

1 – CONCEITUAÇÃO DAS GRANDEZAS USADAS NOS BALANÇOS DE MASSA E ENERGIA

1.1 QUANTIDADE DE MATÉRIA (N) – Mol

A palavra mol parece ter sido introduzida por William Ostwald em 1896 e tem origem no Latim (moles) que significa monte ou pilha.

Em 1969 o Comitê Internacional de Pesos e Medidas aprovou o mol como sendo:

“A quantidade de substância que contém um número de entidades elementares igual ao número de átomos em 0,012 kg de Carbono 12”.

As entidades podem ser átomos, moléculas, íons e outras partículas.

No sistema SI um mol é composto de $6,02 \times 10^{23}$ moléculas.

Para converter o número de mols (mols é o plural de mol) em massa, fazemos o uso do peso molecular, que é a massa por mol.

Os termos “peso atômico” e “peso molecular” são usados universalmente por químicos e engenheiros em vez dos termos mais corretos “massa atômica” e “massa molecular”. Isto porque o método para medir a massa chama-se pesagem.

grama-mol = (massa em grama)/(peso molecular) = g-mol

libra-mol = (massa em libra)/(peso molecular) = lb-mol

Cálculos de processo podem ser feitos em termos de tonelada-mol ou quilograma-mol, mesmo não sendo unidades padrão.

Peso molecular de mistura ou peso molecular médio pode ser usado adotando, a composição molar (ou volumétrica) da mistura e a massa molecular de cada componente, de forma a calcular a razão entre a

massa de um número fixado de mols (geralmente 100) e esse número de mols.

1.2 MASSA ESPECÍFICA (kg/m³) e VOLUME ESPECÍFICO (m³/kg)

A relação massa/volume de substância tem o nome de massa específica.

A relação volume/massa de uma substância tem o nome de volume específico.

Evidentemente uma grandeza é o inverso da outra.

Alguns autores usam indevidamente o termo densidade para a relação massa/volume.

Densidade é a relação entre as massas específicas de duas substâncias, sendo uma delas tomada como padrão.

É comum tomar a água como padrão para os líquidos e o ar como padrão para os gases e vapores.

A origem dessa imperfeição pode estar no fato de:

“density” = massa específica

“specific gravity” = densidade

Na indústria de petróleo a densidade do petróleo e derivados é geralmente expressa em graus API (°API), definido pelo American Petroleum Institute como:

$$^{\circ}\text{API} = (141,5/d) - 131,5$$

Onde d = densidade da amostra em relação a água, ambas a 60°F.

1.3 FRAÇÃO MOLAR e FRAÇÃO MÁSSICA OU PONDERAL

Estas definições são válidas para sólidos, líquidos e gases.

Fração molar = (mols de uma substância)/(mols totais da mistura)

Fração mássica = (massa de uma substância)/(massa total mistura)

1.4 VAZÃO OU TAXA DE ESCOAMENTO

A taxa na qual uma quantidade de material é transportada é a taxa de escoamento ou vazão do material, ou seja, uma quantidade por unidade de tempo.

Por definição TAXA é a razão entre as variações de duas grandezas, das quais a primeira é dependente da segunda.

Na Engenharia, a grandeza independente é normalmente o tempo.

Vazão volumétrica = volume/tempo

Vazão mássica = massa/tempo

Vazão molar = quantidade de matéria/tempo

Na indústria de petróleo são muito usados:

1 barril = 42 galões = 158,987 litros

1 galão americano = 3,7854 litros

1 galão/minuto = 1 gpm = 0,227 m³/h

1 m³/h = 4,4 gpm

1.5 TEMPERATURA:

A temperatura de um corpo é uma medida do seu estado térmico, considerando como referência a sua capacidade de transferir calor para outro corpo. (definição de Maxwell).

Escalas relativas: CELSIUS (°C) e FAHRENHEIT (°F)

Escalas absolutas: KELVIN (K) e RANKINE (°R)

As escalas de temperatura absoluta têm seus pontos ZERO, na temperatura mais baixo possível, que está relacionada tanto com as leis da Termodinâmica quanto as leis do gás ideal.

O 0°C e seus equivalentes são conhecidos como: CONDIÇÕES PADRÃO DE TEMPERATURA.

O ZERO absoluto na escala Rankine é = -459,67°F

O ZERO absoluto na escala Kelvin é = -273,15°C

1.6 PRESSÃO – VÁCUO – ATMOSFERA PADRÃO

Pressão = Força normal por unidade de área

Muitas vezes na prática da Engenharia, refere-se a pressão a uma altura da coluna de um líquido. A água e o mercúrio são muito usados como fluidos manométricos.

Do mesmo modo que a temperatura, a pressão pode ser expressa tanto em escala absoluta como em escala relativa.

O ZERO de uma escala de pressão absoluta é o VÁCUO PERFEITO.

O ZERO de uma escala de pressão relativa geralmente é a pressão do ar, ou PRESSÃO ATMOSFÉRICA LOCAL.

Se a leitura for feita numa coluna de Mercúrio com o recipiente aberto para a atmosfera, o aparelho é um BARÔMETRO e a leitura da pressão atmosférica será denominada: PRESSÃO BAROMÉTRICA.

Nos cálculos de Engenharia, ignoramos a pressão de vapor do Mercúrio e pequenas alterações de massa específica do Mercúrio, ocasionada por variações de temperatura, durante as medidas de pressão.

Resumindo:

Pressão Manométrica + Pressão Barométrica = PRESSÃO ABSOLUTA

Pressão Barométrica – Vácuo = PRESSÃO ABSOLUTA < Pressão Bar.

NÃO CONFUNDIR: Atmosfera Padrão com Pressão Atmosférica

ATMOSFERA PADRÃO: A pressão num campo gravitacional padrão, equivalente a 1 atm ou 760mm de Mercúrio a 0°C ou outro valor equivalente.

PRESSÃO ATMOSFÉRICA: É variável e seu valor deve ser lido num barômetro. É pressão Atmosférica Local.

A atmosfera padrão pode até não ter o mesmo valor da pressão barométrica em nenhuma parte do mundo, exceto talvez ao nível do mar em certos dias. Porém a atmosfera padrão é extremamente útil para se converter um sistema de medida de pressão em outro.

Valores da Atmosfera Padrão expresso em várias unidades:

1,000	atmosfera (atm)
33,91	pés de água (ft H ₂ O)
10,335	metros de água (m H ₂ O)
14,696	lbf por polegada quadrada absoluta (psia)
29,921	polegadas de Mercúrio (in Hg)
760,0	milímetros de Mercúrio (mm Hg)
1,013 x 10 ⁵	pascal (Pa) = (N/m ²)
101,3	(kPa)

1.7 ENERGIA POTENCIAL

A energia potencial gravitacional é a energia associada à força de atração exercida por um campo gravitacional sobre a massa (m) de um corpo (ou de um sistema) situado em um nível (h) em relação a um nível de referência.

$$E_p = m \cdot g \cdot h \text{ em unidades SI: } \text{kg} \cdot \left\{ \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right\} \cdot (\text{m}) = \text{kg} \cdot \frac{(\text{m}^2)}{(\text{s}^2)} = \text{J}$$

Nos balanços energéticos normalmente é usada energia específica ou energia mássica, ou seja, a razão entre a energia e a massa do corpo.

$$e_p = g \cdot h \text{ ou em unidades SI: } \text{J/kg}$$

Se um dado processo envolve energia potencial além da associada a altura em um campo gravitacional, como por exemplo um campo elétrico (ou magnético) ou movimento contra uma força elástica, estas parcelas devem ser incluídas na energia potencial total.

1.8 ENERGIA CINÉTICA

A energia associada à velocidade (v) de um corpo (ou de um sistema) em relação à vizinhança.

$$E_c = \frac{1}{2} m \cdot v^2 \text{ ou em unidades SI: } \text{J}$$

Do mesmo modo a energia específica é

$$e_c = \frac{1}{2} v^2 \text{ que unidades SI: } \text{J/kg}$$

1.9 ENERGIA DE PRESSÃO:

O produto P.V (pressão x volume) é um termo que representa a chamada energia de pressão, que está presente nos balanços de energia quando aplicados aos sistemas abertos.

É a energia necessária para a entrada e saída de fluxo no sistema.

A energia de pressão representa uma espécie de energia potencial.

$E_{pr} = P.V$ ou em unidades SI: J

A energia de pressão específica é $e_{pr} = (P.V)/m$ que em unidades SI: J/kg

1.10 ENERGIA INTERNA

A energia interna é a energia das próprias moléculas, devido às forças de atração que mantêm os líquidos e os sólidos como tal, ou a energia cinética das moléculas de um gás se movimentando, ou a quantidade suplementar de energia necessária para criar uma superfície, e assim por diante.

A energia interna de um sistema depende basicamente de:

- Composição química
- Estado de agregação da matéria
- Temperatura dos materiais no sistema.

Não depende da pressão para gases ideais e é pouco dependente para gases reais, líquidos e sólidos.

Como não há instrumentos para medir diretamente a energia interna em escala macroscópica, a energia interna deve ser calculada a partir de outras variáveis que podem ser medidas macroscopicamente, tais como pressão, volume, temperatura e composição.

O hábito determinou o uso da temperatura e do volume específico como variáveis que determinam a energia interna.

A energia interna no sistema SI, também é expressa em Joules (J) e a energia por unidade de massa J/kg.

As variações infinitesimais da energia interna entre duas temperaturas, podem ser calculadas integrando-se $C_v \cdot dT$ entre essas duas temperaturas.

C_v = Capacidade calorífica a volume constante ou calor específico a volume constante. É a taxa de variação da energia interna com a temperatura, permanecendo constante o volume.

1.11 ENTALPIA

Cientistas combinaram a soma das energias: Interna + Trabalho de entrada ou saída de fluxo no sistema ($U + pv$) numa propriedade muito útil conhecida como ENTALPIA (H).

$$H = U + pv$$

U = Energia interna

p = Pressão absoluta

v = Volume específico

ENTALPIA É A MEDIDA DA ENERGIA DISPONÍVEL DE UM FLUIDO, e tem sido calculada para uma ampla faixa de condições de diversos fluidos.

Do mesmo modo ΔH = Diferença de Entalpia por unidade de tempo

$$\Delta H = \Delta U + \Delta(pv)$$

Considera-se o uso da temperatura e da pressão como variáveis que determinam a entalpia.

A entalpia no sistema SI, também é expressa em Joules (J) e a energia por unidade de massa J/kg.

As variações infinitesimais da entalpia entre duas temperaturas, podem ser calculadas integrando-se $C_p \cdot dT$ entre essas duas temperaturas.

C_p = Capacidade calorífica a pressão constante ou calor específico a pressão constante. É a taxa de variação da entalpia com a temperatura, permanecendo constante a pressão.

Os valores para vapor d'água e água saturada podem ser encontrados no standard ASME Steam Tables, onde a água saturada a 0°C tem sido considerada com Entalpia zero. Deve-se frisar que essas tabelas são encontradas em livros técnicos diversos.

Isto não significa que a entalpia seja zero nessas condições, mas simplesmente foi arbitrado que a entalpia tivesse um valor zero nessas condições.

Uma propriedade dos gases ideais é que suas energias internas e suas entalpias são funções somente da temperatura e não são influenciadas pelas variações na pressão ou no volume específico, respectivamente.

1.12 ENTROPIA

É uma propriedade do sistema, tal como a energia interna. Serve para medir a indisponibilidade ou degradação da energia de um sistema.

É definida tal que um aumento da indisponibilidade da energia total do sistema, é quantitativamente expresso por um correspondente aumento da sua entropia.

As turbinas ideais são isoentrópicas e teriam portanto rendimento de 100%, o que sabemos é que não será nunca a realidade prática. Contudo são máquinas de grande eficiência registrando-se valores entre 80% e 90%.