L_l(vapor) = 539 cal/g

O calor de vaporização e de liquefação varia com a temperatura de ebulição. Por exemplo, o calor latente de vaporização da água é igual a:

a) 534 cal/g quando t = 100°C (1 atm).

b) 311 cal/g quando t = 310°C (95 atm).

c) 0 quando t = 374°C (218 atm).

SOLUCIONANDO PROBLEMAS

39. Qual é o significado físico de L_v (água) = 539 cal/g?

40. Quantas calorias são necessárias para vaporizar 100g de água?

41. Se 200 g de uma substância absorvem 5 000 cal, durante a ebulição, calcule o seu calor latente de vaporização e de liquefação:

Temperatura

Um mesmo corpo material pode se encontrar em diferentes estados térmicos, como: gelado, frio, morno e quente. Exemplos disso são:

a) O estado térmico da água contida num vaso sobre o fogo, que varia, continuamente, do frio para o quente;
b) O estado térmico da Terra, que vária conforme as épocas do ano;
c) O estado térmico de um corpo, que pode sofrer variação enquanto o mantemos em nossas mãos.

A noção de temperatura é primitiva; nasce das sensações de quente e frio apresentadas por corpos em diferentes estados térmicos. Dizemos que a temperatura de um corpo está aumentando ou diminuindo conforme ele esteja, respectivamente, esquentando ou esfriando.

As partículas (átomos e moléculas) constituintes da matéria estão em incessante estado de agitação, cuja intensidade varia com a modificação do estado térmico do corpo.

Temperatura é uma grandeza que mede o estado (ou grau) de agitação das partículas de um corpo, podendo-se também dizer que a temperatura é uma grandeza que caracteriza o estado térmico de um corpo.

Normalmente, se através do contato com a nossa pele os corpos nos apresentam as mesmas sensações térmicas, dizemos que as suas temperaturas são iguais ou que eles estão em equilíbrio térmico; caso contrário, dizemos que suas temperaturas são diferentes.

A noção de equilíbrio térmico permite-nos enunciar o principio conhecido como Principio Número Zero da Termodinâmica ou Princípio Fundamental da Termodinâmica:

Afirmar que as temperaturas dos corpos são iguais ou diferentes baseando-se apenas nas sensações obtidas pelo contato com a nossa pele pode muitas vezes trazer enganos. Por exemplo, se você mergulhar uma das mãos na água fria e, após certo intervalo de tempo, mergulhar ambas as mãos na água morna, provavelmente você irá dizer que a temperatura da água morna é diferente para cada mão, embora na realidade a água apresente uma única temperatura.

Medida da temperatura

A temperatura de um corpo não pode ser medida baseando-se no nosso sentido de tato, porque ele traz enganos, como no exemplo citado.

No item anterior vimos que a temperatura mede o estado (ou grau) de agitação das partículas do corpo. Mas a agitação dessas partículas não pode ser medida diretamente, como se medem as áreas e volume de um corpo, então, a temperatura de um corpo é obtida indiretamente, medindo-se os efeitos produzidos por essa agitações. São exemplos desses tipos de efeitos a dilatação térmica e a resistência elétrica.

Os instrumentos que medem a temperatura são denominados termômetros. Os termômetros de líquidos como o mercúrio e o álcool (com corante) são baseados na dilatação térmica desses líquidos. Nesses termômetros, a temperatura t de um corpo é medida em função da altura h dos líquidos no tubo capilar.

As grandezas físicas que variam com a temperatura são denominadas grandezas termométricas.

Exemplos:

a) Comprimento de uma barra (termômetros metálicos);
b) Altura e volume dos líquidos (termômetros de mercúrio e de álcool);
c) Pressão dos gases (termômetros de gás);
d) Resistência elétrica (termômetros de resistência).

SOLUCIONANDO PROBLEMAS

1. Um corpo pode, ao mesmo tempo, parecer quente para a mão que estava segurando um pedaço de gelo e frio para a mão que estava próximo de uma chama. Está afirmação está certa ou errada?

2. Quando estamos descalços sobre assoalho de madeira e em seguida andamos sobre assoalho de cerâmica sentimos mais frio sobre este último. O que se pode afirmar a respeito da temperatura desses assoalhos?

3. Cite algumas propriedades físicas utilizadas na determinação de temperaturas:

Escalas termométricas

A escala termométrica mais utilizada é a escala Celsius, construída pelo astrônomo sueco Anderes Celsius (1701 – 1744). Nesta escala, atribuí-se o número 0 (zero) à temperatura de fusão do gelo sob pressão normal (ponto do gelo) e o número 100 à temperatura de ebulição da água sob pressão normal (ponto de vapor). O intervalo entre 0 e 100 é dividido em 100 partes iguais denominadas graus celsius. Entendendo-se a escala abaixo de 0 e acima de 100, pode-se determinar temperaturas fora desse intervalo.

Observações:

a) Pressão normal = 1 atmosfera = 760 mm de Hg = 760 torr.
b) Em Outubro de 1948, a 9ª Conferência de Pesos e Medidas mudou o nome da escala centígrada para Celsius.

Nos países de língua inglesa utiliza-se a escala Fahrenheit, proposta pelo físico Gabriel Fahrenheit (1686- 1736). Nesta escala, atribuí-se o número 32 ao ponto do gelo e 212 ao ponto do vapor. O intervalo entre 32 e 212 é dividido em 180 (212 – 32 = 180) partes iguais, denominadas graus fahrenheit.

Notas:

a) Segundo a História, inicialmente, Fahrenheit atribuiu 0°F é temperatura mais fria do ano de 1727 na Islândia e 100°F à temperatura de sua esposa.
b) 0°F é a temperatura de uma mistura em partes iguais de cloreto de sódio (NaCl), cloreto de amônia (NH_4Cl) e gelo fundente.

SOLUCIONANDO PROBLEMAS

4. O que ponto do gelo e ponto do vapor?

5. Quais são os valores dos pontos do gelo e vapor nas escalas Celsius e Fahrenheit?

6. A variação de 100°C na escala Celsius corresponde à variação de ____°F na escala Fahrenheit.

Relação entre as escalas *C* e *F*

As leituras t_c e t_F, correspondentes a um mesmo estado térmico e fornecidas pelos termômetros nas escalas C e F, podem ser relacionadas, estabelecendo-se uma proporção entre os números de divisões das escalas (Teorema de Tales), conforme vemos a seguir:

De acordo com a figura, temos:

$$\frac{t_c - 0}{100 - 0} = \frac{t_F - 32}{212 - 32}$$

ou

$$\frac{t_c}{100} = \frac{t_F - 32}{180}$$

Multiplicando ambos os membros por 20, temos:

$$\boxed{\frac{t_c}{5} = \frac{t_F - 32}{9}}$$

SOLUCIONANDO PROBLEMAS

7. Num certo dia de primavera, em Londres, a rádio BBC local anuncia a temperatura de 68°F. Expresse essa temperatura em °C:

8. Dois termômetros C e F estão no mesmo ambiente. Se a escala C registrou 35°C, quanto marca a escala F?

9. Complete o quadro abaixo:

SOLUCIONANDO PROBLEMAS

10. (U.E. RJ) uma temperatura na escala F é indicada por um número duplo daquele em que é representada na escala C. está temperatura é:

a) 120 °C
b) 148 °C
c) 140 °C
d) 160 °C
e) 130 °C

11. (F. Itajubá-MG) Mediu-se a temperatura de um corpo utiluizando-se dois termômetros, um calibrado na escala Celsius e outro calibrado ca escala Farenheint. Para surpresa nossa, verificou-se que os dois termômetros indicavam a temperatura do corpo com números iguais. Os termômetros marcava:

a) 40°C e 40°F
b) – 40°C e – 40°F
c) 32°C e 32°F
d) – 32 °C e – 32°F

12. A variação de 1°C corresponde à variação de _____ °F.

Escala Kelvin

Com base na teoria dos gases, o físico inglês Lord Kelvin (William Thomson, 1824 – 1907) estabeleceu a escala absoluta, conhecida também por escala Kelvin ou termodinâmica. Nesta escala, o número 273 corresponde ao ponto do gelo e 373 ao ponto do vapor.

Observações:

a) Em 1967, pela 13ª Conferência de pesos e medidas, a unidade de temperatura graus Kelvin (°K) passou a ser designada simplesmente Kelvin (K).

b) Kelvin atribuiu o número 0 à temperatura de – 273,15°C (para simplificação, desprezamos a fração 0,15) e dividiu a escala de tal modo que a variação de 1 K correspondesse à variação de 1°C, donde 0°C e 100°C correspondem, respectivamente, a 273,15 K e 373,15K.

A temperatura de – 273m15°C é, na prática, inatingível; foi obtida teoricamente com base na Teoria dos Gases e na 2ª Lei da Termodinâmica.

As leituras t_C e t_K, correspondentes a um mesmo estado térmico e fornecidas pelos termômetros nas escalas C e K, podem ser relacionadas, estabelecendo-se uma proporção entre os números de divisões das escalas (Teorema de Tales), conforme vemos a seguir:

De acordo com o esquema, vem:

$$\frac{t_C - 0}{100-0} = \frac{t_K - 273}{373 - 273}$$

$$\frac{t_C}{100} = \frac{t_K - 273}{100}$$

$$\boxed{t_C = t_K - 273} \quad \text{ou} \quad \boxed{t_K = t_C + 273}$$

SOLUCIONANDO PROBLEMAS

13. Transforme 400 K em °C:

14. Converta 23°C em K:

15. As escalas C e K podem indicar temperaturas numericamente iguais?

16. A variação de 100°C corresponde à variação de quantos Kelvin?

17. Mostre que as temperaturas nas escalas Kelvin e Fahrenheit podem ser relacionadas pela expressão:

$$\boxed{\frac{t_K - 273}{5} = \frac{t_F - 32}{9}}$$

18. Transforme 120°F e – 76°F em K:

Equação termométrica

A expressão matemática que relaciona a temperatura com a grandeza termométrica denomina-se equação termométrica.

Exemplos:

1º) Em um termômetro de mercúrio, as temperaturas e as alturas da coluna estão relacionadas pela tabela:

Pela tabela verifica-se que t é sempre o dobro de h, logo a equação termométrica será:

$$\boxed{t = 2\,h}$$

2º) Em um termômetro de álcool, as temperaturas em graus F e as alturas da coluna deste líquido estão relacionadas conforme a tabela:

Verifica-se, pela tabela, que enquanto h varia de 2 em 2 a temperatura varia de 8 em 8, isto é, a variação da temperatura é proporcional à variação da altura.

A equação termométrica pode ser estabelecida através de uma proporção, conforme:

$$\frac{2 - 0}{h - 0} = \frac{11 - 3}{t - 3}$$

$$\frac{2}{h} = \frac{8}{t - 3}$$

$$\boxed{t = 4\,h + 3}$$

Tipos de termômetros

Termômetros de líquidos

Os termômetros de líquidos baseiam-se na propriedade que têm os líquidos de dilatarem-se muito mais que os sólidos.

O termômetro mais utilizado é o de mercúrio, que é encerrado num bulbo de vidro ligado a um tubo capilar.

Como o mercúrio, normalmente, se solidifica a – 39°C e se vaporiza a 359°C, os termômetros de mercúrio podem ser utilizados nessa faixa de temperaturas. Entretanto, preenchendo o espaço acima do mercúrio com um gás que retarde sua vaporização, pode-se efetuar medições até cerca de 700°C.

Empregam-se ainda termômetros de álcool (-110°C a 78°C) e termômetros de toluol (-100°C a 110°C).

Termômetro líquido

Este termômetro é utilizado para medir a temperatura do corpo humano.

Um pouco acima do bulbo, o capilar apresenta um estrangulamento; quando a temperatura aumenta, o mercúrio, forçado a dilatar-se, passa pelo estrangulamento; quando a temperatura diminui, o mercúrio se contrai, mas produz-se no estrangulamento uma ruptura na coluna de mercúrio, que fica impedido de descer, permitindo que se leia a temperatura máxima atingida mesmo que tenha decorrido algum tempo após a medida.

Para se efetuar uma nova medição, deve-se fazer um movimento brusco no termômetro, de modo a fazer com que o mercúrio do capilar passe para o bulbo.

A graduação dos termômetros clínicos vai de 35°C a 42°C.

Termômetro de máxima e mínima

As temperaturas máxima e mínima, em um intervalo de tempo, podem ser lidas num termômetro de “máxima e mínima”, cujos elementos constituintes estão indicados na figura abaixo.

Os índices de ferro são deslocados pelo mercúrio, mas são simplesmente banhados pelo álcool, que não modifica suas posições.

Quando a temperatura se eleva, todo o líquido se dilata, diminuindo o volume do vapor de álcool; o mercúrio, deslocando-se para o lado direito, empurra o índice I_2 para cima.

Quando a temperatura diminui, o álcool e o mercúrio se contraem; a coluna de mercúrio se desloca para o lado esquerdo, empurrando o índice I_1; o índice I_2, por sua vez, permanece na posição anteriormente atingida.

Desse modo, pode-se ler as temperaturas máxima e mínima atingidas num certo intervalo de tempo.

Para efetuar novas observações, os índices I_1 e I_2 são aproximados dos extremos da coluna de mercúrio com auxílio de um ímã.

Termômetros de gás

Este termômetro é chamado de termômetro “normal” ou “legal”, uma vez que serve como padrão de aferição para outros termômetros.

Em geral, utiliza-se hidrôgenio ou hélio, cujo volume é mantido constante através do deslocamento vertical do reservatório de mercúrio.

A temperatura é medida em função do desnível H da coluna de mercúrio nos tubos.

Termômetro bimetálico

Quando ocorre uma variação de temperatura no conjunto formado por lâminas de metal com coeficientes de dilatação diferentes e soldados entre si, conforme a figura, ele se encurva.

Adaptando-se um ponteiro a um dos extremos do conjunto, pode-se ler a temperatura numa escala graduada, obtendo-se, desta forma, o chamado “termômetro bimetálico”.

Termômetro de resistência

Este termômetro baseia-se no fato de que a resistência elétrica de um fio metálico varia conforme a variação da temperatura. Essa dependência da resistência com a temperatura pode ser utilizada para indicar mudanças de temperatura.

Termoelemento

O termoelemento utiliza a seguinte propriedade: quando dois fios metálicos diferentes são ligados pelas extremidades e submetidos a diferentes temperaturas nas junções, são percorridos por uma corrente elétrica que é proporcional à diferença de temperaturas.

Pirômetro

A radiação emitida por um corpo incandescente depende da temperatura do mesmo. A temperatura de um corpo incandescente pode ser determinada através da medida da radiação emitida é fraca a baixas temperaturas, o pirômetro se presta a medições de temperaturas acima de 600°C.

Lápis de cores (térmicas)

Alguns materiais mudam de cor quando atingem determinadas temperaturas. Através da utilização de diversas cores, que se modificam a diferentes temperaturas, pode-se acompanhar o aquecimento de corpos de prova, os quais são marcados com as diversas cores.

A seguir, apresentamos um quadro sobre as faixas de utilização de diferentes termômetros.

SOLUCIONANDO PROBLEMAS

19. Durante uma experiência, verificou-se que a temperatura de um líquido era 38°C. Expresse esta temperatura em Kelvin e Fahrenheit:

20. O oxigênio entra em ebulição à temperatura de 90 K. Qual será a leitura nas escalas Celsius e Fahrenheit?

21. O gás hélio torna-se líquido à temperatura de – 269°C. Qual será a leitura nas escalas Kelvin e Fahrenheit?

22. Três termômetros nas escalas C, K e F são colocados no mesmo ambiente. Se ocorre uma variação de temperatura igual a 1 grau na escala C, qual será a variação nas demais escalas?

Bombas

Máquinas mistas

São dispositivos ou aparelhos hidráulicos que modificam o estado de energia que o líquido possoi, isto é: transformam a energia hidráulica sob uma forma na outra. Pertencem a esta classe os ejetores ou edutores, os pulsômetros, os carneiros hidráulicos, as chamadas bombas de emulsão de ar, etc. Estes dispositivos funcionam como transformadores hidráulicos. Alguns autores incluem, nesta classe, as transmissões hidrostáticas e as transmissões hidrodinâmicas (acoplamentos, conversores de conjugado, variadores hidrodinâmicos de velocidade).

Estudaremos as máquinas geratrizes e faremos algumas referências às máquinas mistas.

Classificação das máquinas geratrizes ou bombas

Definição

Bombas são máquinas geratrizes cuja finalidade é realizar o deslocamento de um líquido por escoamento. Sendo uma máquina geratriz, ela transforma o trabalho mecânico que recebe para seu funcionamento em energia, que é comunicada ao líquido sob as formas de energia de pressão e cinética. Alguns autores chamam-nas de máquinas operatrizes hidráulicas, porque realizam um trabalho útil específico ao deslocarem um líquido. O modo pelo qual é feita a transformação do trabalho em energia hidráulica e o recurso para cedê-la ao líquido aumentando sua pressão e/ou sua velocidade permitem classificar as bombas em:

- bombas de deslocamento positivo ou volumógenas;
- turbobombas chamadas também hidrodinâmicas ou rotodinâmicas ou simplesmente dinâmicas;
- bombas especiais (bomba com ejetor; pulsômetros; bomba de emulsão de ar).

Bombas de deslocamento positivo

Possuem uma ou mais câmaras, em cujo interior o movimento de um órgão propulsor comunica energia de pressão ao líquido, provocando o seu escoamento. Proporciona então as condições para que se realize o escoamento na tubulação de aspiração até a bomba e na tubulação de recalque até o ponto de utilização.

A característica principal desta classe de bombas é que uma partícula líquida em contato com o órgão que comunica a energia tem aproximadamente a mesma trajetória que a do ponto do órgão com o qual está em contato.

Assim, por exemplo, na bomba de êmbolo aspirante-premente, representada pela figura à esquerda, a partícula líquida *a* tem a mesma trajetória retilínea do ponto *b* do pistão, exceto nos trechos de concordância inicial e final 0-c e c-1. Na bomba de engrenagem, representada na figura à direita, a partícula líquida *a* tem aproximadamente a mesma trajetória circular que a do ponto *b* do dente da engrenagem, exceto nos trechos de concordância na entrada e na saída do corpo da bomba.

As bombas de deslocamento positivo podem ser:

Nas bombas volumógenas existe uma relação constante entre a descarga e a velocidade do órgão propulsor da bomba. Nas bombas alternativas, o líquido recebe a ação das forças diretamente de um pistão ou êmbolo (pistão alongado) ou de uma membrana flexível (diagrama).

Turbobombas

Órgãos essencias

As turbobombas, também chamadas bombas rotodinâmicas e kinetic pumps pelo Hydraulic Institute, são caracterizadas por possuírem um órgão rotatório dotado de pás, chamado rotor, que exerce sobre o líquido forças que resultam da aceleração que lhe imprime. Essa aceleração, ao contrário do que se verifica nas bombas de deslocamento positivo, não possui a mesma direção e o mesmo sentido do movimento do líquido em contato com as pás. As forças geradas são as de inércia e do tipo μv, já vistas. A descarga gerada depende das características da bomba, do número de rotações e das características do sistema de encanamentos ao qual estiver ligada.

A finalidade do rotor, também chamado “impulsor” ou “impelidor”, é comunicar à massa líquida aceleração, para que adquira energia cinética e se realize assim a transformação da energia mecânica de que está dotado. É, em essência, um disco ou uma peça de formato cônico dotada de pás. O rotor pode ser:

- Fechado quando, além do disco onde se fixam as pás, existe uma coroa circular também presa às pás. Pela abertura dessa coroa, o líquido penetra no rotor. Usa-se para líquidos sem substâncias em suspensão e nas condições que veremos adiante.

- Aberto quando não existe essa coroa circular anterior. Usa-se para líquidos contendo pastas, lamas, areia, esgotos sanitários e para outras condições que estudaremos.

As turbobombas necessitam de um outro órgão, o difusor, também chamado recuperador, onde é feita a transformação da maior parte da elevada energia cinética com que o líquido sai do rotor, em energia de pressão. Desse modo, ao atingir a boca de saída da bomba, o líquido é capaz de escoar com velocidade razoável, equilibrando a pressão que se opõe ao seu escoamento. Esta transformação é operada de acordo com o teorema de Bernoulli, pois o difusor sendo, em geral, de seção gradativamente crescente, realiza uma contínua e progressiva diminuição da velocidade do líquido que por ele escoa, com o simultâneo aumento da pressão, de modo a que esta tenha valor elevado e a velocidade seja reduzida na ligação da bomba ao encanamento de recalque. Ainda assim, coloca-se uma peça troncônica na saída da bomba, para reduzir ainda mais a velocidade na tubulação de recalque, quando isso for necessário.

Bombas e instalações de bombeamento

Dependendo do tipo de turbobomba, o difusor por ser:

- De tubo reto troncônico, nas bombas axiais.
- De caixa em forma de caracol ou voluta, nos demais tipos de bomba, chamado neste caso simplesmente de coletor ou caracol.

Entre a saída do rotor e o caracol, em certas bombas, colocam-se palhetas devidamente orientadas, as “pás guias” para que o líquido que sai do rotor seja conduzido ao coletor com velocidade, direção e sentido tais que a transformação da energia cinética em energia potencial de pressão se processe com um mínimo de perdas por atrito ou turbulências. Muitos fabricantes europeus usam o difusor de pás, enquanto os americanos, em geral, preferem o difusor-coletor em caracol, sem pás. Nas bombas de múltiplos estádios, “as pás guias ou diretrizes” são necessárias.

Perda de carga

A grandeza H, quando representa energia cedida pelo líquido em escoamento devido ao atrito interno, atrito contra as paredes e pertubações no escoamento, chama-se perda de carga ou energia perdida, e se representa por J. Essa energia por unidade de peso de líquido, em última análise, se dissipa sob a forma de calor. Na figura a seguir vemos representadas a veia líquida, as linhas piezométrica, energética, as parcelas da energia nas seções 0 e 1, e a perda de carga H entre as referidas seções, que também representaremos por J_0^1.

A determinação da perda de carga J pode ser realizada medindo-se o desnível piezométrico entre os pontos nos quais se deseja conhecer a perda.

$$J_0^1 = \frac{\rho_0 - \rho_1}{\gamma}$$

A figura acima indica como variam a linha energética e a linha piezométrica numa tubulação ligando dois reservatórios e possuindo três trechos com diferentes diâmetros.

Perda por atrito e pressão

Ao observarmos as leis referentes aos fluidos em movimento, vimos que as camadas dos fluidos podem deslocar-se umas contra as outras ou contra um corpo, sem que ocorra atrito.

A energia hidráulica, no entanto, não passa através de uma tubulação sem apresentar perdas. Nas próprias paredes do tubo e no fluido em si, ocorre atrito o qual gera calor. Então a energia hidráulica é transformada em calor. A perda ocorrida de energia hidráulica significa para as instalações hidráulicas uma perda de pressão.

A perda de pressão ou diferença de pressão – vem indicado por Δp (figura abaixo). Quanto maior se torna o atrito das camadas de fluido umas contra as outras (atrito interno) tanto maior se torna a viscosidade (tenacidade) do fluído.

A extensão das perdas por atrito depende predominantemente de:

- Comprimento da tubulação,
- Secção das tubulações,
- Rugosidade da parede do tubo,
- Número das curvas do tubo,
- Velocidade de vazão e
- Viscosidade do fluido.

Tratamento de água industrial

Introdução

Há muito tempo que o condicionamento da água para uso urbano é prática comum e essencial nas cidades. Na atualidade, sabe-se da importância dessa preparação para a atividade industrial, em virtude no grande rol de processos existentes e da diversidade de necessidade de qualidade das águas para o seu uso.

A quantidade e a natureza dos constituintes presentes nas águas variam, principalmente em função do tipo de solo de onde são originárias, das condições climáticas e do grau de poluição que lhes é conferido, especialmente pelos despejos industrias e municipais.

Devido a todos esses motivos, é imprescindível que se tenha à disposição águas com as características necessárias a cada processo industrial. Isso é o objeto principal deste curso.

Águas de uso industrial

Podemos subdividir as águas industriais em seis classes, a saber:

- Água bruta;
- Água industrial;
- Água abrandada;
- Água desmineralizada;
- Água de retorno (de processo e condensado);
- Água potável.

Água bruta

É toda água que possa ser utilizada industrialmente sem sofrer tratamento algum, à exceção de gradeamento, e monitoramento microbiano.

Algumas centrais termoelétricas utilizam sistemas de geração do tipo extração-condensação, ou apenas condensação. Para esse uso, a quantidade de água necessária para se seguir a eficiência necessária é demasiado grande, e não justifica a utilização de água industrial tratada em virtude do custo adicional. Daí se emprega água bruta sem tratamento para esse fim. Algum monitoramento microbiológico é feito em virtude da possibilidade de aparecimento de corrosão microbiana.

Outras indústrias podem utilizar água sem tratamento para lavagem de matéria-prima, por exemplo na indústria de celulose, onde a madeira a ser transformada é lavada com esse tipo de água.

Água industrial

É toda água utilizada na indústria que sofreu tratamento primário (gradeamento, clarificação e filtração).

Às vezes, antes da clarificação, a água pode passar por uma pré-cloração, dependendo da quantidade de matéria orgânica existente.

A água industrial já foi objeto de estudo deste curso, onde suas propriedades e seu tratamento forma esmiuçados.

Água abrandada

O abrandamento de uma água consiste na remoção total ou parcial de ions Ca e Mg nela presentes, quase sempre na forma de bicarbonatos, sulfatos e cloretos.

O abrandamento de uma água que se destina a produção de vapor deve reduzir Ca^{++} e Mg^{++} a valores muito baixos ou mesmo a zero, dados os perigos que os sais desses metais representam quando introduzidos em uma caldeira, tais como incrustações com provável ruptura de tubos ou restrições de seus diâmetros.

Basicamente existem três processos de abrandamento de água, o processo da Cal Sodada a Frio e Quente, o processo de Cal Sodada a Quente com Fosfato Trissódico, Disódico ou Monossódico e o processo de Troca de Cátions por Resinas.

Água desmineralizada

A desmineralização é o processo de remoção praticamente total dos ions presentes em uma água, através de resinas catiônicas e aniônicas.

Água de retorno

São todas as águas que já foram utilizadas no processo industrial e são novamente coletadas para reuso. Podem ser águas de retorno de processo ou de retorno de condensado. Dependendo se for uma ou outra o tratamento que se dá é distinto.

Se for água do processo, ela poderá ser incorporada em determinada fase do tratamento primário, ou ainda, ser utilizada do jeito que está dependendo do próprio processo.

Se for condensado de retorno, ele normalmente terá que passar por um polimento com a finalidade da remoção de íons Fe^{++}, sendo daí incorporado novamente ao fluxo de água de alimentação das caldeiras.

Água potável

Toda água de consumo humano na indústria, caso não tenha acesso à água de rede da concessionária estadual.

Pode também ser a água de determinados processos industriais, normalmente os do ramo alimentício e correlatos.

Das águas de uso industrial, tomaremos como objeto de nosso estudo as águas de alimentação de Caldeiras e águas de Refrigeração, englobadas nas classes de águas abrandadas, desmineralizadas, de retorno de condensado e algumas águas brutas.

Tratamento de Água de Caldeira

Histórico

Até o início deste século, praticamente não havia preocupação com respeito ao tratamento de águas para caldeiras, em virtude do pequeno tamanho e pressões de trabalho das mesmas. Mesmo assim aconteciam imprevistos que provocavam paradas inesperadas e acidentes muitas vezes fatais.

Com uma melhoria tecnológica ocorrida durante os anos das décadas de 1910 e 1920, passou-se a considerar que grande parte dos imprevistos ocorridos eram devidos a qualidade inadequada da água utilizada. Outro fator determinante no advento do tratamento da água de caldeiras como etapa industrial fundamental , foi a necessidade da utilização de caldeiras com pressões de trabalho cada vez maiores, que levavam a um acréscimo considerável dos acidentes por problemas relacionadas à qualidade da água. Todos estes imprevistos, de uma forma ou de outra, provocavam paradas que se tornavam dispendiosas.

A partir de 1920, começaram a desenvolver algumas técnicas de tratamento de água, juntamente com análises químicas e físicas que determinavam os parâmetros ideais de qualidade da água a ser tratada.

Durante toda essa fase de desenvolvimento, alguns fatos tinham sido observados e estudados, entre os quais o aparecimento de incrustações nas tubulações de água a vapor, e corrosão típica da presença de oxigênio dissolvido.

Uma análise mais detalhada destas incrustações levou a conclusão que a presença de ions Ca^{++} e Mg^{++} na água de alimentação era extremamente prejudicial a normal operação da caldeira, podendo provocar obstrução parcial e até mesmo total dos tubos de água, com conseqüente superaquecimento e rompimento.

Incrustrações e erosões encontradas em tubulações de vapor superaquecido e em turbinas a vapor pelo foram analisadas e concluiu-se que silicatos eram os constituintes principais desses depósitos.

Nesta mesma época, começou- se a pré aquecer às águas de alimentação das caldeiras, para a eliminação do oxigênio nelas dissolvido. Aí entraram em operação os primeiros desaeradores que se tem notícia.

Também descobriu-se que com alcalinidade mais elevada, as borras formadas nos balões de água a vapor eram mais facilmente removidas (constituídas de Ca e Mg). Passou-se então a utilizar o carbonato de sódio para elevação de pH. Um inconveniente apareceu com o seu uso. A liberação de gás carbônico em temperaturas mais elevadas, o que ocasionava corrosão em turbinas e sistemas de água de alimentação.

Para a substituição do carbonato de sódio foram utilizados os fosfatos, que se apresentaram muito mais eficientes na formação das borras de Ca e Mg, e a utilização de hidróxido de sódio para manutenção da elevada alcalinidade, uma vez que a fornecida pelos fosfatos não era suficiente.

Estava "criado" então, o Tratamento Convencional de água para Caldeiras, utilizando-se o fosfato trissódico e soda cáustica.

Com o advento do uso das caldeiras de alta pressão, o uso de concentrações elevadas de soda cáustica passou a ser problema em virtude do acúmulo de soda sob depósitos, e conseqüente corrosão pela soda. Como eram necessários quantidades cada vez maiores de soda e fosfato para satisfazerem as necessidades de qualidade das águas para produção de vapor de alta pressão, começou-se então, a utilização de técnicas de desmineralização das águas das caldeiras, permitindo, assim, um uso praticamente mínimo desses produtos químicos , além de menor formação de borra nos balões de água das caldeiras.

Classificação das caldeiras

Podemos classificar as caldeiras de acordo com a sua pressão de trabalho como vemos no quadro abaixo.

Caldeiras de baixa pressão

Águas de alimentação ideais para caldeiras desse tipo devem apresentar dureza zero. Ocorre, porém, que muitos sistemas de águas de alimentação de caldeiras de baixa pressão não efetuam o abrandamento de água a contento, de sorte que as águas muitas vezes apresentam dureza que varia de 15 a 50 ppm. Algumas indústrias, onde a água bruta disponível apresenta dureza superior superior a 30 ppm, adotam o processo de abrandamento parcial.

Não se justifica a instalação de uma estação desmineralizadora para tratamento de água para caldeiras de baixa pressão, a menos que se tenha uma lata taxa de recuperação de condensado, e conseqüentemente baixa taxa de "make-up".

Abaixo segue uma relação de parâmetros limites da qualidade de água para caldeiras de baixa pressão.

Caldeiras de média pressão

Este tipo de caldeira deve apresentar dureza zero em sua água de alimentação, preferivelmente. Para isso, a água de alimentação deve ser pelo menos abrandada, podendo ser desmineralizada.

É claro que há um limite onde o total de sólidos de dissolvidos na água de alimentação começa a se tornar inconveniente para a geração de vapor, em virtude da concentração dos mesmos no interior da caldeira. Isso acarreta um número ou taxa maior de descargas para a manutenção de um determinado teor de sólidos dissolvidos na água de alimentação.

A determinação da taxa de descarga em relação à quantidade de vapor produzidos pode ser feita pela fórmula abaixo:

$$A = 100 \times C / (M - C)$$

Onde:

A = % de água a ser purgada;
C = total de sólidos dissolvidos na água de alimentação, em ppm;
M = total de sólidos dissolvidos admissíveis na água de caldeira, em ppm.

A determinação dos sólidos totais dissolvidos na água de alimentação de uma caldeira pode ser acompanhada mais diretamente a concentração dos sólidos com a condutividade da água, de acordo com a seguinte expressão:

$$S.D. = 0.68 \times C.D.$$

Onde:

S.D. = sólidos totais dissolvidos, em ppm;
C.D. = condutividade a 25°C, em Mho/cm.

Abaixo segue uma relação de parâmetros limites da qualidade de água para caldeiras de média pressão:

Caldeiras de alta pressão

Não é tarefa muito fácil o estudo do tratamento de água para caldeiras de alta pressão, pois esse assunto envolve uma série de fenômenos que não encontram justificativas em bases científicas perfeitamente definidas.

As condições drásticas a que estão sujeitos os compostos que entram numa caldeira para o tratamento de sua água impedem que se façam pesquisas em bases econômicas justificáveis para explicar como ocorrem certos fenômenos que a prática revela. A drasticidade dessas condições se complica com a evolução da técnica de construção de caldeiras que tendem a trabalhar com pressões e temperaturas cada vez mais altas.

É opinião geral que determinadas pesquisas que explicassem cientificamente certos fenômenos , constituiriam mera curiosidade acadêmica e não trariam benefícios práticos. Por isso a tecnologia busca pura e simplesmente os resultados práticos, não se preocupando com especulações. O seu objetivo principal é desenvolver e aperfeiçoar práticas preventivas para evitar corrosão e incrustações em caldeiras e tubulações de sistemas de água de alimentação, bem como obter água de alta pureza para lamentar o ciclo de uma usina de vapor.

Abaixo segue uma relação de parâmetros limites de qualidade de água para caldeiras de alta pressão:

Para caldeiras que operam, com pressões de vapor com valores acima de 200 kgf/cm², esses parâmetros assim ficariam.

Abaixo segue uma relação de parâmetro limites da qualidade de água para caldeiras de altíssima pressão:

Abrandamento de águas

A técnica mais apropriada para abrandar águas é a que emprega resinas trocadoras de cátions, especificamente as que trocam Na^{+} por Ca^{++} e Mg^{++}.

A conveniência ou não da instalação de uma estação de abrandamento de água por troca de íons, em uma indústria depende principalmente da qualidade de água por ela requerida. Quando se necessita, por exemplo, de uma água de dureza praticamente zero deve-se instalar uma estação de abrandamento por troca iônica, principalmente se a água bruta ou clarificada apresentar uma dureza inferior a 100 ppm. Enfim, o projeto de um sistema de abrandamento de água deve incluir, entre outros fatores, os estudos sobre a qualidade da água bruta, a qualidade desejada, o tipo e as necessidades da indústria que vai utilizar a água, e um balanço econômico geral da situação que envolve esse projeto.

Por meio deste tipo de abrandamento pode-se remover, além da dureza, Fe, Mn e Al na forma de tais solúveis. A presença de grande quantidade de cátions monovalentes na água reduzirá a capacidade de resina.

Quando houver interesse em se remover a dureza e alcalinidade devido ao bicarbonato de sódio, adota-se o uso de resinas catiônicas fracamente ácidas que atuam na forma hidrogeniônica.

Regeneração

Todo sistema de abrandamento de águas por troca iônica tem uma determinada capacidade que corresponde ao total de Na^+ presente na resina quando ela estiver na forma R-Na e que corresponde ao total de H^+ presente na resina quando ela estiver na forma R-H.

Os projetos de abrandadores apresentam a capacidade de troca das resinas em termos de quantidade total de dureza, com $CaCO_3$, que elas são capazes de remover.

Quando a água a ser amolecida apresenta dureza mais ou menos constante, costuma-se na prática, usar integradores de volumes de água, como alarme, para indicar o final do ciclo da resina, ou ainda, o uso de condutivímetros, relacionando a condutividade provocada pela presença de cátions na água de saída com a diminuição da capacidade de resinas.

No caso de resinas na forma R-Na, a operação de regeneração consiste em se passar uma solução de NaCl a 10% numa relação de 1,2 kg de NaCl para cada kg de dureza (como $CaCO_3$) removida. No caso de resinas na forma de R-H, a solução regenerante é ácida, normalmente ácido sulfúrico ou clorídrico.

Após a regeneração, deve-se proceder as operações de lavagem para remoção do cloreto de sódio remanescente. Após a relavagem coloca-se o sistema em funcionamento e faz-se o controle de cloreto e dureza total, para verificar a eficiência das operações efetuadas.

Na figura a seguir mostra-se um fluxograma resumido de um processo de abrandamento juntamente com as reações envolvidas.

Desmineralização de águas

Consegue-se a desmineralização de uma água ao passá-la por colunas de resinas catiônicas na forma H^+ e aniônicas na forma OH^-, separadamente, ou em uma só coluna que contenha esses dois tipos de resinas (leito misto). No primeiro caso deve-se passar a água primeiramente pelas resinas catiônicas, pois essas são mais resistentes que as aniônicas tanto química quanto fisicamente. Deste modo as resinas catiônicas podem proteger as aniônicas, funcionando como um filtro.

A figura abaixo mostra um fluxograma resumido de um sistema de desmineralização, incluindo as reações de troca iônica que ocorrem.

Regeneração

Todo sistema de desmineralização de águas por intermédio de resinas trocadoras de cátions e ânions, têm o inconveniente de saturação a partir de um certo instante. Esse instante é variável e depende do tipo de resina utilizada e da quantidade da água a ser desmineralizada. Evidentemente, os procedimentos de regeneração dessas resinas é distinto para resinas de características diferentes: as resinas catiônicas são regeneradas utilizando-se soluções alcalinas. O tipo de solução, ácida (H_2SO_4 ou HCl) ou básica (NaOH) empregada na regeneração normalmente é especificada pelo fabricante de resina, dependendo justamente do tipo de cátion ou ânion a ser removido e da resistência química da própria resina.

No caso de unidades desmineralizadoras com Leito Misto, os cuidados na regeneração devem ser redobrados uma vez que as soluções de regeneração para as resinas catiônicas são extremamente nocivas às aniônicas e vice versa. Devido a esse fato, a primeira etapa da regeneração de resinas em Leito Misto deve ser a separação das resinas. Isso é conseguido através das diferenças de densidade entre as duas resinas.

Após a separação, durante o processo de regeneração, o cuidado com a selagem entre as resinas aniônicas e catiônicas deve ser muito grande, evitando o contato de solução regeneradora de uma resina com a outra.

Na figura abaixo, mostramos algumas combinações de sistemas de resinas catiônicas, aniônicas e de leito misto usados para estações de desmineralização de águas:

Vida das resinas aniônicas e catiônicas

A vida útil das resinas catiônicas poderá ser de até 15 anos quando estas funcionam em condições adequadas (afluente bem clarificado), livre de ferro, cloro e matéria orgânica, fluxos de regeneração, serviço e relavagem de acordo com as recomendações de projeto, e boa qualidade de solução regenerante. Em condições adversas não se poderá prever o tempo de vida dessas resinas.

As resinas aniônicas são mais suscetíveis à deteriorização que as catiônicas. Os mesmos fatores que exercem influência na vida das resinas catiônicas o fazem nas aniônicas. As resinas aniônicas, quando funcionando em condições ideais podem durar até 5 anos, quando não, duram apenas alguns meses.

A seguir apresentamos um quadro que procura resumir as principais dificuldades de operação de um sistema de desmineralização ou mesmo de de um sistema de abrandamento.

AR COMPRIMIDO, MEDIDORES DE PRESSÃO (MANÔMETROS)

O ar comprimido é, provavelmente, uma das mais antigas formas de transmissão de energia que o homem conhece, empregada e aproveitada para ampliar sua capacidade física.

O reconhecimento da existência física do ar,, bem como sua utilização mais ou menos consciente para o trabalho, são comprovados há milhares de anos.

O primeiro homem que, com certeza, sabemos ter se interessado pela pneumática, isto é, o emprego do ar comprimido como meio auxiliar de trabalho, foi o grego Ktesibios, há mais de 2000 anos, ele construiu uma catapulta a ar comprimido. Um dos primeiros livros sobre o emprego do ar comprimido como transmissão de energia, data do século I D.C. e descreve equipamentos que foram acionados com ar aquecido.

Dos antigos gregos provem a expressão “PNEUMA” que significa fôlego, vento e, filosoficamente, alma.

Derivado da palavra “pneuma”, surgiu, entre outros, o conceito de “pneumática”: a “matéria” dos movimentos dos gases e fenômenos dos gases.

Embora, a base da pneumática seja um dos mais velhos conhecimentos da humanidade, foi preciso aguardar o século XIX para que o estudo de seu comportamento e de suas características se tornasse sistemático. Porém, pode-se dizer que somente após o ano de 1950 é que ela foi realmente introduzida na produção industrial na produção industrial.

Antes, porém, já estiam alguns campos de aplicação e aproveitamento da pneumática, como, por exemplo, a indústria mineira, a construção civil e a indústria ferroviária (freios a ar comprimido).

A introdução, de forma mais generalizada, da pneumática na indústria, começou com a necessidade, cada vez maior, de automatização e racionalização dos processos de trabalho.

Apesar de sua rejeição inicial, quase sempre proveniente da falta de conhecimento e instrução, ela foi aceita e o número de campos de aplicação tornou-se cada vez maior.

Hoje o ar comprimido tornou-se indispensável, e nos mais diferentes ramos industriais instalam-se aparelhos pneumáticos. É admirável como a pneumática tem conseguido expandir-se e se impor em tão pouco tempo.

Entre outras características, as principais são as seguintes: nenhum outro elemento auxiliar pode ser empregado tão simples e rentavelmente para solucionar muitos problemas de automatização.

Quais, portanto, são as características que fizeram o ar comprimido tão conhecido?

Quantidade

O ar a ser comprimido se encontra em quantidades limitadas, praticamente em todos os luigares.

Transporte

O ar comprimido é facilmente transportável por tubulações, mesmo para distâncias consideravelmente grandes. Não há necessidade de se preocupar com o retorno do ar.

Armazenável

No estabelecimento não é necessário que o compressor esteja em funcionamento contínuo. O ar pode ser sempre armazenado em um reservatório e, posteriormente, tirado de lá. Além disso é possível o transporte em reservatórios (botijão).

Temperatura

O trabalho realizado com ar comprimido é insensível às oscilações de temperatura. Isto garante, também em situações térmicas extremas, um funcionamento seguro.

Segurança

Não existe o perigo de explosão ou do incêndio. Portanto não são necessárias custosas proteções contra explosões.

Limpeza

O ar comprimido é limpo. O ar, que eventualmente escapa das tubulações ou outros elementos inadequadamente vedados, não polui o ambiente. Esta limpeza é uma exigência, por exemplo nas indústrias alimentícias, madeireiras, têxteis e curtumes.

Construção

Os elementos de trabalho são de construção simples e portanto de custo vantajoso.

Velocidade

O ar comprimento é um meio de trabalho muito veloz, e permite alcançar altas velocidades de trabalho (a velocidade de trabalho dos cilindros pneumáticos oscila entre 1-2 metros por segundo).

Regulagem

As velocidades e forças dos elementos a ar comprimido são reguláveis sem escala.

Seguro contra sobrecarga

Elementos e ferramentas a ar comprimido são carregáveis atá a parada final e, portanto, seguros contra sobrecarga.

Para poder limitar corretamente os campos de emprego da pneumática, é necessário também conhecer as características negativas da mesma.

Preparação

O ar comprimido requer uma boa preparação. Impureza e umidade devem ser evitadas, pois provocam desgaste nos elementos pneumáticos.

Compressibilidade

Não é possível manter uniformes e constantes as velocidades dos pistões, mediante o ar comprimido.

Forças

O ar comprimido é econômico somente até uma certa força. O limite fixado em 20000 -30000 newtons (2000 – 3000 kp em aplicação direta dos cilindros) à pressão normal de trabalho de 7 bar (pressão absoluta), dependendo também do curos e da velocidade dos elementos de trabalho.

Escape de ar

O escape de ar é ruidoso, mas, com o desenvolvimento de silenciadores, este problema está atualmente solucionado.

Custos

O ar comprimido é uma fonte de energia muito custosa. Porém, o alto custo de energia será, em grande parte, compensado pelos elementos de preço vantajoso e pela grande rentabilidade do ciclo de trabalho.

Em conseqüência da automatização e racionalização, a energia humana foi substituída por outras formas energéticas. Trabalhos antigamente feitos pelo homem, agora estão sendo realizados mediante o emprego do ar comprimido.

Exemplos: deslocamento de volumes pesados, acionamento de alavancas, contagem de peças, etc.

O ar comprimido, embora muito vantajoso, é, porém, sem dúvida, um elemento energético relativamente caro. A produção e armazenagem, bem como a distribuição do ar comprimido às máquinas e dispositivos, requer um alto custo. Esta realidade cria, em geral, a opinião de que o emprego de equipamentos a ar comprimido é relacionado com custos elevadíssimos. Está opinião é errônea, pois para um cálculo de rentabilidade real, não devem ser considerados somente o custo da energia empregada, mas sim os custos gerais acumulados.

Considerando isto mais realisticamente, verifica-se, na maioria dos casos, os custos da energia empregada são muito insignificantes para poderem desempenhar um papel determinante em relação aos salários, custos de investimento e manutenção.

Manômetros de pressão

Os manômetros de pressão são necessários para se ajustarem as válvulas controladoras de pressão e para se determinarem as forças que um cilindro desenvolve, ou medir o torque de um. Os dois tipos principais de manômetros de pressão são: o tubo de Bourdon e o Scharader.

No manômetro do tipo Bourdon, visto na figura abaixo, um tubo selado tem a forma de um arco. Quando se aplica pressão na abertura da entrada, o tubo tende a endireitar-se, atuando no acoplamento que gira uma engrenagem. Um indicador ligado à engrenagem registra a pressão num mostrador.

No manômetro do tipo Schrader, ilustrado abaixo, aplica-se pressão num pistão, o qual comprime uma mola. Ao ser comprimida, a mola aciona um ponteiro através de uma articulação.

OPERAÇÃO DE UM MANÔMETRO DO TIPO SCHRADER

A maioria dos manômetros registra zero à pressão atmosférica e é calibrada em quilos por centímetro quadrado ou em libras por polegada quadrada, ignorando a pressão atmosférica.

As pressões da sucção de uma bomba são freqüentemente inferiores à pressão atmosférica e devem ser medidas como pressão absoluta, pressão essa calibrada, na maioria das vezes, em polegadas de mercúrio.

Consideram-se 30 polegadas de mercúrio como vácuo perfeito.

A figura abaixo mostra um vacuômetro com escala de polegadas de mercúrio.

As curvas de aquecimento da água e do vapor se comportam como mostrado abaixo:

A partir desta curva, podemos definir os seguintes conceitos:

Entalpia de líquido saturado (h_L)

Como vimos, ao atingir-se a temperatura de vaporização inicia-se a formação de vapor. A água, portanto, necessitou de uma quantidade de calor para início da ebulição (vaporização), a esta quantidade de calor chamamos entalpia do líquido saturado (h_L), tendo a seguinte unidade kcal/kg.

Entalpia de vapor saturado (h_V)

Defini-se como sendo a quantidade de calor necessária para que ocorra a passagem da água do estado líquido para o estado de vapor, na temperatura de vaporização. Unidade: kcal/kg.

Calor latente de vaporização (h_{Lv})

Defini-se como sendo a diferença entre a entalpia do vapor saturado (h_V) e a entalpia do líquido saturado (h_L). Unidade: kcal/kg.

$$h_{LV} = h_{LV} - h_L$$

Temperatura de vaporização (t_{vap})

Considere o aquecimento de um determinado volume de água fria (figura anterior). Após alguns minutos de aquecimento, ao atingir uma determinada temperatura, a água ferverá (entrará em ebulição): a esta temperatura dá-se o nome de temperatura de vaporização (temperatura de vaporização depende diretamente da pressão).

Volume específico (V_{esp})

Após atingirmos a temperatura de vaporização d'água, começará a formação do vapor d'água.

A água no estado líquido apresenta um peso (kg) definido; portanto o vapor também terá um peso definido. Mas o vapor ocupa também um volume (m^3). Ao volume, em m^3 (metros cúbicos) ocupado para cada quilograma (kg) de vapor, define-se como sendo o volume específico (V_e V_{esp}) do vapor saturado (m^3/kg).

Vapor superaquecido

Define-se vapor superaquecido como sendo todo vapor que esteja a uma temperatura superior a sua temperatura de vaporização.

Tabela de vapor saturado

A tabela de vapor saturado que apresentamos a seguir é constituída das seguintes colunas:

P_{man} = pressão manométrica (kgf/cm²)
P_{abs} = pressão absoluta (kgf/cm²)
t_{vap} = temperatura do vapor (°C)
V_{esp} = volume específico (m^3/kg)

Também são apresentadas nas três últimas colunas as entalpias do líquido e vapor saturado e o calor latente de vaporização.

Repare que quanto maior a pressão do vapor a temperatura do vapor aumenta e o seu volume específico diminui.

Como usar a tabela de vapor saturado

- Se você quiser saber a temperatura e o volume específico do vapor na caldeira que você está operando, basta fazer o seguinte:

- Leia no manômetro da caldeira a pressão que está indicada (não esqueça que você estará lendo a pressão manométrica);

- Suponhamos: 7,0 kgf/cm² (aprox. 99,4 psig).

- Procure em seguida na primeira coluna da tabela o valor da pressão, lido anteriormente;
- Encontrado o valor, basta ler os valores da respectiva linha, portanto:
  t_{vap} = 169,6°C e V_{esp} = 0,24 m³/kg

Medidores de vazão

Rotâmetros

Os rotâmetros são unidades medidoras de fluxo. Normalmente, são incorporadas nas bancadas de teste, porém também são disponíveis em unidades portáteis. Alguns incorporam, além do rotâmetro, um manômetro e um termômetro, coma unidade da figura abaixo.

Raramente são conectadas de modo permanente nos circuitos hidráulicos. Entretanto, acoplar uma dessas unidades na tubulação hidráulica é de grande utilidade para se verificar a eficiência volumétrica de uma bomba bem como se determinarem fugas internas num circuito.

A figura seguinte mostra um rotâmetro típico.

Consiste de um peso instalado num tubo cônico. O tubo é graduado na posição vertical. O óleo bombeado entra por baixo do tubo e sai por cima, levantando o peso a uma altura proporcional ao fluxo.

Para uma medida mais precisa, um motor hidráulico com deslocamento conhecido pode ser usado para girar um tacômetro. O fluxo, em litros por minuto, será:

$$\text{Fluxo (1/min)} = \frac{\text{rpm x deslocamento (cm}^3\text{/rotação)}}{1000}$$

Naturalmente, o tacômetro pode ser calibrado tanto diretamente em 1/min quanto em rpm.

Outro tipo de medidor de fluxo incorpora um disco que, quando acionado pelo fluido que passa através de uma membrana, desenvolve um movimento rotativo que é transmitido, através de pequenas engrenagens, a um indicador. Observe a próxima figura.

Os dispositivos de medição mais sofisticados são os rotâmetros do tipo turbina, que desenvolvem um impulso elétrico ao girar e possuem transdutores de pressão, localizados em pontos estratégicos no sistema, que podem ser calibrados e observados num osciloscópio ou outro dispositivo adequado de leitura.

Tais unidades são mais usadas em laboratórios, mas também são encontradas em locais onde as técnicas de manutenção assumem aspectos mais sofisticados.

TRANSMISSÃO DE CALOR

O conhecimento das formas pelas quais o calor se transmite é da mais alta importância, porque é através delas que os focos de incêndio se propagam ou iniciam. A transmissão do calor ocorre pelas seguintes formas:

Condução

O calor se propaga de um corpo para outro por contato direto ou através de um meio condutor do calor intermediário.

Convecção

O calor se propaga através de um meio circulante, líquido ou gasoso, a partir da fonte.

Radiação

O calor se propaga por meio de ondas caloríficas irradiadas por um corpo em combustão.

Isolamento térmico

Generalidades

Dentro da campanha nacional de racionalização do uso de combustíveis industriais e instalação eficiente o isolamento térmico pode e deve assumir um papel preponderante.

A redução das perdas de calor pelo isolamento é uma maneira prática de se conseguir substâncias, economias de energia utilizando-se somente materiais disponíveis no mercado. Além disso sua aplicação é muito fácil e pode ser feita, na maioria dos casos sem que haja interrupção nos processos de fabricação.

É importante que os grandes benefícios financeiros advindos da prevenção de perdas de calor pelo isolamento térmico sejam reconhecidas e e entendidas, e que sejam tomadas todas as atitudes adequadas e necessárias para que esses benefícios sejam conseguidos.

O isolamento térmico é fornecido em diversas formas devendo preencher as necessidades da maioria das condições e locais onde deverão ser instalados. Este capítulo no entanto irá ater-se ao isolamento térmico das redes e equipamentos a vapor a água quente.

Conceituação, finalidade e materiais isolantes

A conceituação de isolação térmica, de acordo com as definições aceitas, está fundamentalmente apoiada na aplicabilidade e economicidade dos materiais envolvidos. O isolamento térmico é composto por 3 elementos distintos:

1) O isolante térmico.
2) O sistema de fixação e sustentação mecânica.
3) A proteção exterior.

Estabelecemos a seguir as definições e terminologias essenciais, que são as seguintes:

Isolação térmica

Situação em que se encontra um sistema físico que foi submetido ao processo de isolamento térmico.

Isolamento térmico

Processo através do qual se obtém a isolação térmica de um sistema físico pela aplicação adequada de material isolante térmico.

Material isolante térmico

Material capaz de diminuir de modo satisfatório e conveniente a transmissão do calor entre dois sistemas físicos.

Material de fixação

Material (ou materiais) usado para manter o isolante e o revestimento em suas posições convenientes.

Material de revestimento

Material (ou materiais) usado para proteger e dar bom aspecto ao isolante.

Faz-se necessário pois, que estes componentes sejam aplicáveis entre si e com o sistema a isolar, para que sejam eficientes e econômicos.

A finalidade precípua de isolação térmica é dificultar, reduzir e minimizar a transferência de calor entre dois sistemas físicos que se encontram em níveis diferentes de temperatura.

Porém, para efeito de classificação normativa, de projeto e comercial, considerar-se-á isolação térmica aplicável objetivando principalmente as seguintes finalidades:

1) Economia de energia.
2) Estabilidade operacional.
3) Conforto térmico.
4) Proteção do pessoal.
5) Evitar condensação.
6) Proteção de estruturas.

Pode-se, num só processo de isolamento térmico, atingir mais de um desses objetivos, tendo-se em consideração que a análise da fonte do calor e da sua forma de transmissão é que determina a escolha dos materiais e a técnica de sua aplicação.

A técnica da isolação térmica consiste na utilização de materiais ou de sistemas que imponham resistência às maneiras do calor se propagar, reduzindo essa velocidade de transmissão e portanto a quantidade transmitida por unidade de tempo.

A escolha do material isolante ou do meio isolante, admitindo os demais componentes como de importância secundária, deverá ser coerente com a transmissão de calor.

São muitos os materiais isolantes que podem ser utilizados com êxito no isolamento térmico, não sendo considerada básica esta circunstância para a seleção do mesmo.

Devem ser conhecidas todas as propriedades mecânicas e térmicas do material, para projetar de forma adequada o sistema de montagem, a espessura de isolamento necessária, a película hidrófuga com a qual deve ser protegido, etc.

Entre outros podem ser citados como elementos de boa qualidade e comercialmente usados no isolamento térmico para calor:

1) Fibra cerâmica.
2) Lã de rocha.
3) Lã de vidro.
4) Lãs isolantes refratárias.
5) Sílica diatomácea.
6) Silicado de cálcio.
7) Vermiculita expandida.

Na realidade, o produto isolante ideal não existe. Analisando as caracterísiticas básicas de cada um e promovendo um estudo comparativo entre todos eles, é justo reconhecer que a decisão sempre estará motivada pelo gosto particular do usuário.

As principais perguntas normalmente formuladas pelos próprios projetistas e engenheiros ligados à indústria são: qual isolante a ser utilizado; que espessura deve ser usada e quais as precauções necessárias quando da montagem do material selecionado.

Esta resposta não pode ser dada de forma genérica, sendo indispensável o estudo em particular, de cada tipo de instalação a ser executada.

Análise das características do isolante térmico

O projeto correto de sistemas de aquecimento, ar condicionado e refrigeração, como de outras aplicações industriais, necessitam de um conhecimento amplo sobre isolamento térmico e do comportamento térmico das estruturas em questão. Este item tratará dos fundamentos e propriedades dos materiais de isolação térmica.

As propriedades ideias que um material deve possuir para ser considerado um bom isolante térmico são as seguintes:

1) Baixo coeficiente de condutividade térmica (k até 0,030 kcal/m°C h).
2) Boa resistência mecânica.
3) Baixa massa específica.
4) Incombustibilidade ou auto-extingüibilidade.
5) Estabilidade química e física.
6) Inércia química.

7) Resistência específica ao ambiente da utilização.
8) Facilidade de aplicação.
9) Resistência ao ataque de roedores, insetos e fungos.
10) Baixa higroscospicidade.
11) Ausência de odor.
12) Economicidade.

É óbvio que não se consegue um material que possua todas estas qualidades; procura-se sempre um que satisfaça ao máximo a cada uma delas. Nisto reside a escolha de um bom isolante térmico.

Propriedades térmicas

A capacidade de um material para retardar o fluxo de calor está expressa por sua condutividade térmica ou calor de condutância.

Uma baixa condutividade térmica ou calor de condutância (ou alta resistividade témica ou valor de resistência) por conseguinte, caracteriza um isolante térmico, exceção feita aos isolantes refletivos.

Os isolantes refletivos, como o alumínio, dependem da sub-divisão correspondente dos espaços de ar e da baixa emissividade térmica das suas superfícies para uma baixa condutância térmica.

Para ser realmente efetiva em retardar o fluxo de calor por radiação, a superfície refletiva deverá apresentar sua fase ao ar ou espaço vazio.

Na tabela a seguir, apresentamos, extraídas da ASHRAE, tabelas condensadas referentes a valores e condutividade térmica, condutância e resistência para isolantes térmicos, somente para efeito comparativo. Estes valores tem sido apontados como típicos e usuais em pautas de engenharia.

Para valores mais precisos e isolamentos específicos, deverá ser consultado o fabricante. Outras propriedades térmicas que podem ser importantes são: calor específico, difusividade térmica, coeficiente de dilatação térmica e resistência.

FORMA	MATERIAL (Composição)	Máxima Temp. de uso admitida* °F	Densidade típica (lb/pé3)	CONDUTIBILIDADE TÍPICA K a TEMPERATURA MÉDIA °F													
				-100	-75	-50	-25	0	25	50	75	100	200	300	500	700	900
Mantas e Feltro	Fibra mineral (Rocha, escória ou vidro) Mantas com reforço metálico	1200	6-12									0,26	0,32	0,39	0,54		
		1000	2.5-6									0,24	0,31	0,40	0,61		
	Fibra mineral mantas de vidro, flexível, fibra orgânica fina aglutinada	350	0,65				0,25	0,26	0,27	0,28	0,30	0,32	0,42	0,58			
			0,75				0,25	0,26	0,27	0,28	0,29	0,30	0,40	0,57			
			1,0				0,23	0,24	0,25	0,26	0,27	0,28	0,36	0,51			
			1,5				0,22	0,23	0,24	0,24	0,25	0,26	0,32	0,44			
			3,0				0,20	0,21	0,22	0,22	0,23	0,24	0,29	0,39			
	Manta, flexível, fibra têxtil orgânica aglutinada	350	0,65				0,27	0,28	0,29	0,30	0,31	0,32	0,50	0,68			
			0,75				0,26	0,27	0,28	0,29	0,31	0,32	0,48	0,66			
			1,0				0,24	0,25	0,25	0,27	0,29	0,31	0,45	0,60			
			1,5				0,22	0,23	0,24	0,25	0,27	0,29	0,39	0,51			
			3,0				0,20	0,21	0,22	0,23	0,24	0,25	0,32	0,41			
	Feltro semi-rígido orgânico aglutinado	400	3-8						0,24	0,25	0,26	0,27	0,35	0,44			
		850	3	0,16	0,17	0,18	0,19	0,20	0,21	0,22	0,23	0,24	0,35	0,55			
		1200	7,5											0,35	0,45	0,60	
	Laminado fechado Sem matéria fibrosa de ligação Fibras vegetais e animais Feltro de cabelo ou feltro de cabelo mais junta	180	10						0,26	0,28	0,29	0,30					

FORMA	MATERIAL (Composição)	Máxima Temp de uso admitida* °F	Dendidade típica (lb/pé3)	CONDUTIBILIDADE TÍPICA K a TEMPERATURA MÉDIA °F													
				-100	-75	-50	-25	0	25	50	75	100	200	300	500	700	900
Blocos, pranchas e isolamentos para tubulações	Asbestos (Amianto) papel de amianto laminado Corrugado e papel de alumínio, laminado	700	30									0,40	0,45	0,50	0,60		
	4 dobras	300	11-3								0,74	0,57	0,68				
	6 dobras	300	15-17								0,49	0,51	0,59				
	8 dobras	300	18-20								0,47	0,49	0,57				
	Silicato de cálcio	1200	11-13									0,32	0,37	0,42	0,52	0,62	0,49
	Vidro celular	800	9			0,32	0,33	0,35	0,36	0,40	0,42	0,48	0,48	0,55			
	Sílica diatomácea	1600	21-22												0,64	0,08	0,72
		1900	23-25												0,70	0,75	0,80
	Fibra mineral (rocha, escória ou vidro) Aglutinado orgânico, bloco isolamento de tubulações	400	3-10	0,16	0,17	0,18	0,19	0,20	0,22	0,24	0,25	0,26	0,33	0,40			
		350	3-4					0,20	0,21	0,22	0,23	0,24	0,29				
		500	3-10					0,20	0,22	0,24	0,25	0,26	0,33	0,40			
	Aglutinados inorgânicos - blocos	1000	10-15									0,33	0,38	0,45	0,55		
		1800	15-24									0,32	0,37	0,42	0,52	0,62	0,74
	Isolamento de tubulações	1000	10-15									0,33	0,38	0,45	0,55		

FORMA	MATERIAL (Composição)	Máxima Temp de uso admitida* °F	Dendidade típica (lb/pé3)	CONDUTIBILIDADE TÍPICA K a TEMPERATURA MÉDIA °F													
				-100	-75	-50	-25	0	25	50	75	100	200	300	500	700	900
Blocos, pranchas e isolamentos para tubulações	Cortça (sem elemento coesor)	200	6,5-8					0,24	0,25	0,26	0,27	0,28					
	Cortiça (sem elemento coesor) Isolamento de tubulações	200	7-10					0,25	0,26	0,27	0,28	0,29					
	Poliuretano rígido - Extrudado	170 *	2	0,17	0,18	0,19	0,21	0,22	0,23	0,25	0,26						
	- Moldado	170	1	0,18	0,20	0,21	0,23	0,24	0,25	0,27	0,28						
	Poliuretano ** R-11 Exp.	210	1,5-2,5	0,14	0,15	0,16	0,17	0,17	0,17	0,16	0,17	0,18	0,21				
	Borracha (espuma rígida)								0,20	0,21	0,22	0,23					
	Fibras vegetais e animais (filtros de lã) (isolamento de tubulação)	180	20						0,28	0,30	0,31	0,33					
Cimentos isolantes	Fibra mineral (rocha, escória ou vi-dro) c/ elem. coesor de argila coloidal	1800	24-30									0,49	0,55	0,61	0,73	0,85	

(a) Valores representativos de materiais secos. Entende-se como valores de projeto de especificação. Valores por materiais de construção em uso normal.

* Estas temperaturas são geralmente aceitas como máximas. Quando estas temperaturas aproximam-se do valor máximo deverão ser observadas especificações ou recomendações do fabricante.

** Estes são valores para estoques de material descansado.

Fatores que afetam a condutividade térmica

A condutiviidade térmica é uma propriedade dos materiais homogêneos e materiais de construção tais como madeira, tijolo e pedra.

A maior parte dos materiais isolantes, exceção feita aos refletivos, são de natureza porosa consistindo de combinações de matéria sólida com pequenos vazios.

A condutividade térmica do isolante varia com a forma e estrutura física da isolação, com o ambiente e as condições de aplicação.

A forma e estrutura física variam com o material de base e com os processos de fabricação.

As variações incluem: densidade, medida do espaço celular, diâmetro e disposição das fibras ou partículas, transparência à radiação térmica, quantidade e extensão dos materiais de ligação, e do tipo e pressão do gás no interior da isolação.

As condições ambientais e de aplicação, condições que podem afetar a condutividade térmica incluem: temperatura, teor de umidade, orientação da isolação e direção do fluxo de calor.

Os valores de condutividade térmica para isolantes são geralmente fornecidos para amostras de uma determinada densidade obtidos em forno seco, método ASTMC-177, a uma temperatura média especificada.

Propriedades mecânicas

Alguns isolantes térmicos possuem suficiente resistência estrutural para serem usados como materiais de apoio de cargas.

Eles podem, em determinadas ocasiões, ser usados em pisos projetados para suportes de carga.

Para estas aplicações, uma ou mais das várias propriedades mecânicas de um isolante térmico incluindo resistência à compressão, cisalhamento, tensão, tração, impacto e flexão, podem ser realmente importantes.

As propriedades mecânicas de um isolamento variam com a composição básica, densidade, diâmetro da fibra e orientação, tipo e quantidade de material fibroso que aumenta o poder de coesão (se resistir), e com a temperatura à qual é realizada a avaliação.

Propriedade relativas à umidade

A presença de água ou gelo no isolamento térmico pode diminuir ou destruir o valor isolante, pode causar deterioração da isolação, como danos estruturais por putrefação ou decomposição, corrosão, ou pela ação expansiva da água congelada.

A umidade acumulada no interior de um isolamento térmico depende das temperaturas de operação e condições ambientais, e da efetividade das barreiras de vapor de água em relação a outras resistências de vapor no interior da estrutura composta. Alguns isolantes são higroscópicos e absorverão ou perderão umidade proporcionalmente à umidade relativa do ar em contato com o isolante.

Isolantes fibrosos ou granulados permitem a transmissão de vapor de água para o lado frio da estrutura. Uma barreira de vapor efetiva, portanto, deverá ser usada quanto da utilização deste tipo de materiais, onde a transmissão de umidade é um fator a ser considerado.

Determinados isolantes térmicos possuem uma estrutura celular fechada, sendo realitivamente impermeáveis à água e vapor de água.

As várias propriedades que expressam a influência da umidade incluem: absorção (capilaridade); adsorção (higroscopicidade) e taxa de transmissão de vapor de água.

Saúde e segurança

As várias propriedades dos isolantes térmicos relativas à saúde e segurança incluem: incapacidade para suportar vermes e insetos; imunidade aos perigos de incêndio; imune às pessoas quanto as partículas que possam causar irritações da pele; imune quanto a vapores ou pó que possam afetar as pessoas; imunidade quanto à putrefação, odores e envelhecimento.

Outras propriedades

Outras propriedades que podem ser de importância dependendo de cada aplicação particular são as seguintes: densidade, elasticidade, resistência à sedimentação; facilidade de manuseio; uniformidade e elasticidade dimensional; resistência à mudança química; facilidade na fabricação, aplicação e acabamento; espessura e medidas fáceis de serem obtidas; absorção de ruídos e permeabilidade do ar.

BIBLIOGRAFIA

1. BUCCO, L.H., LIMA, A. R. Sistemas de Qualidade - Apostila do Curso Técnico em Processos Industriais. SENAI - CIC/CETSAM, 1999.

2. CHAVES, J. B. P., TEIXEIRA, M. A. Gerência da Qualidade na Indústria de Alimentos. Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Tecnologia de Alimentos, 1990.

3. CNI-SENAI/DN. Guia para Elaboração do Plano APPCC- Frutas Hortaliças e Derivados. Série Qualidade e Segurança Alimentar, 1999.

4. CNI-SENAI/DN. Guia para Elaboração do Plano APPCC- Laticínios e Sorvetes. Série Qualidade e Segurança Alimentar, 1999.

5. CNI-SENAI/DN. Guia para Elaboração do Plano APPCC- Pescados e Derivados. Série Qualidade e Segurança Alimentar, 1999.

6. MACINTYRE, Archibald Joseph. Bombas e Instalações de Bombeamento. Guanabara, 1987.